



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Σχολή Μηχανικών

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Διπλωματική Εργασία

Σύγχρονες εξελίξεις στον τομέα της κυματικής ενέργειας



ΛΥΓΝΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΑΜ:272017016

Επιβλέπον Καθηγητής

Καλδέλλης Ιωάννης

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

Όνοματεπώνυμο Καθηγητή	Υπογραφή
Ιωάννης Καλδέλλης	
Αιμιλία Κονδύλη	
Κοσμάς Καββαδίας	

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων	3
Πίνακας Εικόνων.....	5
Εισαγωγή	7
1 ^ο Κεφάλαιο: Αξιοποίηση κυματικής ενέργειας.....	9
1.1 Η σημασία της κυματικής ενέργειας	13
1.2 Μορφές κυματικής τεχνολογίας	18
1.3 Στοιχεία κυματικού κλίματος σε Ευρώπη και Ελλάδα	25
1.4 Πλεονεκτήματα και περιβαλλοντική επιβάρυνση από την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας.....	28
2 ^ο Κεφάλαιο: Αξιοποίηση ενέργειας από τη θάλασσα	31
2.1 Εκμετάλλευση παλιρροιακής ενέργειας	31
2.2 Εκμετάλλευση ενέργειας θαλάσσιων ρευμάτων	33
2.3 Εκμετάλλευση θερμότητας ωκεανών	35
3 ^ο Κεφάλαιο: Υπό λειτουργία Μετατροπείς Κυματικής Ενέργειας	37
3.1 Pelamis	37
3.2 PowerBuoy	38
3.3 WaveStar.....	39
3.4 Oyster	40
3.5 WaveRoller	41
3.6 Limpet και Mutriku	42
3.6.1 Limpet	42
3.6.2 Mutriku.....	43
3.7 WaveDragon	45
3.8 Ceto	45
3.9 AWS-III	46

4ο Κεφάλαιο: Βασικές Αρχές Κυματικής Ενέργειας και τρόποι εκτίμησης Κυματικού Δυναμικού	48
4.1 Υφιστάμενες εφαρμογές κυματικής ενέργειας και Διαθέσιμες κυματικές μηχανές	53
4.2 Δραστηριότητες της ΕΕ στο θέμα της Κυματικής Ενέργειας	61
4.3 Δραστηριότητες στην Ελλάδα και προοπτικές.....	65
5ο Κεφάλαιο: Συμπεράσματα	72
Βιβλιογραφία	74

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Κυματική ενέργεια. Πηγή: Google Scholar	8
Εικόνα 2: Μετατροπείς κυματικής ενέργειας. Πηγή: Guo & Ringwood, 2021.	12
Εικόνα 3 Σχεδιάγραμμα του εξασθενητή https://www.linquip.com/blog/what-is-wave-energy/#What_is_a_wave_energy_converter	19
Εικόνα 4 Σημειακός Απορροφητής https://www.linquip.com/blog/what-is-wave-energy/#What_is_a_wave_energy_converter	20
Εικόνα 5 Σχηματική απεικόνιση ενός Ταλαντευόμενου Μετατροπέα Κύματος https://www.linquip.com/blog/what-is-wave-energy/#What_is_a_wave_energy_converter	21
Εικόνα 6 Αρχή λειτουργίας ενός συστήματος ταλαντευόμενης στήλης νερού https://www.linquip.com/blog/what-is-wave-energy/#What_is_a_wave_energy_converter	22
Εικόνα 7 Συσκευή υπερπήδησης https://www.linquip.com/blog/what-is-wave-energy/#What_is_a_wave_energy_converter	23
Εικόνα 8 Απεικόνιση συσκευής βυθιζόμενης διαφορικής πίεσης https://waveenergyconversiontamu15.weebly.com/types-of-wecs.html	24
Εικόνα 9 Σύστημα παραγωγής ενέργειας από διόγκωση κύματος https://www.researchgate.net/figure/Bulge-wave-energy-production-system_fig10_340084822	24
Εικόνα 10 Μετατροπέας κυματικής ενέργειας περιστρεφόμενης μάζας https://www.linquip.com/blog/what-is-wave-energy/#What_is_a_wave_energy_converter	25
Εικόνα 11: Παγκόσμια κατανομή μέσης ενεργειακής πυκνότητας κυμάτων. Πηγή: Kofoed et al. 2006.	26
Εικόνα 12 https://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/pelamis-wave-power/	37
Εικόνα 13 https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-operation-of-PowerBuoy-wave-technology_fig7_262116355	38

Εικόνα 14	https://www.renovablesverdes.com/en/uninterrupted-wave-energy-wavestar/	40
Εικόνα 15	https://www.researchgate.net/figure/Oyster-wave-energy-converter-17_fig4_345672803	40
Εικόνα 16	https://solarimpulse.com/solutions-explorer/waveroller-1	42
Εικόνα 17	https://www.semanticscholar.org/paper/Wave-Energy-Converter-Concepts-%3A-Design-Challenges-Czech-Bauer/c3adf5e73bf06d9e4b7938c1fc9cf240dad5ec56/figure/6	43
Εικόνα 18	https://www.mdpi.com/1996-1073/12/5/787	44
Εικόνα 19	https://www.semanticscholar.org/paper/Life-cycle-assessment-of-the-wave-energy-converter%3A-Chr.-Stefan/ac5f59aa27bed4ddc9ebadeeff0f32e0b3c3192a	45
Εικόνα 20	https://www.researchgate.net/figure/Components-of-the-Ceto-wave-energy-converter_fig79_275645326	46
Εικόνα 21	https://newatlas.com/energy/ams-wave-power-testing/	47
Εικόνα 22	WaveRoller. Πηγή: Power Technology.	59
Εικόνα 23	Oyster. Πηγή: European Marine Energy Centre.	60
Εικόνα 24	PowerBuoy. Πηγή: Earth Techling	61
Εικόνα 25	Κυματικό δυναμικό και αριθμητικά σημεία.	70
Εικόνα 26	Κυματική ενέργεια ανά έτος. Πηγή: Google Scholar	71

Εισαγωγή

Ο όρος "ανανεώσιμη ενέργεια" αναφέρεται σε μη ορυκτές, φυσικές πηγές ενέργειας, όπως ο ήλιος, ο άνεμος, τα κύματα, η παλίρροια, η υδραυλική ενέργεια, η βιομάζα και η γεωθερμία. Με άλλα λόγια, πρόκειται για ανανεώσιμους φυσικούς πόρους που μπορούν να αξιοποιηθούν για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της σύγχρονης ζωής. Αν και όχι στον ίδιο βαθμό ή με την ίδια αποτελεσματικότητα με τα σύγχρονα συστήματα, οι άνθρωποι χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εδώ και χιλιάδες χρόνια. Χρησιμοποιούνταν κυρίως τα άμεσα διαθέσιμα και φθηνά ορυκτά καύσιμα από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά, αλλά όταν έγινε σαφές ότι τα ορυκτά καύσιμα είχαν δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και στα έμβια όντα, υπήρξε στροφή προς τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η κλιματική αλλαγή είναι μία από τις σημαντικότερες επιπτώσεις. Τα τελευταία χρόνια, η συχνότητα και η σοβαρότητα της κλιματικής αλλαγής ώθησε την πλειονότητα των κυβερνήσεων παγκοσμίως να αναγνωρίσουν το ζήτημα και να θεσπίσουν νόμους για την προστασία του περιβάλλοντος. Οι νόμοι αυτοί περιλαμβάνουν αυστηρές οικονομικές κυρώσεις για τα έθνη που υπογράφουν συμφωνίες για τη μείωση των εκπομπών αλλά δεν τηρούν τις δεσμεύσεις τους.

Το Πρωτόκολλο του Χάρτη Ενέργειας, το Πρωτόκολλο II της Σύμβασης της Γενεύης και άλλες συμφωνίες έχουν συναφθεί μέχρι σήμερα για την υποστήριξη της προστασίας του περιβάλλοντος και τη μείωση των ρύπων που εκλύονται από όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η Ελλάδα, μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), είναι υποχρεωμένη να ακολουθήσει την κοινή πολιτική της ΕΕ και να αυξήσει το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη συνολική παραγωγή ενέργειας. Προς αυτή την κατεύθυνση ψηφίστηκε ο νόμος 3851/2010, ο οποίος ευθυγραμμίζει την ελληνική κυβέρνηση με την ευρωπαϊκή πολιτική και ορίζει τους επικείμενους στόχους για τη συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη συνολική ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας. Με απώτερο στόχο το 20% για το έτος 2020 και το 27% για το έτος 2030, η Eurostat (η Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία) διατηρεί στατιστικά στοιχεία για τα ποσοστά συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κάθε κράτους μέλους της ΕΕ.

Το νερό στις λίμνες και στον ωκεανό κινείται πάντα, είτε ως αποτέλεσμα των κυμάτων που παράγονται από τον άνεμο στην επιφάνεια είτε από τα υδάτινα ρεύματα. Όταν τα κύματα κατευθύνονται σε μια δίνη, η κινητική ενέργεια των κυμάτων προκαλεί την περιστροφή της δίνης. Με αυτόν τον τρόπο, η μηχανική ενέργεια της τουρμπίνας, η οποία μετατρέπει μια γεννήτρια σε ηλεκτρική ενέργεια, μετατρέπεται από την κινητική ενέργεια των κυμάτων.

Εναλλακτικά, σε ορισμένες διαμορφώσεις αεριοστροβίλων, η εξαναγκασμένη ταλάντωση του στρώματος αέρα πάνω από αυτούς τίθεται σε κίνηση από την κινητική ενέργεια των κυμάτων.



Εικόνα 1: Κυματική ενέργεια. Πηγή: Google Scholar

Η ταλάντωση αναγκάζει τον αέρα να κινηθεί προς την κατεύθυνση του στροβίλου, ο οποίος περιστρέφεται (αποκτά μηχανική ενέργεια) και γυρίζει τη γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση των διαφόρων μεθόδων και τεχνολογιών για την αξιοποίηση της ενέργειας από την ωκεάνια έκταση.

Το Κεφάλαιο 1 θα υπογραμμίσει τη σημασία της κυματικής ενέργειας, διευκρινίζοντας τις μορφές της και τα ζωτικής σημασίας δεδομένα για το κυματικό κλίμα, ιδίως στην Ευρώπη και την Ελλάδα. Το Κεφάλαιο 2 θα διευρύνει τον ορίζοντα για να συμπεριλάβει την παλιρροιακή ενέργεια, την ενέργεια από θαλάσσια ρεύματα και την εκμετάλλευση της θερμότητας των ωκεανών. Το Κεφάλαιο 3 θα εστιάσει στους λειτουργικούς μετατροπείς κυματικής ενέργειας, αναδεικνύοντας τους μηχανισμούς και τις επιπτώσεις τους σε σενάρια πραγματικού κόσμου. Τέλος, το Κεφάλαιο 4 θα εμβαθύνει στις θεμελιώδεις αρχές της κυματικής ενέργειας και στις μεθοδολογίες αξιολόγησης του δυναμικού της.

Με την περιήγηση σε αυτά τα κεφάλαια, οι αναγνώστες θα αποκτήσουν μια ολοκληρωμένη κατανόηση των καινοτόμων τεχνολογιών και στρατηγικών που διαμορφώνουν το πεδίο της ωκεάνιας ενέργειας.

1^ο Κεφάλαιο: Αξιοποίηση κυματικής ενέργειας

Σύμφωνα με τους Vicinanza και συν. (2014), η αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας μεταξύ 2010 και 2014 είναι περίπου 35%. Ο παγκόσμιος ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας αναμένεται να επιβραδυνθεί σε λίγο λιγότερο από 2% το 2023, από 2,3% το 2022, που ήταν επίσης χαμηλότερος από τον πενταετή μέσο όρο πριν από το COVID 19, που ήταν 2,4% (IEA, 2022). Το πετρέλαιο, ο άνθρακας, ο λιγνίτης, το φυσικό αέριο, το ορυκτό ουράνιο και άλλα συμβατικά καύσιμα χρησιμοποιούνται σήμερα στην πλειονότητα των θερμικών και πυρηνικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η εξεύρεση μιας αξιόπιστης και εμπορικά βιώσιμης πηγής ενέργειας που να μπορεί να ικανοποιήσει τις αυξανόμενες απαιτήσεις της κοινωνίας είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης και την αποτροπή της εξάντλησης των συμβατικών μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων που χρησιμοποιούνται σήμερα. Εκτός από την εξάντληση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής ενέργειας αποτελούν θέμα καθολικής ανησυχίας. Η παραγωγή 1000 kWh από τον άνθρακα (ή λιγνίτη) έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή 1tn CO₂ στην ατμόσφαιρα, σύμφωνα με μελέτες (Torre-Enciso et al., 2010).

Η αστικοποίηση και η αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού έχουν επηρεάσει σημαντικά τις παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις. Η χρήση μη ανανεώσιμων ενεργειακών υποδομών που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα συνεπάγεται ατμοσφαιρική ρύπανση, υπερθέρμανση του πλανήτη λόγω εκπομπών CO₂, εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όξινες βροχές, μείωση των ενεργειακών πόρων και υποβάθμιση του περιβάλλοντος που οδηγεί σε κλιματική αλλαγή λόγω υπερθέρμανσης του πλανήτη. Αυτοί οι παράγοντες απαιτούν τη διερεύνηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές. Το υδρογόνο, ένας αποτελεσματικός φορέας ενέργειας, έχει αναδειχθεί ως εναλλακτικό καύσιμο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών και η πράσινη παραγωγή υδρογόνου με μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έχει αποκτήσει επιστημονική έλξη τα τελευταία χρόνια (Amin et al., 2022). Το σημαντικότερο όφελος από τη χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) αναγνωρίζεται ότι είναι η μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων, καθώς οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής γίνονται όλο και πιο εμφανείς την τελευταία δεκαετία. Ως αποτέλεσμα, οι ανεπτυγμένες χώρες έχουν αναθεωρήσει τις επενδυτικές τους στρατηγικές στον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ανταποκρινόμενες σε περιβαλλοντικά ζητήματα όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η τρύπα του όζοντος, καθώς και στον

κίνδυνο εξάντλησης των ορυκτών πόρων από τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (Βουζαβάλης και Μπέλλας, 2014).

Ως αποτέλεσμα, η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έχει γίνει ένα σημαντικό πρόβλημα τα τελευταία χρόνια, και γίνεται πολλή έρευνα στον τομέα αυτό. Η παραγωγή κυματικής ενέργειας έχει σήμερα τις χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα, ιδίως όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Βαρελογιάννη, 2009). Η ενεργειακή πυκνότητα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας είναι επίσης σημαντικό να ληφθεί υπόψη, διότι είναι 20 έως 30 φορές μεγαλύτερη από την ηλιακή ενέργεια και περίπου 5 φορές μεγαλύτερη από την αιολική ενέργεια σε ύψος 20 μέτρων. Αυτή είναι η θεμελιώδης αιτιολόγηση για την οποία όλο και περισσότεροι επιστήμονες προτείνουν συστήματα συλλογής θαλάσσιας ενέργειας. Το ζήτημα είναι ότι δεν έχει κατασκευαστεί ακόμη καμία ικανοποιητική μέθοδος αξιοποίησής της, κυρίως επειδή οι συσκευές είναι ακριβές σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Vicinanza et al., 2014).

Υπάρχουν περισσότερες από χιλιάδες ιδέες για τη συγκομιδή της κυματικής ενέργειας και οι μετατροπείς κυματικής ενέργειας (wave energy converters - WECs) είναι διαφορετικοί ως προς τις αρχές λειτουργίας, τις γεωμετρίες σχεδιασμού και τους τρόπους ανάπτυξης, γεγονός που οδηγεί σε εσφαλμένη σύγκλιση των τεχνολογιών WEC. Μεταξύ των πολυάριθμων συσκευών WEC, η έννοια του μετατροπέα κυματικής ενέργειας σημειακού απορροφητή (point absorber wave energy converter - PAWEC) είναι μία από τις απλούστερες, ευρύτερες και πιο υποσχόμενες έννοιες που έχουν διερευνηθεί εντατικά σε όλο τον κόσμο. Ωστόσο, υπάρχουν μόνο λίγες ανασκοπήσεις που επικεντρώνονται στους PAWEC και τη δυναμική εξέλιξή τους (Guterres, 2020).

Ο στόχος της "καθαρής ενέργειας έως το 2050" είναι μια από τις πιο επείγουσες αποστολές για τον κόσμο. Μέχρι το 2020, πάνω από 110 χώρες δεσμεύτηκαν να επιτύχουν μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μέχρι το 2050. Από την άλλη πλευρά, η ζήτηση ενέργειας των ανθρώπων αυξάνεται δραματικά με τη συνεχή αύξηση του πληθυσμού και της οικονομίας (Guterres, 2020). Η Αμερικανική Υπηρεσία Ενεργειακών Πληροφοριών πρόβλεψε ότι η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας θα αυξηθεί κατά σχεδόν 50% μεταξύ 2018 και 2050. Η έκθεση "Emissions Gap Report 2020" υπογράμμισε ότι "παρά τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την οικονομική επιβράδυνση της COVID-19, ο κόσμος εξακολουθεί να οδεύει προς μια καταστροφική αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από

3 °C αυτόν τον αιώνα - πολύ πέρα από τους στόχους της συμφωνίας του Παρισιού". Έτσι, υπάρχει ένα διευρυνόμενο χάσμα μεταξύ της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης και των υποσχέσεων για μείωση του άνθρακα και απαιτούνται πρόσθετες τεχνικές και μη τεχνικές προσπάθειες (Guterres, 2020).

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προβλεπόταν, σύμφωνα με την έκθεση της Υπηρεσίας το 2019, να αποτελέσουν την κύρια πηγή κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας έως το 2050, ιδίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μεταξύ των διαφόρων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η κυματική ενέργεια παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Αν και η κυματική ενέργεια θεωρείται σχετικά ανεκμετάλλευτος πόρος, το παγκόσμιο απόθεμά της εκτιμάται ότι κυμαίνεται μεταξύ 1-10 TW (IEA, 2020). Όσον αφορά τον εκμεταλλεύσιμο πόρο κυματικής ενέργειας, η εκτίμηση ήταν περίπου 29.500 TWh/έτος, η οποία υπερέβαινε την παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας το 2018 περίπου 22.300 TWh. Σε σύγκριση με άλλους ανανεώσιμους πόρους, ιδίως την περισσότερο αξιοποιούμενη ηλιακή και αιολική ενέργεια, τα πλεονεκτήματα της κυματικής ενέργειας είναι πολλαπλά, όπως αναλύεται παρακάτω:

- Η κυματική ενέργεια έχει υψηλότερη ένταση ισχύος από την ηλιακή και την αιολική ενέργεια.

- Η κυματική ενέργεια έχει υψηλή διαθεσιμότητα, καθώς είναι διαθέσιμη έως και 90% του χρόνου, ενώ η διαθεσιμότητα της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας κυμαίνεται από 20% έως 30%.

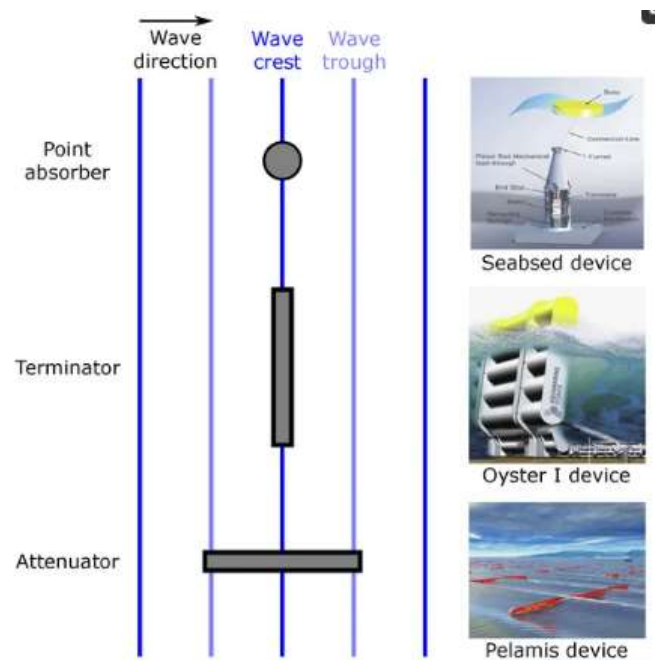
- Η κυματική ενέργεια έχει υψηλότερη προβλεψιμότητα από την ηλιακή και την αιολική ενέργεια, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ευελιξία για την περιφερειακή ή εθνική κατανομή ισχύος (IEA, 2020).

- Οι συσκευές μετατροπής κυματικής ενέργειας μπορούν να ενσωματωθούν σε υφιστάμενες υπεράκτιες αιολικές ή ηλιακές μονάδες παραγωγής ενέργειας για την εξομάλυνση της παραγωγής ισχύος και τη μείωση της μεταβλητότητας της ισχύος.

- Η εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας θεωρείται επί του παρόντος φιλική προς το περιβάλλον, καθώς αρκετές θαλάσσιες διαδρομές έδειξαν μόνο μικρές επιπτώσεις στο ωκεάνιο περιβάλλον (IEA, 2020).

Επί του παρόντος, οι περισσότερες WEC σχεδιάζονται και βελτιστοποιούνται για τοποθεσίες με υψηλό κυματικό δυναμικό και το μέγεθος της συσκευής θα πρέπει να μειωθεί αναλόγως ώστε να αποδίδει καλά σε θάλασσες χαμηλής ενέργειας. Η ιδέα για την αξιοποίηση των ωκεάνιων κυμάτων χρονολογείται από το 1799, και μέχρι το 1980 είχαν καταχωρηθεί περισσότερες από 1000 πατέντες. Από το 1998, έχουν επιτευχθεί αξιοσημείωτες πρόοδοι για την προώθηση του επιπέδου τεχνολογικής ετοιμότητας (technology readiness level - TRL) και του επιπέδου τεχνολογικών επιδόσεων (technology performance level - TPL) των μετατροπέων κυματικής ενέργειας (WEC). Οι πρόσφατες προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης είναι αφιερωμένες στην ανάπτυξη νέων μεθόδων μοντελοποίησης, στην εφαρμογή δημιουργικών μηχανισμών απόληψης ισχύος, στη διερεύνηση σύγχρονων στρατηγικών ελέγχου και στη διεξαγωγή θαλάσσιων δοκιμών (Guo & Ringwood, 2021).

Σε γενικές γραμμές, οι συσκευές WEC μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τις θέσεις ανάπτυξής τους, τις αρχές λειτουργίας, τους τρόπους λειτουργίας και τις γεωμετρίες σχεδιασμού τους (Guo & Ringwood, 2021). Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει μια τέτοια αμοιβαία αποκλειστική και συλλογικά εξαντλητική μέθοδος κατηγοριοποίησης που να καλύπτει όλες τις έννοιες WEC. Με βάση τη γεωμετρία της συσκευής οι WEC ταξινομούνται ως σημειακοί απορροφητές (point absorbers - PA), εξασθενητές και τερματιστές, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.



Εικόνα 2: Μετατροπείς κυματικής ενέργειας. Πηγή: Guo & Ringwood, 2021.

1.1 Η σημασία της κυματικής ενέργειας

Η παραγωγή ενέργειας από τα ωκεάνια κύματα είναι ένα μακροχρόνιο και συναρπαστικό πεδίο έρευνας. Η ιδέα της μετατροπής της ενέργειας που ενυπάρχει στα επιφανειακά κύματα σε πρακτικά αξιοποιήσιμες μορφές έχει ιστορική καταγωγή. Τον τελευταίο καιρό, καθώς οι δυσμενείς συνέπειες της χρήσης ορυκτών καυσίμων κλιμακώνονται και οι ανησυχίες για την εξάντληση των πόρων αυτών γίνονται όλο και πιο έντονες, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ευπάθεια των οικονομιών λόγω της εξωτερικής εξάρτησης από τα καύσιμα αυτά, η σημασία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδίως της κυματικής ενέργειας, έχει αυξημένο ενδιαφέρον.

Η ωκεάνια ενέργεια ξεχωρίζει ως ένας σχετικά νεοσύστατος τομέας σε σύγκριση με άλλες εναλλακτικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (ΔΟΕ) οριοθέτησε πέντε διαφορετικές τεχνολογίες στο πλαίσιο της ωκεάνιας ενέργειας: παλιρροιακή ενέργεια, θαλάσσια ρεύματα, κυματική ενέργεια, κλίσεις θερμοκρασίας και κλίσεις αλατότητας (IEA, 2023). Κατά κύριο λόγο, η κυματική και η παλιρροιακή ενέργεια έχουν αναδειχθεί ως τα κυριότερα αποτελέσματα των προσπαθειών για την ωκεάνια ενέργεια. Ο Mackay (2013) αναφέρει ότι ο ήλιος κινεί τον άνεμο, ο οποίος με τη σειρά του γεννά κύματα. Οι ακτίνες του ήλιου επηρεάζουν κυρίως την επιφάνεια της Γης, θερμαίνοντας τους ωκεανούς και προκαλώντας τη δημιουργία υδρατμών. Η επακόλουθη άνοδος του θερμού αέρα προκαλεί την εισροή ψυχρότερου αέρα. Ο άνεμος, ουσιαστικά, είναι μια δευτερογενής έκφραση της ηλιακής ενέργειας. Καθώς ο άνεμος σαρώνει εκτάσεις ανοιχτών υδάτων, γεννά κύματα. Ως εκ τούτου, τα κύματα μπορούν να θεωρηθούν ως τριτογενείς εκδηλώσεις της ηλιακής ενέργειας. Μέσω του ανέμου που διασχίζει την έκταση του ωκεανού, πραγματοποιείται μεταφορά ενέργειας στα κύματα. Το φαινόμενο αυτό συγκεντρώνει φυσικά την ενέργεια του ανέμου κοντά στην επιφάνεια του νερού. Τα κύματα που προκύπτουν μπορούν να διανύσουν τεράστιες αποστάσεις με ελάχιστη διάχυση ενέργειας. Οι ροές ενέργειας που είναι εγγενείς στα κύματα βαθιάς θάλασσας μπορούν να φτάσουν σε αξιοσημείωτα μεγέθη. Η ισχύς που μεταφέρει ένα κύμα είναι ευθέως ανάλογη του τετραγώνου του ύψους του και της περιόδου της κίνησής του.

Η κυματική ενέργεια, όπως και άλλες ανανεώσιμες πηγές, είναι εγγενώς παρούσα στο περιβάλλον. Ενσαρκώνει τη βιωσιμότητα και, κυρίως, αποτελεί αρετή η μη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Η κυματική ενέργεια, η οποία είναι ιδιαίτερα υποσχόμενη στα ευρωπαϊκά ύδατα, παρουσιάζει απaráμιλλες δυνατότητες ανάπτυξης στη σφαίρα της ωκεάνιας ενέργειας, καθώς η παγκόσμια χωρητικότητά της επισκιάζει εκείνη της παλιρροιακής

ενέργειας κατά 30 φορές. Σύμφωνα με το World Energy Outlook του 2015, η συλλογική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη θαλάσσια ενέργεια, που περιλαμβάνει την κυματική και την παλιρροϊκή ενέργεια, αναμένεται να φθάσει τις 60 τεραβατώρες έως το 2035 (International Energy Agency, 2015).

