



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Αυτόνομο δίκτυο ηλεκτρική ενέργειας σε νησιά με
παραγωγή ενέργειας από υποθαλάσσια ρεύματα»*

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Καλογερόπουλος Χρήστος

Επιβλέπων

Δρ. Μαλατέστας Παντελής

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «Αυτόνομο δίκτυο ηλεκτρική ενέργειας σε νησιά με παραγωγή ενέργειας από υποθαλάσσια ρεύματα»

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: Καλογερόπουλος Χρήστος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. Μαλατέστας Παντελής

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ: 2018-19

POST-GRADUATE THESIS: «Autonomous electricity grid on islands with underwater power generation»

STUDENT: Kalogeropoulos Christos

SUPERVISOR: Dr. Malatestas Pantelis

ACADEMIC YEAR: 2018-19

Abstract

The present paper titled "Autonomous electricity grid on islands with underwater power generation" is the postgraduate diploma thesis of the student Kalogeropoulos Christos of ATEI of Piraeus under the supervision of its professor Dr. Malatestas Pantelis.

In Chapter 1 reference is made to the production of energy from the sea, the energy of the waves, the tides, the oceans' thermoclines, the degree of salinity and the energy of the sea currents.

In Chapter 2 an introduction to maritime currents and circulation worldwide is made as well as its main features.

In Chapter 3, reference is made to sea currents and traffic in Greece. Specifically in the North and South Aegean, ie geostrategic circulation of the sea in winter and summer.

The 4th chapter presents the present technologies for the exploitation of the sea currents and specifically for the turbines on the horizontal and on the vertical axis, as well as the use of the energy of the currents

In Chapter 5 we analyze line load on islands and the equations used are also reported

In the 6th chapter, we analyze the simulation model with the turbines. Specifically, power-takeoff modeling and optimization is performed, as well as validation of simulation results and assembly of a waveform model. Finally, the development and evolution of CETO 6 is mentioned.

The 7th chapter analyzes the conclusions and weaknesses of the system we have reached.

Keywords: underwater currents, turbine, flow load

Περίληψη

Το παρόν σύγγραμμα με τίτλο «Αυτόνομο δίκτυο ηλεκτρική ενέργειας σε νησιά με παραγωγή ενέργειας από υποθαλάσσια ρεύματα» αποτελεί τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία του φοιτητή Καλογερόπουλου Χρήστου του Τμήματος Ηλεκτρολογίας του ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ υπό την επίβλεψη του καθηγητή Δρ. Μαλατέστα Παντελή.

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην παραγωγή ενέργειας από την θάλασσα, στην ενέργεια των κυμάτων, των παλιρροιών, το θερμοκλινές του Ωκεανού, τη βαθμίδα αλατότητας και την ενέργεια των θαλάσσιων ρευμάτων.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα θαλάσσια ρεύματα και την κυκλοφορία παγκοσμίως καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά αυτής.

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα θαλάσσια ρεύματα και στην κυκλοφορία στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα στο Βόρειο και στο Νότιο Αιγαίο, δηλαδή στην γεωστροφική κυκλοφορία του πελάγους το χειμώνα και το καλοκαίρι.

Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των υπάρχουσών τεχνολογιών αξιοποίησης των θαλάσσιων ρευμάτων και συγκεκριμένα για τις τουρμπίνες σε οριζόντιο και σε κατακόρυφο άξονα, καθώς και την αξιοποίηση της ενέργειας των ρευμάτων

Στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του φορτίου γραμμών σε νησιά και αναφέρονται και οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται.

Στο 6^ο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του μοντέλου προσομοίωσης με τις τουρμπίνες. Συγκεκριμένα γίνεται μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση του Power-Takeoff, καθώς και επικύρωση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης και συναρμολόγηση ενός μοντέλου κυματομορφής. Τέλος αναφέρεται η ανάπτυξη και η εξέλιξη του CETO 6.

Στο 7^ο κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα και οι αδυναμίες του συστήματος που καταλήξαμε.

Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του τμήματος Ηλεκτρολογίας του ΑΤΕΙ Πειραιά με τίτλο Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Μαλατέστα Παντελή για την αμέριστη συμπαράσταση και υπομονή που επέδειξε στο πρόσωπό μου. Χωρίς τη συμπαράστασή του, ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής δεν θα ήταν δυνατή.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής, Δρ. Πάσχο Παύλο και Δρ. Καραϊσά Πέτρο για τη βοήθεια και κατανόησή τους.

Πίνακας περιεχομένων

Abstract	iii
Περίληψη	iv
Ευχαριστίες	v
Πίνακας Εικόνων	viii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Η παραγωγή ενέργειας από την θάλασσα	1
1.3 Η Κυματική Ενέργεια	2
1.4 Ενέργεια Παλιρροιών.....	4
1.5 Θερμοκλινές των ωκεανών	6
1.6 Βαθμίδα Αλατότητας	7
1.7 Ενέργεια των Θαλάσσιων Ρευμάτων	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	10
ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ.....	10
2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	13
ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	13
3.1 Βόρειο Αιγαίο	16
3.2 Νότιο Αιγαίο – Κρητικό Πέλαγος.....	19
3.2.1 Γειοστροφική κυκλοφορία του Κρητικού Πελάγους κατά την διάρκεια της Άνοιξης.....	19
3.2.2 Γεωστροφική κυκλοφορία του Κρητικού πελάγους κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.....	22
3.2.3 Γεωστροφική κυκλοφορία του Κρητικού πελάγους κατά την διάρκεια του Φθινοπώρου.....	26
3.2.4 Γεωστροφική κυκλοφορία του Κρητικού πελάγους κατά την διάρκεια του Χειμώνα.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	32
ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	32
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ.....	32
4.1 Τουρμπίνες οριζόντιου άξονα.....	33
4.2 Τουρμπίνες κάθετου άξονα.....	40
4.3 Βυθιζόμενη συσκευή διαφορικής πίεσης – Submerged Pressure Differential Device .	44
4.3.1. Archimedes Wave Swing ¹	46
4.3.2. CETO.....	47
4.4 Διάταξη αξιοποίησης της ενέργειας των ρευμάτων	48
4.5 Επιπτώσεις της Ενεργειακής Εξαγωγής που χρησιμοποιούν οι Θαλάσσιες Τρέχουσες Ενεργειακές Συσκευές	48
4.6. Επιπτώσεις στο Περιβάλλον	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	56

ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΕ ΝΗΣΙ	56
5.1 Ανάλυση ροών φορτίων	56
5.2 Εξισώσεις ροής φορτίου.....	57
5.3 Διασύνδεση του προτεινόμενου συστήματος στο ΣΗΕ της Μήλου	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο	64
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΤΟΥΡΜΠΙΝΕΣ	64
6.1 Μοντελοποίηση και προσομοίωση συστημάτων ηλιακής ενέργειας.....	64
6.2 Μοντελοποίηση και προσομοίωση της τεχνολογίας της επόμενης γενιάς.....	65
6.3 Μοντελοποίηση και Βελτιστοποίηση του Power – Take off.....	69
6.4 Επικύρωση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης και συναρμολόγηση ενός μοντέλου κυματομορφής.....	70
6.5 CETO 6 Ανάπτυξη και εξέλιξη.....	72
6.6 Στοιχεία που βασίζονται σε δεδομένα με το MATLAB Analytics: Μελέτη περίπτωσης ενεργειακής πρόβλεψης	74
6.7 Εισαγωγή και εξερεύνηση δεδομένων	75
6.8 Καθαρισμός και συσσωμάτωση των δεδομένων	78
6.9. Καθαρισμός και συσσωμάτωση των δεδομένων	80
6.10. Καθαρισμός και συσσωμάτωση των δεδομένων	83
6.11. Επόμενα βήματα	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο	85
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	86

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 Διάταξη Pelamis σε λειτουργία.....	3
Εικόνα 2 Σταθμός πριν την βύθιση του στο νερό.....	5
Εικόνα 3 Αρχή λειτουργίας διατάξεων αξιοποίησης της ενέργειας λόγω βαθμίδας αλατότητας.....	8
Εικόνα 4 Χάρτης των ρευμάτων του ωκεανούς της Γης.....	11
Εικόνα 5 Χωρική χρονική μεταβλητότητα της παραγωγικότητας στο Αιγαίο πέλαγος, όπως υπολογίζεται από δορυφορικές μετρήσεις (CZCS), κατά τη διάρκεια των μηνών Απριλίου και Σεπτεμβρίου.....	14
Εικόνα 6 Θερμοαλατική κυκλοφορία Αιγαίου Πελάγους.....	15
Εικόνα 7 Απεικόνιση επιφανειακής κυκλοφορίας υδάτων στο Β. Αιγαίο, μέσω γεωστροφικών ρευμάτων α) Μάιος β) Σεπτέμβριος.....	16
Εικόνα 8 Η οριζόντια κατανομή επιφανειακής αλατότητας ως ιχνηλάτης του Νερού της Μαύρης Θάλασσας (Zodiatiw and Baloroulow, 1993), και θερμοκρασίας, επιφανειακά γεωγραφικά ρεύματα στο Β. Αιγαίο.....	18
Εικόνα 9 Θ/S διάγραμμα του PELAGOS-1, την άνοιξη του 1994, διακρίνονται οι κύριες υδάτινες μάζες.....	20
Εικόνα 10 Χάρτης ανάλυσης, την Άνοιξη του σε δυναμικό ύψος (σε dyn.m) 50dbar (1) αντικυκλώνας Πέλοπας, (2) κυκλώνας του Μητρώου/Κρητικού πελάγους, (3) ο αντικυκλώνας του Κρητικού πελάγους, (4) ο κυκλώνας του ανατολικού Κρητικού πελάγους, (5) ο αντικυκλώνας Ιεράπετρα, (6) ο κυκλώνας της Ρόδου και (7) το ρεύμα της Μικράς Ασίας.....	21
Εικόνα 11 Θ/S διάγραμμα τον Ιούνιο 1994, διακρίνονται οι υδάτινες μάζες.....	23
Εικόνα 12 Χάρτης ανάλυσης το καλοκαίρι στα 50dba (1) δίνη Πέλοπας, (2) κυκλώνας του Μητρώου/Κρητικού πελάγους, (3) ο αντικυκλώνας του κρητικού πελάγους και (4) ο κυκλώνας του ανατολικού Κρητικού πελάγους.....	24
Εικόνα 13 Διάγραμμα Θ/Σ τον Σεπτέμβριο, διακρίνονται οι υδάτινες μάζες.....	27
Εικόνα 14 χάρτης ανάλυσης, το φθινόπωρο σε 10dba, (1) η δίνη της Ρόδου, (2) ο αντικυκλώνας Ιεράπετρα, (3) το ρεύμα της Μικράς Ασίας, (4) ο αντικυκλώνας της Ρόδου, (5) ο κυκλώνας του Μητρώου- δυτικού Κρητικού πελάγους ,(7) ο κυκλώνας του ανατολικού Κρητικού πελάγους.....	28
Εικόνα 15 Διάγραμμα Θ/Σ τον χειμώνα (Ιανουάριος-Φεβρουάριος) 1995, διακρίνονται οι υδάτινες μάζες.....	30
Εικόνα 16 Χάρτης ανάλυσης σε δυναμικό ύψος στα 5dbar, (1) ο κυκλώνας του Μητρώου-δυτικού Κρητικού πελάγους, (2) ο κυκλώνας του ανατολικού Κρητικού πελάγους, (3) ο κυκλώνας στο κεντρικό-ανατολικό Κρητικό πέλαγος και (4) δίνη Πέλοπας.....	31

Εικόνα 17 Εκμετάλλευση Θαλάσσιων ρευμάτων.....	32
Εικόνα 18 Τουρμπίνα οριζόντιου άξονα (Α) με περίβλημα και (Β) χωρίς περίβλημα.	33
Εικόνα 19 Η γεννήτρια Seagen κατά την εγκατάστασή της.....	34
Εικόνα 20 Εγκατεστημένες συσκευές Hammerfest στο βυθό της θάλασσας.....	35
Εικόνα 21 Τουρμπίνα Verdant οριζοντίου άξονα.....	36
Εικόνα 22 Η συσκευή Triton 3 κατάλληλη για βάθος μεταξύ 35-55 μέτρα.....	38
Εικόνα 23 Βάσεις στήριξης μόνο με τη βοήθεια της βαρύτητας, καρφωμένο πλαίσιο και με μόνο πάσσαλο.	39
Εικόνα 24 Μικρό ρυμουλκό μεταφέρει τη συσκευή Triton 6 στην καθορισμένη θέση.	39
Εικόνα 25 Τουρμπίνα κάθετου άξονα με περίβλημα.....	40
Εικόνα 26 Ελικοειδής τουρμπίνα Gorlon.	41
Εικόνα 27 Η τουρμπίνα κάθετου άξονα Kobold.	42
Εικόνα 28 Βυθισμένη συσκευή δορυφορικής πίεσης.	44
Εικόνα 29 Τρόπος λειτουργίας βυθιζόμενης συσκευής διαφορικής πίεσης.....	45
Εικόνα 30 Archimedes Wave Swing, Πορτογαλία - 2MW.	46
Εικόνα 31 Ceto.....	47
Εικόνα 32 Συναρμολόγηση τουρμπίνας Seagen.....	49
Εικόνα 33 Μετακίνηση λεπίδων ή των υδρολισθητήρων των συσκευών.	50
Εικόνα 34 Συσκευή θαλάσσιων ρευμάτων με υδραυλικό σύστημα.	51
Εικόνα 35 Διαταραχές μετανάστευσης των ψαριών από την ανατάραξη της ροής του νερού.	52
Εικόνα 36 Διάταξη παλιρροϊκού πάρκου σε σειρά.....	54
Εικόνα 37 ΣΗΕ Μήλου.	61
Εικόνα 38 Σύστημα CETO 5.	66
Εικόνα 39 Σχέδιο μετρημένης ισχύος εξόδου για τη μονάδα CETO 5# 2 ως συνάρτηση μιας μόνο μεταβλητής ελέγχου.....	67
Εικόνα 40 Διάγραμμα συστήματος CETO 6.	68
Εικόνα 41 Μοντέλο Simulink που δείχνει τα υδραυλικά εξαρτήματα CETO 6.	69
Εικόνα 42 Πρωτότυπο κλίμακας στη δεξαμενή κύματος.....	70

Εικόνα 43 Εγκατάσταση δοκιμής ενέργειας θαλάσσιου διαύλου στη Κορνούαλη, Ηνωμένο Βασίλειο.	72
Εικόνα 44 CETO 6 που δείχνουν γραμμές πρόσδεσης.....	73
Εικόνα 45 Κορυφή: Τα δεδομένα CSV που επιλέγονται για εισαγωγή. Κάτω: Μία συνάρτηση MATLAB που δημιουργείται αυτόματα για την εισαγωγή των δεδομένων.	77
Εικόνα 46 Πίνακας ενεργειακού φορτίου που παρουσιάζει ανώμαλες αιχμές στη ζήτηση.....	78
Εικόνα 47 Κορυφή: Απεικόνιση πραγματικού φορτίου και ομαλοποιημένο φορτίο με ανωμαλίες σε κύκλο. Κάτω: Σχέδιο της διαφοράς μεταξύ πραγματικών και εξομαλυσμένων τιμών.	79
Εικόνα 48 Κορυφή: Οικόπεδο μέτρου φορτίου και φορτίου που προβλέπεται από ένα νευρικό δίκτυο. Κάτω: Σχέδιο που συγκρίνει τις μετρούμενες και τις προβλεπόμενες τιμές.	81
Εικόνα 49 Σχέδιο μετρούμενου φορτίου και προβλεπόμενου φορτίου.....	82
Εικόνα 50 Ανάλυση δεδομένων σε MATLAB που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον παραγωγής με Apache Tomcat και διακομιστή παραγωγής MATLAB.....	84

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η κατανάλωση ενέργειας θα αυξηθεί δραματικά κατά τις επόμενες δεκαετίες σε ολόκληρο τον πλανήτη. Μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία μέχρι σήμερα ελάχιστα έχει αξιοποιηθεί, είναι η ενέργεια της θάλασσας. Οι θαλάσσιες μάζες καλύπτουν το 75% της επιφάνειας του πλανήτη και μπορούν να θεωρηθούν ένα κολοσσιαίο, «παγκόσμιο» ενεργειακό ρεζερβουάρ.

1.2 Η παραγωγή ενέργειας από την θάλασσα

Η ιδέα για την εκμετάλλευση του θαλάσσιου κυματισμού δεν είναι νέα. Η πρώτη ευρεσιτεχνία χρονολογείται στα 1799, ενώ πλήθος άλλων τεχνολογιών επινοήθηκε και λειτούργησε σε μικρή κλίμακα μέχρι τα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Η συντονισμένη όμως έρευνα στον τομέα αυτό ξεκίνησε στη δεκαετία του 1970 μετά την μεγάλη πετρελαϊκή κρίση. Σήμερα πλέον οι προσπάθειες των προηγούμενων δεκαετιών έχουν αρχίσει να αποδίδουν καρπούς.

Οι μορφές θαλάσσιας ενέργειας είναι πολλές και οι ποσότητες ενέργειας οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν τεράστιες. Η θαλάσσια επιφάνεια απορροφά τεράστιες ποσότητες ηλιακής και αιολικής ενέργειας, η οποία εμφανίζεται στη θάλασσα σε διάφορες μορφές, όπως κύματα ή ρεύματα (wave energy).

Επιπλέον, διάφορες άλλες πηγές ενέργειας στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι το φαινόμενο της παλίρροιας (tidal energy), το θερμικό δυναμικό μεταξύ των ανωτέρων (θερμότερων) και κατωτέρων (ψυχρότερων) θαλάσσιων στρωμάτων (ocean thermal energy) ή οι μεταβολές πυκνότητας σε θαλάσσια στρώματα διαφορετικής αλατότητας (salinity power).

Κοινή ιδιότητα των μορφών θαλάσσιας ενέργειας είναι η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, η οποία είναι η υψηλότερη μεταξύ των ανανεώσιμων. Σήμερα διάφορες τεχνολογίες κυματικής και παλιρροιακής ενέργειας έχουν φτάσει σε τέτοιο τεχνικό στάδιο, ώστε η μαζική αξιοποίηση της θάλασσας για παραγωγή καθαρής και φτηνής ενέργειας να θεωρείται πλέον εφικτή.

Η παραγωγή ενέργειας από την θάλασσα ενδιαφέρει άμεσα την Ελλάδα, με τον μεγάλο αριθμό νησιών, αλλά και την τεράστια ακτογραμμή της (13700 km), η οποία είναι η μακρύτερη στην Ε.Ε. Το Αιγαίο Πέλαγος διαθέτει αξιοποιήσιμο θαλάσσιο ενεργειακό δυναμικό, το υψηλότερο της Μεσογείου, με την εκμετάλλευση του οποίου θα μπορούσε να καλυφθεί σημαντικό ποσοστό των ενεργειακών αναγκών μας.

1.3 Η Κυματική Ενέργεια

Η ενέργεια του θαλάσσιου κυματισμού είναι, όπως όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ανεξάντλητη. Υπολογίζεται ότι η αξιοποίηση του 1% του κυματικού δυναμικού του πλανήτη μας θα κάλυπτε στο τετραπλάσιο την παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση. Παρουσιάζει μεταξύ των ανανεώσιμων την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα. Για παράδειγμα, σε ημερήσια βάση, η ενέργεια κυματισμού ύψους 1m μπορεί σε μέτωπο πλάτους μόλις ενός m να ξεπεράσει τις 300 kWh. Από την ενέργεια αυτή θα μπορούσε να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό τουλάχιστον το 5-10%, δηλαδή 15-30 kWh ημερησίως. Συγκριτικά αναφέρεται ότι μία τετραμελής οικογένεια καταναλώνει κατά μέσο όρο 10 kWh ημερησίως.

Μεταξύ διάφορων μορφών κυματισμού, τα ανεμογενή κύματα που δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση του ανέμου με τη θαλάσσια επιφάνεια, παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για ενεργειακή εκμετάλλευση.

Τα υψηλότερα επίπεδα κυματικής στον πλανήτη μας εμφανίζονται μεταξύ του 30^{ου} και 60^{ου} παράλληλου και στα δύο ημισφαίρια. Στις δυτικοευρωπαϊκές ακτές επικρατεί ιδιαίτερα ισχυρός κυματισμός με μέση ισχύ της τάξης των 40 με 70 kW ανά μέτρο μετώπου κύματος. Το κυματικό δυναμικό της Ελλάδας είναι το υψηλότερο της Μεσογείου, με μέση ισχύ η οποία σε ορισμένες περιοχές του Αιγαίου ξεπερνάει τα 15 KW/m.

Η τεχνικά εκμεταλλεύσιμη ενέργεια από τα κύματα για τα κράτη της Ε.Ε. υπολογίζεται συνολικά σε 150 με 230 TWh/έτος, από τα οποία περίπου 5 TWh/έτος αντιστοιχούν στις Ελληνικές θάλασσες. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί περίπου στο 10% της κατανάλωσης ηλεκτρισμού στην Ελλάδα.

Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα συγκεντρώνει τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και επιπλέον σε αντίθεση με άλλες ανανεώσιμες, οι εγκαταστάσεις κυματικής ενέργειας δεν δεσμεύουν γη, ενώ η οπτική και ακουστική όχληση είναι μηδαμινή. Οι τεχνολογίες που αναφέρονται πιο κάτω μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ηλεκτροδότηση παράκτιων περιοχών, νησιών και κλπ.



Εικόνα 1 Διάταξη Pelamis σε λειτουργία

Οι παραπάνω τεχνολογίες έχουν ήδη αποδείξει την αξιοπιστία τους στην ανοικτή θάλασσα. Το ηλεκτροπαραγωγικό κόστος παραμένει συγκριτικά υψηλό (0,08 με 0,10 Ευρώ/kWh), διπλάσιο από τη μέση τιμή του ηλεκτρισμού σήμερα στην ευρωπαϊκή Ένωση, ωστόσο η περαιτέρω τεχνολογική εξέλιξη αναμένεται να οδηγήσει στη μείωσή του.

1.4 Ενέργεια Παλιρροιών

Οι τεχνολογίες παλιρροιακής ενέργειας αξιοποιούν την αυξομείωση της θαλάσσιας στάθμης κατά την παλίρροια. Οι παλίρροιες έχουν σταθερές περιόδους περίπου 12,5 και 24 ωρών και για το λόγο αυτό είναι προβλέψιμες.

Οι αυξομειώσεις της θαλάσσιας στάθμης κατά την παλίρροια είναι συνυφασμένες με παλιρροιακά ρεύματα, οριζόντιες μετατοπίσεις θαλάσσιας μάζας, οι οποίες έχουν περίπου την ίδια περιοδικότητα. Τα ρεύματα είναι ισχυρά και θεωρούνται ιδιαίτερα κατάλληλα για ενεργειακή αξιοποίηση, επειδή εμφανίζονται σε σχετικά μικρά βάθη. Η εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας της παλίρροιας γίνεται με την κατασκευή ενός φράγματος στην είσοδο ενός κόλπου ή θαλάσσιου διαύλου, δημιουργώντας έτσι μία φυσική δεξαμενή.

Κατά την άνοδο της παλίρροιας το νερό εισέρχεται στη φυσική αυτή δεξαμενή μέσα από υδατοφράκτες, οι οποίοι κλείνουν όταν η παλίρροια φτάσει στο ζενίθ. Οι υδατοφράκτες ανοίγουν πάλι στο ναδίρ της παλίρροιας επιτρέποντας την έξοδο του νερού δια μέσου υδροστροβίλων. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να θεωρηθεί «ώριμη». Ωστόσο, λίγοι σταθμοί αυτού του τύπου έχουν κατασκευασθεί ανά τον κόσμο, ο μεγαλύτερος συνολικής ισχύος 240MW, κατασκευάστηκε τη δεκαετία του 1960 στη γαλλική πόλη La Rance και λειτουργεί από τότε με επιτυχία.

Τα παλιρροιακά ρεύματα ιδιαίτερα αποδοτική πηγή ενέργειας. Την τελευταία δεκαετία πολλοί ευρωπαϊκοί οργανισμοί και τεχνικές εταιρίες έχουν εστιάσει τις δραστηριότητές τους σε αυτόν τον τομέα. Οι τεχνολογίες είναι παρόμοιες προς αυτές της αιολικής ενέργειας, χρησιμοποιούν δηλαδή στροβίλους οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα, πλωτούς ή πακτωμένους στον θαλάσσιο πυθμένα. Λόγω της πολύ μεγαλύτερης πυκνότητας του ύδατος, το μέγεθος ενός στροβίλου παλιρροιακού ρεύματος είναι πολύ μικρότερο, περίπου το $\frac{1}{4}$, από αυτό μιας ανεμογεννήτριας της ίδιας ηλεκτρικής ισχύος. Επιπλέον, η οπτική και ακουστική όχληση από στροβίλους παλιρροιακών ρευμάτων είναι μηδαμινή.

Στην Ευρώπη αξιοποιήσιμα παλιρροιακά ρεύματα εντοπίζονται στα στενά της Μάγχης και στη νότια Ιρλανδία. Επίσης σημαντικά ρεύματα απαντώνται στην περιοχή της Μεσσίνας στην Ιταλία, καθώς και στο Αιγαίο Πέλαγος, με γνωστότερο το ρεύμα του Ευρίπου.

Αν κι η συστηματική έρευνα στον τομέα αυτό ξεκίνησε την τελευταία δεκαετία, ήδη στην Ευρώπη έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν με επιτυχία αρκετοί πιλοτικοί σταθμοί. Για το κοντινό μέλλον προγραμματίζονται μεγάλες εγκαταστάσεις ισχύος αρκετών MW. Ο πιο πρόσφατος εγκατεστημένος σταθμός είναι το SeaGen Tidal System στο Strangford Lough της Β. Ιρλανδίας, 400 m από την ακτή. Είναι το μεγαλύτερο στον κόσμο σύστημα παραγωγής ενέργειας από παλιρροιακά ρεύματα (στο είδος του), με δυναμικότητα 1,2 MW.



Εικόνα 2 Σταθμός πριν την βύθιση του στο νερό.

Η μονάδα ζυγίζει 1000 t και τοποθετήθηκε στον πυθμένα στις 02 Απριλίου του 2018. Έχει 4 γεννήτριες που θα λειτουργούν 18 με 20 ώρες την ημέρα και θα παράγουν ενέργεια για 1000 νοικοκυριά. Στην Εικόνα δύο φαίνεται ο σταθμός πριν την βύθιση στο νερό.

1.5 Θερμοκλινές των ωκεανών

Θερμοκλινές ονομάζουμε το βάθος του στρώματος όπου έχουμε την μέγιστη θερμοκρασία στο μέγιστο βαθμό. Στον ωκεανό, το Θερμοκλινές μπορεί να θεωρηθεί ως αόρατο κάλυμμα που χωρίζει το ανώτερο μικτό στρώμα από τα κάτω ήρεμα βαθιά νερά. Το βάθος στρώματος αυξομειώνετε ανάλογα με την περιοχή, τον καιρό και κυρίως την εποχή.

Θερμοκλινές μπορεί να είναι ένα ημιμόνιμο χαρακτηριστικό γνώρισμα του σώματος του νερού στο οποίο εμφανίζονται, η μπορούν να διαμορφώσουν προσωρινά σε απάντηση στα φαινόμενα όπως η ακτινοβολία θέρμανσης, ψύξης νερού στην επιφάνεια του κατά την ημέρα και νύχτα. Οι παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στο βάθος και το πάχος ενός θερμοκλινές περιλαμβάνουν τις εποχιακές καιρικές παραλλαγές, γεωγραφικό πλάτος και τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως οι παλίρροιες και τα ρεύματα.

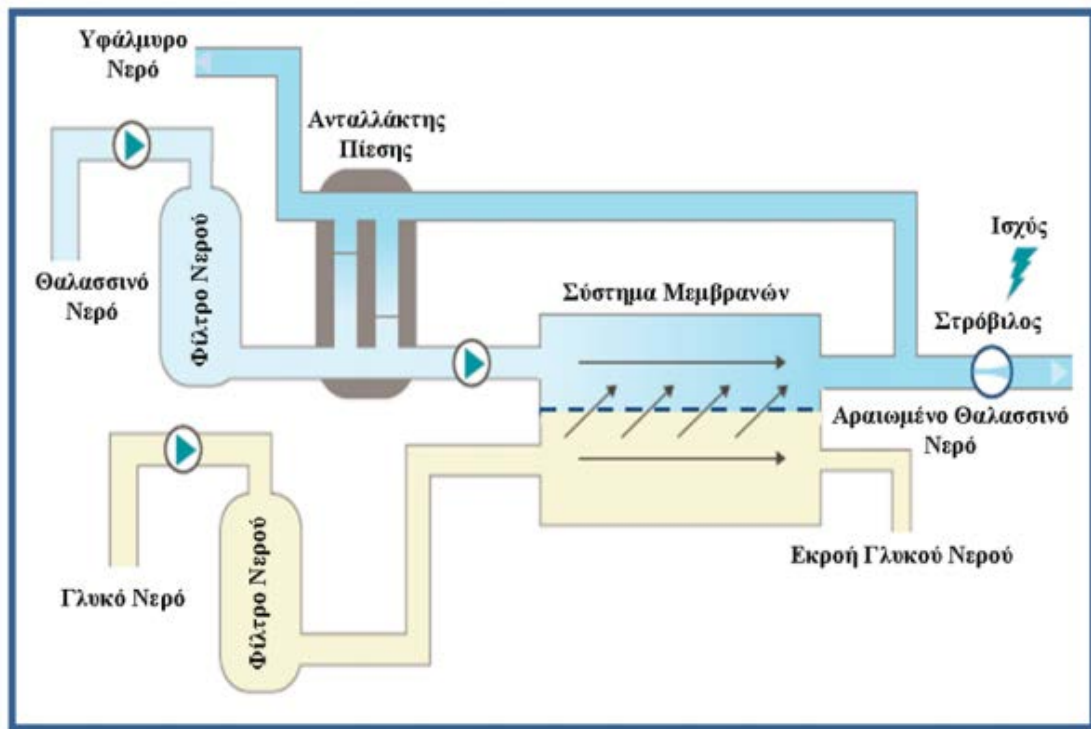
Το Θερμοκλινές μπορεί ακόμα να παρατηρηθεί στις λίμνες. Στα πιο κρύα κλίματα, αυτό οδηγεί σε ένα φαινόμενο αποκαλούμενο στρωματοποίηση. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού το νερό θερμαίνεται δημιουργώντας ένα στρώμα που εμφανίζεται στο ενδιάμεσο του πυκνότερου βαθύτερου νερού με του λιγότερου επιφανειακού νερού. Επειδή το νερό εκτίθεται στον ήλιο κατά την διάρκεια της ημέρας, υπάρχει ένα σταθερό σύστημα και πολύ λίγη μίξη του θερμού νερού και του κρύου νερού εμφανίζεται ιδιαίτερα στον ήρεμο καιρό.

1.6 Βαθμίδα Αλατότητας

Σημαντική έρευνα έλαβε χώρα από το 1975 έως το 1985 και μικρής κλίμακας προσπάθειες παραγωγής ενέργειας λόγω βαθμίδας αλατότητας έγιναν στην Ιαπωνία, στο Ισραήλ και στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η αρχή στην οποία βασίζεται η παραγωγή ενέργειας λόγω της βαθμίδας αλατότητας είναι η εκμετάλλευση της εντροπίας της ανάμιξης γλυκού νερού με αλμυρό νερό. Η διαφορά στην αλατότητα μεταξύ του νερού της θάλασσας και του γλυκού νερού δημιουργεί μια διαφορά πίεσης. Εάν στο όριο μεταξύ του νερού της θάλασσας και του γλυκού νερού τοποθετηθεί μία ημιπερατή μεμβράνη, το γλυκό νερό θα διαπεράσει αργά διαμέσου της εξαιτίας της ώσμωσης.

Μπορεί να εξαχθεί ενέργεια με την εκμετάλλευση της διαφοράς πίεσης. Το ποσό ενέργειας που εξάγεται είναι ανάλογο προς αυτήν τη διαφορά πίεσης. Αυτή η πηγή ενέργειας δεν είναι εύκολο να γίνει κατανοητή γιατί δεν γίνεται απευθείας αισθητή στη φύση με τη μορφή θερμότητας, καταρρακτών, ανέμου, κυμάτων ή ακτινοβολίας.

Η ενέργεια λόγω της βαθμίδας αλατότητας είναι από τις μεγαλύτερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η οποία είναι ακόμα ανεκμετάλλευτη. Η εκμεταλλεύσιμη ενέργεια είναι μεγάλη και αντιστοιχεί σε 2,6 MW για κάθε m³/s γλυκού νερού που αναμιγνύεται με θαλασσινό νερό.



Εικόνα 3 Αρχή λειτουργίας διατάξεων αξιοποίησης της ενέργειας λόγω βαθμίδας αλατότητας.

Υπολογίζεται ότι η εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής σε παγκόσμια κλίμακα θα έδινε 2000 TWh/y. Το κόστος εκμετάλλευσης της ενέργειας από αυτήν την πηγή είναι υψηλότερο από την πλέον παραδοσιακή υδροηλεκτρική πηγή ισχύος, αλλά είναι συγκρίσιμο με άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας που ήδη παράγονται σε εγκαταστάσεις πλήρους κλίμακας. Έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι για την εξαγωγή αυτής της ενέργειας. Η πλέον υποσχόμενη μέθοδος είναι η χρήση ημιπερατών μεμβρανών.

1.7 Ενέργεια των Θαλάσσιων Ρευμάτων

Οι τεχνολογίες των θαλάσσιων ρευμάτων βασίζονται στις παλίρροιες που δημιουργούνται από τη βαρυτική έλξη της σελήνης και του ήλιου επί των θαλασσών, όπως και με τις εγκαταστάσεις περιορισμού των παλιρροιακών υδάτων. Η κατακράτηση χρησιμοποιεί την άνοδο και την κάθοδο της στάθμης της θάλασσας και την δυναμική ενέργεια του ύψους πτώσης των υδάτων που εγκλωβίζονται σε μία λεκάνη, ενώ το παλιρροιακό ρεύμα χρησιμοποιεί την κινητική ενέργεια των ρευμάτων που εισρέουν και εκρέουν από τις παλιρροιακές περιοχές.

Στα περισσότερα μέρη οι κινήσεις των θαλάσσιων υδάτων είναι πολύ αργές και η διατιθεμένη ενέργεια δεν είναι συγκεντρωμένη για να επιτρέψει την πρακτική εκμετάλλευση της ενέργειας. Η δύναμη των θαλάσσιων ρευμάτων που δημιουργούνται από την παλίρροια διαφέρει ανάλογα με τη θέση ενός τόπου στη Γη, τη μορφή της ακτογραμμής και την βαθυμετρία.

Κατά μήκος ευθέων ακτογραμμών και στο μέσο των βαθέων ωκεανών, το παλιρροιακό εύρος και τα θαλάσσια ρεύματα είναι συνήθως μικρά. Γενικά η δύναμη των ρευμάτων σχετίζεται άμεσα με το παλιρροιακό ύψος της τοποθεσίας.

Επιπλέον, υπάρχουν μερικά σημεία όπου τα ύδατα ρέουν διαρκώς μόνο προς μία κατεύθυνση και η δύναμή τους ως επί το πλείστον είναι ανεξάρτητη από τη φάση της σελήνης. Τα ρεύματα αυτά εξαρτώνται από τις κινήσεις μεγάλων θερμικών μαζών και σε γενικές γραμμές ρέουν από τον ισημερινό προς τις ψυχρότερες περιοχές. Τα πλέον εμφανή παραδείγματα είναι το Ρεύμα του Κόλπου και τα στενά του Γιβραλτάρ, όπου στο ανώτερο στρώμα, μία συνεχής ροή υδάτων εισέρχεται στη λεκάνη της Μεσογείου από τον Ατλαντικό.

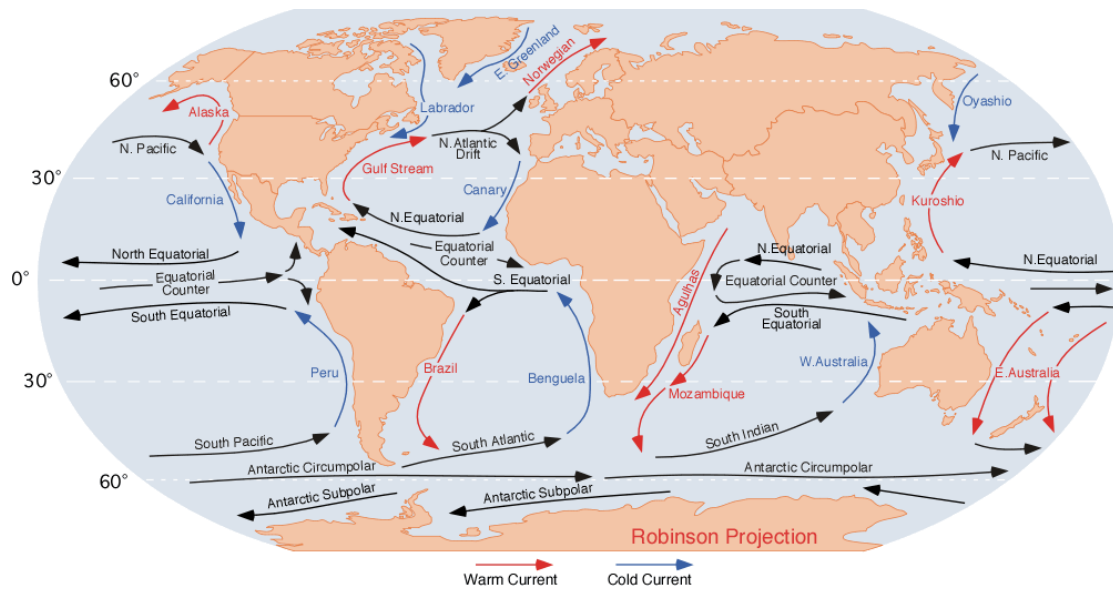
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

Θαλάσσιο ρεύμα ονομάζεται κάθε συνεχής κίνηση του θαλάσσιου νερού προς την ίδια κατεύθυνση σε μία περιοχή της θάλασσας. Η κίνηση αυτή προκαλείται από δυνάμεις που δρουν επί της μέσης ροής του υδάτινου όγκου, όπως η θραύση των κυμάτων, οι δυνάμεις Coriolis, η βαρυτική καταβύθιση, οι διαφορές θερμοκρασίας και αλμυρότητας, κλπ., ενώ οι παλίρροιες που δημιουργούν παροδικά περιοδικώς εναλλασσόμενα ρεύματα, τα παλιρροϊκά ρεύματα, προκαλούνται από τις έλξεις της Σελήνης και του Ήλιου. Η βαθυμετρική διαμόρφωση του βυθού, το σχήμα της ακτογραμμής και οι αλληλεπιδράσεις με άλλα θαλάσσια ρεύματα επηρεάζουν τόσο την κατεύθυνση όσο και την ταχύτητα (« δύναμη») ενός ρεύματος.

Τα ωκεάνια ρεύματα διατρέχουν μεγάλες αποστάσεις και συνολικά δημιουργούν την παγκόσμια αλοθερμική κυκλοφορία που διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στο κλίμα πολλών περιοχών της Γης. Τα μεγάλα ρεύματα επηρεάζουν τη μέση θερμοκρασία των γειτονικών τους περιοχών, π.χ. τα θερμά ρεύματα που διασχίζουν μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη αυξάνουν τη θερμοκρασία των γειτονικών τους περιοχών ξηράς θερμαίνοντας τις θαλάσσιες αύρες που φυσούν πάνω από αυτές.

Το πλέον χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα είναι ίσως το Ρεύμα του Κόλπου, που καθιστά τη βορειοδυτική Ευρώπη και ιδίως τις Βρετανικές Νήσους πολύ θερμότερες από οποιαδήποτε άλλη περιοχή της Γης που βρίσκεται στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος. Μία άλλη αντίθετη περίπτωση είναι η Λίμα του Περού, όπου το κλίμα είναι δροσερότερο (υποτροπικό) από αυτό της τροπικής ζώνης στην οποία βρίσκεται εξαιτίας της επιδράσεως του Ρεύματος Χούμπολτ.



Εικόνα 4 Χάρτης των ρευμάτων στον ωκεανούς της Γης.

2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά

Τα επιφανειακά θαλάσσια ρεύματα κατευθύνονται σε κάποιες περιπτώσεις από τον άνεμο και αναπτύσσουν χαρακτηριστικά δεξιόστροφες ροές στο Βόρειο Ημισφαίριο και αριστερόστροφες ροές στο Νότιο Ημισφαίριο εξαιτίας των δυνάμεων που ασκούν οι άνεμοι. Σε τέτοια ρεύματα το φαινόμενο της σπείρας Έκμαν έχει ως αποτέλεσμα το ρεύμα να ρέει υπό γωνία ως προς τον άνεμο το καθοδηγεί. Οι εκτάσεις που καταλαμβάνουν τα επιφανειακά ρεύματα μετακινούνται ελαφρά ανάλογα με την εποχή του έτους, κάτι εμφανέστερο στα ισημερινά ρεύματα.

Οι ωκεάνιες λεκάνες γενικώς έχουν από πάνω τους ένα μη συμμετρικό επιφανειακό ρεύμα, του οποίου ο ανατολικός κλάδος που ρέει προς τον ισημερινό είναι ευρύς και διάχυτος, ενώ ο δυτικός κλάδος που ρέει προς τους πόλους είναι πολύ στενός. Το φαινόμενο αυτό είναι συνέπεια της περιστροφής της Γης από τον άξονά της. Τέτοιος κλάδος είναι το Ρεύμα του Κόλπου.

Τα βαθιά θαλάσσια ρεύματα συντηρούνται από διαφορές πυκνότητας και θερμοκρασίας. Τα ρεύματα αυτά, που αποκαλούνται και «υποθαλάσσιοι ποταμοί», ρέουν κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και δεν ανιχνεύονται άμεσα.

Η σημαντική κάθετη κίνηση των υδάτινων μαζών, όπου παρατηρείται είναι γνωστή ως ανάδυση και κατάδυση. Τα τελευταία χρόνια τα βαθιά ρεύματα ερευνώνται με τη χρήση ενός στόλου 4000 υποθαλάσσιων μίνι-ρομπότ που ονομάζονται Argo.

Τα Νότια Ισημερινά Ρεύματα του Ατλαντικού και του Ειρηνικού Ωκεανού διασχίζουν τον ισημερινό της Γης. Παρά το γεγονός ότι η δύναμη Coriolis είναι πολύ ασθενής κοντά στον ισημερινό, οι όγκοι νερού που κινούνται σε ρεύματα στις δύο πλευρές του αποκλίνουν ελαφρώς προς τους πόλους και αντικαθίστανται από βαθύτερα νερά. Η ισημερινή αυτή ανάδυση που συμβαίνει στα ισημερινά ρεύματα που κινούνται προς τα δυτικά είναι σημαντική επειδή τα νερά που αναδύονται από τα βάθη του ωκεανού είναι συχνά πλούσια σε θρεπτικά συστατικά για τους θαλάσσιους οργανισμούς. Σε αντίθεση, γενικώς δυσμενείς συνθήκες για την ανάπτυξη της θαλάσσιας ζωής επικρατούν στα περισσότερα μέρη των τροπικών περιοχών των ωκεανών, επειδή η ισχυρή διαστρωμάτωση των υδάτινων όγκων απομονώνει τα βαθιά ψυχρά και πλούσια σε θρεπτικά συστατικά νερά από τη φωτιζόμενη από το ηλιακό φως επιφάνεια.

Ο όγκος των επιφανειακών θαλάσσιων ρευμάτων αποτελεί μόλις το 8% του όγκου των θαλασσών, περιοριζόμενος στα ανώτερα 400 μέτρα και διαχωρίζεται από τα βαθύτερα στρώματα εξαιτίας διαφορών στη θερμοκρασία και στην αλμυρότητα που επηρεάζουν την πυκνότητα των υδάτων.

Η ροή των θαλάσσιων ρευμάτων μετριέται σε Sverdrup (sv) . Ένα (1) sv ισούται με ρυθμό ροής όγκου 1 εκατομμυρίου κυβικών μέτρων ανά δευτερόλεπτο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

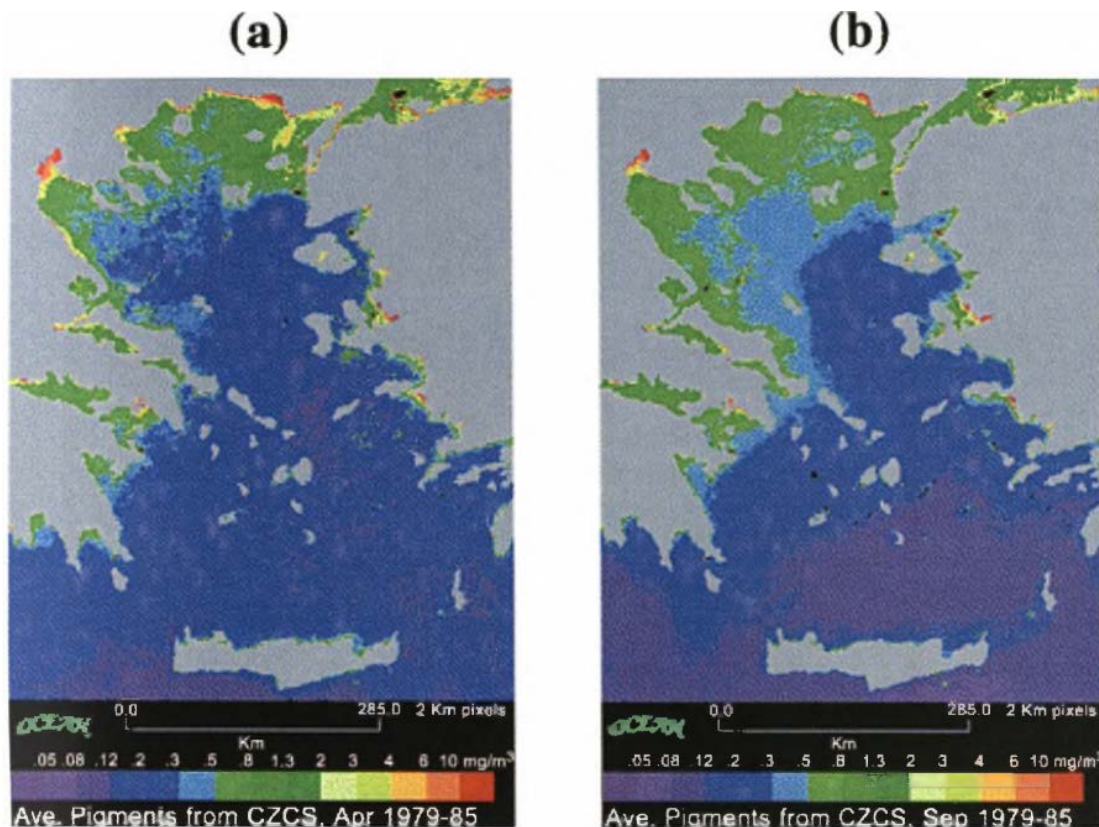
ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η επιφανειακή κυκλοφορία στο Αιγαίο πέλαγος εμφανίζει περιοδικές και εποχιακές αλλαγές. Σποραδικά καιρικά και έντονα καιρικά φαινόμενα (ισχυροί άνεμοι) είναι δυνατόν να μεταβάλλουν την μορφή της κυκλοφορίας υδάτινων μαζών.

Η ανομοιομορφία αυτή επηρεάζεται από παράγοντες όπως : η γεωγραφική κατανομή των νησιωτικών συμπλεγμάτων, η πολύπλοκη τοπογραφία του πυθμένα, εισροή της χαμηλής θερμοκρασίας και αλατότητας νερού της Μαύρης Θάλασσας, οι ποτάμιες εισροές από την ελληνική και την τουρκική ενδοχώρα, εποχιακές μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών (με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα την παρουσία των ετήσιων ανέμων κατά την καλοκαιρινή περίοδο).

Εξαιτίας της μακροπρόθεσμης γεωδυναμικής εξέλιξης και ενεργών νεοτεκτονικών διεργασιών, το Αιγαίο πέλαγος παρουσιάζει μία περίπλοκη τοπογραφία όσον αφορά τη μορφολογία του πυθμένα και την κατανομή και διαμόρφωση των νησιωτικών συμπλεγμάτων (Lykousis et al., 2002).

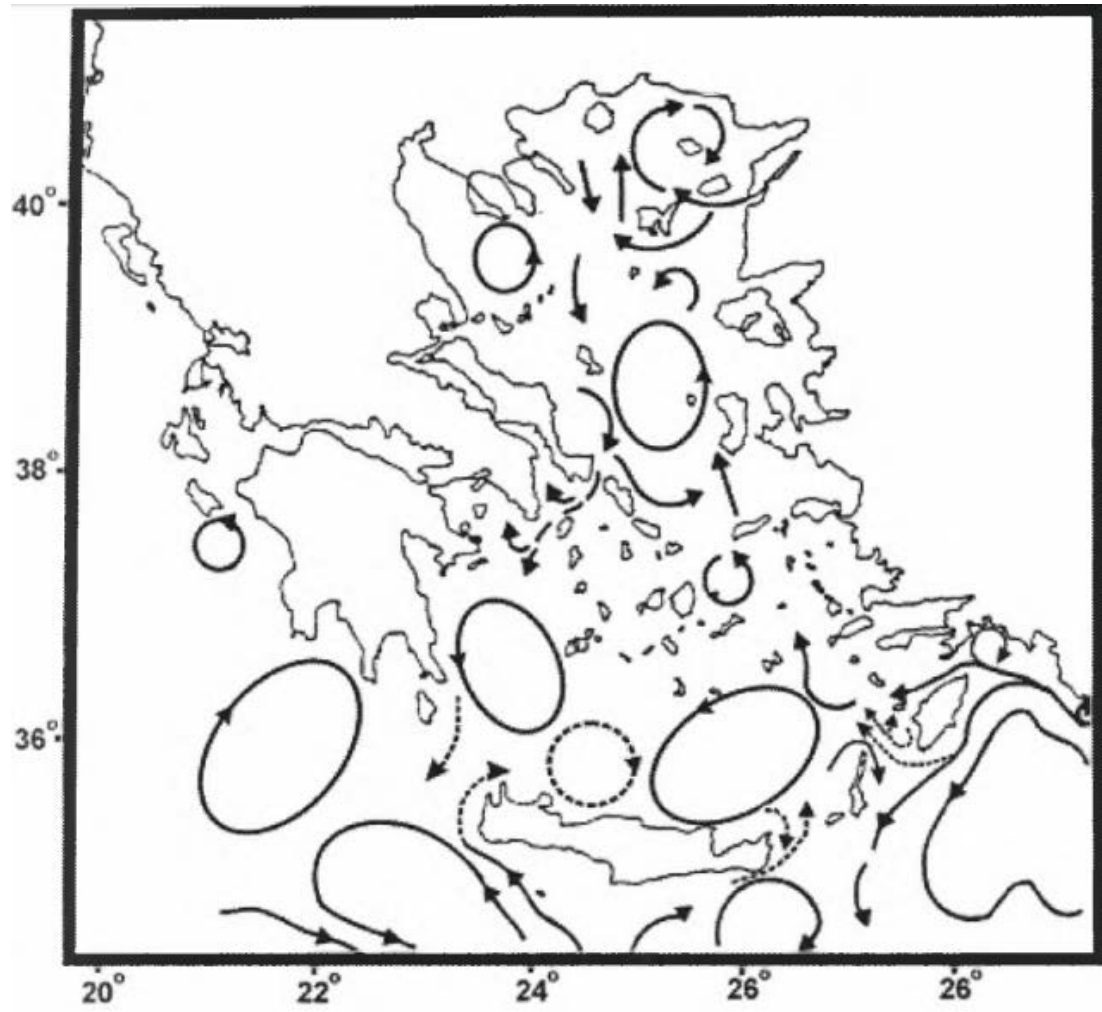
Η εισροή ποτάμιων υδάτων στο βόρειο τμήμα και χαμηλής αλατότητας νερού της Μαύρης θάλασσας (BSW), μέσω του στενού των Δαρδανελίων σε συνδυασμό με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αέρα και ύδατος, δημιουργούν ένα πολύπλοκο σύστημα σε σχέση με την κυκλοφορία των υδάτινων μαζών καθώς και τις βιολογικές, χημικές, γεωλογικές και ιζηματολογικές διεργασίες. Η πολυπλοκότητα του συστήματος ενισχύεται και από την χωρική και χρονική μεταβλητότητα των τροφικών συνθηκών όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 5 Χωρική χρονική μεταβλητότητα της παραγωγικότητας στο Αιγαίο πέλαγος, όπως υπολογίζεται από δορυφορικές μετρήσεις (CZCS), κατά τη διάρκεια των μηνών Απριλίου και Σεπτεμβρίου.

Στο Αιγαίο πέλαγος επικρατεί μία γενική κυκλωνική (δεξιόστροφης διεύθυνσης) κυκλοφορία. Ωστόσο, το πιο δυναμικό χαρακτηριστικό της επιφανειακής κυκλοφορίας είναι τα μέσης κλίμακας κυκλωνικές και αντικυκλωνικές δίνες , όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Η εισροή ύδατος της Μαύρης θάλασσας (Black Sea Water BSW) αποτελεί την κύρια πηγή υφάλμυρου νερού στο Βόρειο Αιγαίο, καθώς το σύνολο των ποτάμιων εισροών είναι μικρότερο από αυτές του BSW κατά τουλάχιστον μία μονάδα μεγέθους (Poulos et al., 1997). Η ροή του BSW στο Βόρειο Αιγαίο ποικίλει από 100 έως 1000 km³ έτος⁻¹

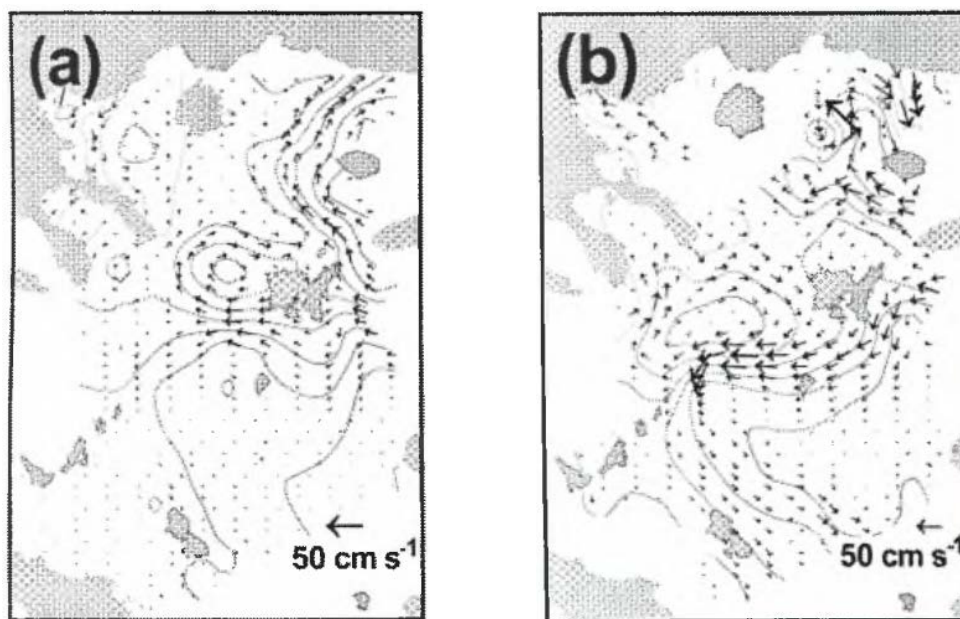


Εικόνα 6 Θερμοαλατική κυκλοφορία Αιγαίου Πελάγους.

3.1 Βόρειο Αιγαίο

Το Βόρειο Αιγαίο χαρακτηρίζεται από κυκλωνική κυκλοφορία. Το κύριο χαρακτηριστικό κυκλοφορίας είναι το μέτωπο που σχηματίζεται από τα Δαραδανέλια. Η υδάτινη αυτή μάζα χαρακτηρίζεται από μικρής κλίμακας κυκλωνική και αντικυκλωνική κυκλοφορία.

Τα ύδατα κινούνται δυτικά κατά μήκος της βόρειας ακτογραμμής της Λήμνου, όπου διαχωρίζονται προς βόρεια και νότια κατεύθυνση. Χαρακτηριστικό της κυκλοφορίας στο Βόρειο Αιγαίο αποτελεί η δημιουργία ενός πολύ ρηχού θερμοαλατικού μετώπου πάχους μικρότερου από 40 μέτρα πάνω από την λεκάνη της Λήμνου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η δημιουργία του οφείλετε στη συνάντηση του νερού της Μαύρης Θάλασσας και του μεγαλύτερης αλατότητας και θερμοκρασίας νερού της Λεβαντινής Λεκάνης.



Εικόνα 7 Απεικόνιση επιφανειακής κυκλοφορίας υδάτων στο Β. Αιγαίο, μέσω γεωστροφικών ρευμάτων α) Μάιος β) Σεπτέμβριος.

Ένα άλλο μέσης κλίμακας χαρακτηριστικό αποτελεί ο μεγάλος αντικυκλώνας γύρω από τις νήσους Σαμοθράκη και Ίμβρο. Τα στρώματα ανάμεσα στα 100 και 400 μέτρα αποτελείται από το Λεβαντινό Ενδιάμεσο Νερό (Levantine Intermediate Water LIW). Η υδάτινη αυτή μάζα χαρακτηρίζεται από κυκλωνική κυκλοφορία στο Βόρειο Αιγαίο.

Το ιδιαίτερα πυκνό νερό που σχηματίζεται στο Β. Αιγαίο ρυθμίζεται όχι μόνο από την αλληλεπίδραση θάλασσας και ατμόσφαιρας αλλά και από τον όγκο του BSW το οποίο εισέρχεται. (Zervakis et al, 2000).

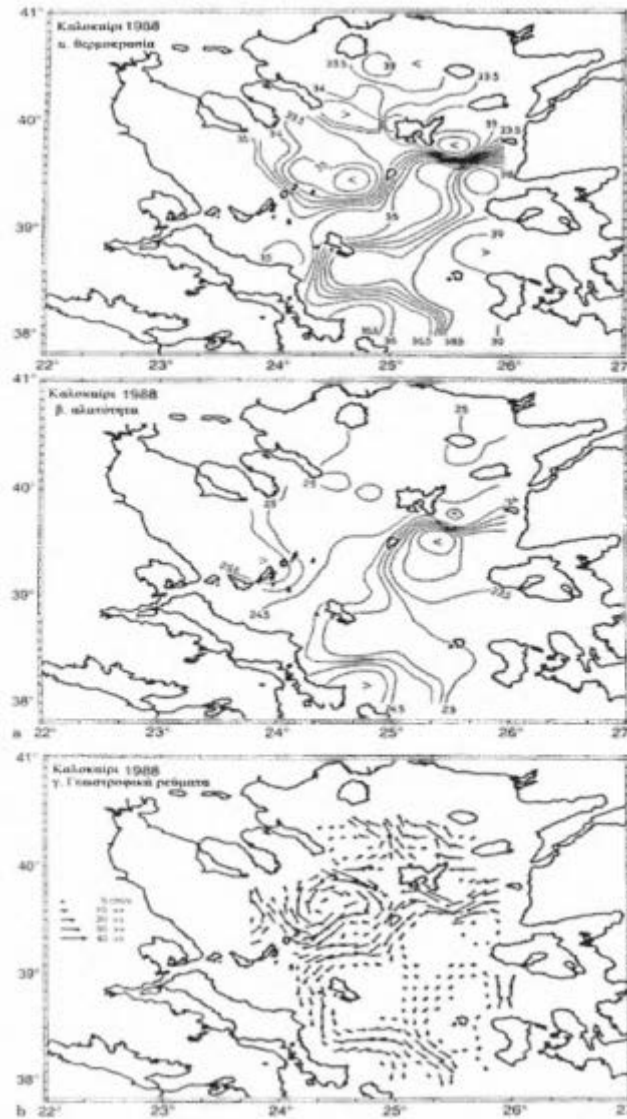
Τα επιφανειακά ύδατα προέλευσης Μαύρης θάλασσας εισέρχονται στο Β. Αιγαίο μέσω του Ελλησπόντου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Το νερό της Μαύρης θάλασσας, χαμηλής αλατότητας (29 με 34) και θερμοκρασίας (18° με 23° C κατά την καλοκαιρινή περίοδο) μεταφέρεται σε όλη σχεδόν την περιοχή του Β. Αιγαίου.