Το δυναμικό της κυματικής ενέργειας είναι σημαντικό, καθώς διαθέτει μεγαλύτερο συντελεστή αξιοπιστίας σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Αυτό αποδίδεται σε μεγάλο βαθμό στην ανώτερη πυκνότητα ισχύος της - που κυμαίνεται μεταξύ 2 έως 3 κιλοβάτ ανά τετραγωνικό μέτρο - σε σύγκριση με την αιολική ενέργεια που είναι 0,4 έως 0,6 κιλοβάτ ανά τετραγωνικό μέτρο και την ηλιακή ενέργεια που είναι 0,1 έως 0,2 κιλοβάτ ανά τετραγωνικό μέτρο. Όσον αφορά την ενέργεια που περιέχεται στο παγκόσμιο θαλάσσιο κυματικό δυναμικό υπολογίζεται στα 8.000 – 80.000TWh / έτος, ενώ το παγκόσμιο δυναμικό από τα θαλάσσια ρεύματα ανέρχεται στις 800 TWh / έτος. (Akar και Akdoğan, 2016).

Η δυναμική-κινητική ενέργεια του νερού ξεχωρίζει ως η πιο συμπακνωμένη και άφθονη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας στον πλανήτη μας. Η κυματική ενέργεια, παράγωγο της ηλιακής ενέργειας, διαθέτει πληθώρα πλεονεκτημάτων. Χαρακτηρίζεται από τη σταθερότητα των πόρων, την προβλεψιμότητα, την ελάχιστη οπτική παρέμβαση, την απουσία κατανάλωσης καυσίμων, εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ή διακυμάνσεων των τιμών. Ωστόσο, η πρακτική εφαρμογή των μετατροπέων κυματικής ενέργειας (WEC) έχει περιοριστεί, με αποτέλεσμα να υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με τις οικολογικές επιπτώσεις τους. Ως αποτέλεσμα, η επιλογή των θέσεων εγκατάστασης απαιτεί προσεκτική εξέταση για την αποφυγή πιθανών διαταραχών στις θαλάσσιες δραστηριότητες, όπως η αλιεία (Akar και Akdoğan, 2016).

Μελέτες των Langhamer και συν. (2010) έδειξαν ότι οι περιβαλλοντικές συνέπειες της εγκατάστασης WEC εκδηλώνονται συνήθως εντός πέντε ετών από την κατασκευή. Σε αντίθεση με τις ανησυχίες, τα ευρήματα των Frid et al. (2011) υποδηλώνουν ότι οι WEC ασκούν ελάχιστη άμεση επίδραση στις βενθικές κοινότητες. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλες οι μορφές υγρών μηχανισμών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αντιπροσωπεύουν ισχυρούς και σημαντικούς πόρους με την ικανότητα να παρέχουν ενεργειακές λύσεις χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η εργασία των Fadaeenejad et al. (2014) υποστηρίζει ότι η εφαρμογή κυματικής ενέργειας σε υπεράκτια νησιά θα μπορούσε να προωθήσει θετικές επιπτώσεις στον τουρισμό,

ενισχύοντας τη βιώσιμη ανάπτυξη και διατηρώντας το παρθένο περιβάλλον σε τέτοιους τύπους.

Σύμφωνα με το Conserve Energy Future (2016), ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της κυματικής ενέργειας έγκειται στον ανεξάντλητο χαρακτήρα της. Τα κύματα, τα οποία διαρκώς συγκρούονται με τις παράκτιες ακτές, προσφέρουν μια διαρκή και αξιόπιστη πηγή ενέργειας. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία εξαντλούνται με ανησυχητικό ρυθμό σε ορισμένες περιοχές του κόσμου, η ενέργεια των κυμάτων παραμένει διαθέσιμη. Τα κύματα, απαλλαγμένα από εποχικούς περιορισμούς, όπως αυτοί που πλήττουν την παραγωγή αιθανόλης από καλαμπόκι, δεν επηρεάζονται από την ανθρώπινη παρέμβαση στη διαδικασία παραγωγής ενέργειας. Η βιωσιμότητά τους υποστηρίζεται από τον αδιάκοπο ρυθμό των φυσικών φαινομένων. Σε πλήρη αντίθεση με τα επιβλαβή υποπροϊόντα που συνδέονται με την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, η μετατροπή της κυματικής ενέργειας δεν παράγει επιβλαβείς εκπομπές, απόβλητα ή ρύπανση. Αυτό μεταφράζεται σε μια αρμονική συνύπαρξη με το περιβάλλον. Η άμεση ενσωμάτωση της κυματικής ενέργειας στους μηχανισμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποφεύγει τη δημιουργία οικολογικών κινδύνων.

Μια άλλη πτυχή της κυματικής ενέργειας είναι η εγγύτητά της σε πληθυσμιακά κέντρα που μπορούν να αξιοποιήσουν το δυναμικό της. Πολλά μεγάλα αστικά κέντρα και λιμάνια βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές, γεγονός που τα καθιστά σε καλή θέση για την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας. Η γεωγραφική γειτνίαση των πηγών κυματικής ενέργειας με τις πυκνοκατοικημένες παράκτιες πόλεις σηματοδοτεί τη δυνατότητα κάλυψης σημαντικής ζήτησης ενέργειας με παράλληλη ελαχιστοποίηση των απωλειών μεταφοράς. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα έγκειται στο ποικίλο φάσμα τεχνικών που είναι διαθέσιμες για τη σύλληψη της κυματικής ενέργειας. Το φάσμα εκτείνεται από καθιερωμένους σταθμούς παραγωγής ενέργειας με υδροστρόβιλους έως καινοτόμα θαλάσσια σκάφη εξοπλισμένα με κατασκευές σχεδιασμένες για τη συλλογή κυματικής ενέργειας. Αυτή η ευελιξία των προσεγγίσεων επιτρέπει προσαρμοσμένες λύσεις, οι οποίες ευθυγραμμίζονται με τα μοναδικά χαρακτηριστικά των διαφόρων παράκτιων τοπίων και των ενεργειακών αναγκών.

Το κυριότερο από τα πλεονεκτήματα της κυματικής ενέργειας, ιδίως σε σύγκριση με πολλές εναλλακτικές μορφές ενέργειας, είναι η εγγενής προβλεψιμότητά της. Η συνέπεια των κυματικών προτύπων διευκολύνει τις ακριβείς εκτιμήσεις του δυναμικού παραγωγής ενέργειας. Αυτό έρχεται σε πλήρη αντίθεση με τις πηγές που εξαρτώνται από κυμαινόμενα στοιχεία, όπως ο άνεμος ή η ηλιακή έκθεση. Η αξιοπιστία και η προβλεψιμότητα της

κυματικής ενέργειας δημιουργούν ένα βαθμό εμπιστοσύνης που άλλες πηγές μπορεί να δυσκολεύονται να φτάσουν.

Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν διαφορετικές απόψεις σχετικά με τα πιθανά μειονεκτήματα της κυματικής ενέργειας. Οι Copping et al. (2014) εκφράζουν ανησυχίες σχετικά με τον υποβρύχιο θόρυβο που παράγεται κατά την εγκατάσταση και τη λειτουργία των WEC, ο οποίος ενδεχομένως επηρεάζει τους θαλάσσιους οργανισμούς. Είναι ζωτικής σημασίας να σημειωθεί ότι οι WEC αναμένεται να αξιοποιήσουν περίπου το 3% έως 15% της προσπίπτουσας κυματικής ενέργειας, οδηγώντας σε μεταβολές στην κυματική ενέργεια και την κίνηση των ιζημάτων (Leeney et al., 2014). Συνοπτικά, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κυματικής ενέργειας περιλαμβάνουν τόσο θετικές όσο και αρνητικές πτυχές.

Σύμφωνα με το Conserve Energy Future (2016), τα πλεονεκτήματα της κυματικής ενέργειας αντισταθμίζονται από ορισμένα μειονεκτήματα που χρήζουν προσοχής. Το κυριότερο από αυτά είναι ο εγγενής περιορισμός της γεωγραφικής καταλληλότητας. Η δυνατότητα εφαρμογής της κυματικής ενέργειας εξαρτάται από την εγγύτητα σε ωκεάνιες εκτάσεις. Αυτός ο περιορισμός περιορίζει τα άμεσα οφέλη της κυματικής ενέργειας σε παράκτιες μονάδες παραγωγής ενέργειας και κοινότητες. Οι περικλειστές περιοχές και οι πόλεις που βρίσκονται μακριά από τη θάλασσα δεν μπορούν να αξιοποιήσουν αυτή την πηγή ενέργειας, γεγονός που καθιστά αναγκαίες εναλλακτικές λύσεις για την παραγωγή ενέργειας. Ως εκ τούτου, οι δυνατότητες της κυματικής ενέργειας ως καθολικά εφαρμόσιμης καθαρής πηγής ενέργειας παραμένουν περιορισμένες.

Ο φαινομενικά καθαρός χαρακτήρας της κυματικής ενέργειας δεν την απαλλάσσει από την άσκηση οικολογικών επιπτώσεων. Η ανάπτυξη μηχανημάτων μεγάλης κλίμακας κοντά ή μέσα σε υδάτινα σώματα για την εξόρυξη ενέργειας διαταράσσει τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Η διατάραξη του βυθού, η αλλοίωση των παράκτιων ενδιαιτημάτων που φιλοξενούν οργανισμούς όπως τα καβούρια και οι αστερίες και η παραγωγή θορύβου που διαταράσσει την υδρόβια ζωή αποτελούν σημαντικές ανησυχίες. Επιπλέον, ο κίνδυνος διαρροής χημικών ουσιών από τις πλατφόρμες κυματικής ενέργειας δημιουργεί δυνητικούς κινδύνους ρύπανσης των υδάτων (Sasaki, 2017).

Οι γεωγραφικές απαιτήσεις της κυματικής ενέργειας συχνά διασταυρώνονται με μεγάλες θαλάσσιες οδικές αρτηρίες κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Οι περιοχές αυτές χρησιμεύουν ως κομβικά σημεία για την εμπορική ναυτιλία, τα κρουαζιερόπλοια, τα σκάφη αναψυχής και τις δραστηριότητες που σχετίζονται με την παραλία. Κατά συνέπεια, η

εγκατάσταση εγκαταστάσεων κυματικής ενέργειας κατά μήκος των ακτογραμμών επηρεάζει αυτές τις θαλάσσιες δραστηριότητες, καθιστώντας αναγκαία μια λεπτή ισορροπία μεταξύ των ενεργειακών φιλοδοξιών και των υφιστάμενων παράκτιων λειτουργιών.

Η αποτελεσματικότητα της κυματικής ενέργειας συνδέεται στενά με τα χαρακτηριστικά των κυμάτων - συγκεκριμένα, την ταχύτητα των κυμάτων, το μήκος κύματος και την πυκνότητα του νερού. Η συνεχής διαθεσιμότητα ισχυρών κυμάτων είναι απαραίτητη για την ουσιαστική παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, ορισμένες περιοχές παρουσιάζουν ακανόνιστη συμπεριφορά των κυμάτων, υπονομεύοντας την προβλεψιμότητα και την αξιοπιστία των προβλέψεων της κυματικής ενέργειας (Sasaki, 2017).

Η απόδοση των συστημάτων κυματικής ενέργειας μειώνεται σημαντικά κατά τη διάρκεια δυσμενών καιρικών συνθηκών. Η αντοχή στις κακές καιρικές συνθήκες αποτελεί πρόκληση και επηρεάζει τα επίπεδα παραγωγής ενέργειας.

Οι γεννήτριες κυματικής ενέργειας, αν και περιβαλλοντικά επωφελείς, εισάγουν οπτικές και ακουστικές διαταραχές. Οι κατασκευές αυτές, που μοιάζουν με σημαντικά μηχανήματα μέσα στην έκταση του ωκεανού, υποβαθμίζουν τη φυσική αισθητική του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Επιπλέον, η ηχορύπανση προκύπτει από τις λειτουργικές δραστηριότητες των κυματογεννητριών, αν και συχνά επισκιάζεται από τους περιβαλλοντικούς ήχους των ίδιων των κυμάτων (Weiss et al., 2018).

Ενώ η κυματική ενέργεια προσφέρει πολύπλευρα πλεονεκτήματα, συνεπάγεται επίσης σημαντικό κόστος παραγωγής. Η δημιουργία υποδομών κυματικής ενέργειας απαιτεί σημαντικές επενδύσεις, συμπεριλαμβανομένων των εξόδων εγκατάστασης και της συνεχούς συντήρησης. Επιπλέον, το απρόβλεπτο και το δυναμικό των κυμάτων καθιστούν τον εξοπλισμό ευάλωτο σε ζημιές, αυξάνοντας περαιτέρω την οικονομική επιβάρυνση. Το υψηλό κόστος που συνδέεται με την απόκτηση, την εγκατάσταση και τη συντήρηση θέτει σημαντικές προκλήσεις για την οικονομική βιωσιμότητα των έργων κυματικής ενέργειας (Weiss et al., 2018).

1.2 Μορφές κυματικής τεχνολογίας

Η εξέλιξη των μετατροπέων κυματικής ενέργειας (WEC) χαρακτηρίζεται από πληθώρα καινοτόμων ιδεών και προσεγγίσεων που αποσκοπούν στην αξιοποίηση των πόρων κυματικής ενέργειας. Αυτή η ποικιλομορφία των ιδεών προσφέρεται για διάφορες ταξινομήσεις, οι οποίες μπορούν να βασιστούν στις θεμελιώδεις αρχές λειτουργίας αυτών των συσκευών. Ορισμένες WEC αψηφούν τη συμβατική κατηγοριοποίηση λόγω της συγχώνευσης πολλαπλών τεχνολογιών. Η αφθονία των διαφορετικών WECs οδηγεί σε ταξινόμηση με βάση διάφορα κριτήρια (IRENA - International Renewable Energy Agency, 2014):

1. Θέση σε σχέση με τη βαθυμετρία και την απόσταση από την ακτή

Αυτή η ταξινόμηση διακρίνει μεταξύ χερσαίων, παράκτιων και υπεράκτιων εγκαταστάσεων. Η "χερσαία" αφορά παράκτιες τοποθεσίες, που συχνά χρησιμοποιούν υφιστάμενες ή πρόσφατα κατασκευασμένες δομές όπως κυματοθραύστες. Η "εγγύς ακτή" αφορά ρηχότερα ύδατα με βάθος που δεν υπερβαίνει τα 50 μέτρα, τα οποία βρίσκονται σχετικά κοντά στην ακτογραμμή. Αντίθετα, η "υπεράκτια" υποδηλώνει βαθύτερα νερά πέραν των 50 μέτρων, σε απομακρυσμένες παράκτιες ζώνες και όχι κοντά σε παράκτιες εγκαταστάσεις. Οι χερσαίες εγκαταστάσεις είναι εγγενώς συνδεδεμένες με την ξηρά και λειτουργούν ως "τερματιστές", όπως οι ταλαντευόμενες στήλες κύματος και οι συσκευές υπερπήδησης. Οι παράκτιες εγκαταστάσεις βασίζονται συχνά στον πυθμένα της θάλασσας λόγω της επιρροής του βάθους του νερού στη διαθεσιμότητα των κυμάτων. Οι υπεράκτιες εγκαταστάσεις γενικά επιπλέουν και έχουν πρόσβαση σε κύματα ανεξάρτητα από τις συνθήκες του πυθμένα (Weiss et al., 2018).

2. Θέση σε σχέση με τη στάθμη της θάλασσας

Η ταξινόμηση αυτή διακρίνει μεταξύ βυθισμένων, ημιβυθισμένων και πλήρως βυθισμένων κατασκευών. Ανάλογα με τον τύπο της δομής στήριξης, μπορεί να είναι είτε όρθιες είτε πλωτές με συστήματα πρόσδεσης (Guterres, 2020).

3. Αρχή δέσμευσης ενέργειας

Στο πλαίσιο αυτής της ταξινόμησης, οι WEC κατηγοριοποιούνται ως σημειακοί απορροφητές, εξασθενητές και τερματιστές. Οι συσκευές σημειακής απορρόφησης, μικρότερες από το μήκος κύματος, απορροφούν κυματική ενέργεια από διάφορες κατευθύνσεις. Οι εξασθενητές ευθυγραμμίζουν την κύρια διάστασή τους παράλληλα με τη

διεύθυνση του προσπίπτοντος κύματος. Οι συσκευές τερματισμού έχουν την πρωταρχική τους διάσταση κάθετη στη διεύθυνση του προσπίπτοντος κύματος - αυτή είναι η πιο διαδεδομένη και θεμελιώδης κατηγορία (Guterres, 2020).

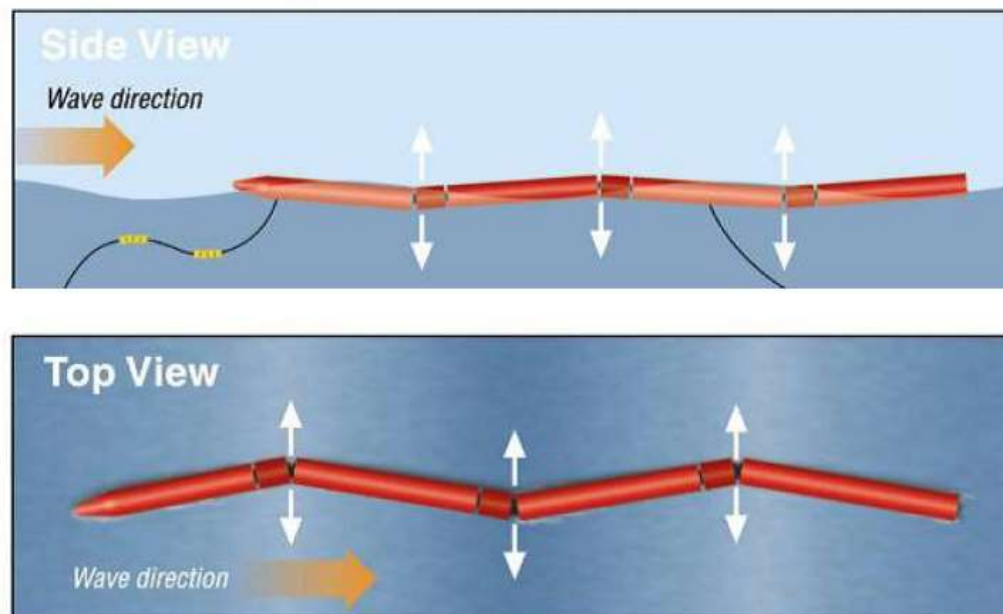
4. Διακριτοί μηχανισμοί

Η τέταρτη ταξινόμηση διαχωρίζει τα WEC σε συγκεκριμένους μηχανισμούς, όπως η ταλαντευόμενη στήλη νερού (OWC), το φαινόμενο Αρχιμήδη, τα πλωτά σώματα με σταθερές ή κινούμενες αναφορές, η υπερπήδηση και οι συσκευές πρόσκρουσης.

Πρόσθετες ταξινομήσεις εξετάζουν τη συγχώνευση των προαναφερθέντων κριτηρίων, με παράδειγμα την ακόλουθη κατηγοριοποίηση (Lavaa, 2021):

1) Εξασθενητές

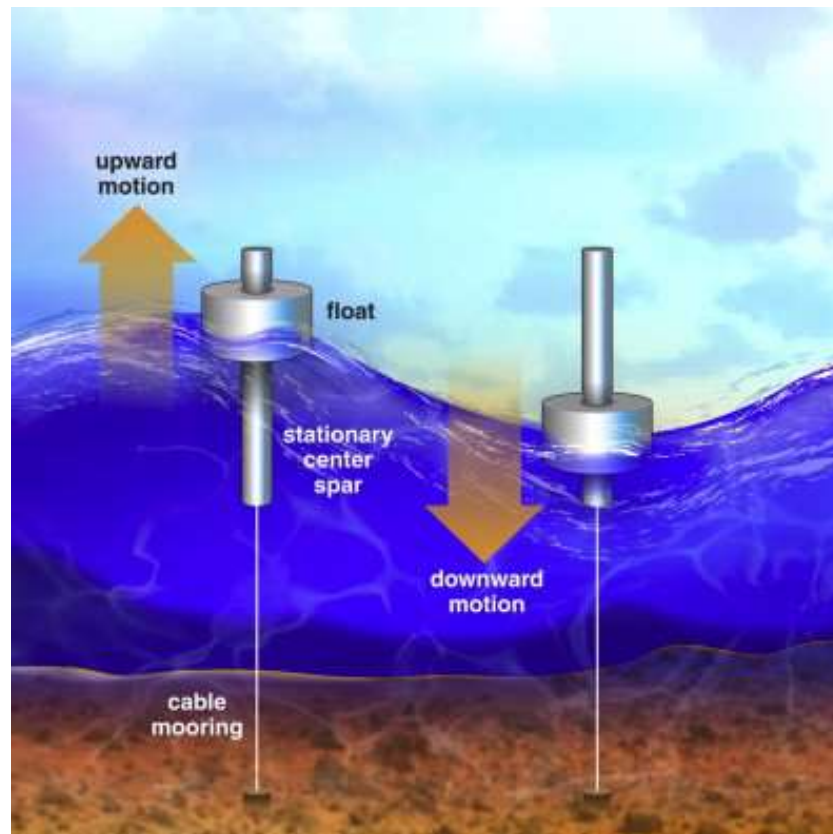
Ο εξασθενητής είναι μια πλωτή συσκευή που λειτουργεί παράλληλα με την κατεύθυνση των κυμάτων και ουσιαστικά καβαλάει τα κύματα. Αυτές οι συσκευές συλλαμβάνουν ενέργεια από τη σχετική κίνηση των δύο βραχιόνων καθώς το κύμα περνά από αυτούς (Guterres, 2020).



Εικόνα 3 Σχεδιάγραμμα του εξασθενητή https://www.linquip.com/blog/what-is-wave-energy/#What_is_a_wave_energy_converter

2) Σημειακοί απορροφητές

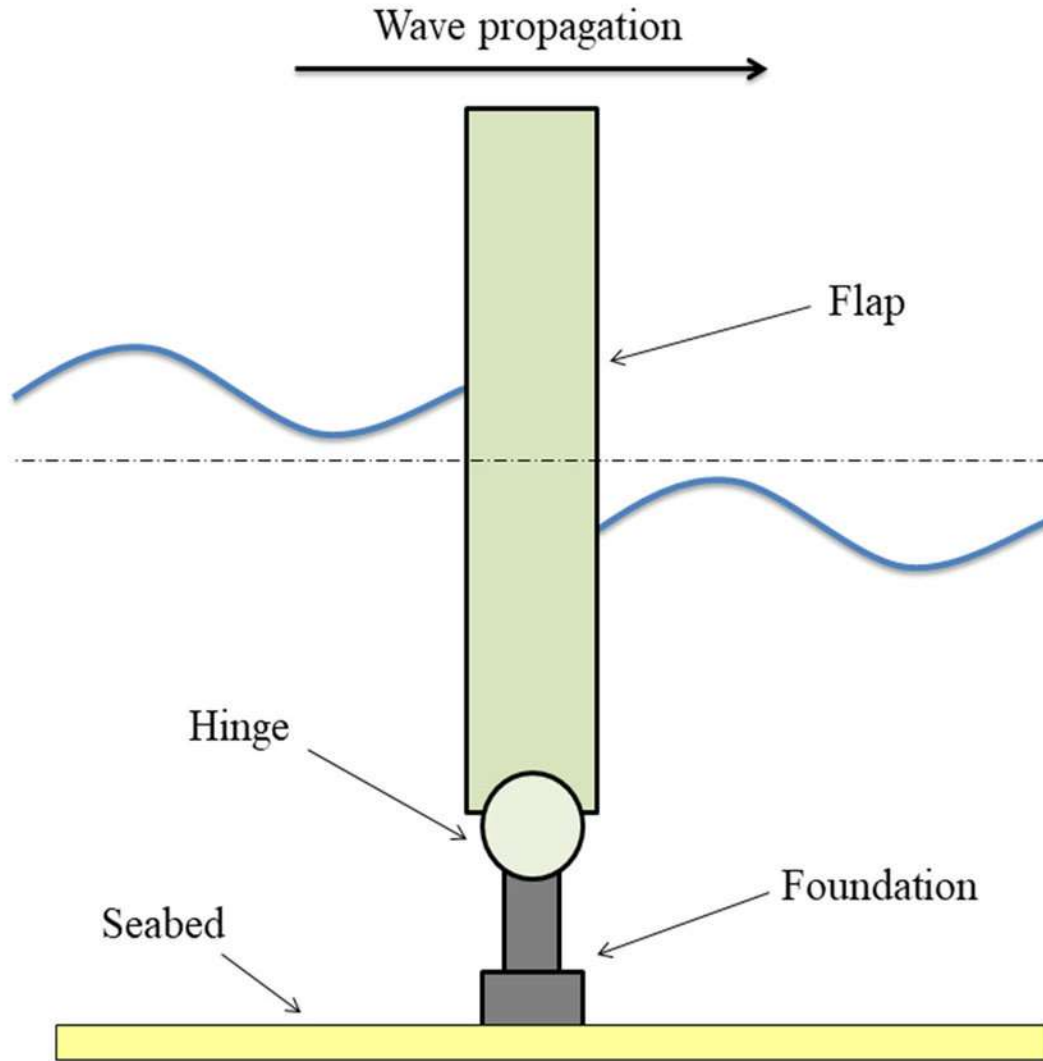
Ο σημειακός απορροφητής είναι μια πλωτή κατασκευή που απορροφά ενέργεια από όλες τις κατευθύνσεις μέσω των κινήσεών της στην/κοντά στην επιφάνεια του νερού. Μετατρέπει την κίνηση της πλωτής κορυφής σε σχέση με τη βάση σε ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα απορρόφησης ενέργειας μπορεί να λάβει διάφορες μορφές, ανάλογα με τη διαμόρφωση των εκτονωτών/αντιδραστήρων.



Εικόνα 4 Σημειακός Απορροφητής https://www.linquip.com/blog/what-is-wave-energy/#What_is_a_wave_energy_converter

3) Ταλαντευόμενος Μετατροπέας Κύματος

Οι ταλαντευόμενοι μετατροπείς κύματος αντλούν ενέργεια από τα κύματα και την κίνηση των σωματιδίων του νερού μέσα σε αυτά. Ο βραχίονας ταλαντώνεται ως εκκρεμές τοποθετημένο σε μια περιστρεφόμενη άρθρωση, ανταποκρινόμενος στην κίνηση του νερού στα κύματα (Guterres, 2020).