Κάτω από το στρώμα του BSW (20 με 40 m) παρατηρείται ένα καλά σχηματισμένο κατακόρυφο ολοκλινές, ως απόρροια της χαμηλής αλατότητας του επιφανειακού στρώματος, παρ' όλη την έντονη ψύξη και εξάτμιση που παρατηρούνται κατά την διάρκεια της χειμερινής και καλοκαιρινής περιόδου.

Στο Αιγαίο πέλαγος παρατηρείται ανάδυση κατά μήκος των ανατολικών ορίων της θαλάσσιας περιοχής, εξαιτίας των ισχυρών βορίων ετήσιων ανέμων κατά την καλοκαιρινή περίοδο (Αύγουστος- Σεπτέμβριος).

Υποεπιφανειακό ψυχρό νερό αναδύεται δημιουργώντας διαφορές επιφανειακής θερμοκρασίας (3° – 5° C) και εγκαθιστώντας ένα θερμικό μέτωπο μεταξύ των ανατολικών και δυτικών περιοχών του Β. Αιγαίου. Το πεδίο ανέμων και η ροή μέσω του Ελλησπόντου διευκολύνουν τη μεταφορά του νερού της Μαύρης Θάλασσας στο Β. Αιγαίο και προς τα περάσματα της λεκάνης των Κυκλάδων.

Τροποποιημένο ΝΜΘ έχει ανιχνευθεί έως τα δυτικά στενά του Κρητικού τόξου, μεταξύ του νοτιοανατολικού ιονίου και των δυτικών περιοχών του Κρητικού Πελάγους. Το τροποποιημένο ΝΜΘ κατευθύνεται από τα στενά του Ελλησπόντου προς τα νοτιοδυτικά, νότια της Λήμνου το καλοκαίρι και βόρεια το χειμώνα. Επιπλέον, μικρής κλίμακας περιοχές κυκλωνικής και αντικυκλωνικής ροής σχηματίζονται κατά μήκος της διαδρομής αυτής.



Εικόνα 8 Η οριζόντια κατανομή επιφανειακής αλατότητας ως ιχνηλάτης του Νερού της Μαύρης Θάλασσας (Zodiatiw and Baloroulow, 1993), και θερμοκρασίας, επιφανειακά γεωγραφικά ρεύματα στο Β. Αιγαίο.

Συνήθως περιοχές κυκλωνικής κυκλοφορίας σχηματίζονται στα νότια ή ανατολικά της τροχιάς του ρεύματος, ενώ περιοχές αντικυκλωνικής κυκλοφορίας εντοπίζονται στα βόρεια ή δυτικά, ανάμεσα στο ρεύμα και την ηπειρωτική Ελλάδα.

Στο Β. Αιγαίο επικρατεί σημαντική χωρόχρονη μεταβλητότητα του πεδίου ανέμων, γεγονός που οφείλεται στα ιδιαίτερα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Το στενό του Ελλησπόντου θεωρείται η φυσική έξοδος των αέριων μαζών από τη Μαύρη Θάλασσα προς το Αιγαίο (Kallos et al., 1993). Οι αέριες αυτές μάζες διοχετεύονται δια μέσου του Αιγαίου, μεταξύ της Ελλάδας και της Μικράς Ασίας.

3.2 Νότιο Αιγαίο – Κρητικό Πέλαγος

3.2.1 Γεωστροφική κυκλοφορία του Κρητικού Πελάγους κατά την διάρκεια της Άνοιξης

Υπάρχουν τρεις κύριες υδάτινες στη λεκάνη της Μεσογείου:

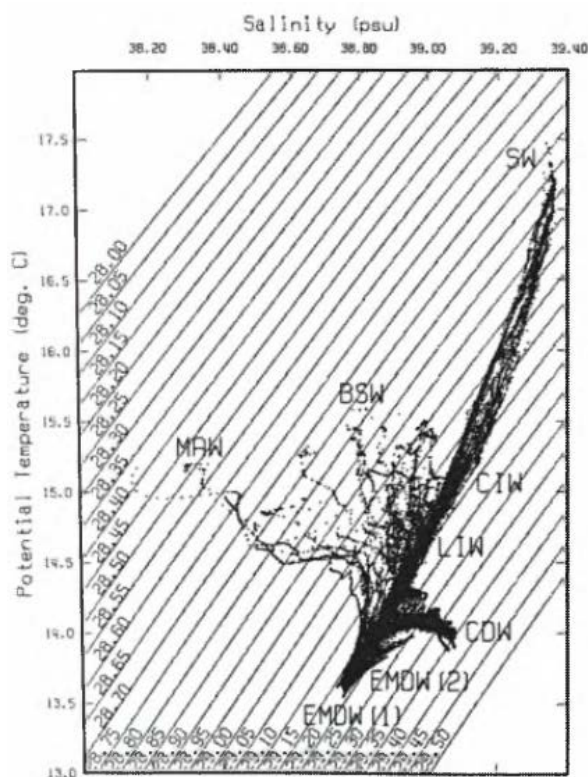
- Το επιφανειακό Τροποποιημένο Νερό του Ατλαντικού
- Το Λεβαντινό Ενδιάμεσο Νερό
- Το Βαθύ Νερό της Ανατολικής Μεσογείου

Όσο πιο πλην των ανωτέρω, έχουν ανιχνευτεί και άλλες υδάτινες μάζες, οι οποίες είναι είτε τοπικής προέλευσης είτε εισέρχονται από γειτονικές λεκάνες. Στα νοτιοανατολικά, το Κρητικό πέλαγος δέχεται σημαντική ποσότητα από νερό προερχόμενο από τη Μαύρη Θάλασσα. Υδάτινες μάζες ενδιάμεσου και πυθμενικού χαρακτήρα σχηματίζονται στις υπολεκάνες του Αιγαίου.

Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου, το επιφανειακό στρώμα στη συνολική σχεδόν έκταση της Ανατολικής Μεσογείου κυριαρχείται από υψηλής θερμοκρασίας και αλατότητας επιφανειακό νερό τα Λεβαντινής λεκάνης, το οποίο είναι το προϊόν της έντονης εξάτμισης (Unluata 1986). Στο τέλος της καλοκαιρινής περιόδου, η αλατότητά του αγγίζει τις μέγιστες τιμές της 39.5, ιδιαίτερα στη βορειοδυτική λεβαντινή λεκάνη και το νοτιοανατολικό Αιγαίο, γύρω από τη νήσο Ρόδο.

Κατά τη διάρκεια των μηνών Μαρτίου Απριλίου, έλαβε χώρα στο κρητικό πέλαγος το πρώτο τμήμα της τοπικής έρευνας με τίτλο PELAGOS, έρευνα αυτή κατέδειξε ένα νέο υδρολογικό πρότυπο κυκλοφορίας σε σχέση με παλαιότερες έρευνες στην περιοχή οι οποίες είχαν λάβει χώρα. Συγκεκριμένα εντοπίστηκαν οι εξής υδάτινες μάζες:

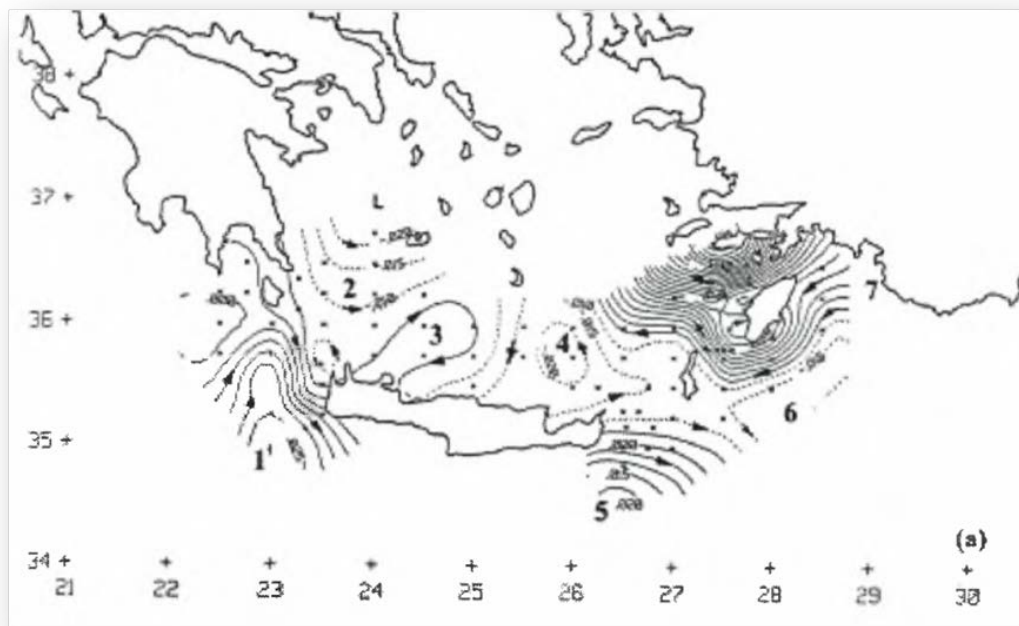
- Το Λεβαντινό επιφανειακό Νερό (ΛΕΝ)
- Το Νερό της Μαύρης Θάλασσας (ΝΜΘ)
- Το νερό του Βορείου Ατλαντικού
- Το ενδιάμεσο νερό του Κρητικού Πελάγους
- Το Ενδιάμεσο Νερό της Λεβαντινής Λεκάνης
- Το Ενδιάμεσο Νερό της Ανατολικής Μεσογείου (ΕΝΜ)
- Το βαθύ Νερό του Κρητικού Πελάγους (ΒΝΚ)
- Το τροποποιημένο Νερό του Ατλαντικού (ΤΝΑ) , όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 9 Θ/S διάγραμμα του PELAGOS-1, την άνοιξη του 1994, διακρίνονται οι κύριες υδάτινες μάζες.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας εντοπίστηκαν στην περιοχή δύο μέσης κλίμακας αντικυκλώνες θερμού πυρήνα, αντικυκλώνας Ιεράπετρα στα νοτιοανατολικά της Κρήτης και αντικυκλώνας Πέλοπας νοτιοδυτικά της νήσου. Άλλα χαρακτηριστικά κυκλοφορίας της περιοχής αποτελούν:

- Κυκλώνας της Ρόδου, νότια της ομώνυμης νήσου
- Κυκλώνας του Μητρώου/Κρητικού πελάγους, νοτιοανατολικά της Πελοποννήσου
- Αντικυκλώνας του Κρητικού πελάγους, βορειοδυτικά της νήσου
- Κυκλώνας του ανατολικού Κρητικού πελάγους, βορειοανατολικά της νήσου
- Το ρεύμα της Μικράς Ασίας όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 10 Χάρτης ανάλυσης, την Άνοιξη του σε δυναμικό ύψος (σε dyn.m) 50dbar (1) αντικυκλώνας Πέλοπας, (2) κυκλώνας του Μητρώου/Κρητικού πελάγους, (3) ο αντικυκλώνας του Κρητικού πελάγους, (4) ο κυκλώνας του ανατολικού Κρητικού πελάγους, (5) ο αντικυκλώνας Ιεράπετρα, (6) ο κυκλώνας της Ρόδου και (7) το ρεύμα της Μικράς Ασίας.

Στο βορειοδυτικό τμήμα του κυκλώνα της Ρόδου εντοπίστηκε το ρεύμα της Μικράς Ασίας να κινείται με ταχύτητες ($>30\text{cm/sec}$). Ένας κλάδος του ρεύματος εισέρχεται στο Κρητικό πέλαγος μέσω του στενού της Ρόδου μεταφέροντας νερό της Λεβαντινής λεκάνης προς τα βόρεια στην περιοχή της νοτιοανατολικής λεκάνης της Χίου.

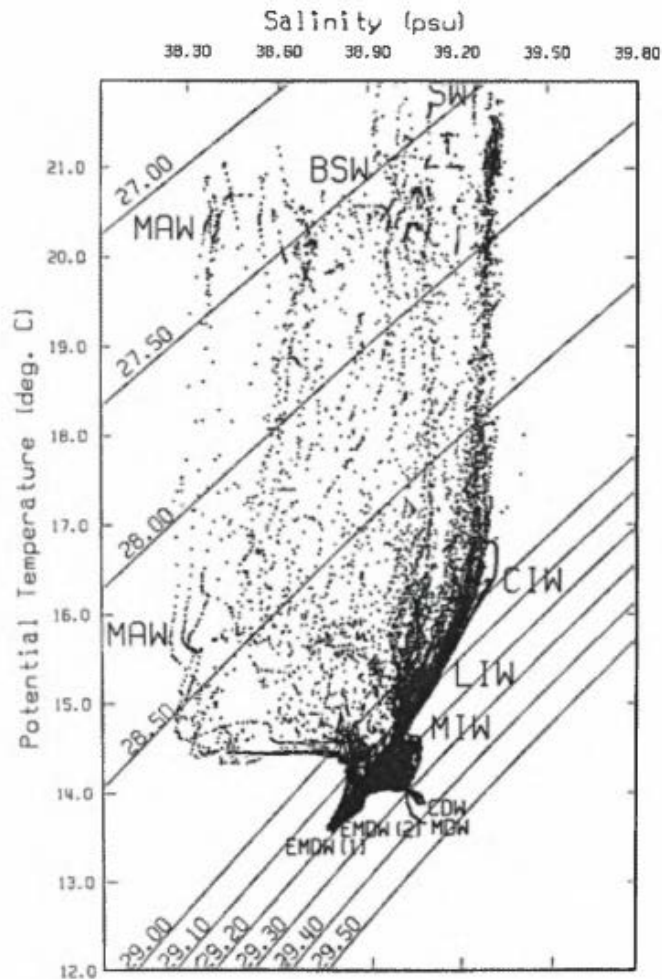
Ο άλλος κλάδος εντοπίστηκε κατά μήκος της δυτικής περιφέρειας της δίνης της Ρόδου με δίοδο και έξοδο μέσω των στενών της Καρπάθου, σχηματίζοντας μικρής κλίμακας κυκλωνική δίνη.

Με τον τρόπο αυτό τα ζεστά ($\theta > 16.5^{\circ} \text{C}$) και υψηλής αλατότητας ($S > 39.3 \text{psu}$) επιφανειακά νερά της βορειοδυτικής Λεβαντινής λεκάνης εισέρχεται από τα ανατολικά στενά του Κρητικού τόξου, συνεισφέροντας στην αύξηση της θερμοκρασίας και της αλατότητας των επιφανειακών νερών του Κρητικού πελάγους. Έτσι, το νοτιοανατολικό Αιγαίο χαρακτηρίζεται από τις υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας (έως 17.5psu). Το μέσο-Μεσογειακό ρεύμα με γεωστροφική ταχύτητα ανώτερη των 28cm/sec , εντοπίστηκε μεταξύ της νοτιοανατολικής περιφέρειας της κυκλωνικής δίνης της Ρόδου και της αντικυκλωνικής δίνης της Ιεράπετρας. Το ρεύμα αυτό αποτελεί το μέσο μεταφοράς των νερών του Κρητικού πελάγους μέσω των στενών της Κάσου προς την Λεβαντινή λεκάνη. Στο πιο βαθύ στρώμα (700m), το νερό ρέει αντικυκλωνικά γύρω από το νησί της Καρπάθου, επηρεασμένο από τον κυκλώνα της Ρόδου και τον αντικυκλώνα της Ιεράπετρας.

3.2.2 Γεωστροφική κυκλοφορία του Κρητικού πελάγους κατά την διάρκεια του καλοκαιριού

Στο Κρητικό πέλαγος την περίοδο του καλοκαιριού εντοπίζονται οι παρακάτω υδάτινες μάζες:

- Το Λεβαντινό επιφανειακό νερό (ΛΕΝ)
- Το νερό της Μαύρης Θάλασσας (ΝΜΘ)
- Το νερό του βόρειου Ατλαντικού (ΝΒΑ)
- Το ενδιάμεσο νερό του Κρητικού πελάγους (ΕΝΚ)
- Το ενδιάμεσο νερό της Λεβαντινής λεκάνης (ΕΝΛ)
- Το ενδιάμεσο νερό της ανατολικής Μεσογείου (ΕΝΜ)
- Το βαθύ νερό του Κρητικού πελάγους (ΒΝΚ)
- Το βαθύ νερό της ανατολικής Μεσογείου όπως το παρακάτω σχήμα.

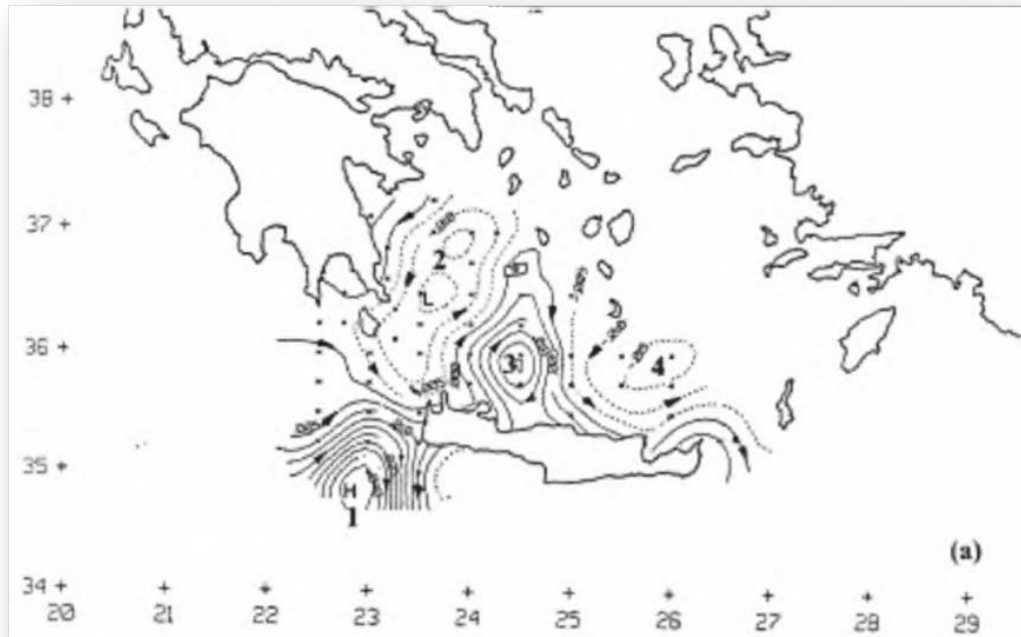


Εικόνα 11 Θ/S διάγραμμα τον Ιούνιο 1994, διακρίνονται οι υδάτινες μάζες.

Επιπλέον, στα ενδιάμεσα και βαθιά στρώματα εμφανίζονται υδάτινες μάζες προερχόμενες από το Μητρώο πέλαγος:

1. Το ενδιάμεσο νερό
2. Το βαθύ νερό του Μητρώου πελάγους όπως το παρακάτω σχήμα.

Νότια της Κρήτης εντοπίζεται το ρεύμα της Μικράς Ασίας και το μέσο-Μεσογειακό ρεύμα που μεταφέρουν επιφανειακές και υποεπιφανειακές υδάτινες μάζες στην Ανατολική Μεσόγειο. Στην περιοχή της Λεβαντινής λεκάνης εμφανίζεται κυκλώνας της Ρόδου (Theocharis,1996). Κατά την περίοδο του καλοκαιριού εντοπίστηκε μια μεγάλης κλίμακας περιοχή αντικυκλωνικής ροής στα δυτικά της Κρήτης και ανατολικά του Ιονίου πελάγους (αντικυκλώνας Πέλοπας) και μια διαδοχή κυκλωνικών και αντικυκλωνικών περιοχών στο κεντρικό Κρητικό πέλαγος.



Εικόνα 12 Χάρτης ανάλυσης το καλοκαίρι στα 50dba (1) δίνη Πέλοπας, (2) κυκλώνας του Μητρώου/Κρητικού πελάγους, (3) ο αντικυκλώνας του κρητικού πελάγους και (4) ο κυκλώνας του ανατολικού Κρητικού πελάγους.

Επιπλέον, την περίοδο αυτή, κυκλώνας που εμφανίστηκε κατά την διάρκεια της άνοιξης εκτείνεται στο δυτικό Κρητικό πέλαγος και σκεπάζει την περιοχή πάνω από το στενό των Κυθήρων. Τέλος, διαπιστώθηκε πως ένταση της αντικυκλωνικής δίνης στο κεντρικό Κρητικό πέλαγος, υπερίσχυε στα ενδιάμεσα και βαθιά στρώματα, σε σχέση με τις δύο άλλες κυκλωνικές δίνες (Theocharis, 1996). Στο παρελθόν, στο στενό των Κυθήρων είχε εντοπιστεί εισροή νερού του βόρειου Ατλαντικού προς το Κρητικό πέλαγος σε βάθη 30 με 50 m και εκροή των νερών της Μαύρης θάλασσας προς το Ιόνιο πέλαγος κοντά στην επιφάνεια.

Κατά την διάρκεια μεταγενέστερης έρευνας το καλοκαίρι του 1994, στο βόρειο και κεντρικό τμήμα του στενού εντοπίστηκε το υψηλής αλατότητας ενδιάμεσο νερό της Λεβαντινής λεκάνης να καταλαμβάνει την υδάτινη στήλη από την επιφάνεια έως τον πυθμένα. Ωστόσο, στο νότιο του στενού ένα λεπτό στρώμα του νερού του βόρειου Ατλαντικού διέκοπτε το επιφανειακό στρώμα του ενδιάμεσου νερού της Λεβαντινής λεκάνης ενώ στα βαθύτερα στρώματα παρατηρήθηκε το βαθύ στρώμα του Κρητικού πελάγους. Το νερό του βόρειου Ατλαντικού και το ενδιάμεσο νερό της Λεβαντινής

λεκάνης εισέρχονται στο Κρητικό πέλαγος από τα ανώτερα στρώματα με μέγιστη ταχύτητα 25cm/sec, ενώ βαθύτερα το βαθύ νερό του Κρητικού πελάγους φάνηκε να απορρέει προς το Ιόνιο πέλαγος (Theocharis, 1996). Στο στενό των Αντικυθήρων, το καλοκαίρι του 1994 εντοπίστηκαν πέντε υδάτινα στρώματα:

1. Το ανώτερο επιφανειακό στρώμα του νερού του βόρειου Ατλαντικού το οποίο έρεε προς το Κρητικό πέλαγος μέσω του νοτιοανατολικού τμήματος του στενού, με ταχύτητα ~25cm/sec.
2. Το επιφανειακό στρώμα του νερού της Μαύρης θάλασσας, χαμηλής αλατότητας, που έρεε κοντά στην επιφάνεια μέσω του βορειοδυτικού τμήματος του στενού προς το Ιόνιο.
3. Το υποεπιφανειακό στρώμα (90 με 200 dbar) του ενδιάμεσου νερού της Λεβαντινής λεκάνης, εισερχόμενο στο Κρητικό πέλαγος.
4. Το τέταρτο στρώμα ήταν του ενδιάμεσου νερού της ανατολικής Μεσογείου, το οποίο εισερχόταν στο Κρητικό πέλαγος μέσω του νοτιοανατολικού τμήματος του στενού.
5. Το βαθύ νερό του Κρητικού πελάγους καταλάμβανε το τελευταίο βαθύ στρώμα του στενού, κάτω από το ενδιάμεσο νερό της ανατολικής Μεσογείου κινούμενο προς το Ιόνιο πέλαγος (Theocharis, 1996).

3.2.3 Γεωστροφική κυκλοφορία του Κρητικού πελάγους κατά την διάρκεια του Φθινοπώρου

Την περίοδο του Φθινοπώρου στο επιφανειακό στρώμα του Κρητικού πελάγους εντοπίζονται τρεις υδάτινες μάζες, με διαφορετικά θερμοαλατικά χαρακτηριστικά και πηγές προέλευσης:

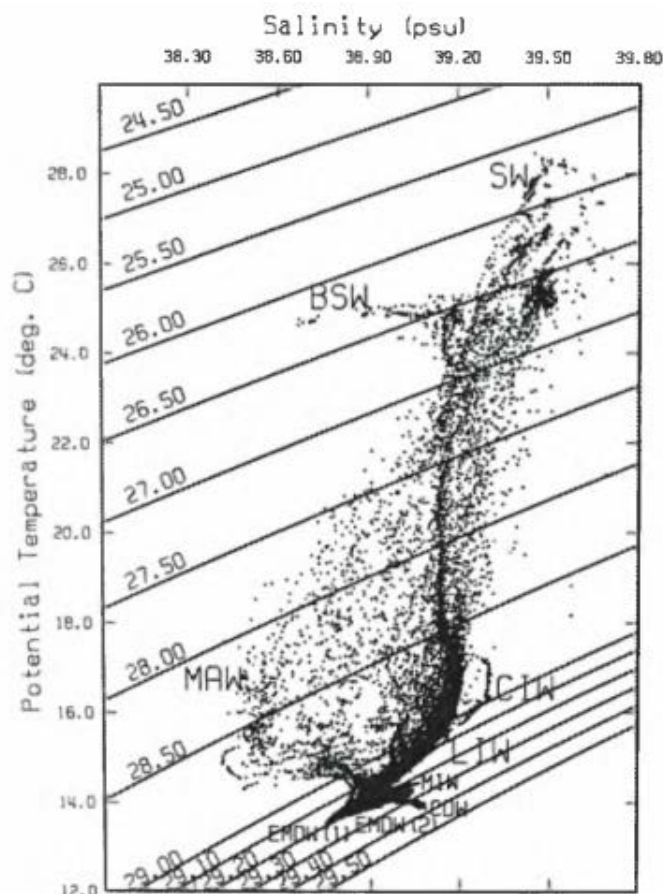
- Το Λεβαντινό επιφανειακό νερό (ΛΕΝ)
- Το νερό της Μαύρης Θάλασσας (ΝΜΘ)
- Το νερό του βόρειου Ατλαντικού (ΝΒΑ)

Στα ενδιάμεσα στρώματα της περιοχής επικρατούν:

- Το ενδιάμεσο νερό του Κρητικού πελάγους (ΕΝΚ)
- Το ενδιάμεσο νερό της Λεβαντινής λεκάνης (ΕΝΛ)
- Το ενδιάμεσο νερό της ανατολικής Μεσογείου (ΕΝΜ)

Στα βαθύτερα στρώματα δύο κύριες υδάτινες μάζες εντοπίζονται στην περιοχή:

- Το βαθύ νερό του Κρητικού πελάγους (ΒΝΚ)
- Το βαθύ νερό της ανατολικής Μεσογείου όπως το παρακάτω σχήμα.



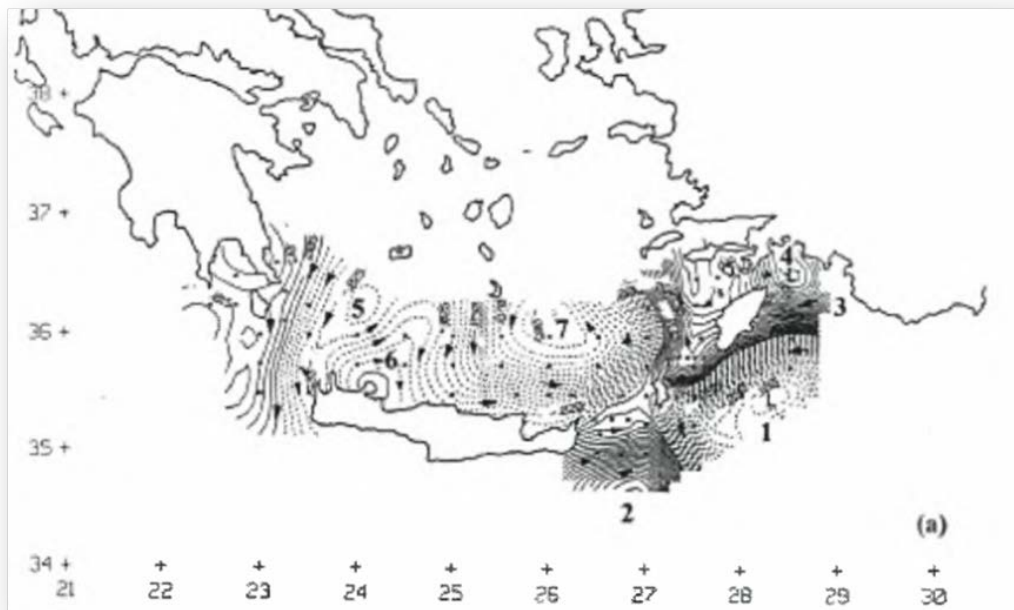
Εικόνα 13 Διάγραμμα Θ/Σ τον Σεπτέμβριο, διακρίνονται οι υδάτινες μάζες.