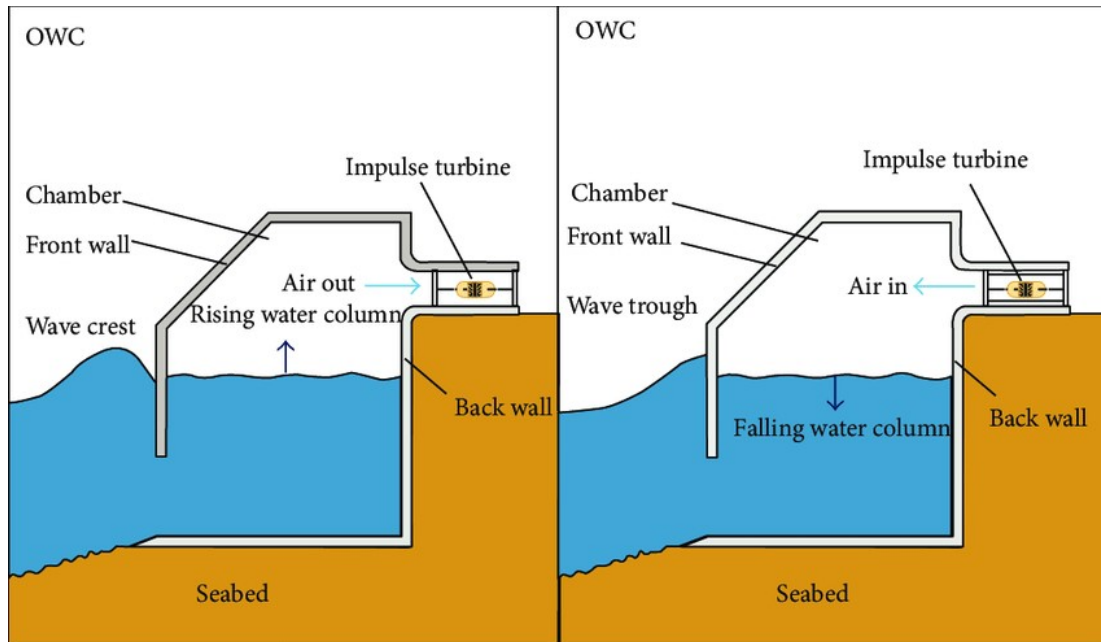


Εικόνα 5 Σχηματική απεικόνιση ενός Ταλαντευόμενου Μετατροπέα Κύματος [https://www.linquip.com/blog/what-is-wave-energy/#What is a wave energy converter](https://www.linquip.com/blog/what-is-wave-energy/#What%20is%20a%20wave%20energy%20converter)

4) Ταλάντωση υδάτινης στήλης (OWC)

Μια ταλαντευόμενη στήλη νερού είναι μια μερικώς βυθισμένη, κοίλη δομή. Είναι ανοικτή στη θάλασσα κάτω από την ίσαλο γραμμή, περικλείοντας μια στήλη αέρα πάνω από μια στήλη νερού. Τα κύματα προκαλούν άνοδο και πτώση της στήλης νερού, η οποία με τη σειρά της συμπιέζει και αποσυμπιέζει τη στήλη αέρα. Αυτός ο παγιδευμένος αέρας επιτρέπεται να ρέει προς και από την ατμόσφαιρα μέσω μιας τουρμπίνας, η οποία συνήθως μπορεί να περιστρέφεται ανεξάρτητα από την κατεύθυνση της ροής του αέρα. Η περιστροφή

του στροβίλου χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Guo & Ringwood, 2021).



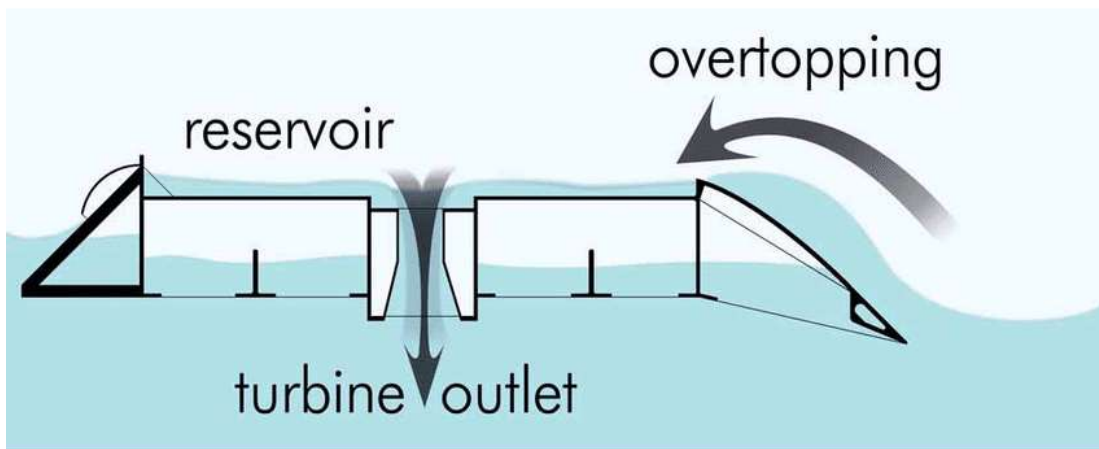
Εικόνα 6 Αρχή λειτουργίας ενός συστήματος ταλαντούμενης στήλης νερού https://www.linquip.com/blog/what-is-wave-energy/#What_is_a_wave_energy_converter

5) Συσκευή υπερπήδησης/τερματισμού

Οι συσκευές υπερπήδησης συλλαμβάνουν το νερό καθώς τα κύματα εισέρχονται σε μια δεξαμενή αποθήκευσης. Το νερό επιστρέφει στη συνέχεια στη θάλασσα περνώντας από μια συμβατική τουρμπίνα χαμηλού ύψους λειτουργίας η οποία παράγει ενέργεια. Μια συσκευή υπερπήδησης μπορεί να χρησιμοποιεί "συλλέκτες" για τη συγκέντρωση της κυματικής ενέργειας (Guo & Ringwood, 2021).



(a)

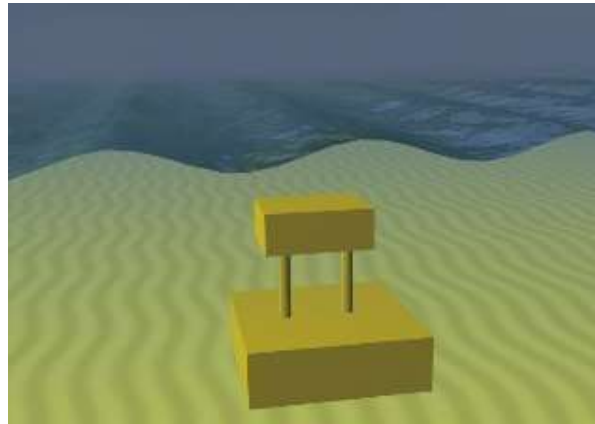


(b)

Εικόνα 7 Συσκευή υπερπήδησης https://www.linquip.com/blog/what-is-wave-energy/#What_is_a_wave_energy_converter

6) Συσκευές βυθιζόμενης διαφορεικής πίεσης

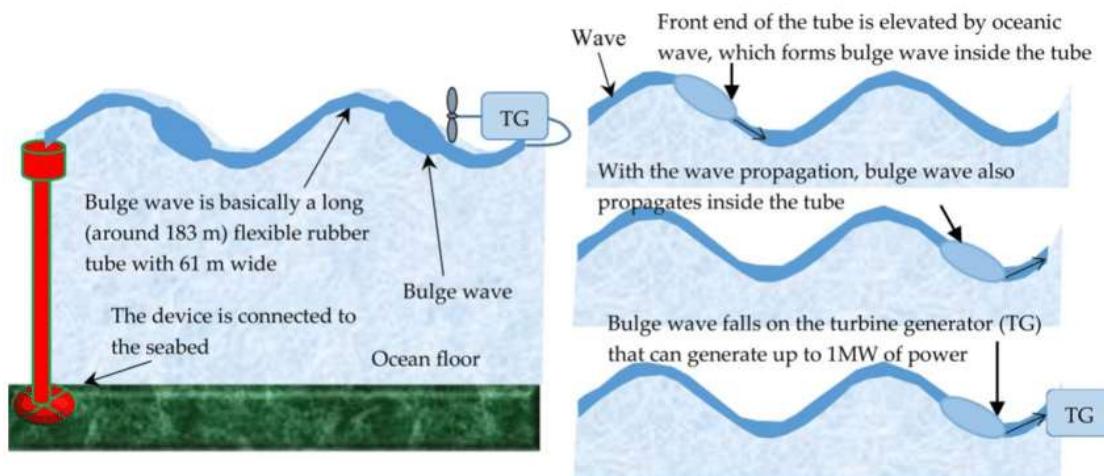
Οι συσκευές βυθιζόμενης διαφορεικής πίεσης συνήθως βρίσκονται κοντά στην ακτή και είναι προσαρτημένες στον πυθμένα της θάλασσας. Η κίνηση των κυμάτων προκαλεί την άνοδο και την πτώση της στάθμης της θάλασσας πάνω από τη συσκευή, προκαλώντας μια διαφορά πίεσης στη συσκευή. Η εναλλασσόμενη πίεση αντλεί ρευστό μέσω ενός συστήματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Guo & Ringwood, 2021).



Εικόνα 8 Απεικόνιση συσκευής βυθιζόμενης διαφορικής πίεσης <https://waveenergyconversiontamu15.weebly.com/types-of-weecs.html>

7) Διόγκωση των κυμάτων

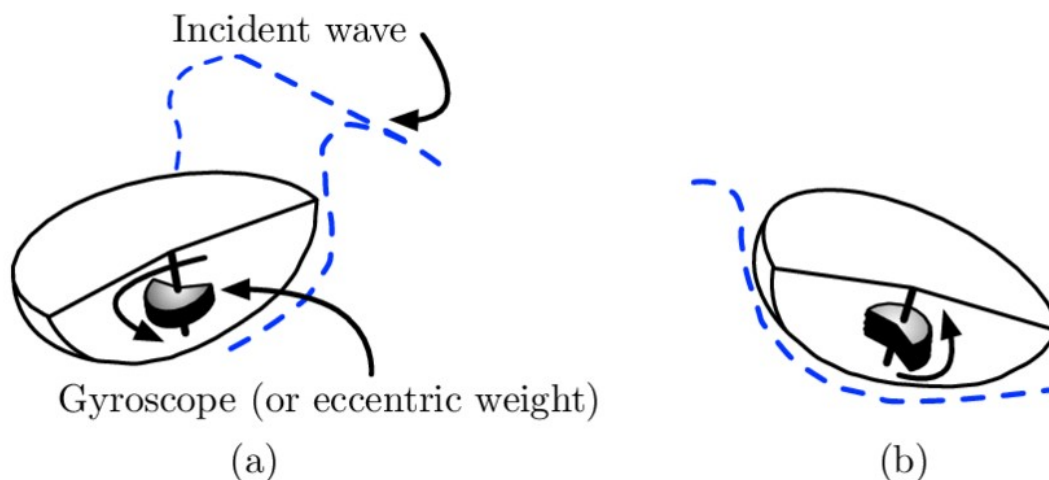
Η τεχνολογία διόγκωσης των κυμάτων αποτελείται από έναν ελαστικό σωλήνα γεμάτο με νερό, αγκυροβολημένο στον πυθμένα της θάλασσας και κατευθυνόμενο προς τα κύματα. Το νερό εισέρχεται από την πρύμνη και το διερχόμενο κύμα προκαλεί μεταβολές της πίεσης κατά μήκος του σωλήνα, δημιουργώντας μια "διόγκωση". Καθώς η διόγκωση ταξιδεύει μέσα στο σωλήνα, αυξάνεται, συγκεντρώνοντας ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση μιας τυπικής τουρμπίνας χαμηλής κεφαλής που βρίσκεται στην πλώρη, όπου το νερό επιστρέφει στη συνέχεια στη θάλασσα (Guo & Ringwood, 2021).



Εικόνα 9 Σύστημα παραγωγής ενέργειας από διόγκωση κύματος https://www.researchgate.net/figure/Bulge-wave-energy-production-system_fig10_340084822

8) Περιστρεφόμενη μάζα

Δύο μορφές περιστροφής χρησιμοποιούνται για τη σύλληψη ενέργειας από την κίνηση της συσκευής που ανεβοκατεβαίνει και ταλαντεύεται στα κύματα. Η κίνηση αυτή κινεί είτε ένα έκκεντρο βάρος είτε ένα γυροσκόπιο που προκαλεί μετάπτωση. Και στις δύο περιπτώσεις, η κίνηση συνδέεται με μια ηλεκτρική γεννήτρια στο εσωτερικό της συσκευής.



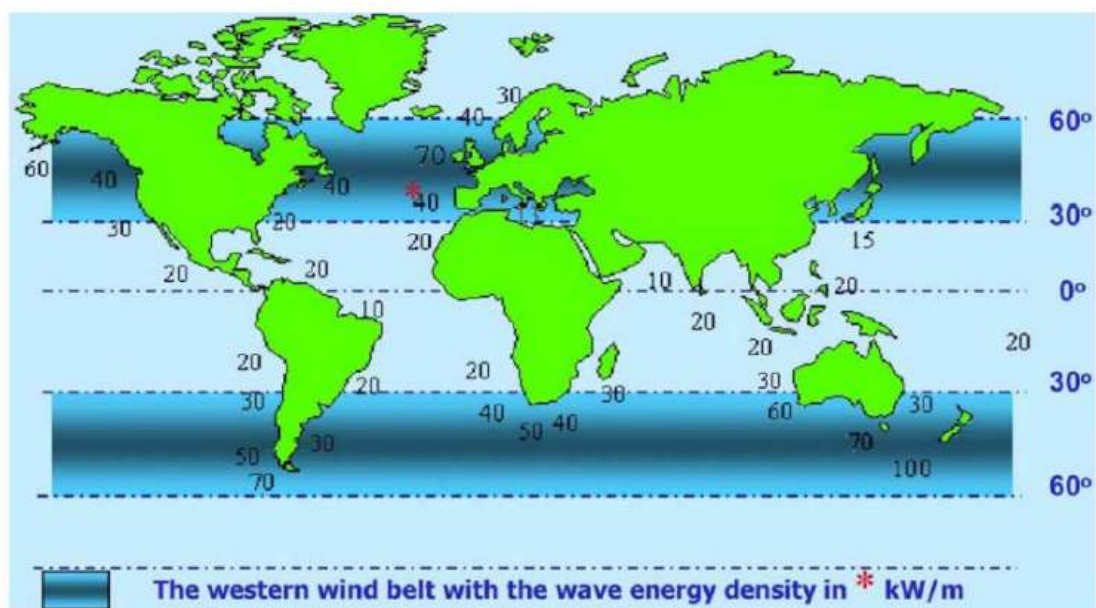
Εικόνα 10 Μετατροπές κυματικής ενέργειας περιστρεφόμενης μάζας https://www.linquip.com/blog/what-is-wave-energy/#What_is_a_wave_energy_converter

1.3 Στοιχεία κυματικού κλίματος σε Ευρώπη και Ελλάδα

Η ναυσιπλοΐα, οι τεχνικές μελέτες και οι γενικές προκλήσεις της παράκτιας διαχείρισης μπορούν να επωφεληθούν από την κατανόηση των επικρατούντων και ακραίων κυματικών συνθηκών σε μια παράκτια περιοχή. Με βάση τα δεδομένα ανέμου και κύματος από την ευρύτερη περιοχή έρευνας, καθορίζεται το κυματικό κλίμα. Το προβλεπόμενο ενεργειακό περιεχόμενο του κυματικού κλίματος μπορεί να υπολογιστεί με την κατανόηση των βασικών κυματικών παραμέτρων μιας περιοχής, όπως το τυπικό ύψος κύματος, η περίοδος αιχμής του φάσματος και η κύρια κατεύθυνση του κύματος. Το κυματικό κλίμα της Δυτικής Ευρώπης είναι ένα από τα κλίματα με το μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο παγκοσμίως (Guo & Ringwood, 2021).

Σύμφωνα με μελέτες, η περιοχή αυτή έχει εκτιμώμενο ενεργειακό περιεχόμενο περίπου 320 GW, γεγονός που την καθιστά ισοδύναμη με τις περιοχές της Νότιας Αμερικής που εκτίθενται στις καταιγίδες του Ατλαντικού. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, το ενεργειακό περιεχόμενο των κυμάτων κατά μήκος της ακτογραμμής της Δυτικής Ευρώπης είναι τόσο

υψηλό που θα μπορούσε να τροφοδοτήσει με ηλεκτρική ενέργεια ολόκληρη την ήπειρο (Brooke, 2003). Συγκεκριμένα, η μέση πυκνότητα ενέργειας των κυμάτων ανά ύψος κύματος στη δυτική Ευρώπη είναι 25 kW/m, η οποία αυξάνεται στα 75 kW/m στην Ιρλανδία και τη Σκωτία καθώς προχωρά κανείς βορειότερα. Στην περιοχή των νορβηγικών ακτών, η τιμή αυτή πέφτει σε περίπου 30 kW/m. Η κατάσταση είναι εντελώς διαφορετική στο νότο, όπου το μέσο επίπεδο πυκνότητας ενέργειας στη λεκάνη της Μεσογείου κυμαίνεται μεταξύ 4 και 11 kW/m. Οι νοτιοδυτικές περιοχές του Αιγαίου Πελάγους παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές για τη Μεσόγειο (Ιωάννου, 2013). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένας χάρτης με τη μέση ενεργειακή πυκνότητα των κυμάτων σε όλο τον κόσμο.



Εικόνα 11: Παγκόσμια κατανομή μέσης ενεργειακής πυκνότητας κυμάτων. Πηγή: Kofoed et al. 2006.

Η ενέργεια που προκαλείται από τα παλιρροιακά φαινόμενα είναι ένα δεύτερο στοιχείο του κυματικού κλίματος. Σύμφωνα με τον Κατσιφαράκη (2013), η συνολική ισχύς που χάνεται από τις παλίρροιες στη Γη είναι της τάξης των 3000 GW. Όταν συγκρίνονται οι παλιρροϊκές μεταβολές ανά την υδρόγειο, η Βόρεια Αμερική έχει το υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο (περίπου 57 GW), ενώ η Ρωσία και η Αγγλία έχουν χαμηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο (16 GW και 11 GW, αντίστοιχα), αλλά εξακολουθούν να είναι σημαντικά (Amin et al., 2022).

Παρόλο που υπάρχουν πολλά παλιρροιακά φαινόμενα στην Ευρώπη, δεν έχουν κατασκευαστεί ακόμη πολλά παλιρροιακά πάρκα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι

εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης της παλιρροιακής ενέργειας στην Αγγλία, η οποία διαθέτει το μεγαλύτερο δυναμικό παλιρροιακής ενέργειας στον κόσμο (Westwood 2004), παρέχουν περίπου 18 TWh/έτος ή το 5% των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια (Ιωάννου, 2013). Στην Ελλάδα δεν παρατηρούνται έντονα παλιρροιακά φαινόμενα, επομένως η εκμετάλλευση των κυμάτων είναι η κύρια μέθοδος για την απόκτηση ενέργειας από τη θάλασσα. Η Ελλάδα διαθέτει συνολικά περισσότερα από 16000 χιλιόμετρα ακτογραμμής, με το Αιγαίο Πέλαγος στα ανατολικά της και το Ιόνιο Πέλαγος στα δυτικά της. Ο βόρειος άνεμος, ο οποίος κυριαρχεί στο Αιγαίο Πέλαγος, παράγει υψηλά κύματα με μέση ετήσια ισχύ 4-11 kW/m (Clement et al. 2002). Το κυματικό κλίμα της Ελλάδας προβλέπεται από το σύστημα πρόγνωσης καιρού ΠΟΣΕΙΔΩΝ. Η υπεράκτια θέση στο Βόρειο Αιγαίο είχε μέγιστο ύψος κύματος 6 m κατά τη λειτουργία του συστήματος (Ιωάννου, 2013). Παρόλο που το Αιγαίο Πέλαγος είναι ένα ήρεμο υδάτινο σώμα, περιστασιακά μπορεί να υπάρχουν μεγάλα κύματα, τα οποία συμβαίνουν πιο συχνά τον τελευταίο καιρό. Η κλιματική αλλαγή ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για την πρόσφατη αύξηση του ύψους των κυμάτων στο Αιγαίο. Έχει παρατηρηθεί ότι οι νότιοι άνεμοι διαρκούν περισσότερο λόγω της κλιματικής αλλαγής. Μια παρατεταμένη νότια αύρα στο Αιγαίο μπορεί να αυξήσει σημαντικά τη στάθμη της θάλασσας στη βόρεια περιοχή της θάλασσας.

Η πιο έντονη εποχή του έτους για τις συνθήκες ανέμου και κύματος είναι από τον Νοέμβριο έως τον Φεβρουάριο. Οι εποχικοί άνεμοι εμφανίζονται το καλοκαίρι και επηρεάζουν κυρίως τις Κυκλάδες και τον Σαρωνικό κόλπο. Οι βορειοανατολικές Κυκλάδες εμποδίζουν τα κύματα και τη ροή των ανέμων που προέρχονται από τη βορειότερη περιοχή του Αιγαίου, αλλά επίσης διοχετεύουν και αυξάνουν τα πεδία των ανέμων και των κυμάτων καθώς ταξιδεύουν προς τα νοτιοανατολικά. Τα στενά μεταξύ Κάσου και Κρήτης, Κρήτης και Κυθήρων και Ρόδου και Καρπάθου παρουσιάζονται να έχουν το υψηλότερο κυματικό και αιολικό δυναμικό στο νότιο Αιγαίο (Ιωάννου, 2013). Ως εναλλακτική λύση για την κατασκευή πετρελαϊκών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, προτείνονται σταθμοί κυματικής ενέργειας ως μέσο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στα διάφορα νησιά του Αιγαίου. Αυτό εξηγείται δεδομένου ότι το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερο στα νησιά από ό,τι στην ηπειρωτική χώρα. Ως αποτέλεσμα, το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση της κυματικής ενέργειας είναι πλέον ανταγωνιστικό σε σχέση με αυτό της χρήσης παραδοσιακών πηγών. Οι εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας έχουν κατασκευαστεί στα νησιά και έχουν δείξει θετικά αποτελέσματα μέχρι στιγμής, αλλά η κυματική ενέργεια δεν έχει ακόμη χρησιμοποιηθεί στο έπακρο (Majidi et al., 2021).

1.4 Πλεονεκτήματα και περιβαλλοντική επιβάρυνση από την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας

Η ενέργεια στην Ελλάδα παρέχεται ως επί το πλείστον από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Τον Ιανουάριο 2021 η ΔΕΗ κατείχε το 67,15% μεριδίου αγοράς της ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα. Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στην Ελλάδα προέρχεται κατά κόρον από φυσικό αέριο (42% ήτοι 1998 MW), ακολουθούν οι ΑΠΕ με 741 MW ή το 16% παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ο λιγνίτης το 4% με 190 MW και τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια με 167 MW ή το 3%. Το υπόλοιπο 35%, από τη συνολική ζήτηση των 4.850 MW ή 1672 MW προέρχεται από το ισοζύγιο διασυνδέσεων (479 MW από Ιταλία, 103 MW από Αλβανία, 280 MW από Βόρεια Μακεδονία, 339 MW από Βουλγαρία και 471 MW από Τουρκία). Η κυματική ενέργεια παρουσιάζει πλεονεκτήματα έναντι του πετρελαίου, του άνθρακα και άλλων πεπερασμένων ορυκτών καυσίμων, όπως και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Majidi et al., 2021). Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα είναι ότι δεν υπάρχει θέμα εξάντλησης της ενέργειας, επειδή οι ωκεανοί καλύπτουν το 70% του πλανήτη και η επιφάνειά τους κινείται και μεταφέρει πάντα ενέργεια λόγω της πνοής των ανέμων. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Brooke (2003), η ενέργεια των κυμάτων θα μπορούσε να παρέχει το 10% των παγκόσμιων αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια. Η αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων αποτελεί λύση για τις παράκτιες περιοχές, δεδομένου ότι οι απώλειες μεταφοράς μπορούν να εξαλειφθούν και η τοπική τροφοδοσία μπορεί να διασφαλιστεί με την τοποθέτηση μικρής κλίμακας σταθμών παραγωγής ενέργειας κοντά στο σημείο κατανάλωσης (Majidi et al., 2021). Ως αποτέλεσμα, αποτελεί μια καλή επιλογή για τα νησιά που δεν είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας και έπρεπε να πληρώνουν περισσότερα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι τώρα, επειδή η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τους επιτρέπει να καλύψουν μέρος των αναγκών τους. Τα θαλάσσια κύματα είναι μια σταθερή πηγή ενέργειας, ωστόσο η έντασή τους ποικίλλει. Σύμφωνα με τον Κατσιφαράκη (2013), η μέγιστη προσφορά ενέργειας συχνά δεν αντιστοιχεί στη μέγιστη ζήτηση ενέργειας.

Αυτός είναι ο βασικός λόγος για τον οποίο οι συσκευές αυτές δεν κατασκευάζονται για να καλύπτουν πλήρως τις ενεργειακές ανάγκες μιας περιοχής, αλλά μάλλον για να λειτουργούν παράλληλα με τις τρέχουσες εγκαταστάσεις παραγωγής για να παρέχουν ένα μέρος της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας. Δεδομένου ότι τα κυματικά πρότυπα σε μια περιοχή μπορούν να προβλεφθούν, είναι δυνατή η εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης των εγκαταστάσεων (Gill 2005). Σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, των οποίων

η προσφορά είναι πιο δύσκολο να προβλεφθεί, η ακρίβεια της εκτίμησης είναι ικανοποιητική. Επιπλέον, τα θαλάσσια κύματα έχουν την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γεγονός καθοριστικό για τη χρήση τους (Majidi et al., 2021). Αυτό δείχνει ουσιαστικά ότι μπορεί να επιτευχθεί επαρκής ενεργειακή απόδοση ακόμη και με την εγκατάσταση μικροσκοπικών, προσιτών μονάδων εκμετάλλευσης.

Κατά συνέπεια, λαμβάνοντας υπόψη το οικονομικό κριτήριο -το οποίο, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, αποτελεί σημαντικό εμπόδιο τα τελευταία χρόνια λόγω της οικονομικής κρίσης- η χρήση της κυματικής ενέργειας μπορεί να αποτελέσει μια πρακτική μέθοδο παραγωγής ενέργειας. Βέβαια, θα πρέπει να αναφερθεί ότι δεν έχει ακόμη δημοσιοποιηθεί ευρέως κανένας οικονομικά βιώσιμος τρόπος αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας. Αν και πολλές μελλοντικές τεχνολογίες βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο, τα αποτελέσματα της εγκατάστασης πρωτοτύπων είναι πραγματικά ενδιαφέροντα. Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης δεν απαιτούν πολύ εξελιγμένη ή ακριβή τεχνολογία για την κατασκευή τους (Κατσιφαράκης 2013).

Οι ευφυείς τεχνολογίες που είναι σε θέση να αξιοποιήσουν πλήρως το ενεργειακό δυναμικό των κυμάτων συνδυάζονται συνήθως με απλές αρχές της υδραυλικής και της κίνησης των ρευστών. Ο μηχανικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της ενέργειας έχει συνήθως υψηλές δαπάνες. Λόγω του πολύ διαβρωτικού θαλάσσιου περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί ο εξοπλισμός, η τακτική συντήρηση είναι ζωτικής σημασίας. Καινοτόμες συσκευές με χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης αξιολογούνται ως αποτέλεσμα των συνεχιζόμενων τεχνολογικών εξελίξεων.

Τέλος, θα πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι το πετρέλαιο και ο άνθρακας είναι εισαγόμενοι πόροι στην Ελλάδα, ενώ η εγκατάσταση πυρηνικών σταθμών απαγορεύεται λόγω σεισμικής δραστηριότητας (Κατσιφαράκης, 2013). Ως εκ τούτου, η πιο πρακτική πορεία δράσης είναι η ανάπτυξη μεθοδολογιών αξιοποίησης των ΑΠΕ με ταυτόχρονο συνδυασμό των γεωγραφικών πλεονεκτημάτων της χώρας, κάτι που αποτελεί θεμελιώδες δόγμα της πράσινης ανάπτυξης της χώρας.

Σε σύγκριση με άλλες τεχνικές παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα, η αξιοποίηση του δυναμικού των κυμάτων για την παραγωγή ενέργειας έχει τις λιγότερες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ιδίως όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Βαρελογιάννη, 2009). Η ενσωμάτωση των συσκευών στο φυσικό περιβάλλον αποτελεί επίσης σημαντικό πλεονέκτημα. Ο κύριος όγκος των εγκαταστάσεων κυματικής

ενέργειας συχνά ενσωματώνεται στην παραλία ή στο θαλάσσιο περιβάλλον, ώστε να αξιοποιείται η φυσική κίνηση του θαλάσσιου νερού και όχι να αποτελούν ογκώδεις, ενοχλητικές κατασκευές. Τα ελληνικά νησιά, τα οποία είναι δημοφιλείς τουριστικοί προορισμοί και γραφικές τοποθεσίες, δίνουν μεγάλη σημασία στην ενσωμάτωση με το έδαφος. Για να εξασφαλίσουν το απαραίτητο βάθος για την πρόσπτωση των κυμάτων, οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας κοντά στην ακτή είναι συνήθως τεχνικά έργα που είτε ενσωματώνονται σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως κυματοθραύστες, λιμάνια κ.λπ. είτε τοποθετούνται σε βραχώδεις ακτές που δεν είναι κατάλληλες για τουρισμό. Όπου είναι απαραίτητο, τα έργα προστασίας των ακτών μπορούν επίσης να συνδυαστούν με συσκευές κυματικής ενέργειας. Σύμφωνα με τους Costanza και συν. (1997), η παράκτια περιοχή φιλοξενεί μια σημαντική οικολογία που πρέπει να προστατευθεί.

Πριν από την εγκατάσταση μιας εγκατάστασης εκμετάλλευσης στην παράκτια ζώνη θα πρέπει να γίνεται ενδελεχής μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως συμβαίνει με όλα τα έργα παράκτιας μηχανικής. Θα πρέπει να προβλεφθούν οι επιπτώσεις του έργου στο παράκτιο οικοσύστημα κατά τη διάρκεια της κατασκευής και της λειτουργίας. Παρόλα αυτά, οι μέχρι σήμερα έρευνες έχουν αποδείξει ότι οι παράκτιες ενεργειακές εγκαταστάσεις μπορούν να συνυπάρξουν ειρηνικά με το οικοσύστημα (Mann 2000). Σε κάθε περίπτωση, πριν από την κατασκευή ενός σταθμού κυματικής ενέργειας, θα πρέπει να γίνεται ενδελεχής εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

2^ο Κεφάλαιο: Αξιοποίηση ενέργειας από τη θάλασσα

Η παλιρροιακή ενέργεια, η ενέργεια των θαλάσσιων ρευμάτων και η ενέργεια των κυμάτων είναι οι τρεις τύποι ενέργειας του θαλάσσιου νερού. Δεδομένου ότι το φεγγάρι είναι κυρίως υπεύθυνο για τις παλίρροιες, η παλιρροιακή ενέργεια αναφέρεται επίσης ως σεληνιακή ενέργεια (Rusu και Onca, 2016). Η πλευρική πρόσπτωση των κυμάτων στις ακτές προκαλεί τα ρεύματα, τα οποία είναι κατά κύριο λόγο κυματικής προέλευσης, ~~να~~ κατέχουν σημαντικά αποθέματα ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Οι άνεμοι είναι υπεύθυνοι για την κυματική ενέργεια, επειδή μέρος της ενέργειάς τους μεταφέρεται στο νερό καθώς πνέουν στην επιφάνεια της θάλασσας. Τέλος, έχουν καταβληθεί προσπάθειες να χρησιμοποιηθεί η θερμότητα του νερού για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών διατήρησης ενέργειας (Zhang et al., 2009).

2.1 Εκμετάλλευση παλιρροιακής ενέργειας

Οι πρώτες επιτυχημένες προσπάθειες παραγωγής ενέργειας από το νερό αφορούσαν την αξιοποίηση του παλιρροϊκού φαινομένου. Η επιτυχία αυτή οφείλεται πιθανότατα στους παραλληλισμούς μεταξύ της λειτουργίας των υδροηλεκτρικών εργοστασίων και αυτής της τεχνικής (Pontes-Falcao 2001). Η παλίρροια παρέχει επίσης μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας ως αποτέλεσμα της περιοδικότητας του φαινομένου (O'Rourke et al. 2010). Το 1967, στον κόλπο La Rance στη βορειοδυτική Γαλλία άρχισε να λειτουργεί η πρώτη και μεγαλύτερη μονάδα, η οποία είχε εγκατεστημένη ισχύ 240 MW (Majidi et al., 2021).

3 TW είναι η αναμενόμενη συνολική δυναμικότητα παλιρροιακής ενέργειας (Κατσιφαράκης, 2013). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ακτές όπου τα παλιρροιακά φαινόμενα είναι έντονα και μοιάζει σε πολλά σημεία με τη χρήση υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η παλιρροιακή διακύμανση στην περιοχή πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 5 μέτρα για να είναι η αξιοποίηση ενεργειακά αποδοτική (O'Rourke et al. 2010). Ο κόλπος La Rance στη βορειοδυτική Γαλλία, ο κόλπος Severn στη νοτιοδυτική Αγγλία και ο κόλπος Fundy στον ανατολικό Καναδά είναι μέρη με σημαντικά παλιρροϊκά φαινόμενα. Το εύρος της παλίρροιας σε αυτά τα μέρη υπερβαίνει τα 14 μέτρα (Pontes-Falcao 2001). Λόγω των ασθενών παλιρροιακών φαινομένων στην Ελλάδα, η παλιρροιακή ενέργεια δεν είναι σημαντική (Κατσιφαράκης, 2013).

Η ενέργεια μπορεί να παραχθεί είτε κατά τη φάση της παλίρροιας (αύξηση της στάθμης του νερού), είτε κατά τη φάση της άμπωτης (μείωση της στάθμης του νερού), είτε και κατά τις δύο φάσεις. Κατά μήκος του κόλπου κατασκευάζεται ένα φράγμα με ελεγχόμενες κλειδαριές και γεννήτριες χαμηλής υψομετρικής διαφοράς για μια συμβατική διαμόρφωση αξιοποίησης της παλιρροιακής ενέργειας (O'Rourke et al. 2010). Οι πύλες από τις οποίες περνάει το νερό είναι σχεδιασμένες να ανοίγουν και να κλείνουν ανάλογα με την τεχνική παραγωγή που χρησιμοποιείται. Κατά τη φάση της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, το εισερχόμενο νερό ρέει ελεύθερα μέσω των ανοικτών πυλών και συγκεντρώνεται πίσω από το φράγμα για να παράγει ενέργεια κατά την άμπωτη. Οι πύλες είναι κλειστές και το νερό συγκρατείται πίσω από το φράγμα όταν φτάσει στην υψηλότερη κορυφή του. Στη συνέχεια, οι πύλες ανοίγουν αφού η στάθμη του νερού έξω από το φράγμα υποχωρήσει αρκετά ώστε να είναι επαρκής η διαφορά υδραυλικού φορτίου μεταξύ του αποθηκευμένου νερού και της ανοικτής θάλασσας. Οι γεννήτριες χαμηλής υψομετρικής διαφοράς που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του νερού από τους υδατοφράκτες (Κατσιφαράκης, 2013).

Αντίθετα, οι υδατοφράκτες παραμένουν κλειστοί κατά την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και ανοίγουν μόνο όταν υπάρχει σημαντική διαφορά στη στάθμη του νερού μεταξύ του νερού εντός και εκτός του φράγματος (O'Rourke et al. 2010). Αυτό γίνεται προκειμένου να παράγεται ενέργεια κατά την παλίρροια. Η προηγούμενη στρατηγική είναι πιο αποτελεσματική από αυτή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η παραγόμενη ενέργεια είναι χαμηλότερη στην αρχή της περιόδου λειτουργίας, καθώς η λεκάνη γεμίζει πιο γρήγορα και τα διάφορα υδραυλικά φορτία εξαντλούνται πιο γρήγορα. Επιπλέον, η στάθμη της λεκάνης είναι χαμηλή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, γεγονός που δεν είναι καλό για την κυκλοφορία των σκαφών και το περιβάλλον γύρω από τη λεκάνη (Κατσιφαράκης, 2013). Και τέλος, η ενέργεια μπορεί να παραχθεί καθ' όλη τη διάρκεια και των δύο σταδίων της παλίρροιας. Το πλεονέκτημα αυτού του σεναρίου είναι ότι ελαχιστοποιείται ο χρόνος αδράνειας των γεννητριών (O'Rourke et al. 2010). Το μειονέκτημα είναι ότι απαιτούνται πιο ακριβά μηχανήματα, όπως τουρμπίνες που αξιοποιούν και τα δύο ρεύματα νερού (Majidi et al., 2021).

Η κατασκευή του φράγματος που απομονώνει τη λεκάνη του κόλπου αποτελεί τη μεγαλύτερη πρόκληση για την ανάπτυξη ενός παλιρροϊκού σταθμού παραγωγής ενέργειας. Σύμφωνα με τον Pontes-Falcao (2001), προτιμώνται θέσεις όπου το βάθος και το μήκος του φράγματος δεν θα είναι υπερβολικά μεγάλο. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της

τεχνολογίας είναι το πόσο δύσκολη και χρονοβόρα είναι η κατασκευή του φράγματος. Επιπλέον, το αρχικό κόστος κατασκευής της μονάδας είναι αρκετά υψηλό. Λόγω του υψηλού κόστους και της χρονοβόρας διαδικασίας κατασκευής, δεν αναλαμβάνονται μεγάλα σχέδια εκμετάλλευσης της παλίρροιας, παρά τη μεγάλη διάρκεια ζωής του έργου (αναμενόμενη διάρκεια ζωής 120 έτη για το φράγμα και 40 έτη για τον εξοπλισμό) (Pontes-Falcao 2001). Η εγκατάσταση έχει σχετικά μικρή επίδραση στο περιβάλλον, όπως είναι τυπικό για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο, μετά την κατασκευή του φράγματος παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές στο οικοσύστημα της λεκάνης (O'Rourke et al. 2010).

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η κατασκευή του φράγματος παρεμπόδισε τη ροή ρεύματος στον κόλπο, με αποτέλεσμα την επίχωση ή/και τη διάβρωση στις κοντινές περιοχές. Ως εκ τούτου, πριν από την κατασκευή ενός τέτοιου έργου απαιτείται ενδελεχής μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Το Ηνωμένο Βασίλειο είναι πρωτοπόρο στη χρήση της παλιρροιακής ενέργειας και έχει δημιουργήσει μια σειρά από πειραματικές τεχνικές εκμετάλλευσης, συμπεριλαμβανομένων των Stingray, SeaGen και TideI (Westwood 2004). Οι συσκευές αυτές είναι πρωτότυπα και διεξάγεται έρευνα για να καθοριστεί ο τρόπος εμπορικής χρήσης τους.

2.2 Εκμετάλλευση ενέργειας θαλάσσιων ρευμάτων

Τα ωκεάνια ρεύματα, τα οποία καθοδηγούνται από μια συρροή παραγόντων όπως οι παλίρροιας, ο άνεμος, η ατμοσφαιρική πίεση, η θερμοκρασία και οι διαφορές αλατότητας, συμβάλλουν σημαντικά στις προοπτικές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Κουτίτας, 1998). Η περίπλοκη αλληλεπίδραση αυτών των δυνάμεων δημιουργεί ρεύματα που ποικίλλουν ως προς τη φύση και τη χρονική κλίμακα. Τα θαλάσσια ρεύματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορους τύπους: παλιρροιακά ρεύματα, ρεύματα που προκαλούνται από τον άνεμο, ρεύματα που προκαλούνται από την πυκνότητα και ρεύματα που προκαλούνται από τα κύματα. Τα παλιρροϊκά ρεύματα, που ορίζονται από την περιοδικότητά τους, αναδεικνύονται ως μια ιδιαίτερα βιώσιμη πηγή ενέργειας λόγω της προβλέψιμης εμφάνισής τους. Ενώ τα ρεύματα κύματος και τα ρεύματα πυκνότητας παρουσιάζουν υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο, η προβλεψιμότητα που προσφέρουν τα παλιρροϊκά ρεύματα υπερτερεί της ενεργειακής τους πυκνότητας. Η ταχύτητα και η γεωμετρία του πυθμένα μιας περιοχής επηρεάζουν το ενεργειακό δυναμικό αυτών των ρευμάτων (Bahaj et al., 2007).

Η ενέργεια των ωκεάνιων ρευμάτων μπορεί να αξιοποιηθεί μέσω καινοτόμων μηχανισμών, οι οποίοι συνήθως περιλαμβάνουν την ανάπτυξη στροβίλων είτε σε πλωτές πλατφόρμες είτε σε σταθερές συσκευές στον πυθμένα της θάλασσας. Η προσέγγιση αυτή εισάγει ελάχιστη περιβαλλοντική διαταραχή, διατηρώντας τη φυσική ισορροπία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων (Schönborn και Chantzidakis, 2007). Η θεμελιώδης αρχή λειτουργίας έχει τις ρίζες της στη δημιουργία στροβίλων όταν ένα σώμα βυθίζεται σε ένα υδάτινο ρεύμα. Αυτοί οι στρόβιλοι αποκολλώνται περιοδικά, δημιουργώντας άνιση κατανομή πίεσης στο βυθισμένο σώμα, με αποτέλεσμα την ταλάντωση (Κατσιφαράκης, 2013).

Οι στρατηγικές ανάπτυξης για την εκμετάλλευση των ωκεάνιων ρευμάτων συχνά περιλαμβάνουν την τοποθέτηση εξειδικευμένων στροβίλων σε περιοχές πλούσιες σε ρεύματα. Οι τουρμπίνες εκμετάλλευσης παλιρροϊκών ρευμάτων, οι κύριες συσκευές που χρησιμοποιούνται, αποτελούνται συνήθως από έναν ρότορα που συνδέεται με πτερύγια (συνήθως 3 ή 4), ένα κιβώτιο ταχυτήτων και μια γεννήτρια. Εμφανίζονται δύο εξέχουσες διαμορφώσεις: υποβρύχιες μηχανές οριζόντιου άξονα, όπου τα πτερύγια ευθυγραμμίζονται παράλληλα με τη ροή του νερού, και υποβρύχιες μηχανές κάθετου άξονα, με πτερύγια κάθετα προς τη διεύθυνση της ροής (Schönborn και Chantzidakis, 2007).

Αυτή η τεχνολογία, που εξελίσσεται την τελευταία δεκαετία, μοιράζεται ομοιότητες με τις ανεμογεννήτριες, αλλά επωφελείται από την αξιοπιστία που απορρέει από τον προβλέψιμο παλιρροϊκό κύκλο (Bahaj et al., 2007). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ενεργειακή πυκνότητα των θαλάσσιων ρευμάτων είναι περίπου 500 W/m^2 (Ιωάννου, 2013). Παρ' όλα αυτά, το πυκνότερο θαλάσσιο περιβάλλον αυξάνει την αντίσταση που αντιμετωπίζουν τα πτερύγια των ανεμογεννητριών, γεγονός που καθιστά αναγκαίο τον προσεκτικό σχεδιασμό για την προσαρμογή στον τροποποιημένο αριθμό Reynolds σε σύγκριση με τις ανεμογεννήτριες (O'Rourke et al., 2010).

Για τη βέλτιστη εγκατάσταση, οι ανεμογεννήτριες των πάρκων τοποθετούνται ιδανικά σε απόσταση περίπου 1 χλμ. από την ακτογραμμή, όπου το βάθος του νερού κυμαίνεται από 20 έως 30 μέτρα. Στις πρωτοποριακές προσπάθειες περιλαμβάνεται η εγκατάσταση της πρώτης παλιρροϊκής τουρμπίνας 300 kW στο Lynmouth της Αγγλίας το καλοκαίρι του 2003. Οι μεταγενέστεροι σχεδιασμοί, όπως η διάταξη DeltaStream, εισήγαγαν καινοτομίες όπως οι τριγωνικές βάσεις για αυξημένη σταθερότητα (O'Rourke et al., 2010).

2.3 Εκμετάλλευση θερμότητας ωκεανών

Οι ωκεανοί, που καλύπτουν το 71% της επιφάνειας της Γης, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην απορρόφηση σημαντικού μέρους της ηλιακής ενέργειας (Etemadi et al., 2011). Η προσπάθεια αξιοποίησης αυτής της τεράστιας ωκεάνιας δεξαμενής θερμότητας έδωσε το έναυσμα για τη μετατροπή θερμικής ενέργειας των ωκεανών (Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC). Τα θεμέλια της παραγωγής ενέργειας OTEC στηρίζονται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του επιφανειακού θαλασσινού νερού και του βόθους του, συνήθως γύρω στα 1000 μέτρα. Οι θερμοκρασίες του επιφανειακού νερού κυμαίνονται από 22-27°C, ενώ σε βάθος 1 km αποκαλύπτονται θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 4-7°C, με τις περιοχές του ισημερινού να εμφανίζουν τις πιο έντονες διαφορές, που περιστασιακά ξεπερνούν τους 20°C (Κατσιφαράκης, 2013).

Οι εγκαταστάσεις OTEC μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να είναι πλωτές, τοποθετημένες στον πυθμένα ή ακόμη και χερσαίες. Αυτή η καινοτόμος προσέγγιση μπορεί να εφαρμοστεί μέσω δύο διαφορετικών μεθόδων: τα συστήματα παραγωγής ανοικτού και κλειστού βρόχου (Κατσιφαράκης, 2013). Επιπλέον, η παραγόμενη παραγωγή ενέργειας μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μόνη της ή σε συνδυασμό με την αφαλάτωση νερού. Ο μηχανισμός κλειστού βρόχου περιλαμβάνει τη χρησιμοποίηση του θερμού επιφανειακού νερού για την εξάτμιση ενός δευτερεύοντος πτητικού ρευστού, όπως η αμμωνία ή το φρέον, σε έναν εναλλάκτη θερμότητας. Ο παραγόμενος ατμός κινεί έναν στρόβιλο, σε συνδυασμό με μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η επακόλουθη συμπίεση του θερμαινόμενου ατμού διευκολύνεται από έναν άλλο εναλλάκτη θερμότητας, χρησιμοποιώντας κρύο νερό βαθιάς θάλασσας. Ο κύκλος αυτός διαιωνίζεται με το συμπυκνωμένο πτητικό υγρό να επιστρέφει στον εξατμιστή (Κατσιφαράκης, 2013).

Αντίθετα, το σύστημα ανοικτού κύκλου συνεπάγεται την άντληση θερμού επιφανειακού νερού σε θάλαμο κενού, την πρόκληση εξάτμισης και στη συνέχεια την κίνηση ενός στρόβιλου με τον παραγόμενο ατμό. Το ψυχρότερο νερό από τα βαθύτερα στρώματα του ωκεανού χρησιμεύει για τη συμπύκνωση του ατμού. Το σύστημα αυτό δεν προσφέρει μόνο παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και τη δυνατότητα ταυτόχρονης αφαλάτωσης (Etemadi et al., 2011).

Η αξιοποίηση της θερμότητας των ωκεανών βρίσκει ιδιαίτερη σημασία στις νησιωτικές περιοχές του ισημερινού. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα έγκειται στις ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με τα συστήματα OTEC (Etemadi et al., 2011).

Ωστόσο, η δαπανηρή κατασκευή και οι προκλήσεις που δημιουργεί η σημαντική ροή αλμυρού νερού που απαιτείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχουν τοποθετήσει την εφαρμογή της OTEC σε πειραματικό στάδιο. Η περαιτέρω έρευνα είναι επιτακτική για την εξακρίβωση μιας βιώσιμης και οικονομικά αποδοτικής λύσης (Etemadi et al., 2011).

3^ο Κεφάλαιο: Υπό λειτουργία Μετατροπείς Κυματικής Ενέργειας

Αν και η τεχνολογία μετατροπής της κυματικής ενέργειας έχει αναπτυχθεί και δοκιμαστεί εδώ και περίπου τρεις δεκαετίες, σε αντίθεση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεν έχει ακόμη φτάσει σε εμπορική ωριμότητα. Αυτό είναι αποτέλεσμα του δύσκολου και εχθρικού θαλάσσιου περιβάλλοντος στο οποίο πρέπει να λειτουργεί. Η Βόρεια Θάλασσα και ο Ατλαντικός είναι τα κύρια πεδία δοκιμών για τις συσκευές αυτές, αλλά το ενδιαφέρον γι' αυτές δεν έχει εκλείψει και αρκετές έχουν περάσει το αρχικό πειραματικό στάδιο και τώρα εγκαθίστανται εκεί ως βιομηχανικά πρωτότυπα πλήρους κλίμακας (Lopez et al., 2013).

3.1 Pelamis

Η Pelamis Wave Power Ltd, που ιδρύθηκε στο Εδιμβούργο το 1998, είναι η εταιρεία που βρίσκεται πίσω από τον μετατροπέα κυματικής ενέργειας Pelamis. Πήρε το όνομά του από ένα θαλάσσιο φίδι που ζει σε τροπικά νερά και έχει επιστημονική ονομασία. Πρόκειται για έναν μετατροπέα του είδους του εξασθενητή. Σύμφωνα με τους Lopez και συν. (2013), πρόκειται για μια αρθρωτή συσκευή που αποτελείται από διάφορα σωληνοειδή μέρη που ενώνονται με ελεύθερες αρθρώσεις.

Με υδραυλικούς κυλίνδρους, συσσωρευτές υψηλής πίεσης και έναν κινητήρα συνδεδεμένο με γεννήτρια, κάθε μέρος διαθέτει το δικό του μηχανισμό μετατροπής ενέργειας.



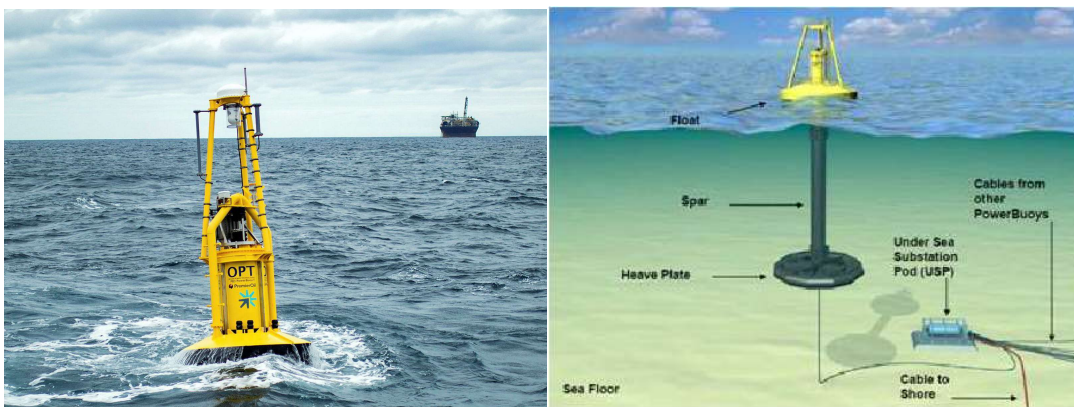
Εικόνα 12 <https://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/pelamis-wave-power/>

Το Pelamis μπορεί να στρέφεται έτσι ώστε να διατηρείται πάντα παράλληλο προς την κατεύθυνση των κυμάτων χάρη στη χαλαρή πρόσδεση μόνο του ενός άκρου του και στον

επιμήκη σχεδιασμό του. Απορροφά ενέργεια σε όλο το μήκος του και έχει στενή μετωπική διατομή. Με αυτόν τον τρόπο, το πλάτος σύλληψης της συσκευής είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το πραγματικό πλάτος της. Το Pelamis είναι κατασκευασμένο για να εγκατασταθεί υπεράκτια σε βαθιά νερά. Παράγεται εγχώρια υπό ασφαλείς συνθήκες. Είναι ζωτικής σημασίας για την αξιοπιστία της συσκευής το γεγονός ότι βασίζεται σε δοκιμασμένη στο χρόνο τεχνολογία (Lopez et al., 2013).

3.2 PowerBuoy

Είναι ένας τύπος σημειακού απορροφητή γνωστός ως μετατροπέας κυματικής ενέργειας. Παράγεται από την αμερικανική επιχείρηση Ocean Power Technologies, η οποία ιδρύθηκε στο Νιου Τζέρσεϊ το 1984. Η επιχείρηση παρήγαγε αρχικά εξοπλισμό σχετικά χαμηλής ισχύος στην περιοχή των 40 kW με επίκεντρο την αγορά για αυτόνομες θαλάσσιες εφαρμογές, όπως η θαλάσσια ασφάλεια, οι επιχειρήσεις πετρελαίου και η ωκεανογραφική έρευνα. Τα τελευταία χρόνια η επιχείρηση επεκτάθηκε προς την παραγωγή συσκευών μεγαλύτερης ισχύος. Ενώ μια συσκευή με την ονομασία PowerTower ή Mark-4, ονομαστικής ισχύος 500 kW, βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης, έχει ήδη αναπτύξει την PB150, μια συνδεδεμένη συσκευή με ονομαστική ισχύ 150 kW, από το 2012 (Lopez et al., 2013).



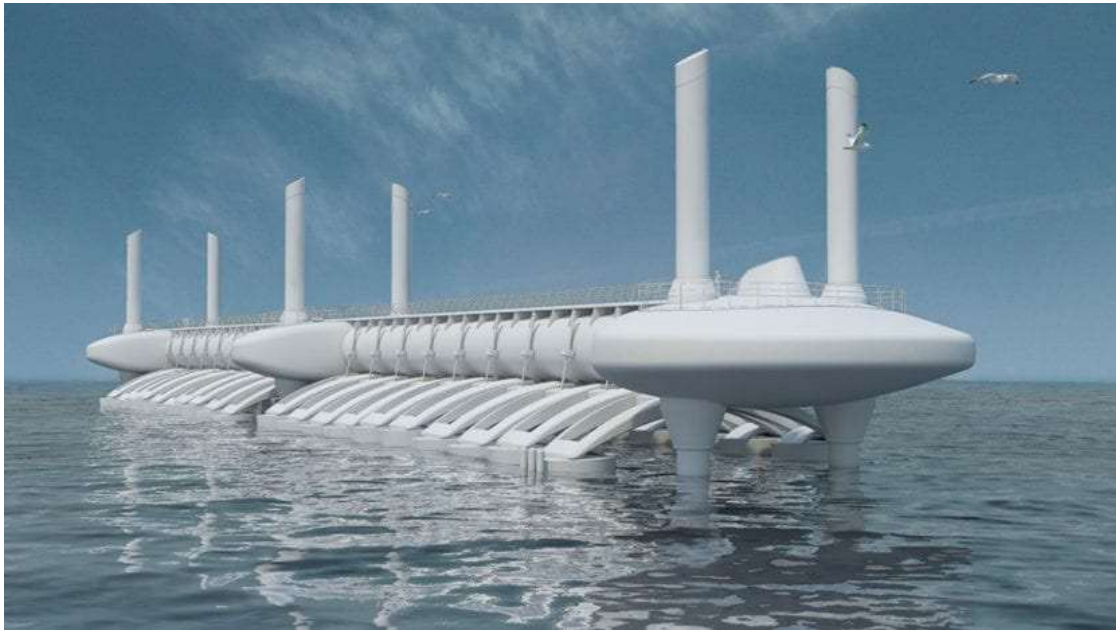
Εικόνα 13 https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-operation-of-PowerBuoy-wave-technology_fig7_262116355

Αυτές οι συσκευές μοιάζουν με πλωτές σημαδούρες που είναι δεμένες στον πυθμένα και κινούνται σε απόκριση των κυμάτων. Αποτελούνται από μια πλάκα, έναν πόλο και ένα πλωτό στοιχείο. Τα κύματα προκαλούν την άνοδο και την πτώση του πλωτού συστατικού.