Το φθινόπωρο του 1994 στην περιοχή της Λεβαντινής λεκάνης νοτιοανατολικά των Ρόδου και Καρπάθου, εντοπίστηκε ο κυκλώνας της Ρόδου. Ανατολικά αυτής της δίνης και νότια του στενού της Κάσου εντοπίστηκε ο αντικυκλώνας Ιεράπετρα ενώ μία μαιανδρική ροή προς τα ανατολικά, μέσω των στενών της Κάσου εμπόδιζε κάθε σημαντική ροή μέσω του στενού.

Ανατολικά της Ρόδου εμφανίστηκε το ρεύμα της Μικράς Ασίας να κινείται προς τα δυτικά και μετά προς τα νότια, γύρω από τη δίνη της Ρόδου. Ένας κλάδος του ρεύματος βρέθηκε στο στενό της Καρπάθου να κινείται προς τα βόρεια. Επιπλέον, μία αντικυκλωνική δίνη μέσης κλίμακας, ο αντικυκλώνας της Ρόδου, εντοπίστηκε βορειοανατολικά της Ρόδου.

Εντός του Κρητικού πελάγους εντοπίστηκαν δύο κυκλώνες και ένας αντικυκλώνας. Επίσης, ένα νέο στοιχείο αποτέλεσε ένα επιφανειακό ρεύμα κινούμενο από βορά προς νότο. Βαθύτερα βρέθηκε πως η αντικυκλωνική δίνη εντός του Κρητικού πελάγους ενισχυόταν σε σχέση με τους άλλους δύο κυκλώνες. Επιπλέον, ο αντικυκλώνας της

Ρόδου εξαφανιζόταν ενώ ο κυκλώνας και ο αντικυκλώνας Ιεράπετρα εξασθενούσαν, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



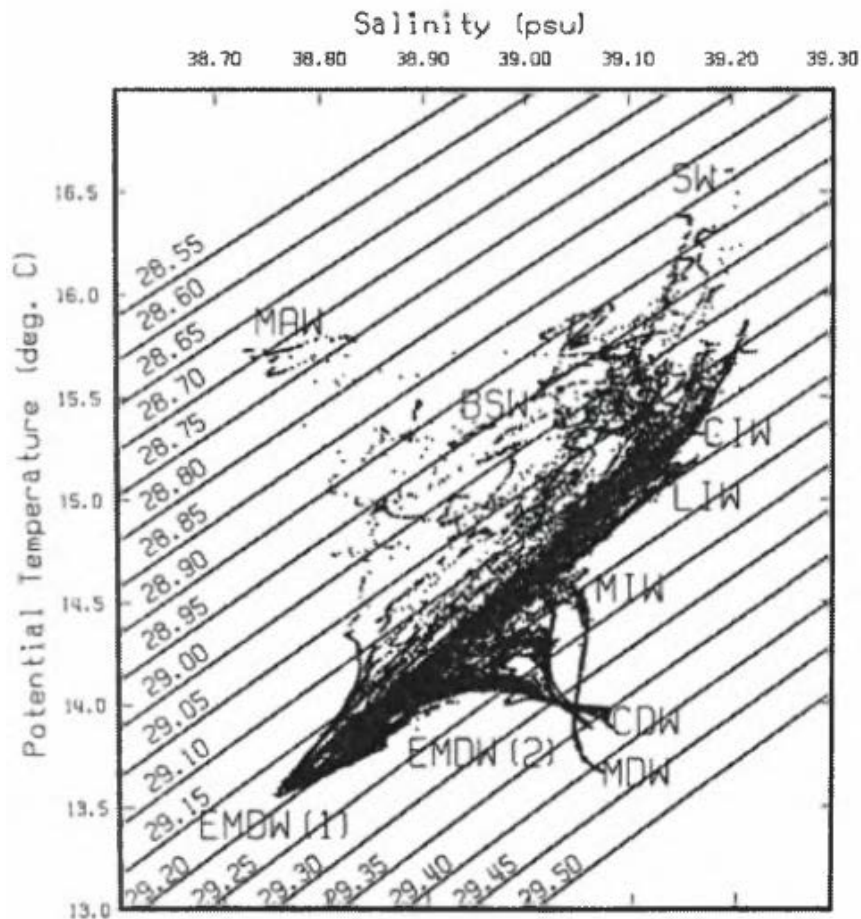
Εικόνα 14 χάρτης ανάλυσης, το φθινόπωρο σε ΙΟδβα, (1) η δίνη της Ρόδου, (2) ο αντικυκλώνας Ιεράπετρα, (3) το ρεύμα της Μικράς Ασίας, (4) ο αντικυκλώνας της Ρόδου, (5) ο κυκλώνας του Μητρώου- δυτικού Κρητικού πελάγους, (7) ο κυκλώνας του ανατολικού Κρητικού πελάγους.

3.2.4 Γεωστροφική κυκλοφορία του Κρητικού πελάγους κατά την διάρκεια του Χειμώνα.

Την Χειμερινή περίοδο στην περιοχή του Κρητικού πελάγους εντοπίζονται οι εξής υδάτινες μάζες:

- Το Λεβαντινό επιφανειακό νερό (ΛΕΝ)
- Το νερό της Μαύρης Θάλασσας (ΝΜΘ)
- Το νερό του βόρειου Ατλαντικού
- Το ενδιάμεσο νερό του Κρητικού πελάγους (ΕΝΚ)
- Το ενδιάμεσο νερό της Λεβαντινής λεκάνης (ΕΝΛ)
- Το ενδιάμεσο νερό της ανατολικής Μεσογείου (ΕΝΜ)
- Το βαθύ νερό του Κρητικού πελάγους (ΒΝΚ)
- Το βαθύ νερό της ανατολικής Μεσογείου

Επίσης, στην περιοχή του Μηρτώου πελάγους εντοπίζονται (α) το ενδιάμεσο νερό και (β) το βαθύ νερό του Μηρτώου πελάγους, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



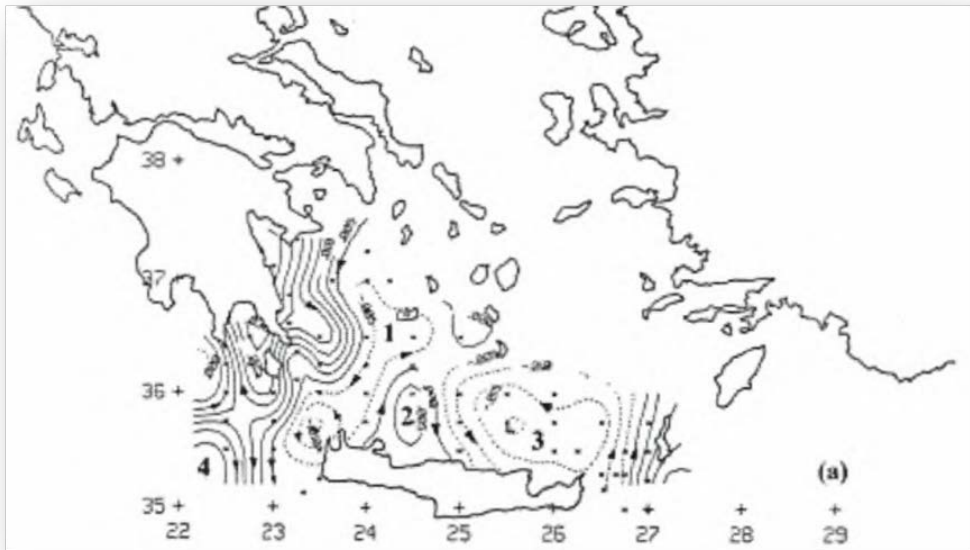
Εικόνα 15 Διάγραμμα Θ/Σ τον χειμώνα (Ιανουάριος-Φεβρουάριος) 1995, διακρίνονται οι υδάτινες μάζες.

Σε παλαιότερες έρευνες είχαν οριστεί τα εξής κύρια χαρακτηριστικά της χειμερινής κυκλοφορίας:

- Ένας μεγάλης κλίμακας κυκλώνας στην περιοχή του δυτικού Κρητικού πελάγους και ανατολικά του Ιονίου
- Μία κυκλωνική δίνη στην περιοχή νότια της Ρόδου
- Το ρεύμα της Μικράς Ασίας, νότια της Κρήτης (Onchinnikov, 1996).

Στο Κρητικό πέλαγος, τον χειμώνα του 1995, εξακολουθούσαν να εντοπίζονται οι δύο κυκλώνες (ένας στο Μητρώο – δυτικό Κρητικό και ένας στο κεντρικό-ανατολικό Κρητικό πέλαγος) και ο ένας αντικυκλώνας στο κεντρικό Κρητικό πέλαγος. Επιπλέον, νοτιοδυτικά της Κρήτης εντοπίστηκε

μία αντικυκλωνική δίνη (ο αντικυκλώνας Πέλοπας), όπως το παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 16 Χάρτης ανάλυσης σε δυναμικό ύψος στα 5dbar, (1) ο κυκλώνας του Μητώου-δυτικού Κρητικού πελάγους, (2) ο κυκλώνας του ανατολικού Κρητικού πελάγους, (3) ο κυκλώνας στο κεντρικό-ανατολικό Κρητικό πέλαγος και (4) δίνη Πέλοπας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ



Εικόνα 17 Εκμετάλλευση Θαλάσσιων ρευμάτων.

Τα παλιρροιακά ρεύματα είναι μία διαφορετική προσέγγιση στην παραγωγή ενέργειας από την θάλασσα. Αντί για δομές φραγμάτων οι κατασκευές αυτές τοποθετούνται απευθείας "στο ρεύμα" και παράγουν ενέργεια από τη ροή του νερού. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες για την παραγωγή ενέργειας από τα θαλάσσια ρεύματα όπως τουρμπίνα οριζόντιου άξονα, κάθετου άξονα, συστήματα Venturi και ταλαντευόμενα φύλλα αλουμινίου. Επίσης υπάρχει πληθώρα μεθόδων τοποθέτησης όπως αγκυρωμένες στο βυθό ή πλατφόρμες που επιπλέουν με γραμμές πρόσδεσης.

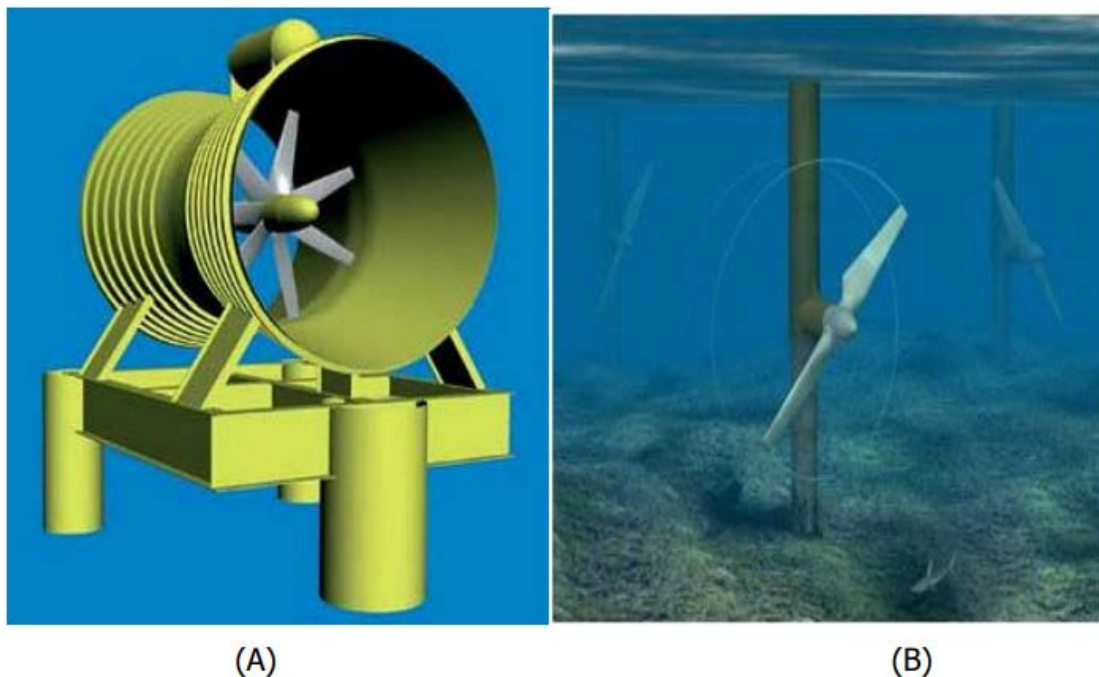
Η διαθέσιμη ενέργεια είναι ανάλογη με την ταχύτητα στον κύβο και την διατομή της τουρμπίνας. Για αυτό τον λόγο αυτές οι κατασκευές προτιμώνται σε περιοχές με στενά κανάλια ή παρόμοια χαρακτηριστικά ώστε να προσφέρουν υψηλές ταχύτητες ροής νερού άνω των 3m/s. Επομένως, η ταχύτητα και η παραγωγή ενέργειας ποικίλει στην διάρκεια της ημέρας ανάλογα με το ύψος της παλίρροιας. Επικρατέστερες τεχνολογίες για την παραγωγή ενέργειας από τα παλιρροιακά ρεύματα, είναι:

- Με τουρμπίνες οριζόντιου άξονα
- Με τουρμπίνες κάθετου άξονα

4.1 Τουρμπίνες οριζόντιου άξονα

ΟΙ τουρμπίνες οριζόντιου άξονα είναι οι πιο συνηθισμένες για την παραγωγή ενέργειας από τα θαλάσσια ρεύματα και σχεδιαστικά είναι παρόμοιες με αυτές της αιολικής ενέργειας. Αν και υπάρχουν πολλοί, με περίβλημα, με ρυθμιζόμενα πτερύγια κ.α. όλες οι συσκευές αποτελούνται από ένα στρόβιλο με οριζόντιο άξονα περιστροφής, ο οποίος είναι ευθυγραμμισμένος παράλληλα στην κατεύθυνση ρεύματος του νερού.

Αυτές οι τουρμπίνες χρησιμοποιούν μία γεννήτρια συνδεδεμένη με τον άξονα του στρόβιλου είτε άμεσα είτε μέσω ενός κιβωτίου ταχυτήτων για την παραγωγή ενέργειας. Επίσης, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες με περίβλημα και χωρίς περίβλημα. Το περίβλημα οδηγεί και επιταχύνει τη ροή του νερού μέσα από την συσκευή και αυξάνει την προσλαμβάνουσα ενέργεια.



Εικόνα 18 Τουρμπίνα οριζόντιου άξονα (A) με περίβλημα και (B) χωρίς περίβλημα.

Εφαρμογές

- Seagen

Η Μεγάλη Βρετανία έχει υπογράψει τη συνθήκη του Κιότο η οποία αποτελεί παγκόσμια δέσμευση ώστε να μειωθούν οι εκπομπές CO₂. Το 1995 το μοντέλο Seafloow χρησιμοποιούσε μία τουρμπίνα 300KW. Ήταν η πρώτη υπεράκτια γεννήτρια που εκμεταλλευόταν τα θαλάσσια ρεύματα για την παραγωγή ενέργειας αν και ήταν συνδεδεμένη στο δίκτυο.



Εικόνα 19 Η γεννήτρια Seagen κατά την εγκατάστασή της.

Η εταιρεία Seagen τοποθέτησε μία γεννήτρια 1,2 MW στο Stangford Narrows στην Βόρεια Ιρλανδία η οποία τον Ιούλιο του 2008 συνδέθηκε με το δίκτυο. Λόγω της αμφίδρομης λειτουργίας εκμεταλλεύεται για την παραγωγή ενέργειας και την άμπωτη και την παλίρροια και συμπληρώνει καθημερινά 18 με 20 λειτουργίας. Έχει βάρος 300 τόνους και χρησιμοποιεί κιβώτιο όπως μια τυπική ανεμογεννήτρια.

Η γωνία του πτερυγίου περιστρέφεται κατά 180 μοίρες ώστε να εκμεταλλευτεί και την άμπωτη. Οι γεννήτριες είναι τοποθετημένες σε βραχίονες σε κάθε πλευρά σωληνοειδούς χαλύβδινου πύργου με διάμετρο 3 μέτρα. Επίσης, οι γεννήτριες έχουν τη δυνατότητα να ανυψώνονται σε περίπτωση συντήρησης ή επισκευής.

- Hammerfest



Εικόνα 20 Εγκατεστημένες συσκευές Hammerfest στο βυθό της θάλασσας.

Η επιχείρηση Hydro Hammerfest ανέπτυξε μία τουρμπίνα 300KW στο Kvalsundet. Απέδειξε την αξιοπιστία της με πάνω από 1400 ώρες παραγωγής μέχρι και τον Δεκέμβριο του 2010. Η γνώση που αποκτήθηκε βοήθησε στην ανάπτυξη για μία προ εμπορική συσκευή 1 MW, η οποία θα εγκατασταθεί στο Sound of Islay στη δυτική ακτή της Σκωτίας. Η τουρμπίνα Hammerfest περιγράφεται καλύτερα ως μία υποβρύχια ανεμογεννήτρια με μικρότερα πτερύγια η οποία περιστρέφεται πιο αργά. Οι γεννήτριες εγκαθίστανται σε βάθος 40 έως 100 μέτρα στα παλιρροιακά ρεύματα με ταχύτητα 2,5m/s.

Οι στρόβιλοι εγκαθίστανται στο βυθό και δεν δημιουργούν καμία οπτική ή ακουστική όχληση. Η ενέργεια μετατρέπεται και στις δύο κατευθύνσεις με την αλλαγή γωνίας των πτερυγίων. Η δομή στηρίζεται σε τρίποδο, το οποίο δίνει ελάχιστο ίχνος στο βυθό και στερεώνεται λόγω βαρύτητας και πρόσθετων βαριδιών. Μία τουρμπίνα H5 1000 τοποθετήθηκε στο νησί Eday το 2011 για δοκιμή και πιστοποίηση.

Η εγκατάσταση προετοιμάζεται σε συνεργασία με τη Scottish Power Renewables που έχει αναλάβει και την εκτίμηση της περιβαλλοντικής επίδρασης στην περιοχή. Η συνεργασία με την SPR θα συνεχιστεί στο προ εμπορικό μοντέλο εγκατάστασης στο Sound of Islay. Η εκτίμηση της περιβαλλοντικής επίδρασης δεν έχει δείξει κάποια σημαντική επιβάρυνση στη θαλάσσια ζωή, τα θαλασσοπούλια και στη μέτρηση θορύβου.

- Verdant

Πρόκειται για μία τουρμπίνα οριζόντιου άξονα με τρία πτερύγια. Καθώς είναι υποβρύχιο σύστημα δεν έχει καμία οπτική όχληση. Η 4γενιά Gen4 παράγαγε 70 Mwhστο δίκτυο του East River (RITE project) το οποίο ξεκίνησε το 2002.



Εικόνα 21 Τουρμπίνα Verdant οριζοντίου άξονα.

Το εξής πρόγραμμα σε τρεις φάσεις θα εξετάσει, θα επιδείξει και θα παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

- Πρώτη φάση (2002-2006) έλεγχος του πρωτότυπου
- Δεύτερη φάση (2006-2008) επίδειξη
- Τρίτη φάση (2008-2012) επέκταση εγκατάστασης

Η Verdant το 2008 ολοκλήρωσε με επιτυχία τη δεύτερη φάση, η οποία ξεκίνησε το 2006 με την εγκατάσταση της πρώτης πλήρους κλίμακας τουρμπίνα διαμέτρου 5 μέτρων. Σε αυτά τα δύο χρόνια λειτουργούσαν στο RITE project έξι πλήρους μεγέθους τουρμπίνες καταδεικνύοντας ότι το σύστημα είναι μία αποδοτική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας με τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Άριστη υδροδυναμική, μηχανική και ηλεκτρική απόδοση
- Συνδεδεμένη ενέργεια στο δίκτυο χωρίς προβλήματα στην ποιότητα
- Αμφίδρομη λειτουργία-υψηλή απόδοση και στην άμπωτη και στην παλίρροια
- Καμία ρύπανση
- 70 Mwh
- 3000 ώρες λειτουργίας

Οι προετοιμασίες για την τρίτη φάση επέκτασης της εγκατάστασης είναι εν εξελίξει αφού η Verdant πρέπει να κάνει υποβολή αίτησης για μία πιλοτική άδεια στην Ομοσπονδιακή Ρυθμιστική Ενεργειακή Επιτροπή (FERC). Η Verdant θα εγκαταστήσει 30 τουρμπίνες Gen5 και θα εκμεταλλευτεί εμπορικά την παραγωγή ενέργειας. Η άδεια δόθηκε στις αρχές Μαΐου του 2011 και αφού γίνει η επέκταση μέσα στο 2012 θα παράγει 2,4 Gwh τον χρόνο. Η FERC έδωσε την άδεια καθώς βασίστηκε στην ανάλυση πλήθους περιβαλλοντικών ελέγχων.

Στη δεύτερη φάση η Verdant συνέλεξε περιβαλλοντικά δεδομένα θαλάσσιας ζωής και έκανε ανάλυση της βιοποικιλότητας που δεν δείχνουν καμία ένδειξη τραυματισμού ή θνησιμότητας ψαριών, τα οποία μάλιστα απέφευγαν τις ζώνες επίδρασης των τουρμπινών. Επίσης, τα δεδομένα έδειξαν ότι δεν υπήρξε καμία παράξενη συμπεριφορά πουλιών. Αυτές οι προσπάθειες περιλαμβάνουν υποβρύχιους υδροακουστικούς αισθητήρες που ελέγχουν την υποβρύχια δραστηριότητα στο πεδίο της τουρμπίνας. Επίσης, σε ειδικό σκάφος υπήρχε εγκατάσταση που έδειχνε σε οθόνες την υποβρύχια κίνηση των ψαριών στην περιοχή της εγκατάστασης.

Στην τρίτη φάση, η Verdant θα συνεχίσει τις δραστηριότητες ελέγχου προκειμένου να αναλυθούν οποιεσδήποτε επιδράσεις από μία μεγαλύτερη εγκατάσταση. Όταν θα ολοκληρωθεί θα είναι η πρώτη εγκατάσταση του είδους παγκοσμίως συνδεδεμένη στο δίκτυο.

- Tidal stream

Πρόκειται για μία κατασκευή που έχει τουρμπίνες τοποθετημένες σε ημικαταδύομενους σημαντήρες που είναι αγκυροβολημένοι στο βυθό μέσω άκαμπτου κινητού άξονα. Αυτή η πλατφόρμα μπορεί να ρυμουλκηθεί στην εκάστοτε περιοχή και να μπει να χρήση μετά από ερμητισμό. Με αφερματισμό, το σύστημα ανεβαίνει στην επιφάνεια όταν απαιτείται συντήρηση ή επισκευή. Η συσκευή Triton 3 είναι η πρώτη σε κανονική κλίμακα με 3 ρότορες διαμέτρου 20 μέτρων και απόδοσης 3MW σε βάθος 30-50 μέτρα.



Εικόνα 22 Η συσκευή Triton 3 κατάλληλη για βάθος μεταξύ 35-55 μέτρα.

Έχει ήδη τοποθετηθεί μια συσκευή σε κλίμακα 1:10 στον ποταμό Τάμεση του Λονδίνου. Οι δοκιμές κατέδειξαν την σταθερότητα της λειτουργίας κάτω από αντίξοες συνθήκες και έδειξαν ότι η παραγωγή ενέργειας δεν επηρεάζεται από την τοποθέτηση πολλών τουρμπίνων στη ροή του ρεύματος. Επίσης, κατέδειξαν τις ευκολίες που μπορεί να παρέχει η αλλαγή έρματος στην πρόσβαση, συντήρηση ή την απεγκατάσταση του συστήματος. Οι τουρμπίνες είναι οριζόντιου άξονα αλλά μπορεί να είναι διαφόρων τύπων π.χ. με περίβλημα ή χωρίς, όπως και με κιβώτιο ή απευθείας μετάδοσης. Επίσης, η σύνδεση με το βυθό είναι πού σημαντική, καθώς πρέπει να αντέχει εκατοντάδες τόνους από την πλευρική έλξη όταν λειτουργούν οι τουρμπίνες όπως και τις καταπονήσεις από τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Ανάλογα με την μορφολογία του βυθού, το βάθος, τα ρεύματα, υπάρχουν οι παρακάτω επιλογές:



Εικόνα 23 Βάσεις στήριξης μόνο με τη βοήθεια της βαρύτητας, καρφωμένο πλαίσιο και με μόνο πάσσαλο.

Οι δοκιμές ήταν το βασικό στοιχείο του προγράμματος ώστε να κατασκευαστεί και να αναπτυχθεί σε πλήρη κλίμακα μία πλατφόρμα Triton 3 ως τμήμα της γενικής πορείας εμπορευματοποίησης. Από το 2009, σε μία πειραματική εγκατάσταση στη Βρέση της Γαλλίας, δοκιμάζεται μία συσκευή Triton 6. Η πλατφόρμα έχει αποδειχθεί σταθερή στους τρόπους λειτουργίας και συντήρησης κάτω από αντίξοες συνθήκες. Οι εργασίες σύνδεσης κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης κάτω από δυσμενείς συνθήκες έδωσαν εμπιστοσύνη ότι θα μπορούσε να επιτευχθεί σε πλατφόρμα πλήρους κλίμακας.

Εγκατάσταση Triton 6

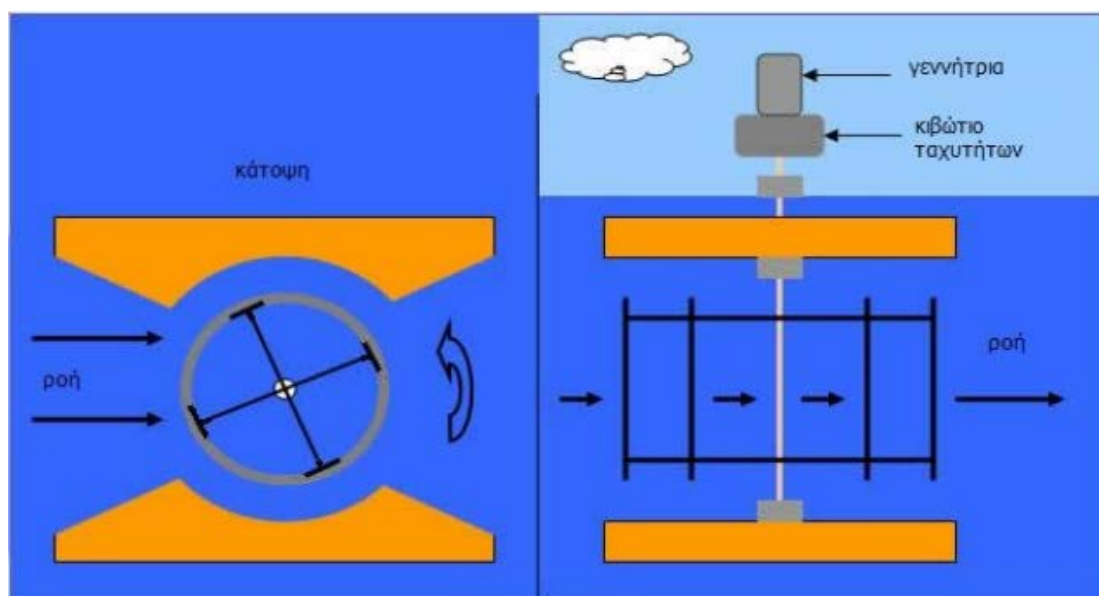


Εικόνα 24 Μικρό ρυμουλκό μεταφέρει τη συσκευή Triton 6 στην καθορισμένη θέση.

Το προτέρημα της πλατφόρμας Triton 6 είναι ότι μπορεί να επιπλεύσει και έτσι πέρα από ένα μικρό ρυμουλκό δεν χρειάζονται ούτε γερανοί, ούτε πλωτές εξέδρες ούτε δύτες για να εγκατασταθεί. Η βάση στήριξης με τα ηλεκτρικά καλώδια και σύρμα οδηγό έχει προεγκατασταθεί και μία σημαδούρα είναι αρκετή για να βρεθεί το σημείο.

4.2. Τουρμπίνες κάθετου άξονα

Στις τουρμπίνες κάθετου άξονα υπάρχουν πολλές διατάξεις είτε με ρυθμιζόμενα πτερύγια είτε με διαμορφωμένο περίβλημα για να κατευθύνουν ή να περιορίσουν την ροή. Οποιοδήποτε τύπου πλεονεκτούν καθώς λειτουργούν καλά με ροή ρευστών από οποιαδήποτε κατεύθυνση και αναλόγως τη μορφή τους μπορεί να έχουν μεγαλύτερη διατομή από τις τουρμπίνες οριζοντίου άξονα ειδικά όταν τοποθετούνται σε ρηγά νερά.



Εικόνα 25 Τουρμπίνα κάθετου άξονα με περίβλημα.

- Gorlov

Η τουρμπίνα Gorlov είναι μία τουρμπίνα κάθετου άξονα που χρησιμοποιεί ελικοειδή πτερύγια. Το ελικοειδές σχήμα μειώνει τις δονήσεις που εμφανίζονται στις τουρμπίνες κάθετου άξονα και επιτρέπει στον στρόβιλο να δεσμεύσει 35% της ενέργειας του νερού που τον διατρέχει.

Περιστρέφεται στην διπλάσια ταχύτητα της ροής του νερού και μπορεί να ξεκινήσει την περιστροφή σε πολύ μικρές ταχύτητες ροής νερού της τάξης των 0,6m/s. Περιστρέφεται στην ίδια κατεύθυνση ανεξάρτητα από την κατεύθυνση ροής του νερού και δεν παρουσιάζει διακυμάνσεις στη ροπή. Δεν δημιουργείται σπηλαιώση ακόμα και σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής.



Εικόνα 26 Ελικοειδής τουρμπίνα Gorlov.