Ένα μηχανικό σύστημα είναι τοποθετημένο στον πόλο και κινείται από τη σχετική κίνηση της πλωτής σηματοδούρας και του πόλου, ο οποίος διατηρείται σταθερός από τις δυνάμεις που δημιουργούνται από την ανυψωτική πλάκα. Αυτή η τεχνολογία κινεί μια ηλεκτρική γεννήτρια μετατρέποντας τη γραμμική κίνηση σε περιστροφική. Στον πόλο υπάρχει χώρος για μπαταρίες ώστε να διατηρείται η τροφοδοσία της συσκευής PowerBuoy ακόμη και κατά τη διάρκεια παρατεταμένων περιόδων απουσίας κυμάτων. Το μέγεθος του πλωτού στοιχείου είναι καθοριστικό για τον τρόπο με τον οποίο κινούνται αυτά τα τεχνολογικά στοιχεία. Εάν το πλωτό τμήμα είναι μεγαλύτερο από το ένα πέμπτο του μήκους των κυμάτων με τα οποία αλληλεπιδρά, η ανοδική κίνηση του μετατροπέα μπορεί να μειωθεί σημαντικά, γεγονός που προφανώς επηρεάζει την αποτελεσματικότητά του. Οι αναλογίες του PB150 υποδεικνύουν ότι τα μακρά κύματα είναι μια καλή εφαρμογή για αυτό (Lopez et al., 2013).

3.3 WaveStar

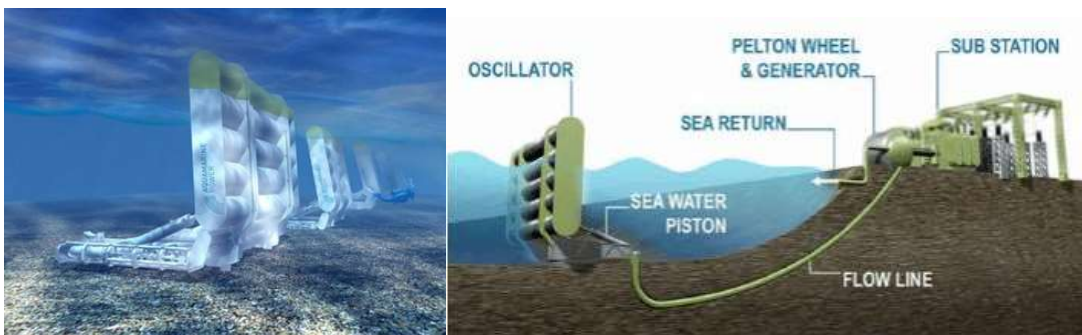
Το WaveStar είναι ένας απορροφητής που μετατρέπει την κυματική ενέργεια και βρίσκεται στα ανοικτά μεταξύ 10 και 20 χιλιομέτρων από την ακτογραμμή. Από το 2000, η Wave Star Energy το παράγει. Οι Niels και Keld Hansen είναι οι δημιουργοί της σχεδιαστικής ιδέας της συσκευής. Συλλαμβάνει την ενέργεια ολόκληρου του μήκους κύματος χάρη στο δημιουργικό σχεδιασμό της. Αποτελείται από μια μακριά, λεπτή πλατφόρμα με 20 ημισφαιρικές σηματοδούρες τοποθετημένες σε κάθε πλευρά, μέρος της οποίας είναι βυθισμένο στο νερό. Σε κάθε σηματοδούρα είναι προσαρτημένος ένας υδραυλικός κύλινδρος. Οι σηματοδούρες θα ανυψώνονται η μία μετά την άλλη καθώς περνούν τα κύματα και υδραυλικό υγρό υπό πίεση θα μεταφέρεται στο σύστημα μετάδοσης. Με αυτόν τον τρόπο, θα παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από έναν υδραυλικό κινητήρα συνδεδεμένο με μια ηλεκτρική γεννήτρια (Mueller et al., 2018).



Εικόνα 14 <https://www.renovablesverdes.com/en/uninterrupted-wave-energy-wavestar/>

3.4 Oyster

Πρόκειται για έναν μετατροπέα κυματικής ενέργειας που δημιουργήθηκε από την Aquamarine Power με έδρα το Εδιμβούργο, η οποία ιδρύθηκε το 2005. Αποτελεί παράδειγμα μετατροπέα ταλαντευόμενων κυμάτων. Μοιάζει με μια λεπίδα με μεντεσέ που στερεώνεται σε μια βάση που εγκαθίσταται στο κάτω μέρος. Βασικά λειτουργεί ως μια ευμεγέθους αντλία που ενεργοποιείται από τα κύματα. Υπό τη δύναμη των κυμάτων, το πτερύγιο, το οποίο είναι βυθισμένο στο μεγαλύτερο μέρος του, ταλαντεύεται μπρος-πίσω, ενεργοποιώντας δύο υδραυλικά έμβολα. Τα έμβολα λειτουργούν έναν υδραυλικό κινητήρα που είναι συνδεδεμένος με μια ηλεκτρική γεννήτρια, πιέζοντας νερό υψηλής πίεσης μέσω ενός σφραγισμένου κυκλώματος (Mueller et al., 2018).



Εικόνα 15 https://www.researchgate.net/figure/Oyster-wave-energy-converter-17_fig4_345672803

Αφού προσκρούσει στα κύματα, το πτερύγιο της συσκευής συλλαμβάνει την ενέργειά τους και τη μετατρέπει σε ροπή που στη συνέχεια παρέχεται στα υδραυλικά έμβολα. Η συσκευή τοποθετείται συχνά σε παράκτιες τοποθεσίες μεταξύ 0,5 και 1 km από την παραλία, σε βάθος 10-15 m. Η γεννήτρια και ο κινητήρας τοποθετούνται στην ακτή. Το Oyster 1 με ονομαστική ισχύ 315 kW ήταν η πρώτη συσκευή μεγάλης κλίμακας αυτού του τύπου και εγκαταστάθηκε το 2009 στις εγκαταστάσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου Έρευνας και Ανάπτυξης Θαλάσσιας Ενέργειας (Mueller et al., 2018).

3.5 WaveRoller

Το WaveRoller είναι ένας μετατροπέας ταλαντευόμενων κυμάτων που κατασκευάζεται από την AW Energy και ανήκει στην κατηγορία των μετατροπέων κυματικής ενέργειας. Πρόκειται για έναν παράκτιο μετατροπέα που παράγει ενέργεια από την ενέργεια των κυμάτων. Αποτελείται από ένα πτερύγιο που είναι πλήρως βυθισμένο και στερεωμένο στο έδαφος. Συχνά τοποθετείται σε απόσταση 0,3-2 χιλιομέτρων από την ακτή, σε βάθος μεταξύ 8 και 20 μέτρων (Mueller et al., 2018).

Ο συντελεστής απόδοσης ενός WaveRoller κυμαίνεται από 0,25 έως 0,5, ανάλογα με τις τοπικές καιρικές συνθήκες. Η ονομαστική του ισχύς κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 1 MW. Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο της ακτογραμμής, το οποίο συμβαίνει καθώς τα κύματα πλησιάζουν την ακτή. Τα μόρια του νερού στα βαθιά νερά ταξιδεύουν σε κυκλικές τροχιές. Οι τροχιές των μορίων του νερού, ωστόσο, γίνονται ελλειπτικές καθώς το βάθος του νερού πέφτει κάτω από το κατώτατο όριο του μισού μήκους κύματος, προκαλώντας οριζόντια κίνηση. Αυτό αυξάνει την οριζόντια ταλάντωση του νερού, η οποία ωθεί το WaveRoller και παράγει ενέργεια (Garcia et al., 2020).



Εικόνα 16 <https://solarimpulse.com/solutions-explorer/waveroller-1>

3.6 Limpet και Mutriku

Δύο παράκτιες κατασκευές που εμπίπτουν στην κατηγορία των μετατροπέων της υδάτινης στήλης που ταλαντώνονται είναι το Limpet και το Mutriku. Κατασκευάστηκαν από τη σκωτσέζικη επιχείρηση Voith Hydro Wavegen. Η πρώτη δημιουργήθηκε το 2000 και βρίσκεται στην περιοχή Islay της Σκωτίας. Ήταν ο πρώτος μετατροπέας που συνδέθηκε στο δίκτυο και χρησιμοποιήθηκε σε εμπορική βάση. Στη βόρεια ακτή της Ισπανίας, μεταξύ του Σαν Σεμπασιτιάν και του Μπιλμπάο, στην περιοχή Mutriku, υπάρχει ένα δεύτερο εργοτάξιο που είναι σημαντικά μεγαλύτερο και λειτουργεί από το 2011 (Garcia et al., 2020).

3.6.1 Limpet

Χτισμένο 17 μέτρα στην ενδοχώρα από την πραγματική παραλία, αυτός ο μετατροπέας βρίσκεται στη δυτική όχθη του Islay. Τα κύματα μπορούν να εισέλθουν στην κοίλη κατασκευή από μια βυθισμένη κοιλότητα. Τα κύματα μετακινούν τον αέρα μπρος-πίσω μέσω του αγωγού τουρμπίνας που συνδέεται με μια ηλεκτρογεννήτρια προκαλώντας τη διαδοχική συμπίεση και αποσυμπίεση της στήλης αέρα που είναι παγιδευμένη στο θάλαμο της συσκευής, καθώς ανεβαίνουν μέσω ενός κεκλιμένου επιπέδου 40° (στήλη νερού) (Garcia et al., 2020).



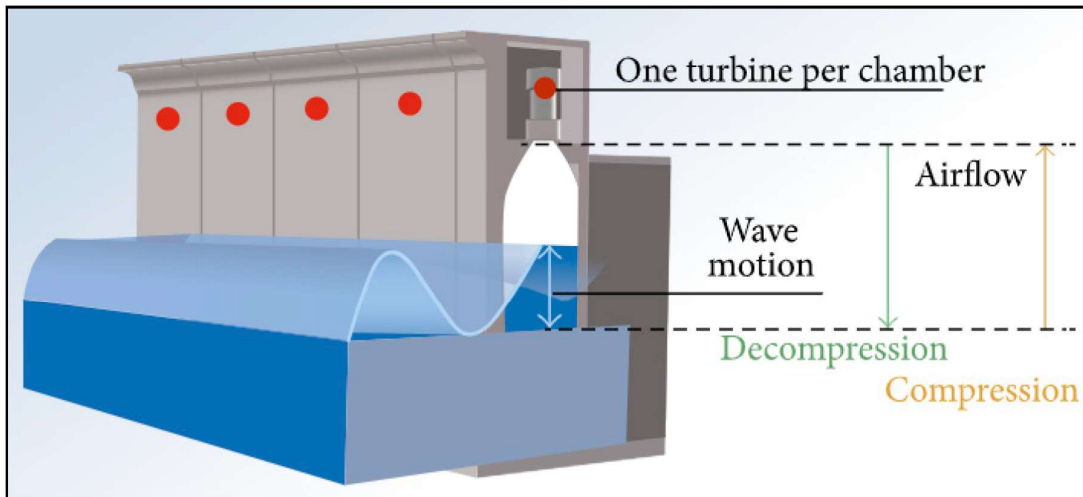
Εικόνα 17 <https://www.semanticscholar.org/paper/Wave-Energy-Converter-Concepts-%3A-Design-Challenges-Czech-Bauer/c3adf5e73bf06d9e4b7938c1fc9cf240dad5ec56/figure/6>

3.6.2 Mutriku

Η απόφαση για την κατασκευή ενός κυματοθραύστη μήκους 400 μέτρων για την προστασία των πλοίων από τα κύματα στο λιμάνι του Mutriku της Ισπανίας ελήφθη το 2004. Κατατέθηκε πρόταση για την ανάπτυξη μιας συνδυασμένης εγκατάστασης, καθώς ο διαγωνισμός για την κατασκευή του συνέπεσε με την έξαρση του ενδιαφέροντος για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας. Η άδεια δόθηκε μόνο υπό τον όρο ότι δεν θα διακυβευόταν η απόδοση του κυματοθραύστη, παρόλο που θεωρήθηκε ότι ήταν η καλύτερη θέση για τον μετατροπέα κυματικής ενέργειας που ταλαντώνεται στη στάθμη της θάλασσας (Jafari et al., 2022).



(a)



(b)

Εικόνα 18 <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/5/787>

3.7 WaveDragon

Η συσκευή WaveDragon κατασκευάζεται από την Wave Dragon Aps, μια δανέζικη εταιρεία, και είναι ένας πλωτός μετατροπέας κυματικής ενέργειας που εμπίπτει στην κατηγορία των συσκευών κύματος. Η θεμελιώδης ιδέα πίσω από αυτή τη συσκευή είναι η αξιοποίηση των καθιερωμένων και δοκιμασμένων τεχνολογιών των υδροηλεκτρικών σταθμών σε υπεράκτιες πλατφόρμες. Τα κύματα που φτάνουν στο WaveDragon ανυψώνονται μέσω μιας ράμπας που δημιουργήθηκε ειδικά για τη χρήση της συσκευής και στη συνέχεια το νερό αποθηκεύεται σε μια δεξαμενή που βρίσκεται πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Μέσω υδροστροβίλων που συνδέονται με ηλεκτρικές γεννήτριες, το νερό στη συνέχεια απελευθερώνεται και επιστρέφει στη θάλασσα, παράγοντας ενέργεια (Jafari et al., 2022).

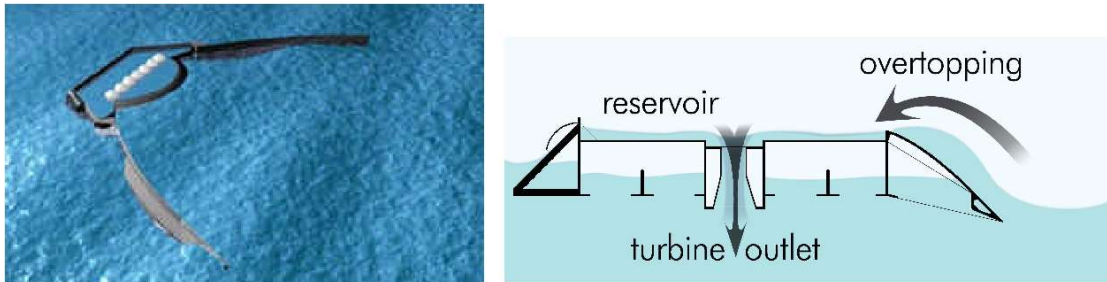


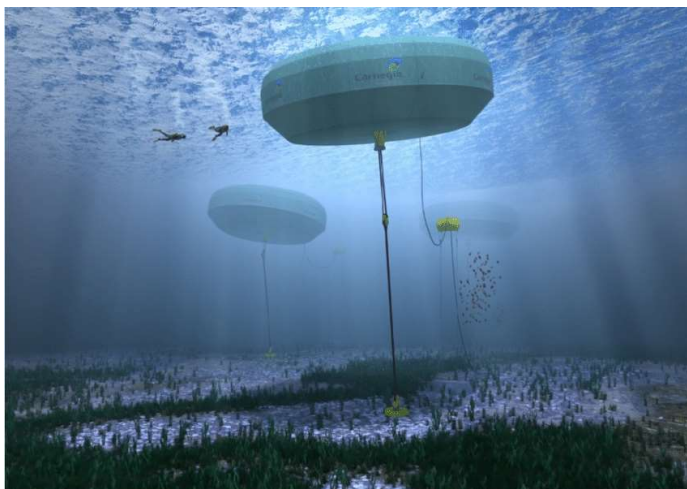
Figure 1: The Wave Dragon principle



Εικόνα 19 <https://www.semanticscholar.org/paper/Life-cycle-assessment-of-the-wave-energy-converter%3A-Chr.-Stefan/ac5f59aa27bed4ddc9ebadeeff0f32e0b3c3192a>

3.8 Ceto

Οι μετατροπείς διαφορικής πίεσης αποτελούν υποσύνολο του μετατροπέα κυματικής ενέργειας Ceto. Το όνομά του προέρχεται από την Κητώ, μια ελληνική θεότητα. Πρόκειται για έναν υποβρύχιο μετατροπέα που χρησιμοποιεί αφαλάτωση για την παραγωγή είτε ενέργειας είτε γλυκού νερού στέλνοντας νερό με υψηλή πίεση στην ακτή. Ο ενεργοποιητής, το καλώδιο, η αντλία και το σύστημα θεμελίωσης αποτελούν τη συσκευή (Jafari et al., 2022).

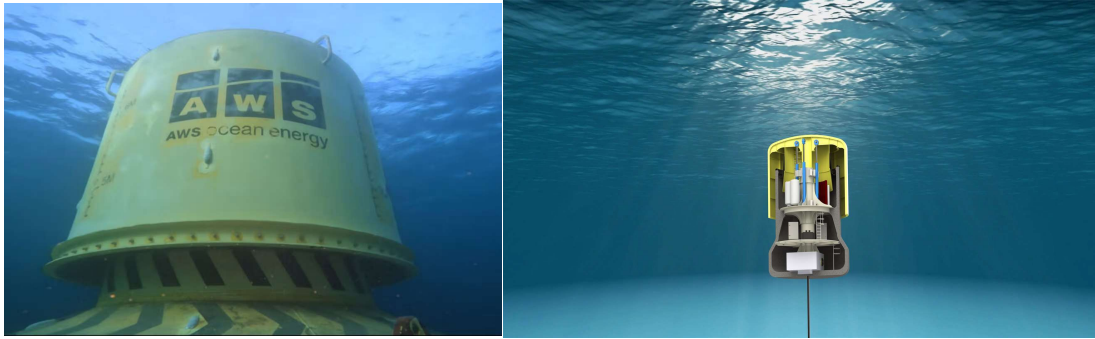


Εικόνα 20 https://www.researchgate.net/figure/Components-of-the-Ceto-wave-energy-converter_fig79_275645326

3.9 AWS-III

Η υποκατηγορία των μετατροπέων διαφορικής πίεσης περιλαμβάνει τον μετατροπέα κυματικής ενέργειας AWS-III, ο οποίος κατασκευάζεται από την AWS ocean energy. Ένα εύκαμπτο απορροφητικό μεμβράνης που διαχωρίζεται σε πολλαπλές κυψέλες συνθέτει τη συσκευή. Λειτουργεί με τη συμπίεση του αέρα που δημιουργείται από τη διαφορική πίεση των κυμάτων που περνούν από εκεί. Ο αέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία ενός αεριοστρόβιλου με συμπίεση και να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση των κυψελών. Μια τυπική συσκευή αποτελείται από εννέα συστοιχίες κυψελών, η καθεμία με πλάτος 16 μέτρα και βάθος 8 μέτρα και στοιβάζεται σαν καταμαράν. Μια συσκευή αυτού του μεγέθους θα

ζυγίξε 3500 τόνους. Εισάγονται με τη χρήση συμβατικών τεχνικών αγκύρωσης σε βάθος περίπου 100 μέτρων. Παράγουν κατά μέσο όρο 2,4 MW ενέργειας. Τα μόνα κινούμενα εξαρτήματα του AWS-III που είναι εκτεθειμένα στον ωκεανό είναι οι εύκαμπτοι απορροφητές, οι οποίοι είναι αποτελεσματικοί (Jafari et al., 2022).



Εικόνα 21 <https://newatlas.com/energy/aws-wave-power-testing/>

4ο Κεφάλαιο: Βασικές Αρχές Κυματικής Ενέργειας και τρόποι εκτίμησης Κυματικού Δυναμικού

Η ζήτηση ενέργειας στον κόσμο αυξάνεται μέρα με τη μέρα και η ραγδαία μείωση των μη ανανεώσιμων πόρων έκανε την ανθρωπότητα να σκεφτεί περισσότερο τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ενώ τα σχετικά φθηνά και ενεργειακά ισχυρά ορυκτά καύσιμα αντιπροσωπεύουν σήμερα την πλειονότητα του παγκόσμιου ενεργειακού εφοδιασμού, είναι σαφές ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χωρίς άνθρακα πρέπει να αντικαταστήσουν μεγάλο μέρος, αν όχι το σύνολο, αυτού του εφοδιασμού. Νέες προμήθειες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ακόμη και νέες μορφές ενέργειας είναι απαραίτητες για να καλυφθούν οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες, να μειωθούν οι κίνδυνοι από τη συνέχιση της εκπομπής υψηλών επιπέδων αερίων του θερμοκηπίου και να επιτραπεί στις χώρες να αναπτύξουν ενεργειακή ανεξαρτησία. Η πραγματοποίηση αυτού του στόχου εξαρτάται σαφώς από την ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών και τη μεγαλύτερη εκμετάλλευση των ανεκμετάλλευτων πόρων. Οι ωκεανοί καλύπτουν σχεδόν τα τρία τέταρτα της επιφάνειας της γης και υποστηρίζουν άμεσα το 70% της φωτοσύνθεσης του πλανήτη. Υπάρχει επομένως μια τεράστια βάση πόρων και τεράστιος χώρος στον οποίο μπορεί να αντληθεί και να αξιοποιηθεί η ενέργεια. Οι ωκεανοί προσφέρουν ένα τεράστιο φάσμα ενεργειακών επιλογών με τη μορφή συμβατικών πηγών, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική, η κυματική και η παλιρροϊκή ενέργεια, ή ριζοσπαστικών νέων μορφών ενέργειας, όπως τα βιοκαύσιμα με βάση τα φύκια. Μεταξύ αυτών των ενεργειακών πηγών, η κυματική ενέργεια είναι μια πολλά υποσχόμενη ενεργειακή πηγή (Hodge, 2017).

Εάν η ενέργεια των κυμάτων συλλέγεται στους ανοικτούς ωκεανούς, μπορεί να αξιοποιηθεί η ενέργεια που διαφορετικά χάνεται στην τριβή και το σπάσιμο των κυμάτων. Τότε η παγκόσμια εισροή ενέργειας από κύματα εκτιμάται ότι θα είναι μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη ($\sim 10^{13} \text{W}$), ποσότητα που είναι συγκρίσιμη με τη σημερινή παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Σχεδόν τα πάντα στη γη ξεκινούν από τον ήλιο, και τα ωκεάνια κύματα δεν αποτελούν εξαίρεση. Ο ήλιος θερμαίνει τη γη ανομοιόμορφα, δημιουργώντας τον άνεμο. Καθώς ο άνεμος πνέει σε τεράστιες θαλάσσιες εκτάσεις, δημιουργούνται ωκεάνια κύματα. Σε σύγκριση με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια, οι τεχνολογικές εξελίξεις για την εξαγωγή ενέργειας από τα κύματα βρίσκονται ακόμη σε ανώριμο στάδιο. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια εξακολουθούν να σημειώνονται σημαντικές πρόοδοι στην έρευνα, το σχεδιασμό και τις δοκιμές. Σε σύγκριση με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια, η κυματική ενέργεια έχει πλεονεκτήματα όπως μεγαλύτερη προβλεψιμότητα και ενεργειακή πυκνότητα.

Τα κύματα μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια 1-2 ημέρες νωρίτερα. Καθώς η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια, η ροή ενέργειας κατά μέσο όρο στο χρόνο είναι χωρικά συγκεντρωμένη, από μια ένταση τυπικά 0,1- 0,3kW/m² οριζόντιας επιφάνειας της γης σε 0,5kW/m² προβλεπόμενης περιοχής κάθετα στην κατεύθυνση του ανέμου. Καθώς η αιολική ενέργεια μετατρέπεται σε κυματική ενέργεια, πραγματοποιείται ακόμη μεγαλύτερη χωρική συγκέντρωση. Ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του ωκεανού, η μέση ένταση της ροής ενέργειας είναι συνήθως 2-3kW/m² προβλεπόμενης περιοχής κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων (Houhou et. al., 2018).

Η κυματική ενέργεια είναι επίσης μορφή ενέργειας φιλική προς το περιβάλλον και απαλλαγμένη από τη ρύπανση, λόγω του γεγονότος ότι δεν απαιτεί έκταση γης, δρόμους πρόσβασης και χρησιμοποιεί μικρότερες συσκευές συλλογής ενέργειας από ό,τι οι συσκευές αιολικής ενέργειας. Ο οικονομικά εκμεταλλεύσιμος πόρος κυματικής ενέργειας θα εξαρτηθεί από την απόδοση των επιδόσεων που επιτυγχάνεται από την εγκατάσταση μετατροπής κυματικής ενέργειας, η οποία βρίσκεται ακόμη σε ανώριμο στάδιο. Για πραγματικές θάλασσες, των οποίων τα κύματα είναι τυχαία ως προς το ύψος, την περίοδο (και την κατεύθυνση), πρέπει να χρησιμοποιούνται οι φασματικές παράμετροι. Η φασματική ροπή τάξης n ορίζεται ως εξής:

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f) df$$

Ο υπολογισμός του ύψους κύματος βασίζεται στη ροπή μηδενικής τάξης της φασματικής συνάρτησης και υπολογίζεται εύκολα ως εξής:

$$H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$$

Όπως και με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η ενδελεχής αξιολόγηση των πόρων αποτελεί προϋπόθεση για την επιτυχή εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας. Η ενδελεχής αξιολόγηση των πόρων είναι επίσης απαραίτητη λόγω των σημαντικών χωρικών διακυμάνσεων του κυματογενούς κλίματος. Η αξιολόγηση των πόρων ποικίλλει ανάλογα με τα στάδια ανάπτυξης του έργου κυματικής ενέργειας. Στο βασικό της επίπεδο, η αξιολόγηση των πόρων προσπαθεί να προσδιορίσει το επίπεδο των διαθέσιμων πόρων κυματικής ενέργειας για την εξαγωγή ενέργειας. Η αξιολόγηση των πόρων μπορεί να χωριστεί σε τρία

στάδια ως εξής: Πρώιμο στάδιο: απαιτεί αξιολόγηση των πόρων σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή για τον προσδιορισμό της βέλτιστης θέσης για την ανάπτυξη και την αξιολόγηση της εποχικής και διαχρονικής μεταβλητότητας. Προτιμώνται δεδομένα τουλάχιστον δέκα ετών, ενώ συχνά θα χρησιμοποιούνται αποτελέσματα μοντέλων λόγω έλλειψης μακροχρόνιων μετρούμενων συνόλων δεδομένων και για την παροχή ευρύτερων χωρικών αποτελεσμάτων. Η παραγωγή με τη μορφή παραμέτρων είναι επαρκής σε αυτό το στάδιο Σχεδιασμός έργου: καθορίζει τα χαρακτηριστικά για μια συγκεκριμένη τοποθεσία, συμπεριλαμβανομένων των φασματικών δεδομένων και των ακραίων συνθηκών. Τα μοντελοποιημένα δεδομένα θα πρέπει να υποστηρίζονται από επιτόπιες μετρήσεις. Λειτουργία: οι απαιτήσεις εξαρτώνται από τις ειδικές λεπτομέρειες της εγκατάστασης, αλλά τουλάχιστον θα πρέπει να εφαρμόζεται ένα συνεχές πρόγραμμα μετρήσεων που θα επιτρέπει τη συγκριτική αξιολόγηση της παραγωγής της συσκευής σε σχέση με τις κυματικές συνθήκες. Ένα μοντέλο πρόβλεψης θα απαιτηθεί για τον προγραμματισμό των θαλάσσιων επιχειρήσεων, π.χ. συντήρηση και ανάκτηση των συσκευών (Houhou et. al., 2018).

Αυτά τα παγκόσμια μοντέλα θα παρέχουν μια συνολική ιδέα για την κατανομή της κυματικής ενέργειας. Αλλά για τη λεπτομερή μελέτη των πόρων κυματικής ενέργειας, είναι απαραίτητη η συνεκτίμηση του τοπικού συστήματος ανέμων, των μεταβολών της κυματικής ενέργειας λόγω της επίδρασης της βαθυμετρίας, των εποχιακών και χρονικών διακυμάνσεων. Δεδομένου ότι τα κυματικά δεδομένα είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό των πόρων κυματικής ενέργειας, έγιναν προσπάθειες να υπολογιστούν οι πόροι κυματικής ενέργειας χρησιμοποιώντας τα δεδομένα πεδίου και τις διαθέσιμες μετρήσεις του δορυφορικού υψομέτρου. Οι ερευνητές υπολόγισαν το κυματικό κλίμα στη Βαλτική Θάλασσα με τη βοήθεια των σημαντικών υψών κύματος με βάση τα πεδία ανέμου και το βάθος του νερού. Οι στατιστικοί υπολογισμοί έγιναν από το Σουηδικό Μετεωρολογικό και Υδρολογικό Ινστιτούτο. Δεδομένου ότι οι υπολογισμοί αγνόησαν τα τοπικά συστήματα ανέμων, η ακρίβεια των υπολογισμών της κυματικής ενέργειας είναι χαμηλή στις παράκτιες περιοχές. Διαπίστωσαν ότι η κυματική ενέργεια κορυφώνεται τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες και οι μέσες τιμές κυματικής ενέργειας κυμαίνονται από 4 έως 9,8 kW/m ανάλογα με την περιοχή. Μια άλλη έρευνα διεξήχθη για την εκτίμηση του δυναμικού κυματικής ενέργειας της χερσονήσου της Μαλαισίας με βάση δεδομένα μιας και δύο ωρών που συλλέχθηκαν σε σταθμούς μέτρησης κυμάτων και κάλυψαν την περίοδο από τον Ιανουάριο του 1998 έως τον Αύγουστο του 2009. Η μελέτη αυτή χρησιμοποίησε επίσης την εξίσωση κυματικής ενέργειας βαθιών υδάτων και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι βορειοανατολικοί μουσώνες είναι πιο

σημαντικοί στην περίπτωση της χερσονήσου της Μαλαισίας. Περισσότερο από το 60% της ετήσιας κυματικής ενέργειας παρέχεται από κύματα μεσαίου ύψους, με σημαντικά ύψη κύματος μεταξύ 0,2 m και 1,2 m και γενικά οι κύριες κατευθύνσεις όσον αφορά την κυματική ενέργεια είναι ο Ν και ο ΝΕ, οι οποίες αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 80% της συνολικής κυματικής ενέργειας και η μέση κυματική ισχύς είναι 4,04kW/m. Η μελέτη διαπίστωσε επίσης τη συσχέτιση μεταξύ του μέγιστου ύψους κύματος και του σημαντικού ύψους κύματος (Koyuncu et al., 2019).

Η κυματική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που αξιοποιεί τη δύναμη των ωκεάνιων κυμάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Βασίζεται στην κίνηση του νερού που προκαλείται από τον άνεμο που πνέει στην επιφάνεια του ωκεανού, δημιουργώντας κύματα. Οι βασικές αρχές της μετατροπής της κυματικής ενέργειας περιλαμβάνουν τη σύλληψη της ενέργειας που μεταφέρουν αυτά τα κύματα και τη μετατροπή της σε χρησιμοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Ακολουθούν οι βασικές αρχές που εμπλέκονται:

1. Παραγωγή κυμάτων: Τα κύματα δημιουργούνται από τη μεταφορά ενέργειας από τον άνεμο στην επιφάνεια του νερού. Η ταχύτητα του ανέμου, η διάρκειά του και το ρεύμα (η απόσταση στην οποία πνέει ο άνεμος) επηρεάζουν τον σχηματισμό των κυμάτων (Rodrigues et al., 2020).

2. Χαρακτηριστικά των κυμάτων: Τα κύματα διαθέτουν συγκεκριμένες ιδιότητες που καθορίζουν το ενεργειακό τους δυναμικό. Στα βασικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται το ύψος κύματος (η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ κορυφής και κοιλάδας), το μήκος κύματος (η οριζόντια απόσταση μεταξύ διαδοχικών κορυφών) και η περίοδος κύματος (ο χρόνος που απαιτείται για να περάσουν δύο διαδοχικές κορυφές κύματος από ένα σταθερό σημείο).

3. Μετατροπή κυματικής ενέργειας: Για τη μετατροπή της κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες. Αυτές περιλαμβάνουν:

a. Ταλαντευόμενη στήλη νερού (OWC): Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί έναν μερικώς βυθισμένο θάλαμο που συλλαμβάνει την κυματική ενέργεια. Καθώς τα κύματα εισέρχονται στο θάλαμο, η στάθμη του νερού ανεβαίνει και πέφτει, συμπιέζοντας και αποσυμπιέζοντας τον αέρα μέσα στο θάλαμο. Η κίνηση του αέρα κινεί μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια (Rodrigues et al., 2020).

b. Σημειακοί απορροφητές: Οι συσκευές αυτές είναι πλωτές κατασκευές που κινούνται πάνω-κάτω ή μπρος-πίσω με τα κύματα. Η κίνηση οδηγεί ένα σύστημα απόληψης

ισχύος, όπως έναν υδραυλικό κύλινδρο ή μια γραμμική γεννήτρια, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

c. Συσκευές υπερπήδησης: Αυτές οι κατασκευές έχουν σχεδιαστεί για να συλλαμβάνουν την ενέργεια των κυμάτων που υπερπηδούν έναν ταμιευτήρα. Το νερό διοχετεύεται σε μια τουρμπίνα χαμηλού ύψους, η οποία μετατρέπει τη δυναμική ενέργεια του νερού σε ηλεκτρική ενέργεια.

d. Αποσβεστήρες: Οι αποσβεστήρες είναι μακρές πλωτές κατασκευές ευθυγραμμισμένες με την κατεύθυνση των κυμάτων. Συλλαμβάνουν την ενέργεια των κυμάτων μέσω της κίνησης πολλαπλών τμημάτων ή αρθρώσεων, οι οποίες κινούν υδραυλικές αντλίες ή γεννήτριες (Rodrigues et al., 2020).

4. Αξιολόγηση του κυματικού δυναμικού: Η εκτίμηση του δυναμικού κυματικής ενέργειας σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία περιλαμβάνει διάφορους παράγοντες:

a. Ανάλυση του κυματικού κλίματος: Τα ιστορικά δεδομένα κύματος, τα οποία λαμβάνονται από σηματοδότες, συσκευές μέτρησης κύματος ή αριθμητικά μοντέλα, χρησιμοποιούνται για την ανάλυση του κυματικού κλίματος στην περιοχή-στόχο. Το ύψος, η περίοδος και η κατεύθυνση των κυμάτων αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους για την εκτίμηση της δυναμικής ενέργειας (Tao et al., 2020).

b. Χαρτογράφηση πόρων: Η χαρτογράφηση των κυματικών πόρων περιλαμβάνει τον εντοπισμό περιοχών με υψηλό δυναμικό κυματικής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η βαθυμετρία, το σχήμα της ακτογραμμής και τα επικρατούντα πρότυπα ανέμου. Αυτό βοηθά στον εντοπισμό κατάλληλων περιοχών για συστήματα μετατροπής κυματικής ενέργειας.

c. Απόδοση μετατροπής ισχύος: Η απόδοση των συσκευών μετατροπής κυματικής ενέργειας επηρεάζει την εκτίμηση της δυναμικής ενέργειας. Η παράμετρος αυτή επηρεάζεται από τον σχεδιασμό της συσκευής, τη συντήρηση και τις απώλειες του συστήματος (Tao et al., 2020).

d. Οικονομική βιωσιμότητα: Η αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας των έργων κυματικής ενέργειας περιλαμβάνει την εξέταση παραγόντων όπως το κόστος εγκατάστασης, τα έξοδα συντήρησης, η σύνδεση με το δίκτυο και τα δυναμικά έσοδα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις αρχές και πραγματοποιώντας ενδελεχείς αξιολογήσεις, είναι δυνατόν να εκτιμηθεί το δυναμικό κυματικής ενέργειας μιας συγκεκριμένης τοποθεσίας και να προσδιοριστεί η σκοπιμότητα εφαρμογής συστημάτων μετατροπής κυματικής ενέργειας (Tao et al., 2020).

4.1 Υφιστάμενες εφαρμογές κυματικής ενέργειας και Διαθέσιμες κυματικές μηχανές

Οι κυματικές συσκευές κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη θέση ανάπτυξής τους, τη μέθοδο συλλογής κυματικής ενέργειας και τα συστήματα απολαβής ενέργειας. Οι τοποθεσίες είναι χερσαίες, παράκτιες και υπεράκτιες. Όλες οι μέθοδοι σύλληψης μοιράζονται την ίδια αρχή της αντίστροφης της κυματικής κίνησης, αλλά διαφέρουν από άποψη τεχνολογίας και διαδικασιών. Τα εφαρμοζόμενα συστήματα μπορεί να είναι σταθερά, βυθισμένα ή πλωτά. Επιπλέον, τα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ανεξάρτητες γεννήτριες ή ως μέρος κυματοθραυστών ή λιμενικών υποδομών (Rusu, 2014).

Η αξιολόγηση της κυματικής ενέργειας πρέπει να κάνει διάκριση μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών WEC. Οι γνωστές τεχνολογίες παρατίθενται παρακάτω (Kempner, and Neumann, 2014): (αυτά δεν τα είπες σε προηγούμενο κεφάλαιο;)

- Σημειακή σημαδούρα απορρόφησης (PAB): Είναι μια πλωτή κατασκευή ή βυθισμένη κάτω από την επιφάνεια του νερού που βασίζεται στη διαφορά πίεσης (Drew et. al., 2009). Έχει κυλινδρικό σχήμα και εγκαθίσταται κάθετα στο νερό. Το θαλάσσιο κύμα δρα στο PAB παράγοντας μια κατακόρυφη κίνηση του πλωτήρα που ακολουθείται από το κινούμενο τμήμα της γραμμικής γεννήτριας. Η γεννήτρια είναι στερεωμένη σε ένα υποβρύχιο στήριγμα και η ισχύς μεταφέρεται στην ακτή μέσω καλωδίων (Al Mahfazur et. al., 2017). Η γραμμική γεννήτρια με έμβολο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας από τη συνεχή κίνηση του σημαντήρα προς τα πάνω-κάτω. Τα πλεονεκτήματα των τύπων PAB είναι η μη εξάρτηση από την κατεύθυνση των κυμάτων, ο απλός σχεδιασμός, η οικονομικά αποδοτική κατασκευή, εγκατάσταση και συντήρηση.

- Επιφανειακός αποσβεστήρας: Πρόκειται για ένα μηχανικό σύστημα WEC με πολλά πλωτά σώματα που συνδέονται με αρθρώσεις. Η δομή λειτουργεί σε υπεράκτια τοποθεσία. Οι αρθρωτές αρθρώσεις περιέχουν διατάξεις εμβόλου-κυλίνδρου, οι σχετικές κινήσεις των οποίων πιέζουν υδραυλικό υγρό που κινεί έναν κινητήρα συνδεδεμένο με γεννήτρια (Hodge,

2017). Μία από τις πιο γνωστές WEC τύπου εξασθενητή που λειτουργούν είναι η συσκευή Pelamis της Ocean Power Delivery (Houhou et. al., 2018).

- Συσκευή τερματισμού: Έχει τον κύριο άξονα παράλληλο με την κορυφή του προσπίπτοντος κύματος, βρίσκεται κάθετα προς τη διεύθυνση κίνησης του κύματος και τερματίζει το κύμα. Συνήθως υπάρχουν τρεις τύποι σε WEC τερματισμού: μετατροπέας κύματος ταλάντωσης, ταλάντωση υδάτινης στήλης και συσκευή υπερπήδησης.

- Μετατροπέας κύματος ταλάντωσης: Αποτελείται γενικά από έναν αρθρωτό εκτροπέα, τοποθετημένο κάθετα στη διεύθυνση του κύματος (Drew et. al., 2009). Η κίνηση των κυμάτων θα επιδρά στον βυθισμένο εκτροπέα προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Αυτή η κίνηση χρησιμοποιείται για ένα σύστημα με βάση το έμβολο για την παραγωγή ενέργειας.

- Ταλαντευόμενη στήλη νερού (OWC): Αποτελείται από έναν θάλαμο με άνοιγμα προς τη θάλασσα κάτω από την ίσαλο γραμμή, που περικλείει μια στήλη αέρα πάνω από μια στήλη νερού. Η συσκευή Wavegen Limpet mounted είναι ένα παράδειγμα του χειρσαίου συστήματος το οποίο αποτελείται από δύο κύρια μέρη: τον θάλαμο αέρα και το υποσύστημα απομάκρυνσης ισχύος (PTO). Ο θάλαμος αέρα ανοίγεται προς τη θάλασσα, λαμβάνοντας την ενέργεια των κυμάτων και μετατρέποντας την ενέργεια αυτή σε συμπιεσμένο αέρα. Ο κλειστός αέρας θα περάσει από τον στρόβιλο στον μηχανισμό PTO, ο οποίος μετατρέπει την πνευματική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια (Jebli, and Chagdali, 2018). Μια συσκευή OWC μπορεί να εγκατασταθεί στην ξηρά λειτουργώντας ως τερματιστής του ή ως σύστημα PAB στην υπεράκτια τοποθεσία.

- Συσκευή υπερπήδησης: Πρόκειται για την παλαιότερη στρατηγική χρήσης της κυματικής ενέργειας που βρίσκεται σε υπεράκτιες τοποθεσίες. Η προσπίπτουσα κυματική ενέργεια συλλαμβάνεται από μια δεξαμενή αποθήκευσης νερού πάνω από τη στάθμη της θάλασσας και στη συνέχεια απελευθερώνει το νερό πίσω στη θάλασσα μέσω υδροστροβίλων. Η συσκευή αυτή είναι παρόμοια με τον υδροηλεκτρικό σταθμό. Το πιο σημαντικό.

- Χαρακτηριστικό αυτής της συσκευής είναι η υψηλή της απόδοση σε σύγκριση με άλλους μετατροπείς κυματικής ενέργειας. Ο Wave Dragon, είναι το πιο γνωστό παράδειγμα αυτού του τύπου.

Αποσύνδεση ισχύος (PTO)

Ο μηχανισμός που μετατρέπει την ανιχνευόμενη κυματική ενέργεια από το WEC σε ισχύ στο καλώδιο είναι το σύστημα απόληψης ισχύος (PTO). Στην έξοδο του PTO είναι

διαθέσιμη μια χρήσιμη μορφή ισχύος. Το WEC μπορεί να είναι OWC, επιφανειακός εξασθενητής ή οποιοσδήποτε κατάλληλος τύπος μετατροπέα (Pecher, and Kofoed, 2017). Οι μηχανισμοί PTO μπορούν να βασίζονται σε υδραυλικά συστήματα υγρών υψηλής πίεσης, αεριοστρόβιλους ή γραμμική γεννήτρια (Erselcan, and Kukner, 2014). Η πιο χρησιμοποιούμενη μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μετά τις συμβατικές περιστροφικές ηλεκτρικές γεννήτριες υψηλής ταχύτητας (Drew et. al., 2009). Οι τουρμπίνες πρέπει να σχεδιάζονται ανάλογα με την αναμενόμενη παραγόμενη ισχύ από το WEC. Το πλήρες μπλοκ διάγραμμα του συστήματος PTO που αποτελείται από τη συσκευή εξαγωγής ενέργειας από θαλάσσια κύματα (WEC), τον αεροσυμπιεστή ή τον συμπιεστή υγρού, τη δεξαμενή αποθήκευσης, τον στρόβιλο και ένα γονίδιο ηλεκτρικής ενέργειας. Η κίνηση των κυμάτων επιδρά στη συσκευή WEC, η οποία επιτρέπει στον συμπιεστή (σύστημα με έμβολο) να συμπιέσει τον αέρα και να τον αποθηκεύσει στη δεξαμενή αποθήκευσης.

Ένα πρωτότυπο μιας νέας συσκευής μετατροπής ενέργειας θαλάσσιων κυμάτων (SWEC) τύπου παλέτας που υποστηρίζεται από σημαδούρες προτείνεται στο (Buldu, et. al., 2011). Η υπό ανάλυση SWEC σχεδιάζεται να εγκατασταθεί στη Μεσόγειο Θάλασσα κοντά στις ακτές του Anamur στην Τουρκία. Το σύστημα αναμένεται να παράγει βιώσιμη ηλεκτρική ενέργεια ακόμη και σε μια σχεδόν επίπεδη θάλασσα. Πρόκειται για μια υπεράκτια συσκευή και είναι πιο ευνοϊκή από άλλες παρόμοιες συσκευές όσον αφορά την απλή κατασκευή, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την τιμή παραγωγής ενέργειας. Τόσο η κυματική όσο και η παλιρροιακή ενέργεια μετατρέπονται σε μηχανική ενέργεια από το WEC και στη συνέχεια μετατρέπονται από την απολήψιμη ισχύ σε ηλεκτρική ενέργεια. Η προτεινόμενη μηχανική διεπαφή PTO μπορεί να θεωρηθεί ως μια ολοκαίνουργια κατηγορία που βασίζεται σε έναν οδοντωτό τροχό και έναν μηχανισμό κιβωτίου ταχυτήτων. Αναμένεται ότι το σύστημα θα έχει απόδοση κοντά στο 70%. Στο (Kukner, et. al., 2016) προτείνεται μια μελέτη για τον προσδιορισμό του δυναμικού ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποκτηθεί από τους μετατροπείς κυματικής ενέργειας στην Τουρκία.

Έχουν διερευνηθεί πολλοί τύποι συστημάτων μετατροπής κυματικής ενέργειας και ως αποτέλεσμα της μελέτης, ο OWC, είναι ο πιο αποτελεσματικός μετατροπέας ενέργειας λόγω κατάλληλου συστήματος παραγωγής ενέργειας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η περιοχή της Igneada είναι η καλύτερη τοποθεσία εντός των πέντε επιλεγμένων περιοχών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τους μετατροπείς κυματικής ενέργειας τύπου απορροφητή. Η επιλογή του καλύτερου τύπου μετατροπέα κυματικής ενέργειας για μια τοποθεσία εξαρτάται από πολλές μεταβλητές, συμπεριλαμβανομένης της ισχύος των

κυμάτων, του βάθους του νερού, της περιοχής και του κλίματος. Η εποχικότητα είναι επίσης ένας παράγοντας που επηρεάζει τη σκοπιμότητα του συστήματος κυματικής ενέργειας. Το δυναμικό κυματικής ενέργειας της περιοχής Igneada αναλύεται για ένα πρωτότυπο OWC, όπου η αξία της παραγόμενης ενέργειας βρέθηκε να καλύπτει τις ανάγκες της μικρής κοινότητας των 30 περίπου κατοικιών. Μια υψηλότερη ηλεκτρική ισχύς μπορεί να επιτευχθεί με την παροχή ενός συστήματος φάρμας κυματικής ενέργειας (Yeşilyurt, et. al., 2017).

Η πολύπλοκη δομή των συστημάτων μετατροπής της κυματικής ενέργειας, οι θαλάσσιες συνθήκες, οι μηχανικές δυσκολίες και το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης είναι οι σημαντικότερες αιτίες. Η επιλογή του τύπου WEC σχετίζεται άμεσα με τις ιδιότητες των κυμάτων, τις θαλάσσιες συνθήκες και τον καιρό της θάλασσας. Ένα καλά επιλεγμένο WEC για μια τοποθεσία μπορεί να μην αποδίδει το ίδιο καλά σε μια άλλη τοποθεσία με διαφορετική θαλάσσια συμπεριφορά. Τα χαρακτηριστικά της Βαλτικής Θάλασσας φαίνεται να συμμορφώνονται με τις τουρκικές ακτές, επομένως τα συστήματα που έχουν σχεδιαστεί για την περιοχή αυτή μπορούν να είναι τέλειοι υποψήφιοι για ανάλυση στην Τουρκία. Η εργασία καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι πιο κατάλληλες τοποθεσίες για την εγκατάσταση WEC και την παραγωγή ενέργειας αναφέρεται ότι βρίσκονται στη Μαύρη Θάλασσα και στη νοτιοδυτική περιοχή της Μεσογείου (Sener, and Aytac, 2017).

Την τελευταία πενταετία έχει αναζωπυρωθεί το ενδιαφέρον για την κυματική ενέργεια. Οι νεοεμφανιζόμενες εταιρείες κυματικής ενέργειας έχουν ασχοληθεί έντονα με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών κυματικής ενέργειας, όπως το Pelamis, το Archimedes Wave Swing και το Limpet. Επί του παρόντος, η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς είναι περίπου 2 MW κυρίως από έργα επίδειξης. Η δυνητική παγκόσμια οικονομική συνεισφορά της κυματικής ενέργειας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται σε 2.000 TWh/έτος, δηλαδή περίπου το 10% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, και με κόστος επένδυσης 820 δισ. ευρώ. Το προβλεπόμενο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μετατροπέα κυματικής ενέργειας παρουσίασε σημαντική βελτίωση τα τελευταία είκοσι χρόνια, η οποία έφθασε σε μια μέση τιμή περίπου 0,08 EUR/kWh με προεξοφλητικό επιτόκιο 8%. Σε σύγκριση με τη μέση τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ, η οποία είναι περίπου 0,04 EUR/kWh, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από την κυματική ενέργεια είναι ακόμη υψηλή, αλλά προβλέπεται να μειωθεί με την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Αυτό μπορεί να επιταχυνθεί με αρχική οικονομική στήριξη και στήριξη της αγοράς, όπως έγινε στο παρελθόν για τις προηγούμενες τεχνολογίες, όπως η αιολική, η πυρηνική και το πετρέλαιο. Η αξιολόγηση των εμπορικών προοπτικών της κυματικής ενέργειας είναι δύσκολη, διότι οι

εκτιμήσεις του κόστους της ενέργειας από συσκευές κυματικής ενέργειας αποτελούν στιγμιότυπο της κατάστασης και του κόστους των εξελισσόμενων σχεδίων στα τρέχοντα στάδια ανάπτυξής τους (Koyuncu et al., 2019).

Οι συσκευές ακτογραμμής είναι σταθερές ή ενσωματωμένες στην ακτογραμμή. Αυτό έχει το πλεονέκτημα της ευκολότερης εγκατάστασης και συντήρησης. Επιπλέον, οι συσκευές ακτογραμμής δεν θα απαιτούν αγκυροβόλια σε βαθιά νερά ή μεγάλα μήκη υποβρύχιου ηλεκτρικού καλωδίου. Ωστόσο, θα αντιμετώπιζαν ένα πολύ λιγότερο ισχυρό κυματικό καθεστώς. Αυτό θα μπορούσε να αντισταθμιστεί εν μέρει από τη φυσική συγκέντρωση ενέργειας ("θερμά σημεία"). Επιπλέον, η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων θα μπορούσε να περιοριστεί από τις απαιτήσεις για τη γεωλογία της ακτογραμμής, το εύρος της παλίρροιας, τη διατήρηση του παράκτιου τοπίου κ.λπ.

Μια σημαντική κατηγορία διατάξεων για την ακτογραμμή είναι η ταλαντευόμενη στήλη νερού (OWC). Αποτελείται από μια μερικώς βυθισμένη, κοίλη κατασκευή, η οποία είναι ανοικτή στον πυθμένα κάτω από την ίσαλο γραμμή. Η κυματική κίνηση της επιφάνειας της θάλασσας πιέζει και αποσυμπιέζει εναλλάξ τον αέρα στο εσωτερικό της δομής, δημιουργώντας μια παλινδρομική ροή μέσω ενός στροβίλου "Wells", ο οποίος είναι εγκατεστημένος κάτω από την οροφή της συσκευής. Η τουρμπίνα "Wells", που πήρε το όνομά της από τον εφευρέτη της, τον καθηγητή Alan Wells, είναι ένας ειδικός τύπος στροβίλου, ικανός να διατηρεί σταθερή κατεύθυνση περιστροφής παρά την κατεύθυνση της ροής του αέρα που διέρχεται από αυτόν (Koyuncu et al., 2019).

Υπάρχουν αρκετές υφιστάμενες εφαρμογές κυματικής ενέργειας και μια ποικιλία μηχανημάτων κυματικής ενέργειας που αναπτύσσονται και αναπτύσσονται παγκοσμίως. Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα:

1. Μετατροπείας κυματικής ενέργειας (WEC): Οι WEC είναι συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για τη μετατροπή της κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορους τύπους με βάση τους συγκεκριμένους μηχανισμούς δέσμευσης ενέργειας (Sheng, 2019).

2. Φάρμες κυματικής ενέργειας: Τα πάρκα κυματικής ενέργειας αποτελούνται από πολλαπλές συσκευές κυματικής ενέργειας που αναπτύσσονται σε συστοιχίες ή ομάδες. Αυτό επιτρέπει την αποτελεσματική συλλογή ενέργειας και την ενσωμάτωση στο ηλεκτρικό δίκτυο. Τα πάρκα μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στην ακτή ή σε βαθύτερα νερά, ανάλογα με την τεχνολογία και τις συνθήκες της τοποθεσίας.

3. Πιλοτικά έργα και εμπορικές εγκαταστάσεις: Αρκετά έργα κυματικής ενέργειας έχουν δρομολογηθεί παγκοσμίως για να καταδειχθεί η σκοπιμότητα και η απόδοση των διαφόρων τεχνολογιών κυματικής ενέργειας. Ορισμένα αξιοσημείωτα παραδείγματα περιλαμβάνουν το Ευρωπαϊκό Κέντρο Θαλάσσιας Ενέργειας (EMEC) στο Όρκνεϊ της Σκωτίας, το οποίο φιλοξενεί διάφορες δοκιμαστικές τοποθεσίες και εμπορικές εγκαταστάσεις κυματικής ενέργειας. Επιπλέον, το έργο Wave Hub στην Κορνουάλη της Αγγλίας χρησιμεύει ως εγκατάσταση δοκιμών για συσκευές κυματικής ενέργειας (Sheng, 2019).

4. Εταιρείες και τεχνολογίες κυματικής ενέργειας: Πολυάριθμες εταιρείες και οργανισμοί ασχολούνται ενεργά με την ανάπτυξη τεχνολογιών κυματικής ενέργειας. Ορισμένα αξιοσημείωτα παραδείγματα περιλαμβάνουν:

a. Ισχύς κυμάτων Pelamis: Ανέπτυξε τον μετατροπέα κυματικής ενέργειας Pelamis, ο οποίος αποτελείται από μια σειρά συνδεδεμένων κυλινδρικών τμημάτων που λυγίζουν με την κίνηση των κυμάτων.

b. Καθαρή ενέργεια Carnegie: Ανέπτυξε το σύστημα CETO, το οποίο διαθέτει μια πλήρως βυθισμένη πλωτή δομή που συνδέεται με μια αντλία θαλάσσιου πυθμένα και ένα σύστημα παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας.

c. CorPower Ωκεανός: Ανάπτυξη ενός μετατροπέα κυματικής ενέργειας υψηλής απόδοσης που χρησιμοποιεί τεχνολογία κυματικής αντήχησης και ένα προηγμένο σύστημα ελέγχου (Xu et al., 2019).