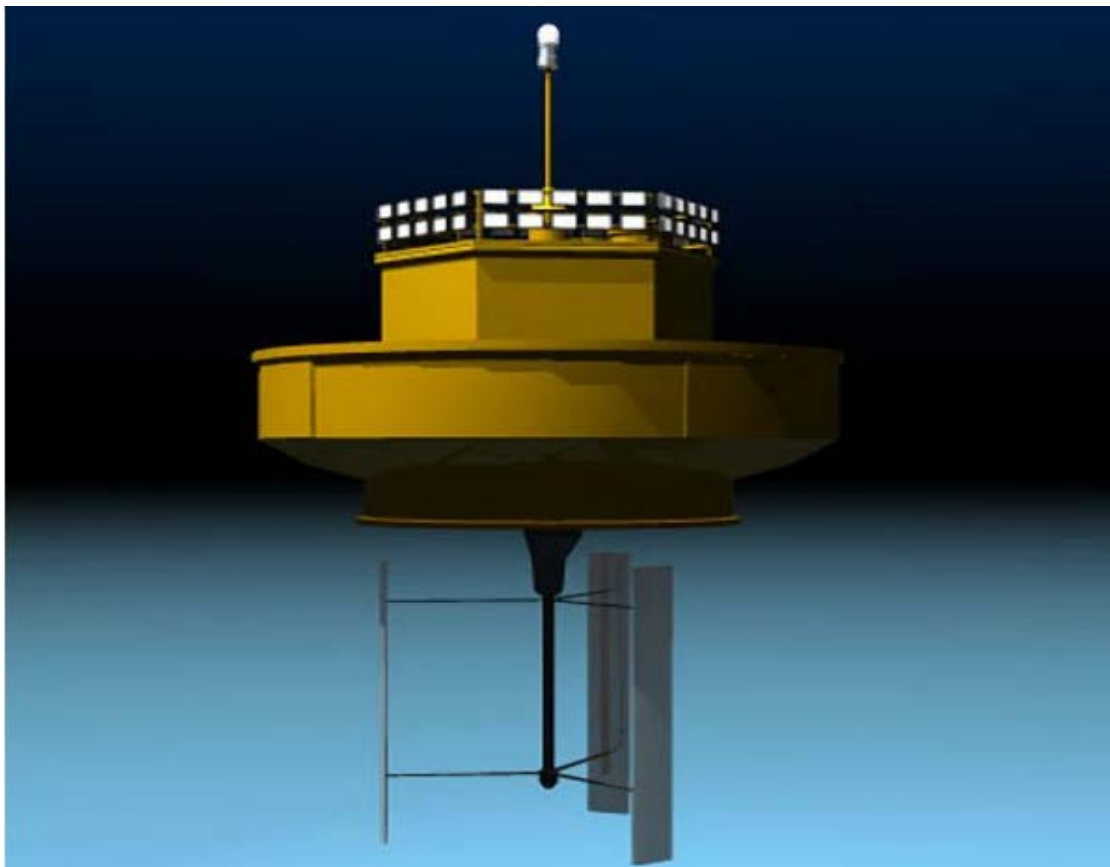
Η πρώτη δοκιμή της ελικοειδούς τουρμπίνας Gorlov έγινε στα παλιρροιακά ρεύματα του Cape Cod στη Μασαχουσέτη από τον Ιούνιο μέχρι τον Αύγουστο του 1996. Τα ρεύματα στο κανάλι είναι παλιρροιακά ρεύματα που αντιστρέφουν την ροή 4 φορές ημερησίως. Η μέγιστη ταχύτητα ροής στην περιοχή δοκιμής μετρήθηκε σε 1,7 m/s. Κατά την διάρκεια της δοκιμής οι 4 στρόβιλοι δεν σταμάτησαν να λειτουργούν και να παράγουν ενέργεια με μέγιστη απόδοση 35% σε ρεύμα ταχύτητας 1,5 m/s. Το 2002 η Δημοκρατία της Κορέας ξεκίνησε δοκιμές μιας τουρμπίνας Gorlov στα δυνατά ρεύματα του στενού Uldolmok.

Τα επιτυχή αποτελέσματα έχουν οδηγήσει σε νέα φάση το πρόγραμμα στο οποίο μία μονάδα θα παράγει 1MW για τις ανάγκες κοντινού νησιού.

Αν αυτό το πρόγραμμα πάει καλά, η κυβέρνηση της Κορέας σχεδιάζει να εγκαταστήσει έναν μεγάλο αριθμό στροβίλων Gorlon στο στενό Uldolmok ώστε να παράγει 3,6 GW, ποσό ενέργειας που παράγουν 4 εγκαταστάσεις πυρηνικής ενέργειας.

- Kobold

Πρόκειται για τουρμπίνα κάθετου άξονα κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που μετατρέπει την κινητική ενέργεια των θαλάσσιων ρευμάτων σε μηχανική ενέργεια με υψηλή απόδοση. Περιστρέφεται ανεξάρτητα από την κατεύθυνση του ρεύματος ενώ αναπτύσσει μεγάλη ροπή η οποία ξεκινάει να περιστρέφει τον στρόβιλο ακόμα και υπό έντονες συνθήκες χωρίς ανάγκη δευτερεύουσας βοήθειας. Διαθέτει 3 πτερύγια, έχει διάμετρο 6m και παράγει 25 KW από ρεύματα ταχύτητας 2 m/s. Ένας ανορθωτής μετατροπέας χρησιμοποιείται για να παρέχει σταθερή ηλεκτρική ισχύ. Το όλο σύστημα, τουρμπίνα συστήματος ισχύος, έχει ενισχυθεί από ένα πλήρως αυτόματο σύστημα ελέγχου.



Εικόνα 27 Η τουρμπίνα κάθετου άξονα Kobold.

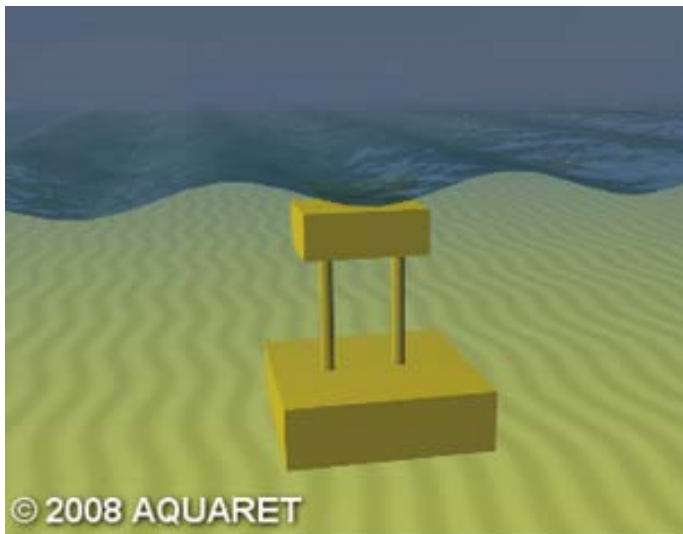
Στην παρούσα κατάσταση το σύστημα έχει βαθμό απόδοσης περίπου 23% τιμή η οποία είναι συγκρίσιμη αν όχι μεγαλύτερη από τις τιμές απόδοσης των ανεμογεννητριών οι οποίες είναι σε ανάπτυξη πάνω από 30 χρόνια. Αυτά τα αποτελέσματα είναι εξαιρετικά ενθαρρυντικά για να κάνουν περαιτέρω έρευνα. Δοκιμές είναι σε εξέλιξη για να βελτιωθούν τα εξαρτήματα της μηχανικής μετάδοσης και της σύνδεσης στις ηλεκτρικές γεννήτριες.

Κρίνοντας από τα αποτελέσματα στο τέλος της προγραμματισμένης διαδικασίας, η απόδοση θα είναι ακόμα υψηλότερη. Επίσης έχει γίνει μία μελέτη για να συνδέσει την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να ληφθεί σε ένα έτος στο μέρος που έχει εγκατασταθεί η τουρμπίνα, στο στενό της Messina. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι περίπου 22MWh μπορούν να εξαχθούν κάθε χρόνο. Στην περιοχή εξετάζοντας τα ρεύματα η συνολική απομαστεύσιμη ενέργεια ανέρχεται στα 538GWh.

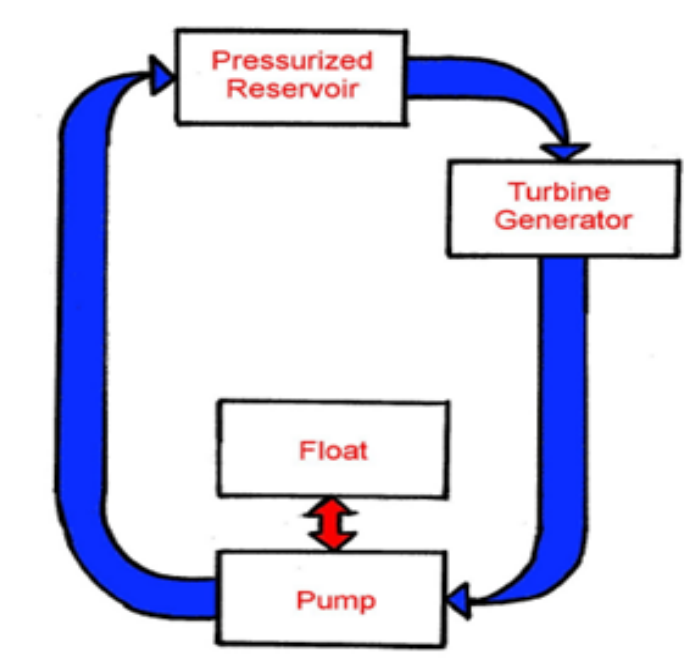
Με αυτό τον τρόπο η εταιρεία έχει αναπτύξει την τεχνογνωσία που απαιτείται ώστε να εκμεταλλευτεί την ενέργεια που παράγει από τα θαλάσσια ρεύματα χάρη βέβαια και στη συνεργασία με διάφορους Ευρωπαίους συνεργάτες. Επίσης, έχουν γίνει μελέτες για να προσδιοριστούν άλλες περιοχές στην Ευρώπη κατάλληλες για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από θαλάσσια ρεύματα. Τέλος, σε συνεργασία με το Ίδρυμα Ενεργειακής Μετατροπής της Κινέζικης Ακαδημίας Επιστήμων βρίσκονται σε εξέλιξη μελέτες σχετικά με την εφαρμογή του συστήματος στο στενό Jintang στη Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας.

4.3 Βυθιζόμενη συσκευή διαφορικής πίεσης – Submerged Pressure Differential Device

Πρόκειται για παράκτιες συνήθως διατάξεις οι οποίες αποτελούνται από μία βάση που στερεώνεται στον πυθμένα της θάλασσας και ένα συλλέκτη που πλέει κάτω ή παράλληλα με την επιφάνεια της θάλασσας. Τα δύο τμήματα είναι ενωμένα με έναν ή δύο άξονες έτσι ώστε ,καθώς ο κυματισμός προκαλεί άνοδο και κάθοδο της επιφάνειας της θάλασσας, δημιουργείται διαφορά υδροστατικής πίεσης επάνω και κάτω από τον συλλέκτη με αποτέλεσμα αυτός να ταλαντώνεται πάνω και κάτω. Οι άξονες του συλλέκτη λειτουργούν ως έμβολο αέρα ο οποίος διοχετεύεται μέσω κλειστού κυκλώματος ώστε να κινήσει ένα αεροστρόβιλο και αυτός με την σειρά του μία ηλεκτρογεννήτρια. Παρομοίως με τις διατάξεις παλλόμενης υδάτινης εφόσον η συσκευή διαφορικής πίεσης σχεδιαστεί στοχευμένα για το κυματικό δυναμικό μιας συγκεκριμένης περιοχής, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική σημειακή απορρόφηση. [1]



Εικόνα 28 Βυθισμένη συσκευή δορυφορικής πίεσης.



Εικόνα 29 Τρόπος λειτουργίας βυθιζόμενης συσκευής διαφορικής πίεσης.

Εγκαταστημένες διατάξεις αυτής της τεχνολογίας είναι το Archimedes Wave Swing και το CETO.

4.3.1. Archimedes Wave Swing

Η επονομαζόμενη αιώρα του Αρχιμήδη σε αντίθεση με τους περισσότερους μετατροπείς κυματικής ενέργειας εκμεταλλεύεται το υποθαλάσσιο κυματισμό. Προορίζεται για υπεράκτια εγκατάσταση. Στερεώνεται στον πυθμένα της θάλασσας σε βάθη έως 100m και διαστασολογείται μέχρι το 1MW περίπου. Στην στερεωμένη βάση προσδένεται η αιώρα, μία κατασκευή κυλινδρικού σχήματος ύψους 30m και διαμέτρου 25m, η κοιλότητα της οποίας είναι γεμάτη με αέρα.

Ο κυματισμός μετακινεί την αιώρα πάνω κάτω και η κίνηση αυτή μεταδίδεται μέσω εμβόλων σε ένα κλειστό κύκλωμα ώστε να κινήσει τον άξονα μιας ηλεκτρογεννήτριας. Καθώς μάλιστα ο υποθαλάσσιος κυματισμός δεν μεταβάλλεται από την ταχύτητα του ανέμου, η αιώρα παράγει σταθερή ισχύ.

Έχουν εγκατασταθεί δοκιμαστικά τρεις διατάξεις AWS, μία μεγέθους 1:9 σε σχέση με την κανονική στη λίμνη του Λοχ Νες, μία μεγέθους 1:20 στην Ολλανδία και μία μεγέθους 1:50 στην Ιρλανδία. Η διάταξη στην Ιρλανδία έφερε επιτυχή αποτελέσματα καταδεικνύοντας ότι η διάταξη μπορεί να εκμεταλλευθεί εμπορικά. Τέλος στην Πορτογαλία έχει εγκατασταθεί δοκιμαστικά η πλήρους κλίμακα διάταξη ισχύος 2MW. Συνολικά έχουν αναπτυχθεί τρία μοντέλα AWS · I, II και III.



Εικόνα 30 Archimedes Wave Swing, Πορτογαλία - 2MW.

4.3.2. CETO

Σε επόμενο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση της λειτουργίας του συστήματος CETO. Κρίνεται σκόπιμο να δοθούν πληροφορίες για το σύστημα σε αυτό το κεφάλαιο.

Πρόκειται μονάδα η οποία βρίσκεται πλήρως κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και μέσω κλειστού υδραυλικού κυκλώματος μεταφέρει θαλασσινό νερό σε επάκτια εγκατάσταση όπου γίνεται εκμετάλλευση της διαφοράς πίεσης στο υδραυλικό κύκλωμα. Από τη διαφορά πίεσης κινείται υδροστρόβιλος ο οποίος κινεί μία ηλεκτρογεννήτρια. Προσαρμόζεται αυτόματα αν αλλάξει η κατάσταση της θάλασσας και είναι ικανό να λειτουργεί με υψηλό βαθμό απόδοσης σε διάφορα κυματικά δυναμικά.

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί τρία μοντέλα τα Ceto I, II και III. Το CETO I ολοκλήρωσε επιτυχώς δοκιμές από το 2006, το CETO II έχει εγκατασταθεί και δοκιμάζεται στην Αυστραλία ενώ το CETO III δοκιμάζεται και αυτό στην Αυστραλία. Σταθμοί παραγωγής ενέργειας με μονάδες CETO III μπορούν να διαστασιολογηθούν σε ονομαστική ισχύ 50kW.



Εικόνα 31 Ceto.

4.4 Διάταξη αξιοποίησης της ενέργειας των ρευμάτων

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μηχανισμών που δοκιμάζονται για τη σύλληψη της Ενέργειας των Ρευμάτων. Τα συστήματα αυτά Θαλάσσιας Ενέργειας βασίζονται στις εξής Αρχές Λειτουργίας:

Η αρχή λειτουργίας των διατάξεων αξιοποίησης της ενέργειας των ρευμάτων και των παλιρροιών είναι η εξής:

Τα ρεύματα του ωκεανού και οι παλίρροιες είναι σαν υποθαλάσσιοι άνεμοι και μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια κινώντας ένα συνηθισμένο περιστρεφόμενο στοιχείο. Το ποσό της παραγόμενης ισχύος εξαρτάται από την ταχύτητα του ρέοντος ύδατος και από τη διάμετρο του ρότορα.

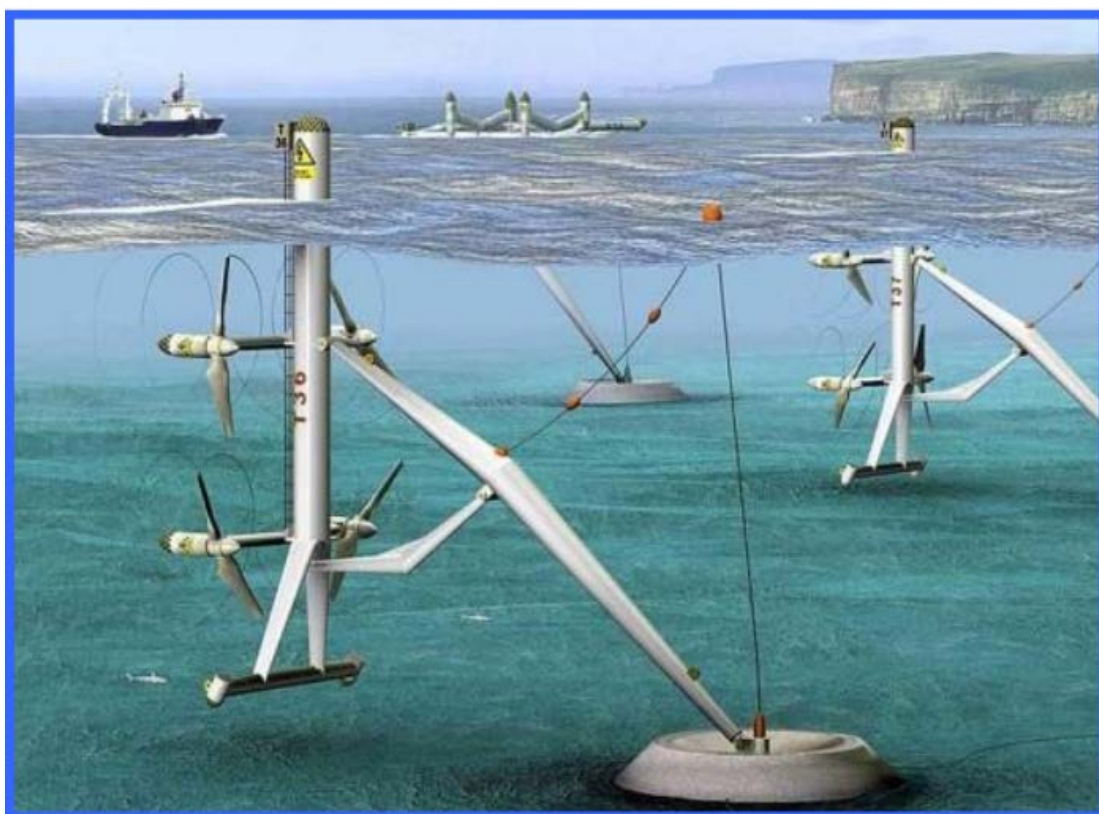
4.5 Επιπτώσεις της Ενεργειακής Εξαγωγής που χρησιμοποιούν οι Θαλάσσιες Τρέχουσες Ενεργειακές Συσκευές

Η θαλάσσια τρέχουσα ενεργειακή συσκευή θεωρείται η πιο περιβαλλοντικά καλοκάγαθος όλων των τεχνολογιών εξαγωγής παλιρροιακής ενέργειας. Αυτές οι συσκευές θεωρούνται ως φιλικές προς το περιβάλλον εντούτοις, όμως δεν είναι απαλλαγμένες από τις εκπομπές εξ ολοκλήρου. Η παραγωγή για κάθε ένα από τα μέρη και η μεταφορά των υλικών απαιτεί την κατανάλωση ενέργειας. Επομένως οι εκπομπές παράγονται εφόσον οι πόροι ενέργειας βασίζονται στα απολιθωμένα καύσιμα.



Εικόνα 32 Συναρμολόγηση τουρμπίνας Seagen.

Η δημόσια αποδοχή από τις θαλάσσιες τρέχουσες ενεργειακές συσκευές είναι πιθανό να οφείλεται στο χαμηλό υψόμετρο και στους μηδέν ευδιάκριτους θορύβους διαφάνειας. Αντίθετα από τα παλιρροιακά φράγματα οι θαλάσσιες τρέχουσες ενεργειακές συσκευές δεν εμποδίζουν τους κόλπους ή τις εκβολές και δεν διακόπτουν τις μετακινήσεις των ψαριών ή να αλλάζουν την υδρολογία [51]. Επίσης προσφέρουν σχετικά μεγάλη δυνατότητα παραγωγικής ικανότητας χωρίς τα ακραία αποτελέσματα στο οικοσύστημα που θα αντιμετωπιζόταν με τη χρήση ενός παλιρροιακού φράγματος. Η πρόσφατη έρευνα στην εξαγωγή παλιρροιακής ενέργειας στρέφεται κυρίως στη θαλάσσια τρέχουσα ενεργειακή εξαγωγή που χρησιμοποιεί η θαλάσσια τρέχουσα ροή παρά τη σειρά στο ύψος των παλιρροιών. Αυτές οι θαλάσσιες τρέχουσες ενεργειακές συσκευές μπορούν να τοποθετηθούν στις περιοχές όπου δεν έχουν επιπτώσεις στη μετανάστευση των θαλάσσιων θηλαστικών και των ψαριών. Η μετακίνηση των λεπίδων ή των υδρολισθητήρων των συσκευών αναμένεται να είναι αρκετά αργή για να μειώσει την θνησιμότητα των ψαριών.



Εικόνα 33 Μετακίνηση λεπίδων ή των υδρολισθητήρων των συσκευών.

Κατά την εξέταση, η επέκταση από τις θαλάσσιες τρέχουσες ενεργειακές συσκευές πρέπει να εξεταστούν τα ακόλουθα πιθανά ζητήματα:

- Τα θαλάσσια θηλαστικά μπορούν να μπουν σε επαφή με αυτές τις συσκευές με τις πιθανές συγκρούσεις. Αυτό το ζήτημα ερευνάται για την εγκατάσταση και τη λειτουργία των συσκευών, καθώς επίσης και άλλες εγκαταστάσεις ανοικτής θαλάσσης.
- Τα αποτελέσματα στα ψάρια μπορεί να είναι θετικά ή αρνητικά. Από την άποψη της αλιείας η δομή και η τηλεγράφηση μπορεί να έχει μία επίδραση στα αποθέματα ψαριών και στους βιότοπους τους.
- Η επίδραση που μπορεί να έχει μία περιοχή στην οποία εγκαθίστανται οι θαλάσσιες τρέχουσες ενεργειακές συσκευές.
- Υποβρύχια αρχαιολογία. Μία πλήρης αξιολόγηση της περιοχής μπορεί να απαιτηθεί προτού να εγκατασταθεί η συσκευή.

- Η επίδραση στις ψυχαγωγικές δραστηριότητες.

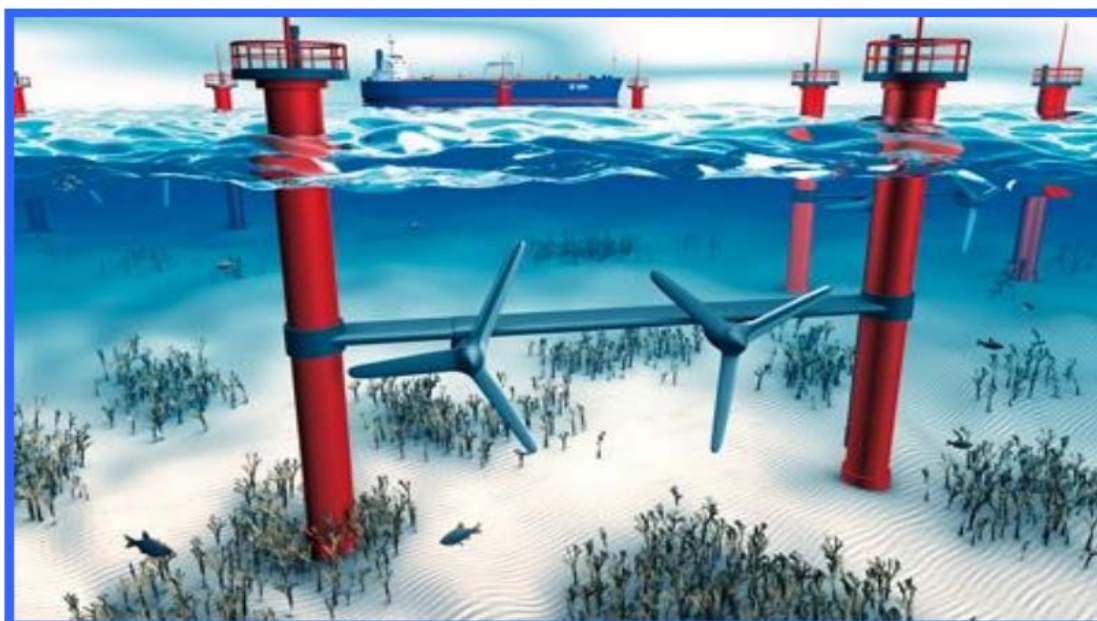
Η σημαντικότερη περιβαλλοντική επίπτωση των θαλάσσιων τρεχουσών συσκευών από την άποψη της ρύπανσης είναι η χρήση των υδραυλικών συστημάτων. Μερικές από τις συσκευές που αναφέρθηκαν νωρίτερα χρησιμοποιούν υδραυλικά συστήματα για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Η πιθανή διαρροή από το υδραυλικό λάδι θα ήταν καταστρεπτικό στο γύρο περιβάλλον.



Εικόνα 34 Συσκευή θαλάσσιων ρευμάτων με υδραυλικό σύστημα.

4.6. Επιπτώσεις στο Περιβάλλον

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των διατάξεων παλιρροιακών (θαλάσσιων) ρευμάτων είναι ότι καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας τους δεν εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου και φαίνεται απίθανο να προκαλούν ρύπος. Οι διατάξεις παλιρροιακού ρεύματος μπορούν να εγκατασταθούν σε διάφορες τοποθεσίες και σε διαφορετικό εύρος κλίμακας, από μία μεμονωμένη διάταξη έως ένα πάρκο από 30 ή περισσότερες διατάξεις ή ένα πλήθος τέτοιων πάρκων σε μία περιοχή. Είναι πιθανό να δούμε στο μέλλον την εγκατάσταση ενός αριθμού τέτοιων πάρκων μέσα σε μία σχετικά μικρή περιοχή για την μεγιστοποίηση της χρήσης του διαθέσιμου παλιρροιακού πόρου. Πράγμα που σημαίνει ότι το επίπεδο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από την ενέργεια παλιρροιακών ρευμάτων είναι πιθανόν να αυξηθεί σταδιακά με τον χρόνο και οι αθροιστικές επιπτώσεις πολλών πάρκων που λειτουργούν σε μία περιοχή μπορεί να καταστούν σημαντικές. Επιπλέον, οι τύποι του περιβάλλοντος που θα επηρεαστούν θα αλλάξει κι αυτός με το χρόνο, αφού οι τεχνολογικές βελτιώσεις και οι οικονομικές απαιτήσεις οδηγούν στη μεταφορά των παλιρροιακών πάρκων από τα ρηχά ύδατα σε βαθύτερα ύδατα και τανάπαλι.



Εικόνα 35 Διαταραχές μετανάστευσης των ψαριών από την ανατάραξη της ροής του νερού.

Επί του παρόντος, αν και γίνονται διάφορες προβλέψεις, λίγα είναι στην ουσία γνωστά για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διατάξεων παλιρροιακού ρεύματος (δεν είναι διαθέσιμη καμία μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων για διατάξεις παλιρροιακού ρεύματος). Συνεπώς, είναι δύσκολο να προβλεφθεί το μέγεθος των αθροιστικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την χρήση των παλιρροιακών διατάξεων και πάρκων σε όλες τις περιοχές όπου υπάρχουν πόροι παλιρροιακών ρευμάτων. Το επίπεδο των επιπτώσεων θα προσδιοριζόταν, μεταξύ άλλων, από την ποσότητα των εγκατεστημένων μονάδων και την πυκνότητά τους. Μερικά ειδικά θέματα που αφορούν στην αλληλεπίδραση των διατάξεων παλιρροιακών ρευμάτων με το περιβάλλον είναι τα εξής :

- Τεχνολογία:

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη στερέωση του στροβίλου στον πυθμένα μπορεί κι αυτή να έχει διαφορετικές επιπτώσεις. Για παράδειγμα, οι προτεινόμενοι κυματικοί στρόβιλοι πρώτης γενιάς χρησιμοποιούν μόνο πυλώνα ο οποίος θα μπορούσε να διαταράξει το φυσικό περιβάλλον του πυθμένα κατά την εγκατάσταση. Οι διατάξεις δεύτερης γενιάς θα μπορούσαν να χρησιμοποιούν συστήματα αγκυροβόλησης, τα οποία έχουν μικρότερες επιπτώσεις στη ζωή του πυθμένα, ενώ παράλληλα παρέχουν την δυνατότητα λειτουργίας των στροβίλων σε βαθύτερα ύδατα.

- Πυκνότητα εγκατάστασης:

Το πόσο πυκνά γίνεται η εγκατάσταση των μονάδων μπορεί κι αυτό να επηρεάσει τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, εάν πρόκειται να τοποθετηθεί ένας αριθμός στροβίλων διαμέτρου 16 μέτρων κάθετα στην παλιρροιακή ροή, οι στρόβιλοι θα πρέπει να τοποθετηθούν σε απόσταση 60 μέτρων ο ένας από τον άλλο. Αυτό θα άφηνε ένα ελάχιστο κενό 44 μέτρων από το άκρο του ενός πτερυγίου έως το άκρο του άλλου πτερυγίου. Οι στρόβιλοι θα τοποθετούνταν 100 μέτρα ο ένας απέναντι του άλλου, προκειμένου να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση που προκαλούνται από την τριβή και για την αποκατάσταση των παλιρροιακών ρευμάτων. Η οριζόντια και η αξονική απόσταση θα κατέληγε σε μία πυκνότητα εγκατάστασης 18 μονάδες ανά km^2 , που θα επέτρεπε στο παλιρροιακό ρεύμα, τα ψάρια και τα μεγαλύτερα θηλαστικά να διέρχονται χωρίς καμία επίπτωση.