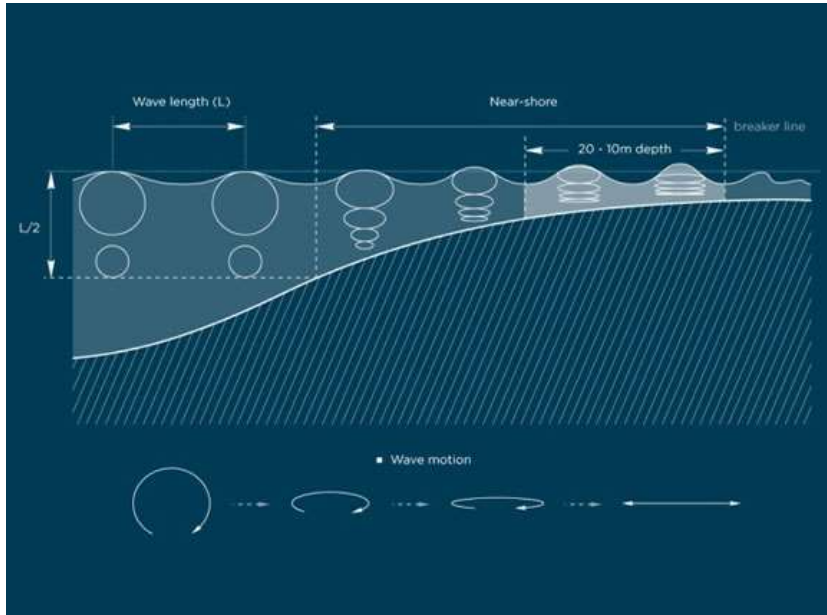
d. Θαλάσσια βάση: Ανάπτυξη πάρκων κυματικής ενέργειας που χρησιμοποιούν αρθρωτούς μετατροπείς κυματικής ενέργειας, οι οποίοι αποτελούνται από βυθισμένες πλευστές μονάδες που συνδέονται με χερσαίους σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

e. Τεχνολογίες ωκεάνιας ενέργειας (OPT): Ανάπτυξη του συστήματος PowerBuoy, το οποίο είναι μια πλωτή σημαδούρα εξοπλισμένη με ένα σύστημα απόληψης ενέργειας για τη μετατροπή της κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Αυτά είναι μερικά μόνο παραδείγματα υφιστάμενων εφαρμογών και εταιρειών κυματικής ενέργειας. Ο τομέας της κυματικής ενέργειας συνεχίζει να εξελίσσεται και αναπτύσσονται συνεχώς νέες τεχνολογίες και έργα για την αξιοποίηση του τεράστιου δυναμικού της κυματικής ενέργειας ως ανανεώσιμου πόρου (Xu et al., 2019).

Ακολουθούν ορισμένα μηχανήματα κυματικής ενέργειας που είτε είναι εγκατεστημένα είτε βρίσκονται σε διαδικασία υλοποίησης:

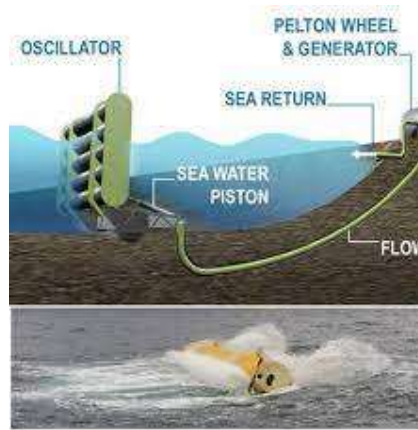
1. WaveRoller από την AW-Energy (εγκατεστημένο): Το WaveRoller είναι ένας υποβρύχιος μετατροπέας κυματικής ενέργειας που χρησιμοποιεί την κίνηση των κυμάτων για να κινήσει ένα υδραυλικό έμβολο, το οποίο με τη σειρά του κινεί μια γεννήτρια ηλεκτρικής ενέργειας. Έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί στο Peniche της Πορτογαλίας.



Εικόνα 22: WaveRoller. Πηγή: Power Technology.

2.CETO από την Carnegie Clean Energy (σε εξέλιξη): Η Carnegie Clean Energy αναπτύσσει το σύστημα CETO, το οποίο διαθέτει πλήρως βυθισμένες σηματοδούρες προσδεμένες σε αντλίες του βυθού. Η εταιρεία έχει εν εξελίξει έργα στην Αυστραλία, όπως το Garden Island Microgrid Project και το Albany Wave Energy Project (Xu et al., 2019).

3.Oyster από την Aquamarine Power (εγκατεστημένο): Ο μετατροπέας κυματικής ενέργειας Oyster της Aquamarine Power έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Θαλάσσιας Ενέργειας (EMEC) στο Orkney της Σκωτίας. Αποτελείται από ένα αρθρωτό πτερύγιο που κινείται με την κίνηση των κυμάτων, οδηγώντας ένα υδραυλικό σύστημα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

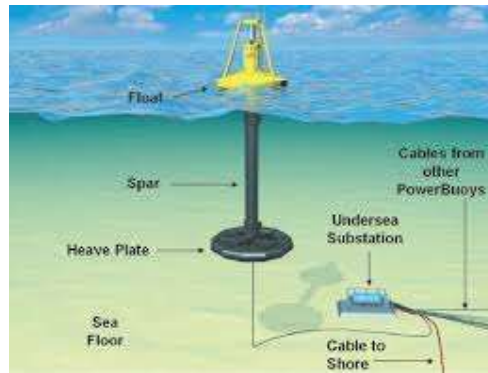


Εικόνα 23: Oyster. Πηγή: European Marine Energy Centre.

4. Sihyung SM3 από το Ναυτικό Πανεπιστήμιο της Κορέας (σε εξέλιξη): Το Ναυτικό Πανεπιστήμιο της Κορέας αναπτύσσει τον μετατροπέα κυματικής ενέργειας Sihyung SM3. Χρησιμοποιεί έναν σχεδιασμό ταλαντευόμενης στήλης νερού, όπου τα κύματα εισέρχονται σε έναν μερικώς βυθισμένο θάλαμο, συμπιέζοντας και αποσυμπιέζοντας αέρα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επί του παρόντος εφαρμόζεται στη Νότια Κορέα.

5. Marmok-A-5 από την εταιρεία Seabased (εγκατεστημένη): Η Seabased εγκατέστησε το πάρκο κυματικής ενέργειας Marmok-A-5 στο Sotenäs της Σουηδίας. Αποτελείται από αρθρωτούς μετατροπείς κυματικής ενέργειας, με βυθισμένες πλωτές μονάδες που συνδέονται με χερσαίους σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Το πάρκο διαθέτει πέντε εγκατεστημένες συσκευές με συνδυασμένη ισχύ 10 MW (Xu et al., 2019).

6. Σύστημα μετατροπής κυματικής ενέργειας από την Ocean Power Technologies (OPT) (εγκατεστημένο): Η OPT έχει αναπτύξει το σύστημα μετατροπής κυματικής ενέργειας, γνωστό ως PowerBuoy, στα ανοικτά των ακτών της Las Cruces, Χιλή. Το σύστημα χρησιμοποιεί μια πλωτή σηματοδούρα εξοπλισμένη με ένα σύστημα απόληψης ισχύος για τη μετατροπή της κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 24: PowerBuoy. Πηγή: Earth Techling

Αυτά είναι μερικά μόνο παραδείγματα μηχανών κυματικής ενέργειας που είτε έχουν εγκατασταθεί είτε βρίσκονται στο στάδιο της υλοποίησης. Ο κλάδος της κυματικής ενέργειας είναι δυναμικός και νέα έργα και τεχνολογίες αναδύονται συνεχώς καθώς ο τομέας εξελίσσεται (Xu et al., 2019).

4.2 Δραστηριότητες της ΕΕ στο θέμα της Κυματικής Ενέργειας

Η έρευνα και η ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας βρίσκεται σε εξέλιξη σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες. Η συμμετοχή στην αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους διαθέσιμους πόρους κυματικής ενέργειας. Σε χώρες με υψηλούς πόρους, η κυματική ενέργεια θα μπορούσε να καλύψει σημαντικό μέρος της ενεργειακής ζήτησης της χώρας και να καταστεί ακόμη και πρωτογενής πηγή ενέργειας. Χώρες με μέτριους, αν και εφικτούς πόρους, θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν την κυματική ενέργεια συμπληρωματικά προς άλλες διαθέσιμες ανανεώσιμες ή/και συμβατικές πηγές ενέργειας (Clement et al., 2002).

Η Δανία δεν έχει εθνική στρατηγική για την κυματική ενέργεια. Με την υποστήριξη της EUDP και της Energinet.DK παρουσιάστηκε το 2012 μια στρατηγική για την ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας μέσω βιομηχανικών συμπράξεων, την οποία ακολούθησαν χάρτες πορείας το 2015 (OES, 2022).

Παρόμοια με τους συγκεκριμένους στόχους για την ανάπτυξη που θεσπίστηκαν στον Καναδά, την Κίνα, τη Γαλλία, την Ιρλανδία, την Ιταλία, την Πορτογαλία, τη Νότια Κορέα, την Ισπανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και ιδίως την πολιτική της ΕΕ, η σύμπραξη για την

κυματική ενέργεια καθορίζει τρεις τρόπους προώθησης της κυματικής ενέργειας στη Δανία. Οι προοπτικές της σύμπραξης για την κυματική ενέργεια είναι οι εξής:

Ο πολιτικός στόχος της Δανίας είναι ότι 4 GW κυματικής ενέργειας θα πρέπει να συμπεριληφθούν στο ενεργειακό μείγμα της Δανίας έως το 2050, που αντιστοιχεί στο 10% του πανευρωπαϊκού στόχου στην ΕΕ.

Προωθεί την ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας και υποστήριξη της ανάπτυξης του δανικού τομέα κυματικής ενέργειας μέσω της εκπαίδευσης και της έρευνας, της προληπτικής εξαγωγικής πολιτικής καθώς και της προώθησης των επιχειρήσεων μέσω, για παράδειγμα, των πράσινων επενδυτικών ταμείων του κράτους και της συνιδιοκτησίας. Οι δεσμευμένες πισίνες για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας σημείωσαν μεγάλη επιτυχία. Κατά παρόμοιο τρόπο, σημαντικά ποσά δεσμευμένης χρηματοδότησης για την κυματική ενέργεια στο πλαίσιο των προγραμμάτων πράσινης ανάπτυξης και επίδειξης του κράτους, όπως το (EUDP), μπορούν να διευκολύνουν την ανάπτυξη, ώστε να αποφευχθεί ο ανταγωνισμός με καθιερωμένες τεχνολογίες για τα ίδια χρήματα. Αν και προς το παρόν, αυτό δεν είναι στα σκαριά (OES, 2022).

Η Βόρεια Θάλασσα έχει χαρακτηριστεί ως στρατηγικό σημείο αιχμής για την ανάπτυξη υπεράκτιων τεχνολογιών στη στρατηγική της Επιτροπής της ΕΕ για τις υπεράκτιες θάλασσες. Τα μελλοντικά ενεργειακά νησιά στη Δανία παρέχουν μια μοναδική ευκαιρία να ενσωματωθεί η κυματική ενέργεια στο περιβάλλον καινοτομίας γύρω από τα νησιά για την έρευνα, την ανάπτυξη και τη δοκιμή λύσεων κυματικής ενέργειας- σε συνδυασμό με μελλοντικά υπεράκτια αιολικά πάρκα και τεχνολογίες Power2X (OES, 2022).

Η Δανία μπορεί να χρησιμοποιήσει την υποδομή και τη γνώση, από την αιολική ενέργεια και να δοκιμάσει το συνδυασμό αιολικής και κυματικής ενέργειας, που θα υπάρχει γύρω από τα ενεργειακά νησιά και έτσι να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα της Δανίας στην υπεράκτια ενέργεια.

Υπάρχουν τρία εθνικά χρηματοδοτικά προγράμματα που υποστηρίζουν την ωκεάνια ενέργεια, μεταξύ των οποίων:

Πρόγραμμα ανάπτυξης και επίδειξης ενεργειακών τεχνολογιών - EUDP

Ταμείο Καινοτομίας Δανίας

ELFORSK

Καθένα από αυτά τα προγράμματα χρηματοδότησης υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων ανανεώσιμων και καθαρών πηγών ενέργειας και, ως εκ τούτου, οι πρωτοβουλίες και οι προτάσεις για την ωκεάνια ενέργεια ανταγωνίζονται άλλες τεχνολογίες, όπως η αιολική ενέργεια, για χρηματοδότηση (OES, 2022).

Το Κοινοβούλιο της Δανίας και οι διάφορες κυβερνήσεις της Δανίας έχουν εστιάσει στις ενεργειακές συμφωνίες τους στον υπεράκτιο και παράκτιο χωροταξικό σχεδιασμό ως μακροπρόθεσμο στόχο της ενεργειακής πολιτικής της Δανίας. Η τελευταία ενεργειακή συμφωνία (ενεργειακό νομοσχέδιο) για την περίοδο 2012-2020 δίνει ιδιαίτερη έμφαση στους θαλάσσιους χώρους υπεράκτιων ανεμογεννητριών (Kriegers Fak και Horns Rev), καθώς και σε 6 ειδικές υπεράκτιες παράκτιες περιοχές. Δεν έχουν καθοριστεί προεπιλεγμένες περιοχές για την ωκεάνια ενέργεια. Ωστόσο, οι ιστορικές περιοχές δοκιμών αναγνωρίζονται από τις αρχές ως πιθανές περιοχές (OES, 2022).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) υποστηρίζει ενεργά την ανάπτυξη και την εξάπλωση τεχνολογιών κυματικής ενέργειας στο πλαίσιο της δέσμευσής της για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την επίτευξη των κλιματικών στόχων. Ακολουθεί ανάλυση 10 παραγράφων των δραστηριοτήτων της ΕΕ για την κυματική ενέργεια:

1. Πλαίσιο πολιτικής: Η ΕΕ έχει θεσπίσει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο πολιτικής για τη στήριξη της ανάπτυξης της κυματικής ενέργειας. Η οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θέτει δεσμευτικούς στόχους για τα κράτη μέλη της ΕΕ να επιτύχουν μερίδιο 32% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας έως το 2030. Η κυματική ενέργεια αναγνωρίζεται ως μία από τις βασικές τεχνολογίες που συμβάλλουν στην επίτευξη αυτού του στόχου (Kothari et al., 2021).

2. Χρηματοδότηση και προγράμματα στήριξης: Η ΕΕ παρέχει οικονομική στήριξη μέσω διαφόρων χρηματοδοτικών προγραμμάτων για τη διευκόλυνση των δραστηριοτήτων έρευνας, ανάπτυξης και επίδειξης στον τομέα της κυματικής ενέργειας. Το πρόγραμμα "Ορίζοντας 2020" έχει διαθέσει σημαντικά κονδύλια για έργα κυματικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης καινοτόμων μετατροπέων κυματικής ενέργειας και δοκιμών σε πραγματικές θαλάσσιες συνθήκες.

3. Ευρωπαϊκό Κέντρο Θαλάσσιας Ενέργειας (EMEC): Η ΕΕ έχει υποστηρίξει τη δημιουργία και τη λειτουργία του Ευρωπαϊκού Κέντρου Θαλάσσιας Ενέργειας (EMEC) στο Όρκνεϊ της Σκωτίας. Το EMEC παρέχει εγκαταστάσεις δοκιμών παγκόσμιας κλάσης και χώρους δοκιμών για συσκευές κυματικής ενέργειας, επιτρέποντας στους προγραμματιστές

τεχνολογίας να επικυρώσουν τις συσκευές τους και να αποκτήσουν πολύτιμη επιχειρησιακή εμπειρία (Kothari et al., 2021).

4. Ocean Energy Forum: Η ΕΕ εγκαινίασε το Φόρουμ Ωκεάνιας Ενέργειας, μια πλατφόρμα συνεργασίας που φέρνει σε επαφή τη βιομηχανία, τους φορείς χάραξης πολιτικής και άλλους ενδιαφερόμενους φορείς για την αντιμετώπιση των προκλήσεων και των ευκαιριών στον τομέα της ωκεάνιας ενέργειας. Το φόρουμ αποσκοπεί στην επιτάχυνση της ανάπτυξης και της εμπορικής αξιοποίησης των τεχνολογιών κυματικής ενέργειας μέσω της προώθησης της συνεργασίας και της ανταλλαγής γνώσεων.

5. Τεχνολογική καινοτομία: Η ΕΕ υποστηρίζει τις προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης για την προώθηση των τεχνολογιών κυματικής ενέργειας. Μέσω συνεργατικών έργων και πρωτοβουλιών, η ΕΕ ενθαρρύνει την ανάπτυξη καινοτόμων μετατροπέων κυματικής ενέργειας, βελτιωμένων συστημάτων απόληψης ισχύος και βελτιωμένης αξιοπιστίας και επιβίωσης των συσκευών σε δύσκολες θαλάσσιες συνθήκες (Kothari et al., 2021).

6. Έργα επίδειξης: Η ΕΕ έχει χρηματοδοτήσει πολυάριθμα έργα επίδειξης της κυματικής ενέργειας σε ολόκληρη την Ευρώπη. Τα έργα αυτά επικεντρώνονται στην ανάπτυξη και δοκιμή συσκευών κυματικής ενέργειας σε διάφορες κλίμακες, παρέχοντας πολύτιμα δεδομένα σχετικά με την απόδοση, την αξιοπιστία και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας των συσκευών. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν το έργο WEC+, το MaRINET2 και το OPERA.

7. Ρυθμιστικό πλαίσιο: Η ΕΕ εργάζεται για την ανάπτυξη ενός υποστηρικτικού ρυθμιστικού πλαισίου για την ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας. Αυτό περιλαμβάνει την αντιμετώπιση των διαδικασιών αδειοδότησης, των απαιτήσεων σύνδεσης με το δίκτυο και των αξιολογήσεων περιβαλλοντικών επιπτώσεων για τον εξορθολογισμό των διαδικασιών έγκρισης των έργων κυματικής ενέργειας, διασφαλίζοντας παράλληλα την περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Rodrigues et al., 2020).

8. Ανταλλαγή γνώσεων και βέλτιστων πρακτικών: Η ΕΕ προωθεί την ανταλλαγή γνώσεων και τη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων για την κυματική ενέργεια. Αυτό περιλαμβάνει τη διοργάνωση εργαστηρίων, συνεδρίων και εκπαιδευτικών προγραμμάτων για την ανταλλαγή τεχνογνωσίας, την ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών και τη διευκόλυνση των ευκαιριών δικτύωσης εντός της κοινότητας της κυματικής ενέργειας.

9. Ανάπτυξη της αγοράς: Η ΕΕ αναγνωρίζει τη σημασία της δημιουργίας αγοράς και της εμπορευματοποίησης των τεχνολογιών κυματικής ενέργειας. Υποστηρίζει δραστηριότητες που αποσκοπούν στη μείωση του κόστους που συνδέεται με την ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας, στη βελτίωση των επιπέδων τεχνολογικής ετοιμότητας και στην τόνωση των ιδιωτικών επενδύσεων στον τομέα (Rodrigues et al., 2020).

10. Διεθνής συνεργασία: Η ΕΕ συμμετέχει ενεργά σε διεθνείς συνεργασίες και συμπράξεις για την προώθηση της κυματικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτό περιλαμβάνει τη συνεργασία με χώρες εκτός της ΕΕ μέσω κοινών ερευνητικών έργων, ανταλλαγής γνώσεων και διαλόγου πολιτικής, συμβάλλοντας στην παγκόσμια ανάπτυξη του τομέα της κυματικής ενέργειας.

Συμπερασματικά, η ΕΕ βρίσκεται στην πρώτη γραμμή της προώθησης της ανάπτυξης της κυματικής ενέργειας μέσω του ολοκληρωμένου πλαισίου πολιτικής της, των προγραμμάτων χρηματοδότησης, των ερευνητικών πρωτοβουλιών και των πλατφορμών συνεργασίας. Προωθώντας την καινοτομία, υποστηρίζοντας έργα επίδειξης και διευκολύνοντας την ανταλλαγή γνώσεων, η ΕΕ προωθεί την ανάπτυξη του τομέα της κυματικής ενέργειας, συμβάλλοντας στη μετάβαση προς ένα βιώσιμο μέλλον με χαμηλές εκπομπές άνθρακα (Rodrigues et al., 2020).

4.3 Δραστηριότητες στην Ελλάδα και προοπτικές

Η Ελλάδα έχει ακτογραμμή άνω των 16.000 χιλιομέτρων στο Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος. Το μεγάλο αιολικό δυναμικό πάνω από το Αιγαίο Πέλαγος με επικρατούσα διεύθυνση Βορρά-Νότου προκαλεί ένα σχετικά έντονο κυματικό κλίμα με μέση ετήσια ισχύ 4-11 kW/m. Υπάρχει βεβαιότητα για την παρουσία "θερμών σημείων", που προκαλούνται από το πολύπλοκο νησιωτικό ανάγλυφο, ενώ πρόσφατες εκστρατείες μετρήσεων και θεωρητικές μελέτες παρέχουν λεπτομερέστερες πληροφορίες για το κυματικό κλίμα στο Αιγαίο. Οι σταθμοί κυματικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα κατάλληλοι για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλο αριθμό νησιών, τα οποία τροφοδοτούνται κυρίως από σταθμούς ντίζελ. Το υψηλό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας στα νησιά θα καταστήσει την κυματική ενέργεια ανταγωνιστική έναντι των συμβατικών παραγωγών ενέργειας- ωστόσο, η αιολική ενέργεια έχει ήδη αποδείξει τη σκοπιμότητά της στην περιοχή αυτή και υποστηρίζεται σε μεγάλο βαθμό από την κυβέρνηση και τους ιδιώτες επενδυτές. Η κυματική ενέργεια είναι στο επίκεντρο σχετικά με την εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

και την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, ενώ η έρευνα και ανάπτυξη διεξάγεται κυρίως στα πανεπιστήμια και στο Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Clement et al., 2002).

Για την ανάπτυξη επιτυχημένων συστημάτων θαλάσσιας ενέργειας απαιτείται μια ολοκληρωμένη συστημική προσέγγιση- ως εκ τούτου, συνιστάται η συνεργασία με τη βιομηχανία και η εμπλοκή με τους κατασκευαστές αρχικού εξοπλισμού από το πρώιμο στάδιο της ανάπτυξης.

Οι δυνατότητες και οι απαιτήσεις του συστήματος πρέπει να καθοριστούν σωστά και να γίνουν διαφανείς, ώστε να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της ανάπτυξης μελλοντικών αναδυόμενων τεχνολογιών και η δυνατότητα εφαρμογής σε τεχνολογίες ωκεάνιας ενέργειας (Clement et al., 2002).

Η δυνατότητα μεταφοράς λύσεων από άλλο τομέα, καθώς και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και υλικών θα μπορούσε να επηρεάσει σημαντικά την ταχύτητα ανάπτυξης μελλοντικών αναδυόμενων τεχνολογιών για την ωκεάνια ενέργεια.

Ο αντίκτυπος των μελλοντικών αναδυόμενων τεχνολογιών θα πρέπει να τεθεί στο πλαίσιο των προτεραιοτήτων για τον τομέα της ωκεάνιας ενέργειας, όπως αυτές προσδιορίζονται μέσω της [Ocean Energy Roadmap](#) και της [SET-Plan Implementation Plan](#).

Απαιτείται περαιτέρω ανάλυση για την ιεράρχηση των επιλογών που θα μπορούσαν να έχουν τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στον τομέα για την επίτευξη των βραχυπρόθεσμων στόχων (στόχοι του 2025) και των μακροπρόθεσμων φιλοδοξιών (100 GW εγκατεστημένης ισχύος έως το 2050).

Η Ελλάδα, με την εκτεταμένη ακτογραμμή της και την πρόσβαση στη Μεσόγειο Θάλασσα, διαθέτει σημαντικό δυναμικό για την ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας. Η χώρα έχει συμμετάσχει ενεργά στη διερεύνηση και προώθηση της κυματικής ενέργειας ως μέρος της στρατηγικής της για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ακολουθούν οι δραστηριότητες και οι προοπτικές στον τομέα της κυματικής ενέργειας στην Ελλάδα:

1. Ρυθμιστικό πλαίσιο: Η Ελλάδα έχει θεσπίσει ένα υποστηρικτικό ρυθμιστικό πλαίσιο για την ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας. Η χώρα έχει θεσπίσει νόμους και κανονισμούς για τον εξορθολογισμό των διαδικασιών αδειοδότησης, τη διευκόλυνση της σύνδεσης με το δίκτυο και τη διασφάλιση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας στα έργα κυματικής ενέργειας (Kothari et al., 2021).

2. Δυναμικό κυματικής ενέργειας: Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικό δυναμικό κυματικής ενέργειας, ιδίως στο Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος. Μελέτες και αξιολογήσεις έχουν εντοπίσει αρκετές κατάλληλες θέσεις για την ανάπτυξη κυματικής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το κυματικό κλίμα, η βαθυμετρία και η μορφολογία των ακτών.

3. Έρευνα και ανάπτυξη: Η Ελλάδα έχει συμμετάσχει ενεργά σε δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης που σχετίζονται με την κυματική ενέργεια. Ακαδημαϊκά ιδρύματα και ερευνητικά κέντρα συνεργάζονται με βιομηχανικούς εταίρους και συμμετέχουν σε ευρωπαϊκά ερευνητικά έργα για την προώθηση των τεχνολογιών κυματικής ενέργειας και τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας τους (Kothari et al., 2021).

4. Συνεργασία με ευρωπαϊκές πρωτοβουλίες: Η Ελλάδα συνεργάζεται ενεργά με ευρωπαϊκές πρωτοβουλίες και έργα στον τομέα της κυματικής ενέργειας. Συμμετέχει σε προγράμματα όπως το "Ορίζοντας 2020", συνεργαζόμενη με άλλες ευρωπαϊκές χώρες για την προώθηση της ανταλλαγής γνώσεων, της τεχνολογικής ανάπτυξης και της ανάπτυξης στην αγορά συσκευών κυματικής ενέργειας.

5. Δέσμευση της βιομηχανίας: Ελληνικές εταιρείες και επιχειρηματίες έχουν δείξει ενδιαφέρον για την ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας. Αρκετές ελληνικές εταιρείες συμμετέχουν ενεργά στο σχεδιασμό, την κατασκευή και την ανάπτυξη συσκευών κυματικής ενέργειας, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη της εγχώριας βιομηχανίας κυματικής ενέργειας (Kothari et al., 2021).

6. Δυναμικό της αγοράς: Η ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας στην Ελλάδα προσφέρει σημαντικό δυναμικό αγοράς. Η εξάρτηση της χώρας από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, σε συνδυασμό με τους άφθονους πόρους κυματικής ενέργειας που διαθέτει, αποτελεί ευκαιρία για διαφοροποίηση του ενεργειακού μείγματος και επίτευξη ενεργειακής ανεξαρτησίας μέσω της ανάπτυξης τεχνολογιών κυματικής ενέργειας.

7. Δημιουργία θέσεων εργασίας και οικονομικά οφέλη: Η ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας στην Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας, να τονώσει τις τοπικές οικονομίες και να ενισχύσει την τεχνολογική καινοτομία. Η δημιουργία μιας εγχώριας βιομηχανίας κυματικής ενέργειας μπορεί να δημιουργήσει ευκαιρίες απασχόλησης στην κατασκευή, την εγκατάσταση, τη συντήρηση και τις σχετικές υποστηρικτικές υπηρεσίες.