- Διάταξη:

Η διάταξη των συστοιχιών των θαλάσσιων στροβίλων θα μπορούσε κι αυτή να έχει επιπτώσεις. Για παράδειγμα, οι σειρές από στροβίλους που βρίσκονται η μία δίπλα από την άλλη μπορεί να λειτουργήσουν ως μεγαλύτερο φράγμα για το επερχόμενο παλιρροιακό ρεύμα σε σχέση με τα πάρκα όπου οι στροβίλοι εγκαθίστανται σε διάσπαρτες συστοιχίες.



Εικόνα 36 Διάταξη παλιρροϊκού πάρκου σε σειρά.

- Βάθος:

Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο ενέργειας οι παρακάτω εγκατεστημένες μονάδες εκμεταλλεύονται εμπορικά παγκομίως:

Πίνακας 1: Εμπορικά εκμεταλλεύσιμες μονάδες παγκόσμια ¹

Status	Country:	Name:	Region:	Number of devices	Estimated date of commissioning	Converter manufacturer:	Converter type:	Converter working principle:	Converter capacity [MW]:	Capacity [MW]:
Fully Operational	China	Wave Pendulum	Daguan island, Shandong Province	1	1999	-	-	Oscillating wave surge converter	-	0.03
Fully Operational	Ghana	Ada Foah	near Ada Foah	1	2015	Seabased	Seabased WEC	Point Absorber	-	0.4
Fully Operational	Portugal	Pico Wave Power Plant	near Cachorro, Pico Island, Azores	1	1999	-	-	Oscillating Water Column	-	0.4
Fully Operational	Spain	Mutriku Wave Energy Plant	off Mutriku	16 (air chambers)	2011	Voith Hydro Wavegen	Wells turbine	Oscillating Water Column	0.25	0.3
Under construction	Sweden	Sotenas Project (1)	northwest of Kungshamn / Smogen	42	2016	Seabased	Seabased WEC	Point Absorber	0.025	1.05
										Operational: 1.1MW Under construction: 1.1MW

¹ World Energy Resources| Marine Energy | 2016

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΕ ΝΗΣΙ

5.1 Ανάλυση ροών φορτίων

Μία μελέτη ροής φορτίου είναι μια ανάλυση της μόνιμης κατάστασης λειτουργίας, στόχος της οποίας είναι να προσδιοριστούν οι τάσεις, η πραγματική και η άεργη ισχύς σε ένα σύστημα υπό δεδομένες συνθήκες φορτίου. Ο σκοπός της μελέτης ροής φορτίου είναι να προβλέψουν την μελλοντική κατάσταση των ΣΗΕ για διάφορες υποθετικές περιπτώσεις. Για παράδειγμα, εάν μία γραμμή μεταφοράς αποσυνδεθεί για συντήρηση θα πρέπει οι υπόλοιπες γραμμές να χειριστούν το απαιτούμενο φορτίο χωρίς να υπερβούν τις ονομαστικές τους τιμές. Συνοψίζοντας η ανάλυση ροών φορτίου χρησιμοποιείται:

- για την εύρεση των αρχικών τιμών
- για τον προσδιορισμό της μελλοντικής ανάπτυξης των ΣΗΕ
- αν τεθούν μία ή περισσότερες μονάδες ή γραμμές εκτός λειτουργίας, βρίσκει την βέλτιστη διαδικασία
- για την βέλτιστη διαδικασία που θα ακολουθηθεί ώστε να πετύχουμε την καλύτερη ρύθμιση της τάσης στους ζυγούς και την οικονομικότερη λειτουργία

Μία μελέτη ροής φορτίου εναλλασσόμενου ρεύματος χρησιμοποιείται από τους ηλεκτρολόγους μηχανικούς για την ανάλυση των δικτύων ενέργειας. Αυτή παρέχει ένα μη γραμμικό σύστημα το οποίο περιγράφει την ροή ενέργειας μέσα από κάθε γραμμή μεταφοράς. Λόγω της μη γραμμικότητας σε πολλές περιπτώσεις η ανάλυση των μεγάλων δικτύων δεν είναι εφικτή και μία γραμμική μέθοδος ροής φορτίου χρησιμοποιείται αντί αυτής.

5.2 Εξισώσεις ροής φορτίου

Αρχικά προτού δοθούν οι εξισώσεις ροής ισχύος θα αναφερθούν οι παράμετροι και οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις:

P_{Gk} , P_{Dk} η ενεργός και άεργος παραγωγή του του ζυγού k

P_{Dk} , Q_{Dk} η ενεργός και άεργος κατανάλωση του ζυγού k

U_k , θ_k το μέτρο και η γωνία του ζυγού m

g_k , b_k η εγκάρσια αγωγιμότητα και επιδεκτικότητα του ζυγού k

g_{km} , b_{km} η αγωγιμότητα και επιδεκτικότητα της γραμμής μεταξύ των ζυγών k,m

g_{skm} , b_{skm} η εγκάρσια αγωγιμότητα και επιδεκτικότητα της γραμμής μεταξύ των ζυγών k,m

Ροή ενεργού και άεργου ισχύος της γραμμής μεταξύ των ζυγών k και m μετρούμενη στο άκρο k

$$P_{km} = U_k^2 (g_{km} + g_{skm}) - U_k U_m (g_{km} \cos(\theta_k - \theta_m) + b_{km} \sin(\theta_k - \theta_m))$$

$$Q_{km} = -U_k^2 (b_{km} + b_{skm}) - U_k U_m (g_{km} \sin(\theta_k - \theta_m) - b_{km} \cos(\theta_k - \theta_m))$$

Εξισώσεις ροής ενεργού και άεργου ισχύος στον ζυγό k

$$P_k = P_{Gk} - P_{Dk} = U_k^2 g_k + \sum_{m \in K(k)} U_k^2 (g_{km} + g_{skm}) - \sum_{m \in K(k)} (U_k U_m (g_{km} \cos(\theta_k - \theta_m) + b_{km} \sin(\theta_k - \theta_m)))$$

$$Q_k = Q_{Gk} - Q_{Dk} = -U_k^2 b_k + \sum_{m \in K(k)} U_k^2 (b_{km} + b_{skm}) - \sum_{m \in K(k)} (U_k U_m (g_{km} \sin(\theta_k - \theta_m) - b_{km} \cos(\theta_k - \theta_m)))$$

Διατύπωση της μελέτης της ροής φορτίου υπάρχουν 4 μεταβλητές που σχετίζονται με κάθε ζυγό και είναι οι P , Q , V , δ . Εν τω μεταξύ υπάρχουν 2 εξισώσεις ροής φορτίου που σχετίζονται με κάθε ζυγό. Σε μία τελετή ροής φορτίου 2 από τις 4 μεταβλητές ορίζονται και οι άλλες 2 είναι άγνωστες. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε τον ίδιο αριθμό εξισώσεων με τον αριθμό των αγνώστων. Τέλος, οι γνωστές και άγνωστες μεταβλητές εξαρτώνται από τον τύπο του ζυγού.

Οι τύποι των ζυγών είναι οι εξής:

- Ζυγός Φορτίου
Ο ζυγός φορτίου είναι ένας ζυγός στον οποίο η πραγματική και η άεργη ισχύς προσδιορίζονται και για τον οποίο η τάση του ζυγού θα υπολογιστεί. Οι ζυγοί που δεν έχουν γεννήτριες είναι ζυγοί φορτίου. Οι άγνωστοι είναι τα V , δ .
- Ζυγός Παραγωγής
Ο ζυγός παραγωγής είναι ένας ζυγός στον οποίο το μέτρο της τάσης προσδιορίζεται και διατηρείται σταθερό με την προσαρμογή του ρεύματος μίας σύγχρονης γεννήτριας. Οι άγνωστοι είναι τα Q , δ .
- Ζυγός Ταλάντωσης (Slack bus)
Ο ζυγός ταλάντωσης είναι μία ειδική περίπτωση ενός ζυγού παραγωγής που χρησιμεύει και ως ζυγός αναφοράς. Η τάση του προτίθεται να διορθωθεί τόσο σε μέτρο όσο και σε φάση. Οι άγνωστοι είναι τα P , Q .

Σημειώστε ότι οι εξισώσεις ροής φορτίου είναι μη γραμμικές και έτσι δεν μπορούν να λυθούν αναλυτικά. Ένας αριθμητικός επαναληπτικός αλγόριθμος απαιτείται για την επίλυση αυτών των εξισώσεων. Μία τυπική διαδικασία είναι η παρακάτω:

- Δημιούργησε ένα πίνακα αγωγιμοτήτων Y_{bus} για το ηλεκτρικό σύστημα
- Κάνε μία αρχική εκτίμηση για τις τάσεις (τόσο για το μέτρο όσο και για την φάση) σε κάθε ζυγό στο σύστημα
- Αντικατέστησε στις εξισώσεις ροής φορτίου και προσδιόρισε τις αποκλίσεις από την λύση
- Υπολόγισε τις εκτιμώμενες τάσεις που βασίζονται σε κάποιους γνωστούς αλγόριθμους (όπως π.χ. Newton-Raphson, Gauss-Seidel)
- Επανάλαβε την παραπάνω διαδικασία έως ότου οι αποκλίσεις από τη λύση να είναι ελάχιστες

Όταν έχουμε να λύσουμε ένα πρόβλημα n ζυγών τότε αυτό οδηγείται στην δημιουργία ενός συστήματος n μιγαδικών εξισώσεων με n αγνώστους. Οι μεταβλητές του προβλήματος είναι οι τάσεις, οι γωνίες και η ισχύς. Ο υπολογισμός των ρευμάτων γίνεται αφού έχουμε υπολογίσει πρώτα τις γωνίες και τις τάσεις.

Περιορισμοί

Για να θεωρηθεί η λύση αποδεκτή και εφικτή θα πρέπει να ικανοποιεί τους περιορισμούς που διέπουν το πρόβλημα της μελέτης της ροής φορτίου και αυτοί έχουν ρυθμιστεί κατάλληλα ώστε να εξασφαλίζουν την αποδοτική λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι περιορισμοί που πρέπει να πληρούνται είναι οι κάτωθι:

- Τα όρια ευστάθειας και απωλειών ισχύος των γραμμών μεταφοράς
- Για την παραγωγή η ενεργός και άεργος ισχύς, πρέπει να είναι $P_g^{min} \leq P_g \leq P_g^{max}$ και $Q_g^{min} \leq Q_g \leq Q_g^{max}$
- Η τάση των ζυγών πρέπει να βρίσκεται μεταξύ $U^{min} \leq u \leq U^{max}$
- Οι διαφορές των γωνιών των ζυγών του συστήματος $|\delta_i - \delta_j| \leq |\delta_i - \delta_j|_{max}$

5.3 Διασύνδεση του προτεινόμενου συστήματος στο ΣΗΕ της Μήλου

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζετε το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας της Μήλου. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ρυθμιστικής Αρχής στη Μήλο βρίσκεται εγκαταστημένος ένας θερμικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί πετρέλαιο ως καύσιμο, συνολικής ισχύος 7,6 MW. Από αυτόν τροφοδοτείται τόσο η Μήλος όσο και η Κίμωλος. Σημειωτέων, στην παραπάνω ισχύ δεν συμπεριλαμβάνονται οι μονάδες Α.Π.Ε.

Πίνακας 2: Στοιχεία ΣΗΕ Μήλου²

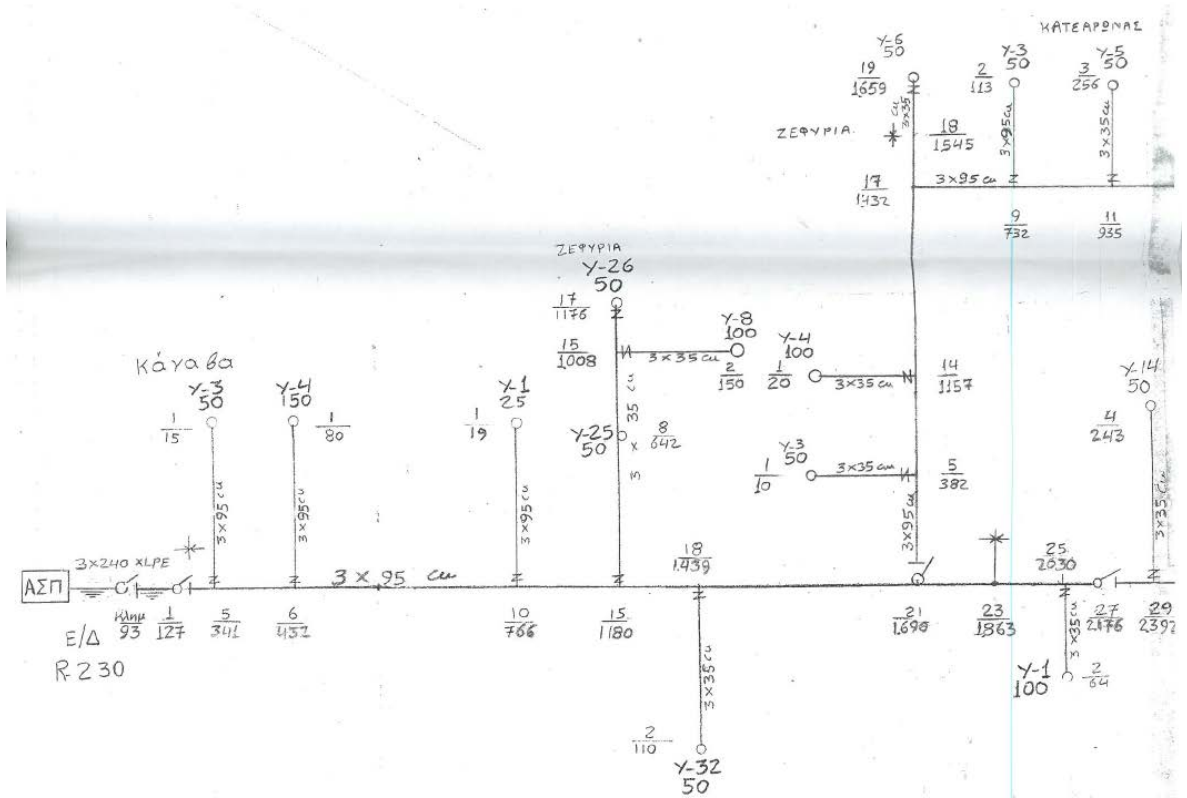
Τροφοδοτούμε να νησιά	Αυτόνομο ι σταθμοί	Εγκατεστημέν η ισχύς (kW)	Μέγιστη ζήτηση (kW)	Ετήσια ζήτηση Ενέργειας (MWh)
Μήλος-Κίμωλος	Μήλος	7600	5970	23912

Το δε δίκτυο μεταφοράς του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. λειτουργεί στη Μέση Τάση συγκεκριμένα με 15 kV πολική τάση. Επιπλέον, η δομή του δικτύου είναι ακτινική, ως συνηθίζεται στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά.³

Παρατίθεται το σχέδιο του ΣΗΕ της Μήλου, χωρίς το ζυγό της σύνδεσης της Κιμώλου.

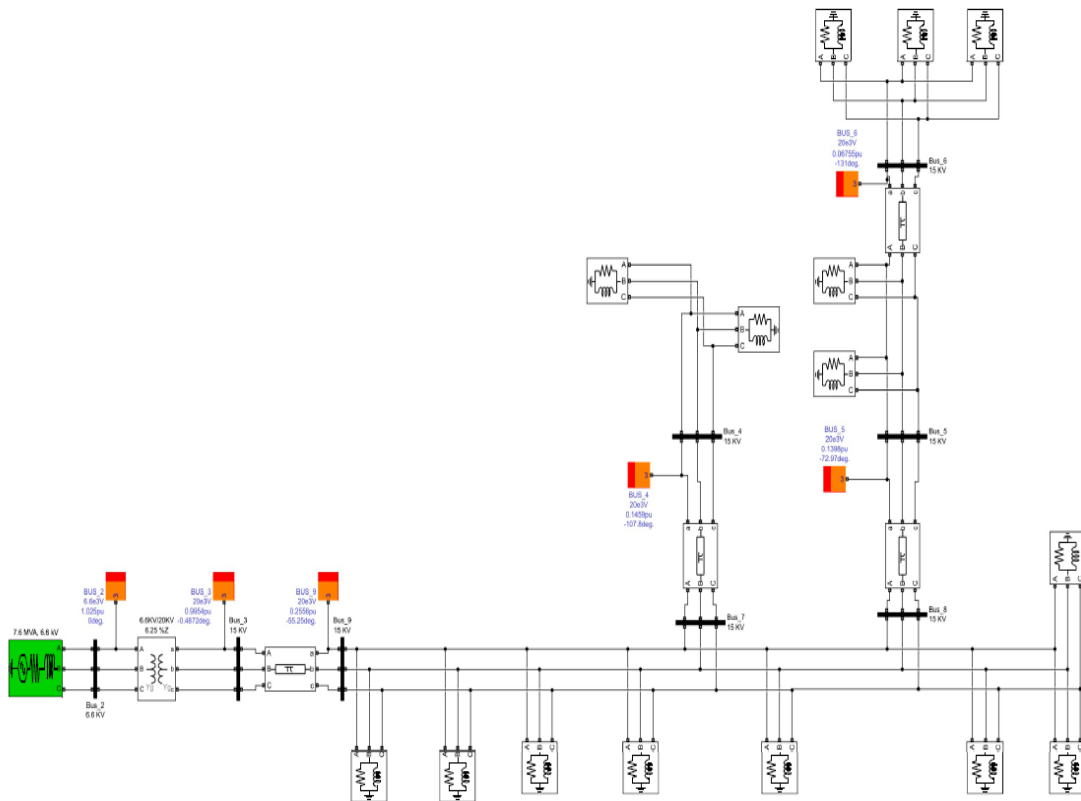
² <http://www.rae.gr/old/sub3/3B/3b3.htm>

³ Σχέδιο Ανάπτυξης Δικτύου 2018 – 2022 ΔΕΔΔΗΕ



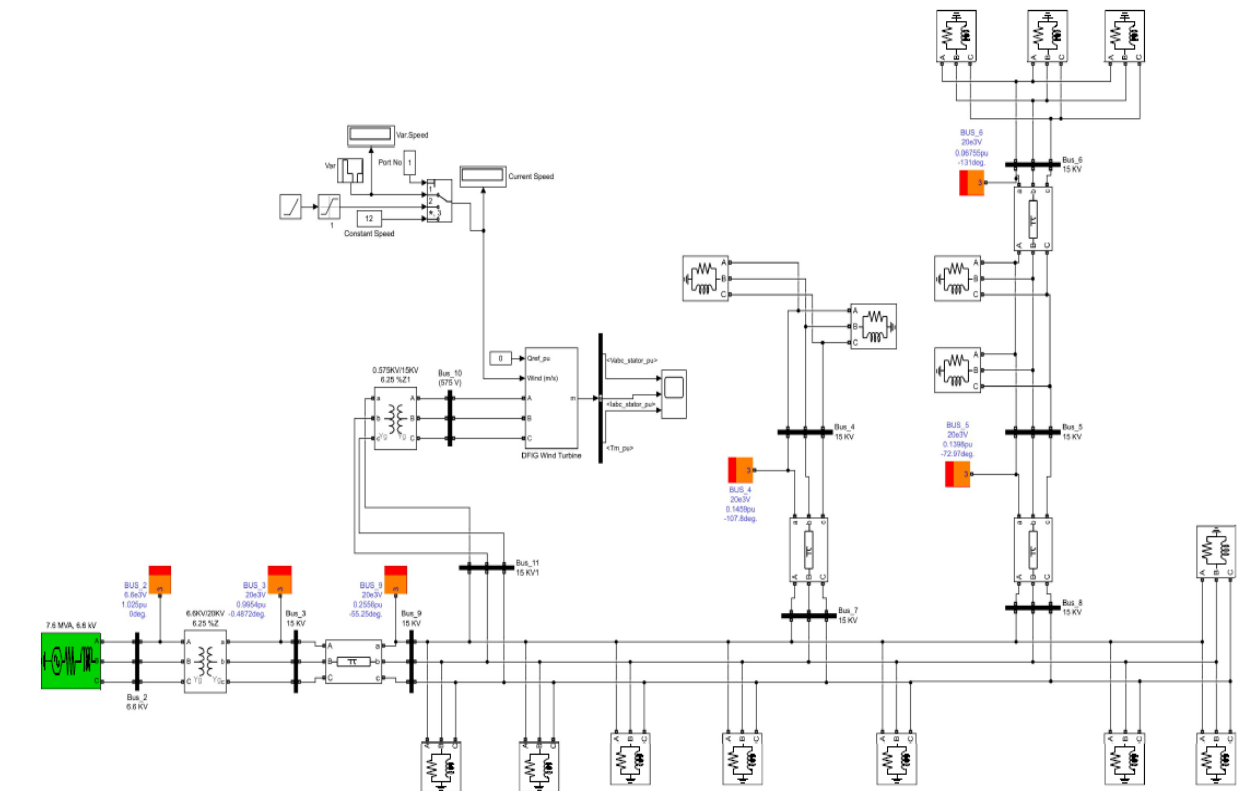
Εικόνα 37 ΣΗΕ Μήλου.

Μοντέλο Simulink ΣΗΕ Μήλου



Η μελετώμενη μονάδα παραγωγής ενέργειας μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο Μ.Τ. του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. μέσω μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία, κατασκευάζουμε ένα μοντέλο Simulink όπου η μονάδα του CETO προσομοιώνεται από μία ανεμογεννήτρια, δεδομένου ότι η αρχή λειτουργίας τους είναι παρόμοια η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω μίας γεννήτριας. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας επελέγη μονάδα με γεννήτρια ισχύος 200 kW και λειτουργία σε πολική τάση 0,575kV.

Για τη διασύνδεσή της με το δίκτυο Μ.Τ. του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. χρησιμοποιείται ένας Μετασχηματιστής 0,575/15 kV. Παρακάτω παρατίθεται το σχετικό μοντέλο:



Continuous

Στο σημείο αυτό, αξίζει να ανατρέξουμε στη βιβλιογραφία όπου οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. χρησιμοποιούνται για την κάλυψη μέσων φορτίων και φορτίων αιχμής, εξαιτίας της στοχαστικότητας των πηγών αυτών.

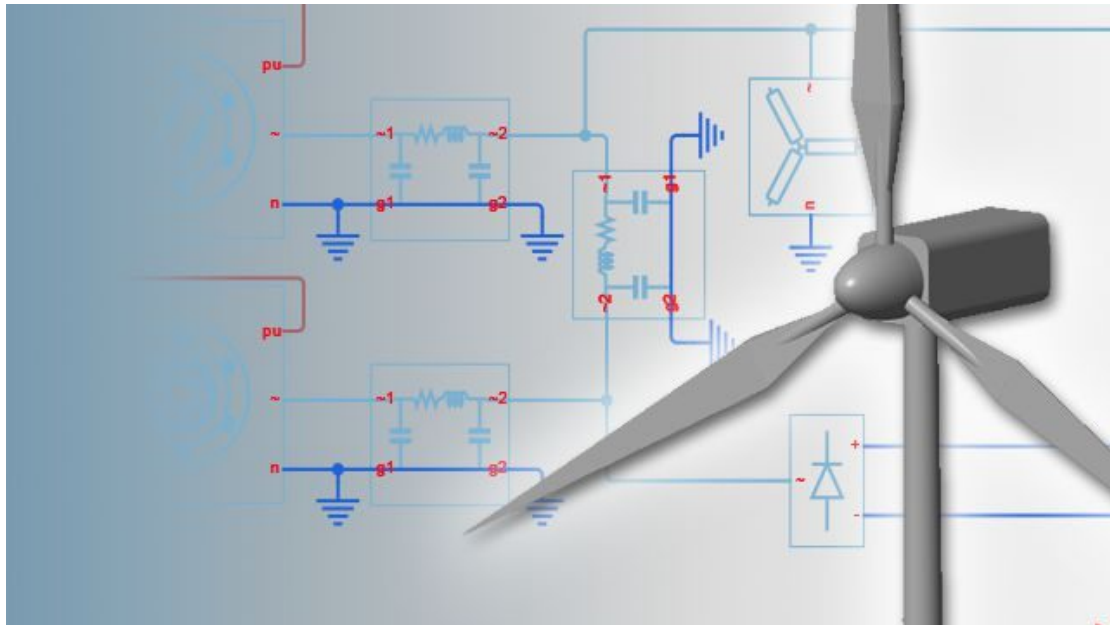
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΤΟΥΡΜΠΙΝΕΣ

6.1 Μοντελοποίηση και προσομοίωση συστημάτων ηλιακής ενέργειας

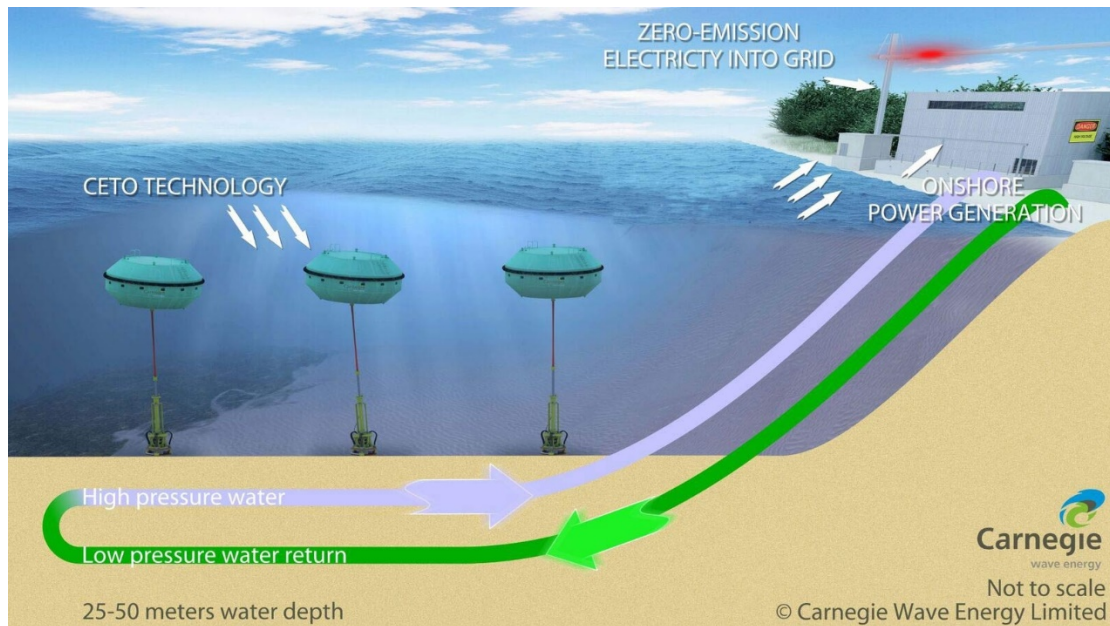
Το Simscape Power Systems™ (πρώην SimPowerSystems™) παρέχει βιβλιοθήκες συνιστωσών και εργαλεία ανάλυσης για την μοντελοποίηση και προσομοίωση συστημάτων ηλιακής ενέργειας. Περιλαμβάνει μοντέλα ηλεκτρικών εξαρτημάτων, συμπεριλαμβανομένων τριφασικών μηχανών, ηλεκτροκινητήρων και εξαρτημάτων για εφαρμογές όπως ευέλικτα συστήματα μετάδοσης AC (FACTS) και συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η αρμονική ανάλυση, ο υπολογισμός της συνολικής αρμονικής παραμόρφωσης (THD), η ροή φορτίου και άλλες αναλύσεις βασικού ηλεκτρικού συστήματος είναι αυτοματοποιημένες, βοηθώντας μας να διερευνήσουμε την απόδοση του σχεδίου μας.

Τα συστήματα Simscape Power Systems μας βοηθούν να αναπτύξουμε συστήματα ελέγχου και να ελέγξουμε την απόδοση του συστήματος. Μπορούμε να παραμετροποιήσουμε τα μοντέλα σας με τη χρήση του MATLAB® μεταβλητές και εκφράσεις και τα συστήματα σας ηλεκτρικής ενέργειας στο Simulink®. Μπορούμε να ενσωματώσουμε στο μοντέλο σας μηχανικά, υδραυλικά, θερμικά και άλλα φυσικά συστήματα χρησιμοποιώντας εξαρτήματα από την οικογένεια προϊόντων Simscape™. Για την ανάπτυξη μοντέλων σε άλλα περιβάλλοντα προσομοίωσης συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων HIL, το Simscape Power Systems υποστηρίζει την παραγωγή του C-code.



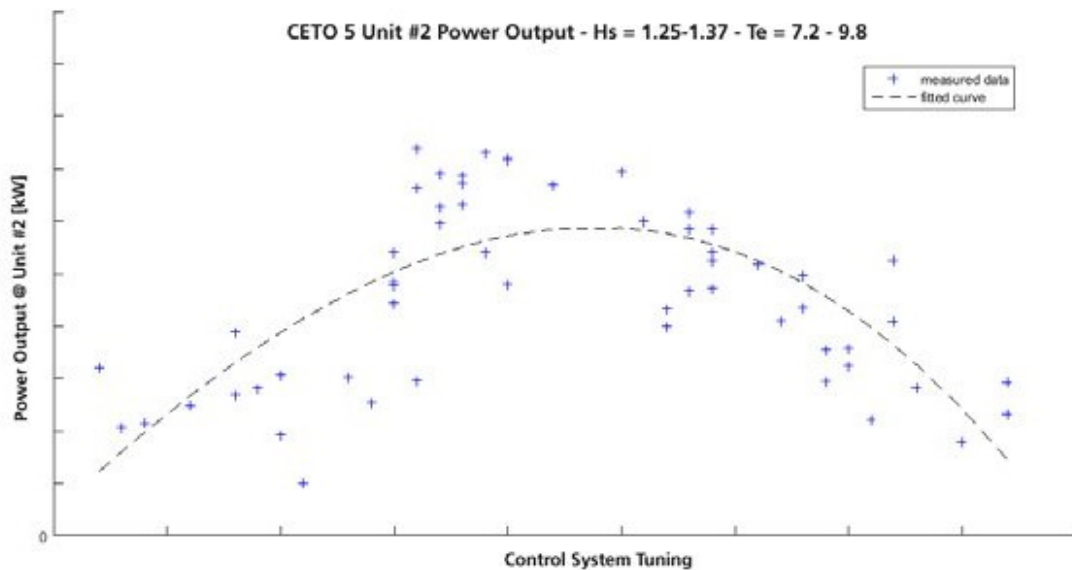
6.2 Μοντελοποίηση και προσομοίωση της τεχνολογίας της επόμενης γενιάς

Η τεχνολογία CETO χρησιμοποιεί την κίνηση των σημαντήρων για να αξιοποιήσει την ενέργεια των κυμάτων και να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Οι σημαντήρες CETO 5 είχαν διαμέτρου 11 μέτρα και βυθίστηκαν περίπου δύο μέτρα κάτω από την επιφάνεια του ωκεανού. Κάθε σημαδός συνδέθηκε μέσω ενός μάντα σε ένα υδραυλικό κύλινδρο που ήταν τοποθετημένος στο δάπεδο της θάλασσας. Η κατακόρυφη κίνηση των σημαντήρων οδήγησε ένα έμβολο στον κύλινδρο, δημιουργώντας πίεση που πιέζει το νερό μέσω των υποβρύχιων σωλήνων σε μία χερσαία εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας. Εκεί, το νερό υψηλής πίεσης χρησιμοποιήθηκε για να οδηγήσει υδροηλεκτρικές τουρμπίνες για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια και να παράγει αφαλατωμένο νερό μέσω της αντίστροφης ώσμωσης.



Εικόνα 38 Σύστημα CETO 5.

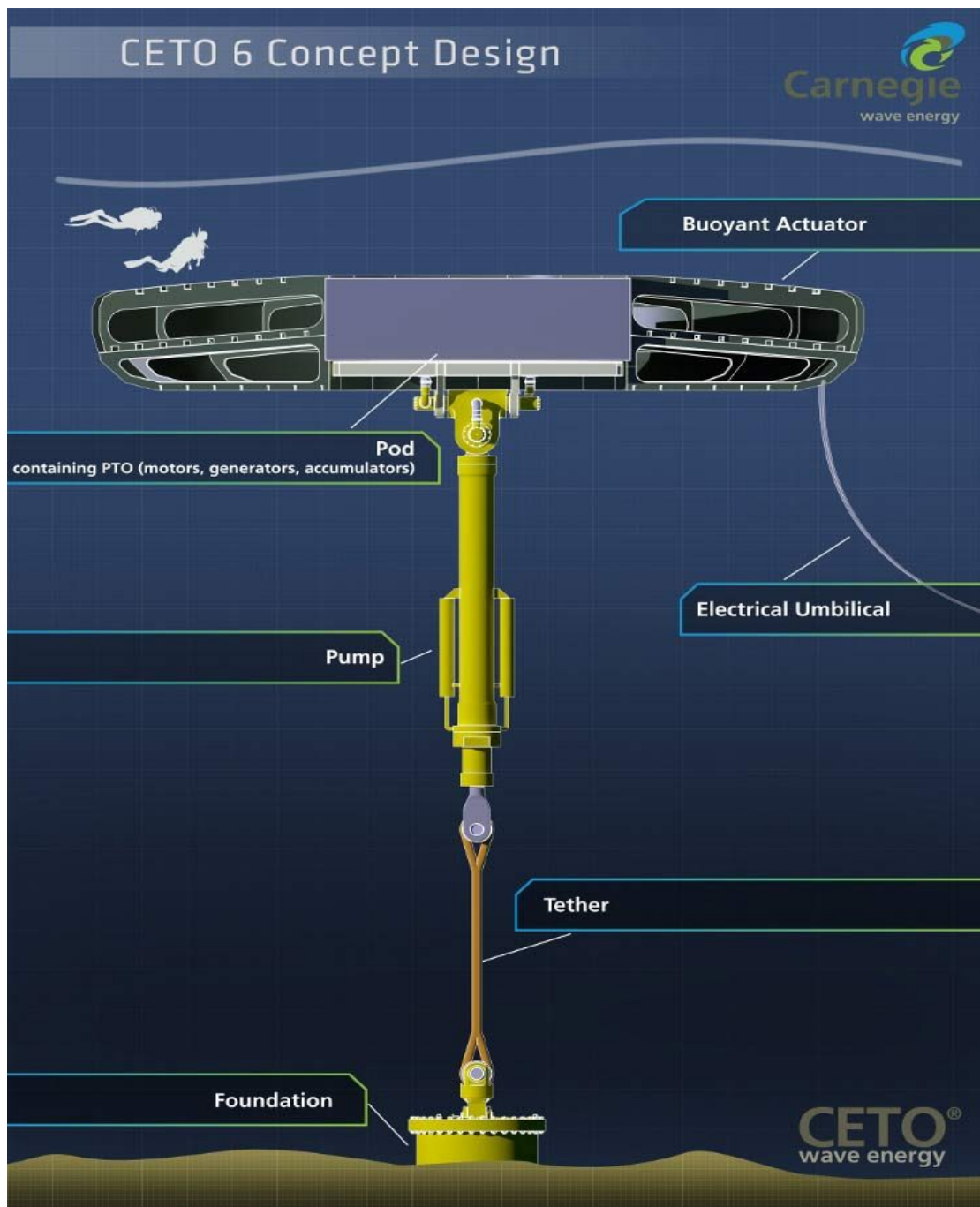
Το ετήσιο πρόγραμμα CEETO 5 όχι μόνο απέδειξε τη σκοπιμότητα της τεχνολογίας, αλλά και μας έδωσε πληθώρα πληροφοριών που εφαρμόζουμε στην CETO 6. Το CETO 5 εξοπλίστηκε με περίπου 300 αισθητήρες που παρακολουθούσαν τις πιέσεις, τις ροές και τις θερμοκρασίες, τα υδραυλικά εξαρτήματα τάση και συχνότητα ρεύματος στα ηλεκτρικά εξαρτήματα και το φορτίο, τη μετατόπιση και την επιτάχυνση των μηχανικών εξαρτημάτων. Αναλύσαμε και οπτικοποιούνται τα terabytes των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες σε MATLAB®, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα για να τεκμηριωθούν αποφάσεις σχεδιασμού μας και να επικυρώνει Simulink μοντέλα μας.



Εικόνα 39 Σχέδιο μετρημένης ισχύος εξόδου για τη μονάδα CETO 5# 2 ως συνάρτηση μιας μόνο μεταβλητής ελέγχου.

Η εμπειρία μας με το CETO 5 υπογράμμισε τις δυνατότητες βελτίωσης του δομικού σχεδιασμού του CETO 6. Έχουμε αυξήσει τη διάμετρο των σημαντήρων από 11 μέτρα σε σχεδόν 20 μέτρα και σχεδίασε το CETO 6 έτσι ώστε η ηλεκτρική ενέργεια να παράγεται στη σήραγγα παρά στην ακτή.

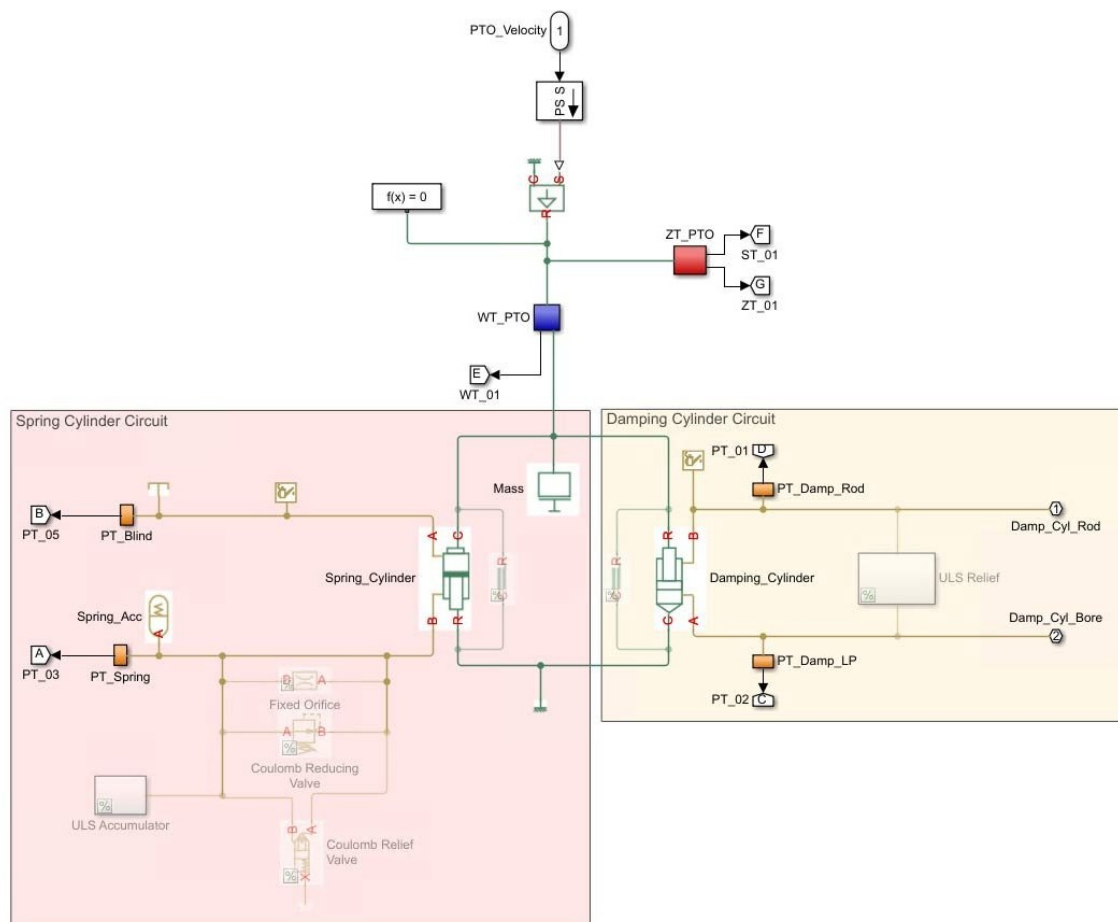
Αντί να εγκαταστήσουμε και να διατηρήσουμε χιλιόμετρα σωλήνων υψηλής πίεσης μεταξύ του κύματος και της ακτής, μπορούμε τώρα να χρησιμοποιήσουμε ένα ηλεκτρικό ομφάλιο για να μεταφέρουμε την παραγόμενη δύναμη στη γη, μειώνοντας το κόστος του συστήματος και επιτρέποντάς μας να αναπτύξουμε τους σημαντήρες πολύ μακρύτερα στη θάλασσα, όπου οι συνθήκες κύματος είναι συχνά πιο ευνοϊκές για την παραγωγή ενέργειας. Στο CETO 6, η υδραυλική αντλία τοποθετείται πάνω στη σημαία αντί για το δάπεδο της θάλασσας. Αυτή η αλλαγή διευκολύνει την πραγματοποίηση επισκευών και την εκτέλεση συντήρησης, διότι μπορούμε να ρυμουλκήσουμε όλο το σύστημα πίσω στην ακτή αντί να δουλεύουμε υποβρύχια.



Εικόνα 40 Διάγραμμα συστήματος CETO 6.

6.3 Μοντελοποίηση και Βελτιστοποίηση του Power – Take off

Η καρδιά ενός συστήματος CETO 6 είναι η απογείωση ισχύος, το υποσύστημα που μετατρέπει την υδραυλική ενέργεια από την αντλία σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο στόχος μας στο σχεδιασμό της απογείωσης εξουσίας είναι να εξάγουμε το μέγιστο ποσό της διαθέσιμης ισχύος από την ενέργεια κύματος. Από θεωρητικές μελέτες γνωρίζουμε πόση δύναμη θα μπορούσε να αποκομίσει ένα απολύτως αποδοτικό σύστημα. Τα μοντέλα Simulink μας έδωσαν την δυνατότητα να διαμορφώσουμε και να διαβαθμίσουμε ένα υποσύστημα εκτόνωσης ισχύος το οποίο θα είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά σε αυτό το ιδανικό επίπεδο απόδοσης.



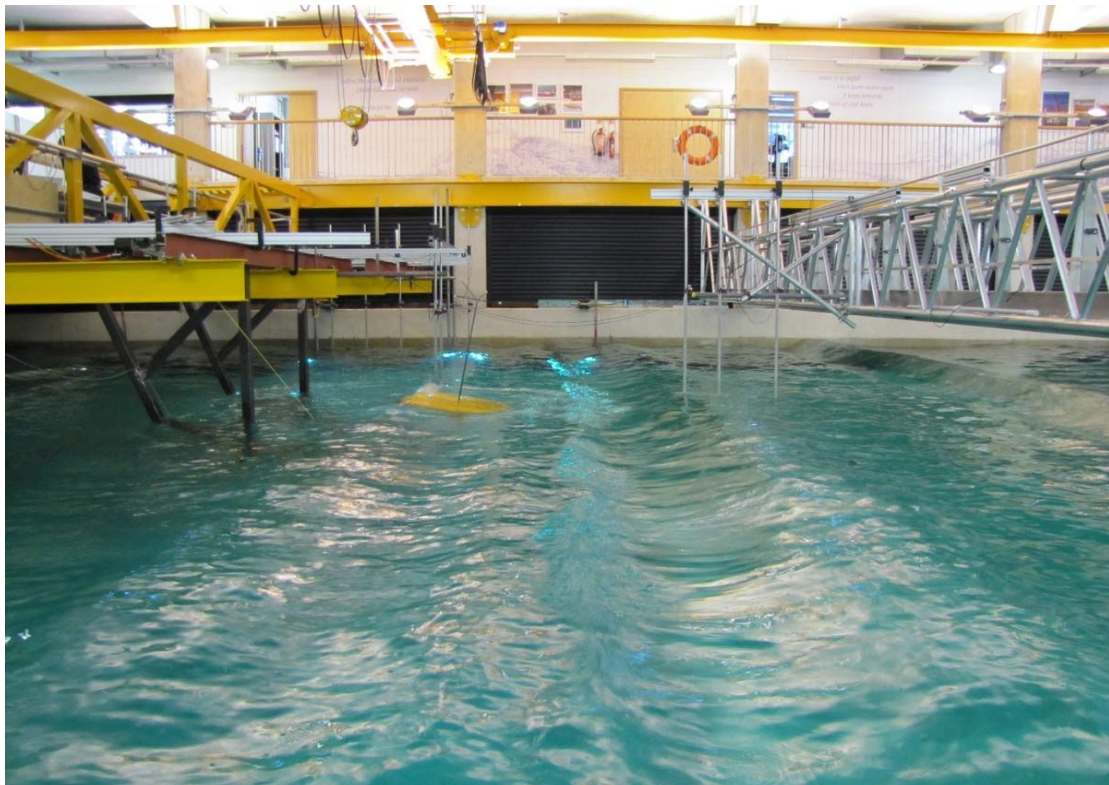
Εικόνα 41 Μοντέλο Simulink που δείχνει τα υδραυλικά εξαρτήματα CETO 6.

Μετά τη μοντελοποίηση του μάντα πρόσδεσης, των συνδέσμων και άλλων μηχανικών εξαρτημάτων με το Simscape Multibody™, επικεντρώσαμε το

υδραυλικό υποσύστημα. Δημιουργήσαμε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο αυτού του υποσυστήματος με Simulink και Simscape Fluids TM. Το μοντέλο περιλαμβάνει πολλαπλούς υδραυλικούς συσσωρευτές, σωλήνες, βαλβίδες απελευθέρωσης πίεσης και τον υδραυλικό κινητήρα, ο οποίος μετατρέπει την υδραυλική πίεση και τη ροή στη ροπή που χρησιμοποιείται για την οδήγηση της ηλεκτρικής γεννήτριας.

6.4 Επικύρωση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης και συναρμολόγηση ενός μοντέλου κυματομορφής

Για να δοκιμάσουμε τα αρχικά μας σχέδια, κατασκευάσαμε μία έκδοση κλίμακας 1:20 του συστήματος CETO 6 και το τοποθετήσαμε σε μία δεξαμενή κύματος, όπου την εκθέσαμε σε προσεκτικά ελεγχόμενες συνθήκες κύματος. Κατά την διάρκεια των δοκιμών συγκεντρώσαμε δεδομένα από τους αισθητήρες όπως κάναμε με την πραγματική ανάπτυξη του CETO 5 και αναλύσαμε τα δεδομένα των αισθητήρων στο MATLAB.



Εικόνα 42 Πρωτότυπο κλίμακας στη δεξαμενή κύματος.

Κατά την προετοιμασία για την ανάπτυξη ενός πλήρους μοντέλου κυμάτων-καλωδίων, χρησιμοποιούμε Simscape Electronics TM για να μοντελοποιήσουμε τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα του συστήματος συμπεριλαμβανομένης της γεννήτριας και των πυκνωτών, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για εξομάλυνση της ισχύος. Στο άλλο άκρο του συστήματος δημιουργήσαμε ένα προσαρμοσμένο υδροδυναμικό μοντέλο Simulink για την προσομοίωση της αλληλεπίδρασης του σημαντήρα με τα κύματα των ωκεανών.

Τώρα έχουμε την ευκαιρία να μεταβούμε από αυτό το προσαρμοσμένο μοντέλο σε WEC-SIM, ένα εργαλείο προσομοίωσης μετατροπέα κυμάτων ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται ευρύτερα σε ολόκληρη τη βιομηχανία μας. Το WEC-SIM αναπτύχθηκε από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL) και τα Sandia National Laboratories χρησιμοποιώντας MATLAB, Simulink και Simscape Multibody, τα οποία θα διευκολύνουν την ενσωμάτωσή τους στη ροή-εργασία μας.

Το πλήρες μοντέλο wave to wire θα μας επιτρέψει να υπολογίσουμε την μετατόπιση του σημαντήρα για ένα συγκεκριμένο κύμα, την πίεση στους υδραυλικούς κυλίνδρους από αυτή την μετατόπιση, τη ροπή που εφαρμόζεται στον άξονα της γεννήτριας από τον υδραυλικό κινητήρα με βάση αυτή την πίεση και την ηλεκτρική ισχύ που παράγεται από τη γεννήτρια από τη ροπή αυτή.

6.5 CETO 6 Ανάπτυξη και εξέλιξη

Η Carnegie Clean Energy σχεδιάζει να αναπτύξει ένα σύστημα CETO 6 που συνδέεται με το δίκτυο στην εγκατάσταση ανάπτυξης και δοκιμών ενέργειας Wave Hub που βρίσκεται σε απόσταση 16 χιλιομέτρων από την ακτή της Κορνουάλλας, στο Ηνωμένο Βασίλειο.



Εικόνα 43 Εγκατάσταση δοκιμής ενέργειας θαλάσσιου διαύλου στη Κορνουάλη, Ηνωμένο Βασίλειο.

Επίσης έχει λάβει μία δέσμευση από την τοπική κυβέρνησή για χρηματοδότηση για την ανάπτυξη ενός αγροκτήματος ενέργειας στα ανοικτά των ακτών του Albany στη Δυτική Αυστραλία.

Καθώς εργαζόμαστε για αυτές τις αναπτύξεις, συνεχίζουμε να διερευνούμε τρόπους βελτίωσης της τεχνολογίας CETO 6. Μία βελτίωση την οποία αξιολογούμε επί του παρόντος σχετίζεται με τη βελτιστοποίηση της διάταξης ελλιμενισμού που συγκρατεί τη σημαία. Η τρέχουσα κατακόρυφη γραμμή ελλιμενισμού CETO 6 καταγράφει κυρίως την ενέργεια από την κίνησή της.



Εικόνα 44 CETO 6 που δείχνουν γραμμές πρόσδεσης.

Αυτή η νέα διαμόρφωση θα μπορούσε να καταγράψει την κίνηση βημάτων και κυμάτων, επίσης τριπλασιάζοντας την έξοδο ισχύος. Τέλος, με την πρόσφατη επέκταση της εταιρείας μας σε μικροσυστήματα, εργαζόμαστε για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας ενέργειας κυμάτων CETO 6 με συστήματα ηλιακής ενέργειας και αποθήκευσης ενέργειας με στόχο την ανάπτυξη και λειτουργία του πρώτου κύματος micro grid ηλιακής μπαταρίας στον κόσμο.

6.6 Στοιχεία που βασίζονται σε δεδομένα με το MATLAB Analytics: Μελέτη περίπτωσης ενεργειακής πρόβλεψης

Οι παραγωγοί ενέργειας, οι διαχειριστές δικτύων και οι έμποροι πρέπει να λαμβάνουν αποφάσεις βάσει εκτίμησης του μελλοντικού φορτίου στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ως αποτέλεσμα, οι ακριβείς προβλέψεις για το ενεργειακό φορτίο αποτελούν τόσο αναγκαιότητα όσο και επιχειρηματικό πλεονέκτημα.

Τα τεράστια ποσά των διαθέσιμων σήμερα δεδομένων κατέστησαν δυνατή τη δημιουργία πολύ ακριβών προτύπων πρόβλεψης. Η πρόκληση έγκειται στην ανάπτυξη ροών εργασίας αναλυτικών δεδομένων, οι οποίες μπορούν να μετατρέψουν αυτά τα πρωτογενή δεδομένα σε ενεργές γνώσεις. Μία τυπική ροή εργασίας περιλαμβάνει τέσσερα βήματα, καθένα από τα οποία φέρνει τις δικές του προκλήσεις:

1. Εισαγωγή δεδομένων από διαφορετικές πηγές, όπως αρχεία ιστού, βάσεις δεδομένων και υπολογιστικά φύλλα
2. Καθαρίστε τα δεδομένα αφαιρώντας τα αποθέματα και τον θόρυβο και συνδυάζοντας σύνολα δεδομένων
3. Ανάπτυξη ενός ακριβούς μοντέλου πρόβλεψης με βάση τα συγκεντρωτικά δεδομένα χρησιμοποιώντας τεχνικές μάθησης μηχανών
4. Ανάπτυξη του μοντέλου ως εφαρμογής σε περιβάλλον παραγωγής

Σε αυτό το άρθρο θα χρησιμοποιήσουμε το MATLAB[®] για να ολοκληρωθεί το σύνολο της ανάλυσης δεδομένων ροής εργασίας για μία εφαρμογή πρόβλεψης φορτίου. Χρησιμοποιώντας αυτήν την εφαρμογή, οι αναλυτές χρησιμότητας μπορούν να επιλέξουν οποιαδήποτε περιοχή στην πολιτεία της Νέας Υόρκης για να δουν μία γραφική παράσταση του παρελθόντος φορτίου ενέργειας και του προβλεπόμενου μελλοντικού φορτίου. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα για να κατανοήσουν την επίδραση του καιρού στα φορτία ενέργειας και να καθορίσουν πόση δύναμη να δημιουργήσουν ή να αγοράσουν. Δεδομένου ότι μόνο το κράτος της Νέας Υόρκης καταναλώνει πολλά δισεκατομμύρια δολάρια ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως, το αποτέλεσμα μπορεί να είναι σημαντικό για τις εταιρείες ηλεκτροπαραγωγής.

6.7 Εισαγωγή και εξερεύνηση δεδομένων

Αυτή η περιπτώσιολογική μελέτη χρησιμοποιεί δύο σύνολα δεδομένων : δεδομένα ενεργειακού φορτίου από τον ιστότοπο του ανεξάρτητου διαχειριστή συστήματος της Νέας Υόρκης (NYISO) και δεδομένα καιρού, συγκεκριμένα, τη θερμοκρασία και το σημείο δρόσου, από το εθνικό κέντρο κλιματικών δεδομένων.

Η NYISO εκδίδει μηνιαία δεδομένα ενέργειας σε αρχείο ZIP που περιέχει ξεχωριστό αρχείο CSV (Value Comma Separated Value) για κάθε ημέρα. Η τυπική προσέγγιση για την επεξεργασία δεδομένων που διαδίδονται σε πολλά αρχεία είναι η λήψη ενός δειγματοληπτικού αρχείου, η διερεύνηση του για τον προορισμό των τιμών δεδομένων που πρόκειται να αναλυθούν και στη συνέχεια η εισαγωγή αυτών των τιμών για το πλήρες σύνολο δεδομένων.

Το εργαλείο εισαγωγής στο MATLAB μας επιτρέπει να επιλέγουμε στήλες σε ένα αρχείο CSV και να εισάγουμε τα επιλεγμένα δεδομένα σε μία ποικιλία δομών δεδομένων MATLAB, συμπεριλαμβανομένων διανυσμάτων, μητρών, συστοιχιών κυττάρων και πινάκων. Το ενεργειακό φορτίο CSV περιέχει μία χρονική σφραγίδα, ένα όνομα περιοχής και ένα φορτίο για την περιοχή. Με το εργαλείο εισαγωγής, επιλέγουμε στήλες αρχείων CSV και μία μορφή στόχου. Μπορούμε είτε να εισάγουμε άμεσα τα δεδομένα από το δείγμα είτε να δημιουργήσουμε μία συνάρτηση MATLAB που εισάγει όλα τα αρχεία που ταιριάζουν με τη μορφή του δείγματος. Αργότερα μπορούμε να γράψουμε ένα σενάριο που επικαλείται αυτή τη λειτουργία για να εισαγάγει με προγραμματισμό όλα τα δεδομένα από την πηγή μας.

Import - C:\Documents\DataAnalytics_Loadforecasting\DataAnalyticsDemoFiles\20150401pa.csv

IMPORT VIEW

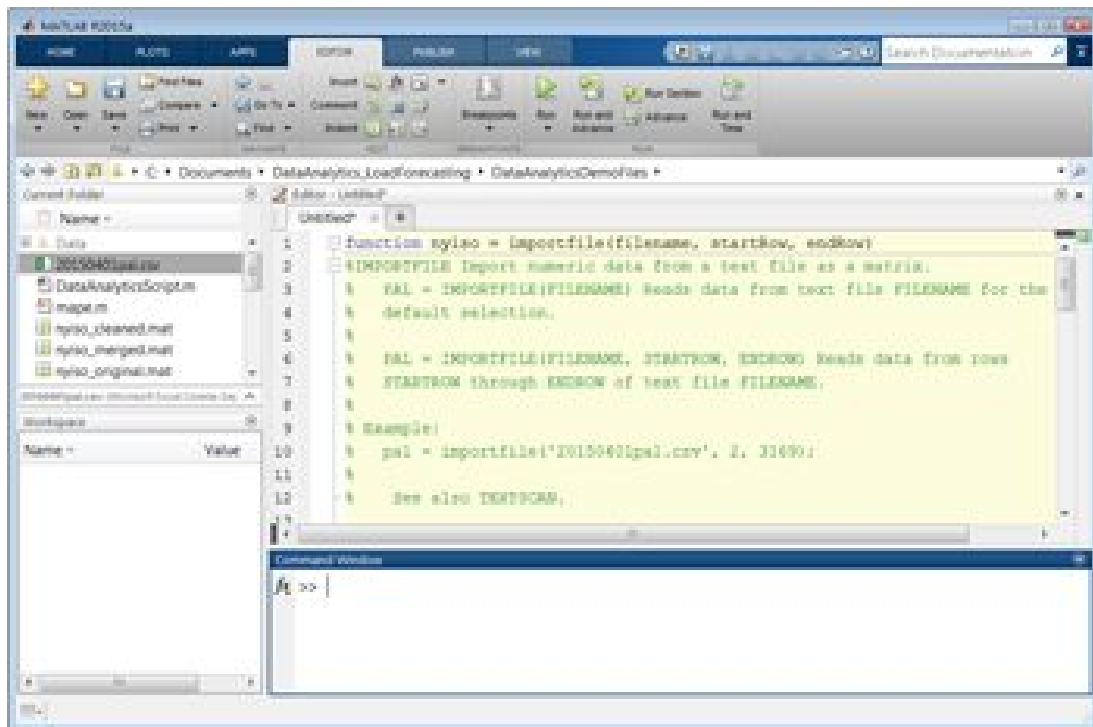
Deleted Column delimiters: Range: A2:A144
 Fixed Width Comma Variable Names Row: 1
 More Options

Column vector
 Numeric Matrix
 Cell Array

UNIMPORTABLE CELLS Import Selection

20150401pa.csv

	A	B	C	D	E
	TimeSta...	TimeZone	Name	PTID	Load
1	DateTime	TEXT	TEXT	NUMBER	NUMBER
1	Time Sta...	Time Zo...	Name	PTID	Load
2	04/01/20	EDT	CAPITL	61757	1261.6
3	04/01/20	EDT	CENTRL	61754	1691.6
4	04/01/20	EDT	DUNWOD	61760	579.8
5	04/01/20	EDT	GENESE	61753	975.6
6	04/01/20	EDT	HUD VL	61758	1019
7	04/01/20	EDT	LONGIL	61762	2008.6
8	04/01/20	EDT	MHK VL	61756	849.5
9	04/01/20	EDT	MILLWD	61759	280.5
10	04/01/20	EDT	N.Y.C.	61761	5009.6
11	04/01/20	EDT	NORTH	61755	501.5
12	04/01/20	EDT	WEST	61752	1695
13	04/01/20	EDT	CAPITL	61757	1249.1
14	04/01/20	EDT	CENTRL	61754	1686.3
15	04/01/20	EDT	DUNWOD	61760	569.5
16	04/01/20	EDT	GENESE	61753	974.7

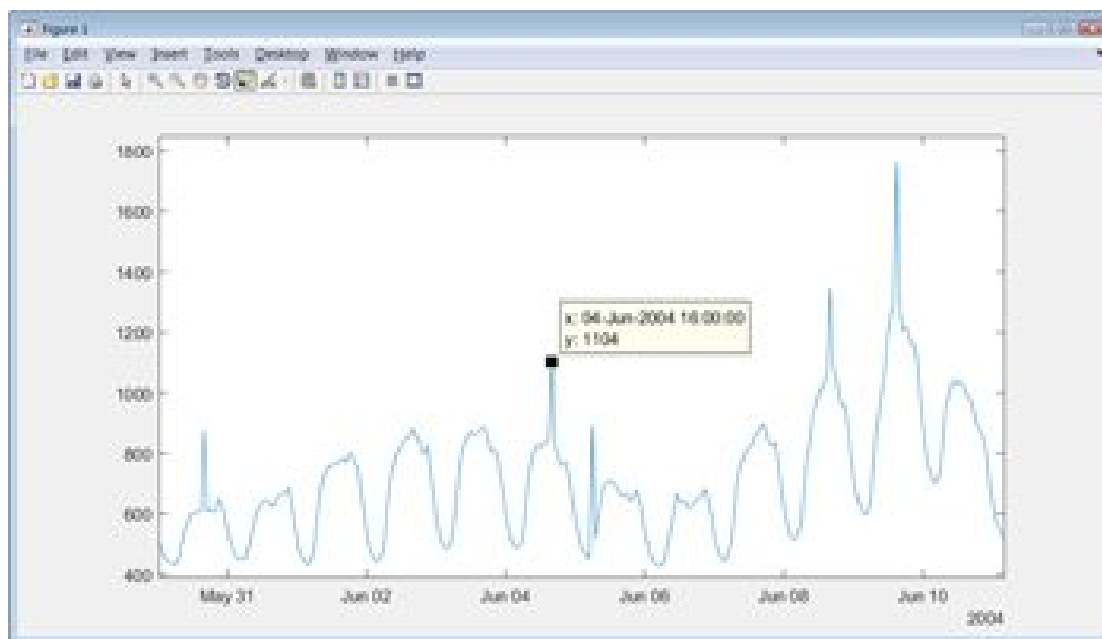


Εικόνα 45 Κορυφή: Τα δεδομένα CSV που επιλέγονται για εισαγωγή. Κάτω: Μία συνάρτηση MATLAB που δημιουργείται αυτόματα για την εισαγωγή των δεδομένων.