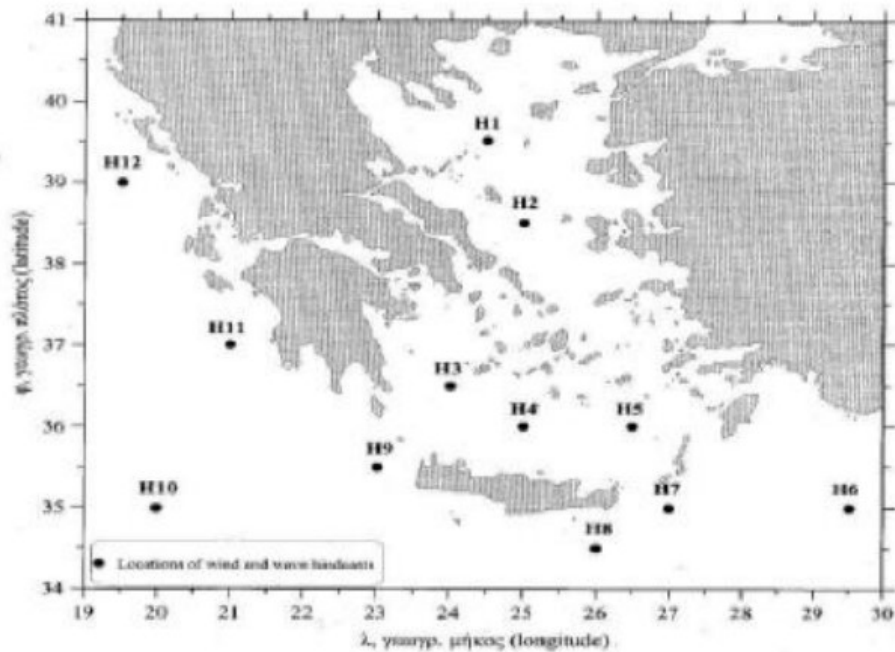
8. Στόχοι για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: Η Ελλάδα έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με στόχο το 35% της ενεργειακής της κατανάλωσης να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές μέχρι το 2030. Η κυματική ενέργεια αναγνωρίζεται ως πολύτιμος συντελεστής για την επίτευξη αυτών των στόχων και η ανάπτυξή της ευθυγραμμίζεται με τη δέσμευση της Ελλάδας να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να προωθήσει βιώσιμες ενεργειακές λύσεις (Kothari et al., 2021).

Η αρχική προσπάθεια για την προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην Ελλάδα χαρακτηρίζεται από την ψήφιση του νόμου 1559/85, ο οποίος παρέχει στους ιδιώτες αυτοπαραγωγούς, στις τοπικές αρχές και στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) τη δυνατότητα να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ. Η συνεχιζόμενη προσπάθεια συνεχίζεται με την ίδρυση, το έτος 1987, του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), με πρωταρχικό στόχο την προώθηση και διευκόλυνση των διαφόρων μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και των προσπαθειών που αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας στο εσωτερικό της χώρας. Ο νόμος 2244/94 ρυθμίζει μια σειρά θεμάτων που αφορούν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και συμβατικά καύσιμα, εστιάζοντας κυρίως στη διαδικασία αδειοδότησης. Επιπλέον, παρέχει σε ιδιώτες τη δυνατότητα να ασχοληθούν με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ως ανεξάρτητοι παραγωγοί, με αποκλειστική πρόθεση την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο Σύστημα ή στο Δίκτυο.

Η νομοθεσία γνωστή ως Νόμος 2773/99, η οποία αφορά την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, εισάγει επίσης την έννοια της άδειας παραγωγής. Η νομοθεσία Young Adult (YA) 2000/2002 επιβάλλει την απόκτηση άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ως προϋπόθεση για την έναρξη της διαδικασίας αδειοδότησης έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Ο κανονισμός 1726/2003 για την Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΕΠΕ) είναι μια ολοκληρωμένη πρωτοβουλία που αποσκοπεί στην αποτελεσματική αντιμετώπιση των επίμονων προκλήσεων που αντιμετωπίζονται κατά τη διαδικασία χορήγησης περιβαλλοντικών αδειών για έργα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Η διαδικασία αδειοδότησης των έργων αυτών στηριζόταν επιπλέον σε διάφορους σχετικούς νόμους, προεδρικά διατάγματα, υπουργικές αποφάσεις και άλλα παρόμοια, που αφορούσαν κυρίως την περιβαλλοντική πτυχή της διαδικασίας αδειοδότησης, καθώς και την καταπάτηση δημόσιας (δασικής) γης. Ο χρήστης υπέβαλε κατάλογο των σχετικών νομικών εγγράφων, συμπεριλαμβανομένου του νόμου 3010/02 και της υπουργικής απόφασης 15393/2332/5.8.02, που αφορούν τη διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης. Επιπλέον, ο

νόμος 3028/02 επικεντρώνεται στην προστασία των αρχαίων μνημείων, ενώ ο νόμος 2941/01 αφορά την απλούστευση των διαδικασιών αδειοδότησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Παρόλα αυτά, η πρωταρχική ώθηση πίσω από την εφαρμογή ενός σημαντικού αριθμού νομοθετικών ρυθμίσεων που στοχεύουν ειδικά στις επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) πηγάζει από, και συνεχίζει να καθοδηγείται από, τον θεωρούμενο περίπλοκο χαρακτήρα αυτών των επενδύσεων. Η πολυπλοκότητα αυτή προκύπτει από τις πολύπλευρες εκτιμήσεις που περιλαμβάνουν τεχνολογικές, τεχνικές, περιβαλλοντικές, χωρικές και κοινωνικοοικονομικές διαστάσεις που είναι εγγενείς στο σχεδιασμό και την εκτέλεση των έργων ΑΠΕ.

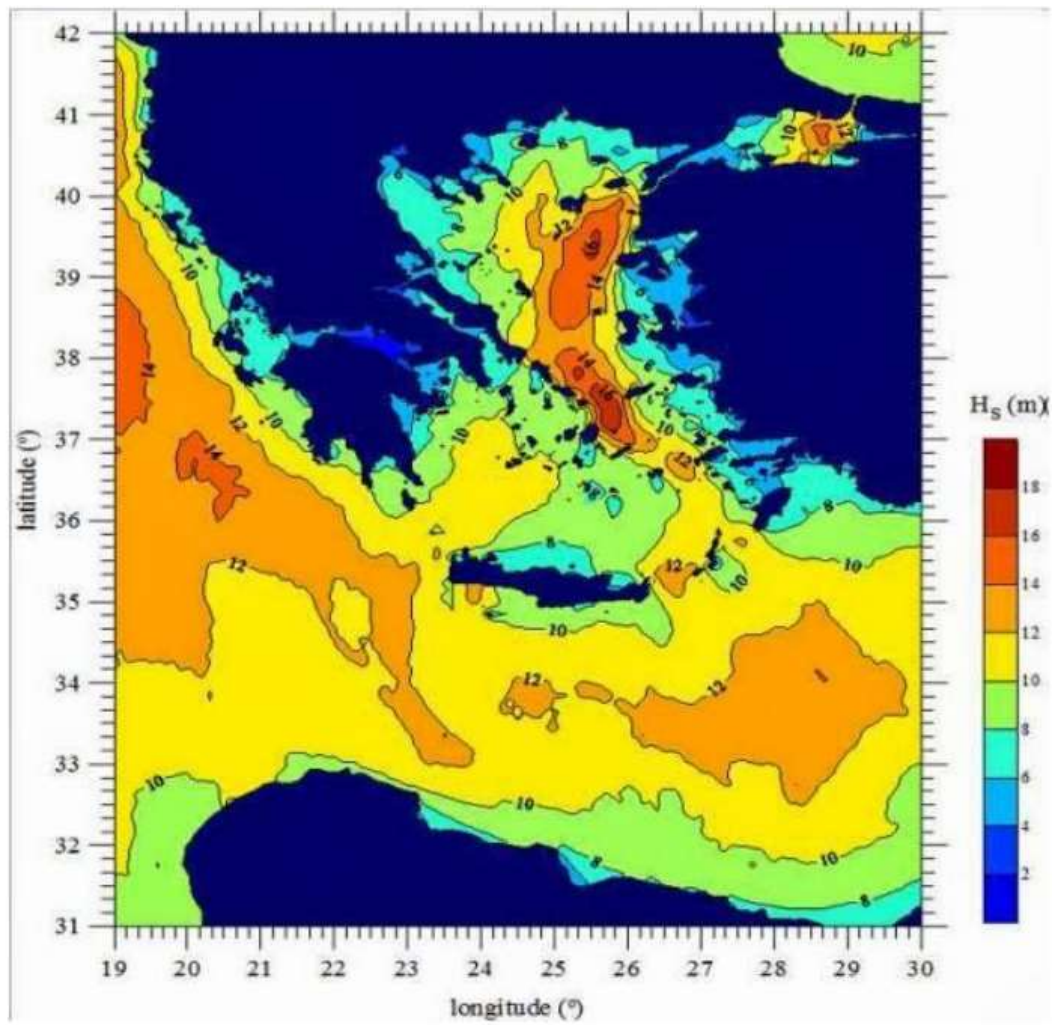
Στο πλαίσιο των ελληνικών θαλασσών, μια πρώτη προσέγγιση του κυματικού δυναμικού μπορεί να προκύψει από την ανάλυση των δεκαετών κυματικών δεδομένων που λαμβάνονται από το σύστημα Ποσειδών, τα οποία έχουν καταγραφεί στην ολοκληρωμένη έκδοση με τίτλο "Άτλαντας Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών". Το προαναφερθέν σύστημα αποτελείται από ένα δίκτυο πλωτών συσκευών που συλλέγουν και αναλύουν δεδομένα ανά τρίωρα διαστήματα.



Αριθμητικά Σημεία	Δυναμικό [KW/m]
H1	3.08
H2	3.96
H3	3.52
H4	3.83
H5	4.59
H6	6.08
H7	6.46
H8	4.63
H9	6.92
H10	7.72
H11	5.45
H12	5.31

Εικόνα 25: Κυματικό δυναμικό και αριθμητικά σημεία.

Σε ετήσια βάση στο βόρειο Αιγαίο η τιμή της κυματικής ενέργειας είναι 3 – 5 kW/m, ενώ στο κεντρικό – βόρειο Αιγαίο στην περιοχή των Κυκλάδων φτάνει τα 6 kW/m. Στο νοτιοδυτικό Αιγαίο η κυματική ενέργεια κυμαίνεται μεταξύ 4 – 5 kW/m. Οι υψηλότερες τιμές κυματικής ενέργειας της τάξης των 6 – 8 kW/m σε ετήσια βάση παρατηρούνται στα στενά μεταξύ των νησιών Κρήτη – Κύθηρα και Κρήτη – Κάσος. Μεταξύ των νησιών Κάσος – Κάρπαθος και Κάρπαθος – Ρόδος η τιμή της κυματικής ενέργειας κυμαίνεται στα 6 kW/m. Στο Ιόνιο Πέλαγος, σε ετήσια βάση, η κυματική ενέργεια κυμαίνεται μεταξύ 4 – 8 kW/m.



Εικόνα 26: Κυματική ενέργεια ανά έτος. Πηγή: Google Scholar

5ο Κεφάλαιο: Συμπεράσματα

Εν κατακλείδι, η παρούσα διπλωματική εργασία εμβάθυνε στο πολύπλευρο πεδίο της αξιοποίησης της ωκεάνιας ενέργειας, εστιάζοντας σε διάφορες τεχνολογίες και μεθόδους που συμβάλλουν στην εξερεύνηση και εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από τη θάλασσα. Στα κεφάλαια παρουσιάστηκε μια ολοκληρωμένη ανάλυση της κυματικής ενέργειας, της παλιρροιακής ενέργειας, της ενέργειας από θαλάσσια ρεύματα και της εκμετάλλευσης της ωκεάνιας θερμότητας. Μέσω αυτών των διερευνήσεων, έγινε εμφανής η σημασία της ενέργειας που προέρχεται από τους ωκεανούς ως βιώσιμης εναλλακτικής λύσης στα συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Το Κεφάλαιο 1 υπογράμμισε τη σημασία της κυματικής ενέργειας ως υποσχόμενου ανανεώσιμου πόρου, δίνοντας έμφαση στη σταθερότητα, την προβλεψιμότητα και τα οφέλη της. Συζητήθηκαν διάφορες μορφές κυματικής τεχνολογίας, ρίχνοντας φως στις ποικίλες προσεγγίσεις για τη σύλληψη και τη μετατροπή της κυματικής ενέργειας σε αξιοποιήσιμες μορφές. Η διαθεσιμότητα δεδομένων για το κυματικό κλίμα στην Ευρώπη και την Ελλάδα προσέδωσε μια κρίσιμη διάσταση, επιτρέποντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων στον ενεργειακό σχεδιασμό και την ανάπτυξη υποδομών. Το Κεφάλαιο 2 επέκτεινε τη διερεύνηση σε άλλες οδούς εκμετάλλευσης της ωκεάνιας ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της παλιρροιακής ενέργειας και της ενέργειας από θαλάσσια ρεύματα. Φωτίστηκε το δυναμικό αυτών των πηγών ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη την προβλέψιμη φύση τους και τις πλεονεκτικές γεωγραφικές τοποθεσίες όπου μπορούν να αξιοποιηθούν.

Επιπλέον, διερευνήθηκαν οι προοπτικές εκμετάλλευσης της ωκεάνιας θερμότητας ως βιώσιμης πηγής ενέργειας, παρουσιάζοντας συστήματα ανοικτού και κλειστού βρόχου για την αξιοποίηση της θερμοκρασιακής κλίσης μεταξύ των επιφανειακών και των βαθιών υδάτων. Το κεφάλαιο 3 παρείχε πληροφορίες για τους λειτουργικούς μετατροπείς κυματικής ενέργειας, αναδεικνύοντας συγκεκριμένες τεχνολογίες όπως οι Pelamis, PowerBuoy, WaveStar, Oyster, WaveRoller, Limpet, Mutriku, WaveDragon, Ceto και AWS-III. Εμβαθύνοντας σε αυτές τις υλοποιήσεις στον πραγματικό κόσμο, η διατριβή απεικόνισε την πρόοδο και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η μετάφραση θεωρητικών εννοιών σε πρακτικές ενεργειακές λύσεις. Το κεφάλαιο 4 εμβάθυνε στις θεμελιώδεις αρχές της κυματικής ενέργειας και στις μεθοδολογίες για την εκτίμηση του δυναμικού της. Η συζήτηση σχετικά με τις υφιστάμενες εφαρμογές κυματικής ενέργειας, τα διαθέσιμα μηχανήματα και τις ευρωπαϊκές πρωτοβουλίες προσέφερε ένα ευρύτερο πλαίσιο για την κατανόηση του εξελισσόμενου τοπίου των τεχνολογιών κυματικής ενέργειας.

Συνοψίζοντας, η παρούσα διπλωματική εργασία συμβάλλει σε μια ολοκληρωμένη διερεύνηση των διαφόρων ωκεάνιων πηγών και τεχνολογιών ενέργειας, αναδεικνύοντας τις δυνατότητές τους για το μετριασμό της παγκόσμιας ενεργειακής κρίσης με παράλληλη ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Καθώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποκτούν εξέχουσα θέση στις ατζέντες βιώσιμης ανάπτυξης, τα ευρήματα και οι γνώσεις που παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμεύουν ως πολύτιμες συνεισφορές στον συνεχιζόμενο διάλογο για την αξιοποίηση της δύναμης της θάλασσας για ένα πιο πράσινο και πιο ανθεκτικό ενεργειακό μέλλον.

Βιβλιογραφία

- Akar, S. and Akdoğan, D.A. (2016). Environmental and Economic Impacts of Wave Energy. *Practice, Progress, and Proficiency in Sustainability*, pp.285–309.
doi:<https://doi.org/10.4018/978-1-5225-0440-5.ch013>.
- Al Mahfazur, A. R., Moniruzzaman, M., and Al Mamun, M., (2017). Estimation of Energy Potential of Point Absorber Buoy type Wave Energy Converter, *3rd International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT)*, Khulna, Bangladesh, pp. 1-5.
- Amin, M., Shah, H. H., Fareed, A. G., Khan, W. U., Chung, E., Zia, A., ... & Lee, C. (2022). Hydrogen production through renewable and non-renewable energy processes and their impact on climate change. *International journal of hydrogen energy*, 47(77), 33112-33134.
- Astariz, S., & Iglesias, G. (2015). The economics of wave energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 397-408.
- Bahaj, A.S., Molland, A.F., Chaplin, J.R. and Batten, W.M.J. (2007). Power and thrust measurements of marine current turbines under various hydrodynamic flow conditions in a cavitation tunnel and a towing tank. *Renewable Energy*, 32(3), pp.407–426.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.01.012>.
- Brooke J. (2003) “*Wave Energy Conversion*”, Elsevier, Oxford.
- Buldu, G., Canbolat, H., and Tutar, M., (2011). The Design of a Palette-type Wave Energy Converter System Supported by Buoys, *10th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Italy.
- Clement A., McCullen P., Falcao A., Fiorentino A., Gardner F. , Hammarlund K., Lemonis G., Lewis T., Nielsen K., Petroncini S., Pontes T. , Shild Ph., Sjordtrom B. , Sorensen H.Chr., Thorpe T. (2002), «Wave Energy in Europe: current status and perspectives», *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6, pp. 405–431 – Elsevier.
- Clément, A., McCullen, P., Falcão, A., Fiorentino, A., Gardner, F., Hammarlund, K., ... & Thorpe, T. (2002). Wave energy in Europe: current status and perspectives. *Renewable and sustainable energy reviews*, 6(5), 405-431.

Conserve Energy Future (2016). *Advantages & Disadvantages of Wave Energy*. [online] Conserve Energy Future. Available at: https://www.conserve-energy-future.com/Advantages_Disadvantages_WaveEnergy.php.

Copping, A., Battey, H., Brown-Saracino, J., Massaua, M. and Smith, C. (2014). An international assessment of the environmental effects of marine energy development. *Ocean & Coastal Management*, 99, pp.3–13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.04.002>.

Cordonnier, J., Gorintin, F., De Cagny, A., Clément, A. H., & Babarit, A. S. E. A. R. E. V. (2015). SEAREV: Case study of the development of a wave energy converter. *Renewable Energy*, 80, 40-52.

Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & Van Den Belt, M.,(1997), «The value of the world's ecosystem services and natural capital». *Nature* 387, pp. 253–260.

EIA. *International Energy Outlook 2021*; Technical Report; EIA: Washington, DC, USA, 2021.

Etemadi, A., Emdadi, A., AsefAfshar, O. and Emami, Y. (2011). Electricity Generation by the Ocean Thermal Energy. *Energy Procedia*, [online] 12, pp.936–943. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.10.123>.

Fadaeenejad, M., Shamsipour, R., Rokni, S.D. and Gomes, C. (2014). New approaches in harnessing wave energy: With special attention to small islands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, pp.345–354. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.077>.

Frid, C., Andonegi, E., Depestele, J., Judd, A., Rihan, D., Rogers, S.I. and Kenchington, E. (2012). The environmental interactions of tidal and wave energy generation devices. *Environmental Impact Assessment Review*, 32(1), pp.133–139. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2011.06.002>.

García-Tabarés, L., Lafoz, M., Blanco, M., Torres, J., Obradors, D., Nájera, J., ... & Sánchez, A. (2020). New type of linear switched reluctance generator for wave energy applications. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 30(4), 1-5.

Gill A.B., (2005), “Offshore renewable energy: ecological implications of generating electricity in the coastal zone”, *Journal of Applied Ecology*, Volume 42, Issue 4, pp. 605-615.

- Guo, B., & Ringwood, J. V. (2021). Geometric optimisation of wave energy conversion devices: A survey. *Applied Energy*, 297, 117100.
- Guterres, A. (2020). Carbon neutrality by 2050: the world's most urgent mission. *United States*.
- Henfridsson, U., Neimane, V., Strand, K., Kapper, R., Bernhoff, H., Danielsson, O., ... & Bergman, K. (2007). Wave energy potential in the Baltic Sea and the Danish part of the North Sea, with reflections on the Skagerrak. *Renewable energy*, 32(12), 2069-2084.
- Houhou, M. R., Dol, S. S., Khan, M. S., & Azeez, A. A. (2018, February). Feasibility study on converting ocean waves energy by pelamis in United Arab Emirates. In *2018 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)* (pp. 1-5). IEEE.
- IEA. Electricity Information Overview 2020 Edition. 2020. Available online: <https://webstore.iea.org/electricity-information-overview-2020-edition>
- International Energy Agency (2015). *World Outlook Energy 2015*. [online] Available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5a314029-69c2-42a9-98acd1c5deeb59b3/WEO2015.pdf>.
- International Energy Agency (IEA) (2023). *Renewables - Energy System*. [online] IEA. Available at: <https://www.iea.org/energy-system/renewables>.
- IRENA - International Renewable Energy Agency (2014). *Wave Energy: Technology brief*. [online] /publications/2014/Jun/Wave-energy. Available at: <https://www.irena.org/publications/2014/Jun/Wave-energy>.
- Jafari, R., Asef, P., Ardebili, M., & Derakhshani, M. M. (2022). Linear Permanent Magnet Vernier Generators for Wave Energy Applications: Analysis, Challenges, and Opportunities. *Sustainability*, 14(17), 10912.
- Jebli, M., and Chagdali, M., (2018). Hydrodynamic characteristics of an OWC device for Wave Energy Conversion, *Renewable Energies, Power Systems & Green Inclusive Economy (REPS-GIE)*, Casablanca, Morocco, pp. 1-5.
- Jin, S., & Greaves, D. (2021). Wave energy in the UK: Status review and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110932.

- Kempener, R., and Neumann, F., (2014). Wave energy technology brief, *IRENA Ocean Energy Technology Brief*, www.irena.org.
- Kothari, D. P., Ranjan, R., & Singal, K. C. (2021). Renewable energy sources and emerging technologies.
- KOYUNCU, B., MAHMOOD, M., & MYDERRIZI, I. (2019). *Theory and Applications of Wave Energy Converters: A Review*.
- Kukner, A., Halilbese, A.N., and Bulut, S., (2016). An approach to wave energy converter applications on turkey and their electricity generation capacity , *Naval Academy Scientific Bulletin*, Vol. XIX, Issue 1, pp. 57-62.
- Langhamer, O., Haikonen, K. and Sundberg, J. (2010). Wave power—Sustainable energy or environmentally costly? A review with special emphasis on linear wave energy converters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(4), pp.1329–1335.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.016>.
- Lavaa, A. (2021). *What Is Wave Energy? Different Types & Working Principles | Linquip*. [online] Linquip. Available at: https://www.linquip.com/blog/what-is-wave-energy/#What_is_a_wave_energy_converter [Accessed 22 Aug. 2023].
- Leeney, R.H., Greaves, D., Conley, D. and O’Hagan, A.M. (2014). Environmental Impact Assessments for wave energy developments – Learning from existing activities and informing future research priorities. *Ocean & Coastal Management*, 99, pp.14–22.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.05.025>.
- López, I., Andreu, J., Ceballos, S., De Alegría, I. M., & Kortabarria, I. (2013). Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment. *Renewable and sustainable energy reviews*, 27, 413-434.
- Mackay, D.J.C. (2013). *Sustainable Energy - without the Hot Air*. Cambridge: Uit Cambridge.
- Majidi, A., Bingölbali, B., Akpınar, A., Iglesias, G., & Jafali, H. (2021). Downscaling wave energy converters for optimum performance in low-energy seas. *Renewable Energy*, 168, 705-722.

- Mann K.H., (2000) «*Ecology of Coastal Waters: with Implications for Management*», 2nd edn. Blackwell Science, Malden, MA
- Mueller, M. A., Burchell, J., Chong, Y. C., Keysan, O., McDonald, A., Galbraith, M., & Subiabre, E. J. E. (2018). Improving the thermal performance of rotary and linear air-cored permanent magnet machines for direct drive wind and wave energy applications. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 34(2), 773-781.
- O'Rourke, F., Boyle, F. and Reynolds, A. (2010). Tidal energy update 2009. *Applied Energy*, [online] 87(2), pp.398–409. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.08.014>.
- O'Rourke F., Boyle F., Reynolds A., (2010), "Tidal Energy Update 2009", *Applied Energy* 87, pp. 398-409, Elsevier.
- Pontes M.T., Falcao A. (2001) "Ocean Energy: Resources and Utilization", 18th world energy conference, Buenos Aires, Argentina
- Rodrigues, C., Nunes, D., Clemente, D., Mathias, N., Correia, J. M., Rosa-Santos, P., ... & Ventura, J. (2020). Emerging triboelectric nanogenerators for ocean wave energy harvesting: state of the art and future perspectives. *Energy & Environmental Science*, 13(9), 2657-2683.
- Rusu, (2014). Evaluation of the Wave Energy Conversion Efficiency in Various Coastal Environments, *Energies*, Vol. 7, pp. 4002-4018.
- Rusu, E., & Onea, F. (2016). Estimation of the wave energy conversion efficiency in the Atlantic Ocean close to the European islands. *Renewable Energy*, 85, 687-703.
- Sağlam, M., SULUKAN, E., and UYAR, T. S., (2010). Wave energy and technical potential of Turkey, *Journal of Naval Science and Engineering*, Vol. 6, No.2, pp. 34-5.
- Sasaki, W. (2017). Predictability of global offshore wind and wave power. *International journal of marine energy*, 17, 98-109.
- Schönborn, A. and Chantzidakis, M. (2007). Development of a hydraulic control mechanism for cyclic pitch marine current turbines. *Renewable Energy*, 32(4), pp.662–679. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.02.004>.
- Sener, B., and Aytac, S., (2017). The renewable energy potential of Turkish coasts and a concept design of a near shore sea platform , *Journal of Thermal Engineering*, Vol. 3, No. 3, pp. 1211-1220.

Sheng, W. (2019). Wave energy conversion and hydrodynamics modelling technologies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 482-498.

Tao, K., Yi, H., Yang, Y., Chang, H., Wu, J., Tang, L., ... & Yuan, W. (2020). Origami-inspired electret-based triboelectric generator for biomechanical and ocean wave energy harvesting. *Nano Energy*, 67, 104197.

Torre-Enciso Y., Marques J., Lopez de Aguilera L.I. (2010), "Mutriku. Lessons learnt" *3rd International Conference on Ocean Energy*, 6 October, Bilbao.

Vicinanza D., Contestabile P., Norageerd J.Q.H., Andersen Th.L. (2014) "Innovative rubble mound breakwaters for overtopping energy conversion", *Coastal Engineering* 88, pp. 154-170, Elsevier.

Weiss, C. V., Guanche, R., Ondiviela, B., Castellanos, O. F., & Juanes, J. (2018). Marine renewable energy potential: A global perspective for offshore wind and wave exploitation. *Energy conversion and management*, 177, 43-54.

Westwood A. (2004) "Ocean Power- Wave and Tidal energy review", *Renewable Energy Focus*, September/October 2004, pp. 50-55, Elsevier.

Xu, S., Wang, S., & Soares, C. G. (2019). Review of mooring design for floating wave energy converters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111, 595-621.

Yeşilyurt, M. K., Oner, I.V., and Omeroglu, G., 2017. A scrutiny study on wave energy potential and policy in Turkey, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, Vol.5, No.3, Nov., pp. 286-297.

Zhang, D., Li, W., & Lin, Y. (2009). Wave energy in China: Current status and perspectives. *Renewable energy*, 34(10), 2089-2092.

Βαρελογιάννη Α. (2009), «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Στην Ελλάδα : Ενέργεια Παραγόμενη Από Τα Κύματα». Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

Βουζάβαλης Γ., Μπέλλας, Γ. (2014), «Πολυκριτηριακή κατανομή των μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας στο Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς», Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.

Ιωάννου Α. (2013), «Μελέτη εφαρμογής τεχνολογίας ενεργειακού κυματοθραύστη σε υβριδικό σύστημα παραγωγής ισχύος», Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.

Καραμπάς Θ., (2004), «Υπολογιστική Κυματομηχανική και Ακτομηχανική – Θεωρητική προσέγγιση, Εκπαιδευτικό και Επιχειρησιακό Λογισμικό». Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή περιβάλλοντος, Τμήμα Επιστημών Θάλασσας, Μυτιλήνη.

Κατσιφάρακης Κ. (2013), «Διαχείριση Ενεργειακών Πόρων - Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις», Σημειώσεις μαθήματος: Αποτίμηση και Διαχείριση περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.

Κουτίτας Χ., (1998), «Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα», Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.