Μόλις εισαχθούν τα δεδομένα, δημιουργούμε προκαταρκτικά παράθυρα για να εντοπίσουμε τις τάσεις, να διαμορφώσουμε το χρόνο και τις σφραγίδες ημερομηνίας και να πραγματοποιήσουμε μετατροπές, για παράδειγμα με την εναλλαγή των γραμμών και των στηλών στον πίνακα δεδομένων.

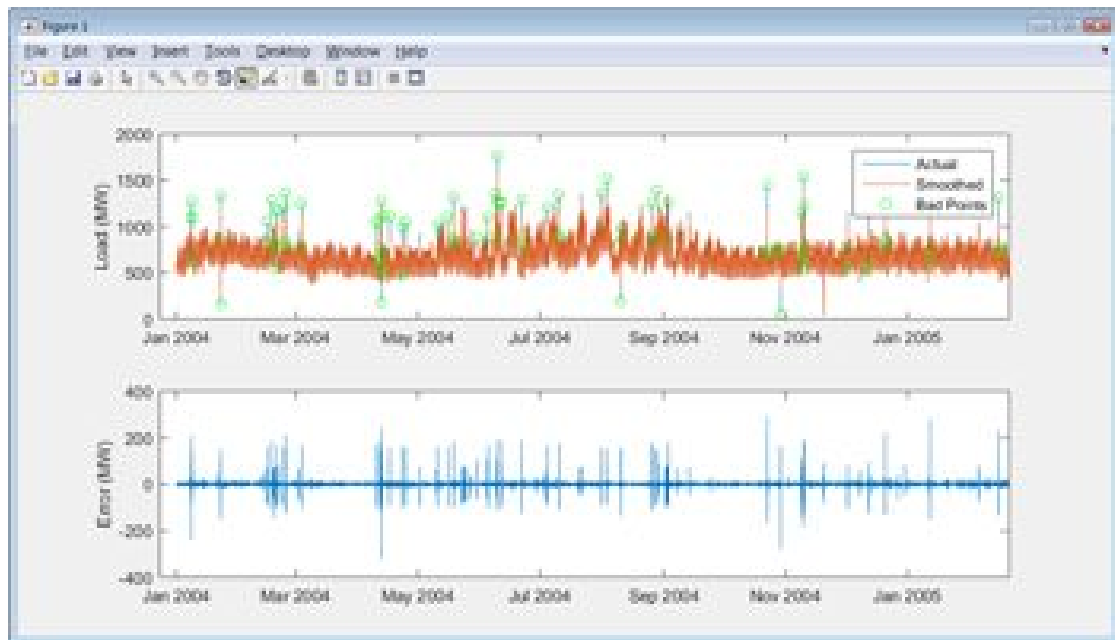
6.8 Καθαρισμός και συσσωμάτωση των δεδομένων

Τα περισσότερα δεδομένα του πραγματικού κόσμου περιέχουν ελλείψεις ή λανθασμένες τιμές και πριν τα δεδομένα μπορούν να εξερευνηθούν, αυτά πρέπει να εντοπιστούν και να αντιμετωπιστούν. Μετά την αναδιαμόρφωση και τη γραφική παράσταση των δεδομένων NYISO παρατηρούμε αιχμές σε φορτίο που δεν εμπίπτουν στην κανονική κυκλική άνοδο και πτώση της ζήτησης. Πρέπει να αποφασίσουμε αν αυτά τα αιχμές είναι ανώμαλα και μπορούν να αγνοηθούν από το μοντέλο δεδομένων ή αν δείχνουν ένα φαινόμενο που πρέπει να αντιπροσωπεύει το μοντέλο. Επιλέγουμε να εξετάσουμε τώρα μόνο την κανονική κυκλική συμπεριφορά. Μπορούμε να αντιμετωπίσουμε τα αιχμές αργότερα αν αποφασίσουμε ότι το μοντέλο μας πρέπει να λογοδοτεί για τέτοια συμπεριφορά.



Εικόνα 46 Πίνακας ενεργειακού φορτίου που παρουσιάζει ανώμαλες αιχμές στη ζήτηση.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι αυτοματοποίησης της αναγνώρισης των αιχμών. Για παράδειγμα, μπορούμε να εφαρμόσουμε μια καμπύλη εξομάλυνσης και να εντοπίσουμε τις αιχμές υπολογίζοντας τη διαφορά μεταξύ των εξομαλυνθεισών και των αρχικών καμπυλών.



Εικόνα 47 Κορυφή: Απεικόνιση πραγματικού φορτίου και ομαλοποιημένο φορτίο με ανωμαλίες σε κύκλο. Κάτω: Σχέδιο της διαφοράς μεταξύ πραγματικών και εξομαλυμένων τιμών.

Μετά την αφαίρεση των ανώμαλων σημείων από τα δεδομένα, πρέπει να αποφασίσουμε τι πρέπει να κάνουμε σχετικά με τα ελλείποντα σημεία δεδομένων που εισήχθησαν με την απομάκρυνσή τους. Θα μπορούσαμε απλά να τους αγνοήσουμε. Αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι μειώνει το μέγεθος του συνόλου δεδομένων. Εναλλακτικά, θα μπορούσαμε να υποκαταστήσουμε τις προσεγγίσεις για τις ελλείπουσες τιμές στο MATLAB με παρεμβολή ή χρήση συγκρίσιμων δεδομένων από άλλο δείγμα, προσέχοντας να μην προκαταλάβουμε τα δεδομένα. Για τους σκοπούς της εκτίμησης του φορτίου, θα αγνοήσουμε τις τιμές που λείπουν. Θα έχουμε ακόμα αρκετά "καλά" δεδομένα για να δημιουργήσουμε ακριβή μοντέλα.

Μετά τον καθαρισμό των δεδομένων θερμοκρασίας και σημείου δρόσου χρησιμοποιώντας παρόμοιες τεχνικές, συγκεντρώνουμε τα δύο σύνολα δεδομένων. Και τα δύο σύνολα δεδομένων αποθηκεύονται σε τύπους δεδομένων πίνακα MATLAB. Εφαρμόζουμε μια συνένωση πίνακα στο MATLAB κάνοντας κλήση της `outerjoin` λειτουργίας. Το αποτέλεσμα είναι ένας απλός πίνακας που μας δίνει εύκολη πρόσβαση στο φορτίο, τη θερμοκρασία και το σημείο δρόσου για κάθε χρονική σφραγίδα.

6.9. Καθαρισμός και συσσωμάτωση των δεδομένων

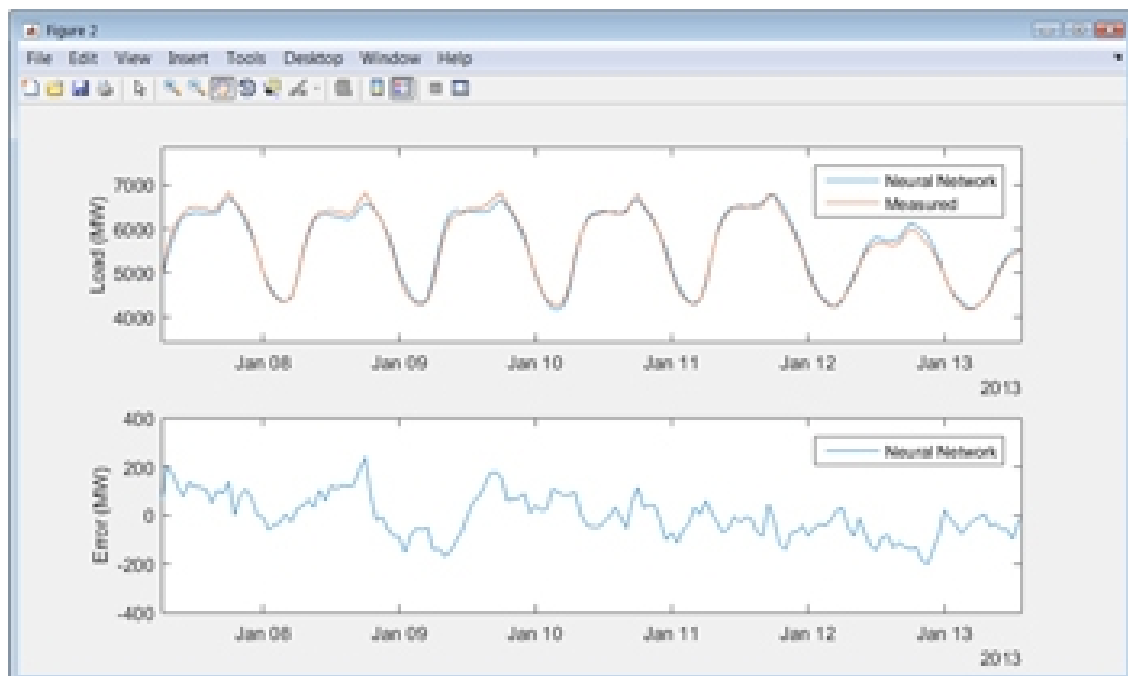
Το MATLAB παρέχει πολλές τεχνικές για τη μοντελοποίηση δεδομένων. Εάν γνωρίζουμε πώς επηρεάζουν τις διαφορετικές παράμετροι το ενεργειακό φορτίο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε εργαλεία στατιστικής ή καμπύλης προσαρμογής για να μοντελοποιήσουμε τα δεδομένα με γραμμική ή μη γραμμική παλινδρόμηση. Εάν υπάρχουν πολλές μεταβλητές, το υποκείμενο σύστημα είναι ιδιαίτερα σύνθετο ή οι εξισώσεις που διέπουν είναι άγνωστες, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τεχνικές μηχανικής μάθησης, όπως δέντρα απόφασης ή νευρωνικά δίκτυα.

Δεδομένου ότι η πρόβλεψη φορτίου περιλαμβάνει πολύπλοκα συστήματα με πολλές μεταβλητές που πρέπει να ληφθούν υπόψη, θα επιλέξουμε μηχανική μάθηση - συγκεκριμένα, εποπτευόμενη μάθηση. Στην εποπτευόμενη μάθηση, αναπτύσσεται ένα μοντέλο με βάση τα ιστορικά δεδομένα εισόδου (θερμοκρασία) και τα δεδομένα εξόδου (ενεργειακό φορτίο). Αφού εκπαιδευτεί το μοντέλο, χρησιμοποιείται για να προβλέψει τη μελλοντική συμπεριφορά. Για την πρόβλεψη του ενεργειακού φορτίου, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα νευρωνικό δίκτυο και το Neural Network Toolbox™ για να ολοκληρώσουμε αυτά τα βήματα. Η ροή εργασίας έχει ως εξής:

1. Χρησιμοποιήστε την εφαρμογή Νευρωνική τοποθέτηση στο MATLAB για να:
 - a. Καθορίστε τις μεταβλητές που πιστεύουμε ότι σχετίζονται με την πρόβλεψη του φορτίου, συμπεριλαμβανομένης της ώρας της ημέρας, της ημέρας της εβδομάδας, της θερμοκρασίας και του σημείου δρόσου
 - b. Επιλέξτε δείκτες καθυστέρησης, όπως το φορτίο από τις προηγούμενες 24 ώρες
 - c. Καθορίστε τον στόχο ή τη μεταβλητή που θέλουμε να προβλέψουμε - στην περίπτωση αυτή, το ενεργειακό φορτίο
 - d. Επιλέξτε το σύνολο δεδομένων που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε για την εκπαίδευση του μοντέλου, καθώς και ένα σύνολο δεδομένων που διατηρούμε για έλεγχο.
2. Επιλέξτε το σύνολο δεδομένων που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε για την εκπαίδευση του μοντέλου, καθώς και ένα σύνολο δεδομένων που διατηρούμε για έλεγχο.

Για αυτό το παράδειγμα, επιλέξαμε ένα μόνο μοντέλο. Για τις περισσότερες εφαρμογές πραγματικών λέξεων, θα δοκιμάσετε πολλά διαφορετικά μοντέλα μηχανικής μάθησης και θα αξιολογήσετε την απόδοσή τους σε δεδομένα κατάρτισης και δοκιμών. Τα στατιστικά στοιχεία και το εργαλείο Machine Learning Toolbox™ παρέχουν μια ποικιλία προσεγγίσεων μηχανικής μάθησης, όλες χρησιμοποιώντας μια παρόμοια συντακτική κλήση, καθιστώντας εύκολη την δοκιμή διαφορετικών προσεγγίσεων. Η εργαλειοθήκη περιλαμβάνει επίσης την εφαρμογή "Κατάταξη μαθητών" για την αλληλεπιδραστική κατάρτιση μοντέλων εποπτευόμενης μάθησης.

Όταν ολοκληρωθεί η εκπαίδευση, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα δοκιμών για να δούμε πόσο καλά εκτελείται το μοντέλο σε νέα δεδομένα.

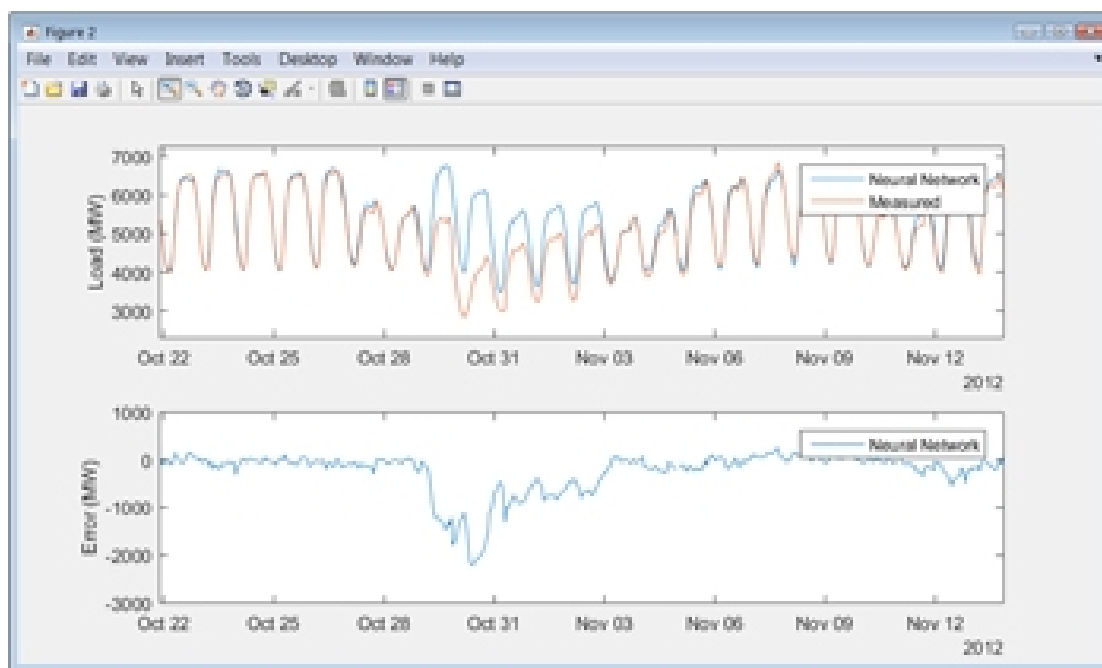


Εικόνα 48 Κορυφή: Οικόπεδο μέτρου φορτίου και φορτίου που προβλέπεται από ένα νευρικό δίκτυο. Κάτω: Σχέδιο που συγκρίνει τις μετρούμενες και τις προβλεπόμενες τιμές.

Για να αυτοματοποιήσουμε τα βήματα της ρύθμισης, της κατάρτισης και της δοκιμής του νευρικού δικτύου χρησιμοποιούμε την εφαρμογή Neural Fitting για να δημιουργήσουμε κώδικα MATLAB που μπορούμε να ξεκινήσουμε από μια δέσμη ενεργειών.

Για να ελέγξουμε το εκπαιδευμένο μοντέλο, το τρέχουμε σε σχέση με τα δεδομένα που κρατήσαμε στο αποθεματικό και συγκρίνουμε τις προβλέψεις του με τα πραγματικά μετρημένα δεδομένα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το μοντέλο νευρωνικού δικτύου έχει ένα μέσο απόλυτο ποσοστό σφάλματος (MAPE) μικρότερο από 2% στα δεδομένα δοκιμής.

Όταν ξεκινάμε για πρώτη φορά το πρότυπό μας με ένα σύνολο δεδομένων δοκιμών, διαπιστώνουμε ορισμένες περιπτώσεις όπου οι προβλέψεις του μοντέλου αποκλίνουν σημαντικά από το πραγματικό φορτίο. Γύρω στις διακοπές, για παράδειγμα, βλέπουμε αποκλίσεις από την προβλεπόμενη συμπεριφορά. Παρατηρούμε επίσης ότι η πρόβλεψη του μοντέλου για φορτίο στις 29 Οκτωβρίου 2012, στη Νέα Υόρκη, είναι χιλιάδες μεγαβάτ. Μια γρήγορη αναζήτηση στο Internet δείχνει ότι αυτή την ημερομηνία ο τυφώνας Sandy διέκοψε το δίκτυο σε ολόκληρη την περιοχή. Είναι λογικό να ρυθμίσουμε το μοντέλο για να χειριστούμε τις διακοπές, οι οποίες είναι τακτικές και επομένως προβλέψιμες, αλλά μια καταιγίδα όπως η Sandy είναι ένα έκτακτο γεγονός και ως εκ τούτου είναι δύσκολο να λογοδοτήσει.



Εικόνα 49 Σχέδιο μετρούμενου φορτίου και προβλεπόμενου φορτίου.

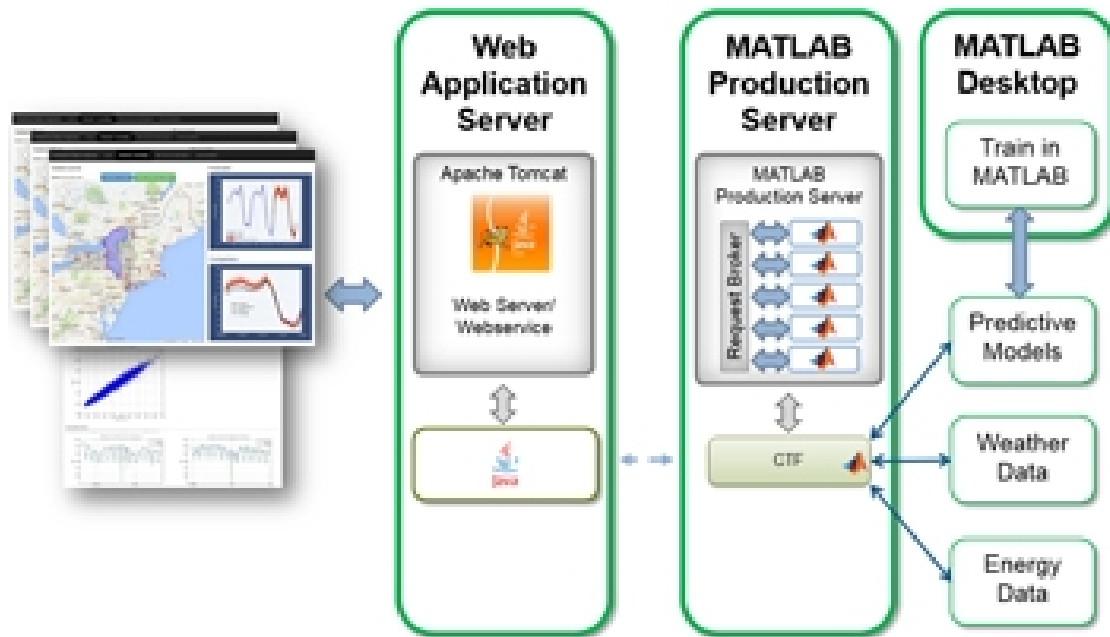
Η διαδικασία ανάπτυξης, δοκιμής και εξευγενισμού ενός προγνωστικού μοντέλου συχνά απαιτεί πολυάριθμες επαναλήψεις. Οι χρόνοι εκπαίδευσης και δοκιμής

μπορούν να μειωθούν με τη χρήση του Parallel Computing Toolbox TM για την εκτέλεση πολλών βημάτων ταυτόχρονα σε πολλούς πυρήνες επεξεργαστών. Για πολύ μεγάλα σύνολα δεδομένων, μπορείτε να αυξήσετε την κλίμακα εκτελώντας τα βήματα σε πολλούς υπολογιστές με το MATLAB Distributed Computing Server TM.

6.10. Καθαρισμός και συσσωμάτωση των δεδομένων

Μόλις το μοντέλο πληροί τις απαιτήσεις ακρίβειας, το τελικό βήμα είναι να το μετακινήσουμε σε ένα σύστημα παραγωγής. Έχουμε πολλές επιλογές. Με το MATLAB Compiler TM μπορούμε να δημιουργήσουμε μια αυτόνομη εφαρμογή ή πρόσθετο λογιστικού φύλλου. Με MATLAB Compiler SDK TM μπορούμε να δημιουργήσουμε .NET και Java [®] συστατικά. Με το MATLAB Production Server TM μπορούμε να αναπτύξουμε την εφαρμογή απευθείας σε ένα περιβάλλον παραγωγής ικανό να εξυπηρετεί ταυτόχρονα έναν μεγάλο αριθμό χρηστών.

Για το εργαλείο πρόβλεψης φορτίου, χρησιμοποιήσαμε την ανάλυση δεδομένων που αναπτύχθηκε στο MATLAB προσβάσιμη μέσω ενός RESTful API, το οποίο επιστρέφει τόσο αριθμητικές προβλέψεις όσο και οικόπεδα που μπορούν να συμπεριληφθούν σε μια εφαρμογή ή μια αναφορά. Με την εφαρμογή Παραγωγός διακομιστή παραγωγής καθορίζουμε τις λειτουργίες MATLAB που θέλουμε να αναπτύξουμε. Η εφαρμογή εκτελεί αυτόματα ανάλυση ανάλυσης εξάρτησης και συσκευάζει τα απαραίτητα αρχεία σε ένα και μόνο αναπτυσσόμενο στοιχείο. Χρησιμοποιώντας το MATLAB Production Server αναπτύσσουμε το στοιχείο ως μηχανή επεξεργασίας, καθιστώντας τα αναλυτικά διαθέσιμα σε οποιοδήποτε λογισμικό ή συσκευή στο δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων εφαρμογών web, άλλων διακομιστών και κινητών συσκευών.



Εικόνα 50 Ανάλυση δεδομένων σε MATLAB που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον παραγωγής με Apache Tomcat και διακομιστή παραγωγής MATLAB.

6.11. Επόμενα βήματα

Το μοντέλο πρόβλεψης ενεργειακού φορτίου που αναπτύχθηκε εδώ παρέχει εξαιρετικά ακριβείς προβλέψεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους υπεύθυνους για τη λήψη αποφάσεων μέσω ενός front end. Επειδή το μοντέλο έχει επικυρωθεί σε μήνες δοκιμών, έχουμε εμπιστοσύνη στην ικανότητά του να δίδει 24ωρη πρόβλεψη εντός 2% του πραγματικού φορτίου.

Το μοντέλο θα μπορούσε να επεκταθεί για να συμπεριλάβει πρόσθετες πηγές δεδομένων, όπως ημερολόγια διακοπών και ειδοποιήσεις για σοβαρό καιρό. Επειδή όλη η ροή εργασίας των analytics δεδομένων καταγράφεται στον κώδικα MATLAB, οι πρόσθετες πηγές δεδομένων μπορούν εύκολα να συγχωνευθούν με τα υπάρχοντα δεδομένα και το μοντέλο επανεκπαιδευθεί. Μόλις το νέο μοντέλο αναπτυχθεί στο MATLAB Production Server, ο αλγόριθμος πίσω από την εφαρμογή πρόβλεψης φορτίου ενημερώνεται αυτόματα-οι τελικοί χρήστες δεν χρειάζεται καν να ανανεώσουν την ιστοσελίδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Με βάση την συγκεκριμένη μελέτη, το σχετικά χαμηλό κυματικό δυναμικό των Ελληνικών θαλασσών σε συνδυασμό με την έλλειψη οποιασδήποτε Κυβερνητικής υποστήριξης και το υψηλό κόστος εγκατάστασης, δεν ενδείκνυται για επένδυση αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας..
- Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότεροι ερευνητές διεθνώς στρέφουν την προσοχή τους στην αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας. Αν και δεν συμπεριλαμβάνεται τυπικά στις ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ), η ενέργεια από τον θαλάσσιο κυματισμό αποτελεί μια απόλυτα καθαρή, ανεξάντλητη, ασφαλή και οικονομικά συμφέρουσα πηγή.
- Ο Ερευνητής του England's Maritime Foresight Panel εκτίμησαν ότι μόνο το ένα χιλιοστό της αξιοποιήσιμης ενέργειας όλου του θαλάσσιου στοιχείου να μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό, θα καλύπταμε πέντε φορές τις παγκόσμιες ανάγκες. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κυματική ενέργεια έχει την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, 800 φορές μεγαλύτερη από τον αέρα.
- Όλες αυτές οι τεχνολογίες που μελετήσαμε έχουν ήδη αποδείξει την αξιοπιστία τους στην ανοικτή θάλασσα παρόλο που το ηλεκτροπαραγωγικό κόστος παραμένει συγκριτικά υψηλό. Ωστόσο η περαιτέρω τεχνολογική εξέλιξη αναμένεται να οδηγήσει στη μείωσή του, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις για την κάθε τεχνολογία ξεχωριστά.
- Για το λόγο αυτό, η εμπορική εκμετάλλευση της ενέργειας του θαλάσσιου κυματισμού στο κοντινό μέλλον θεωρείται πλέον εφικτή και ίσως αναγκαία, αν αναλογιστεί κανείς τον παγκόσμιο συναγερμό που έχουν σημάνει οι επιστήμονες σχετικά με τις επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη από το φαινόμενο του θερμοκηπίου, εξαιτίας της εκμετάλλευσης συμβατικών πηγών ενέργειας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Alatsathianos, S., & Fafali, P. (2019). Wave and current energy: A viable scheme to exploit the energy potential of Greek seas. [Online], Available: <http://www.researchgate.net/publication>.
2. Khan, J., & Bhuyan, G. (2009). Ocean Energy: Global Technology Development Status, Report prepared by Powertech Labs for the IEA-OES. [Online], Available: www.iea-oceans.org.
3. Lykousis V., Chronis G., Tselepides A., Price N. B., Theocharis A., Siokou-Frangou I., Van Wambeke F., et.al. (2002). Major outputs in the multidisciplinary biogeochemical researches undertaken in the Aegean Sea. *Journal of Marine Systems*, 33 - 34, 313 - 334. doi: [10.1016/s0924-7963\(02\)00064-7](https://doi.org/10.1016/s0924-7963(02)00064-7).
4. Petroncini S. (2002). *Introducing Wave Energy into the Renewable Energy Market*, Msc Thesis, University of Edinburgh, Edinburgh.
5. Pontes, M. T. et. al. (1998). The European Wave Energy Resource, 3rd EWEC, Patras, Greece.
6. Poulos S.E., Drakopoulos P.G., Collins M. B. (1997). Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean): an overview. *Journal of Marine Systems*, 13, 225-244.
7. Soukissian, T., Gizari, & Chatzinaki. (2011). Wave potential of the Greek seas. In *WIT Transactions on Ecology and the Environment* (Vol. 143, 203–213). <https://doi.org/10.2495/ESUS110181>.
8. Theocharis A. (1996). Circulation and hydrography of South Aegean. PELAGOS final Scientific report to CEC/MAST. 177.
9. Clément, A., McCullen, P., Falcão, A., Fiorentino, A., Gardner, F., Hammarlund, K., et. Al. (2002). Wave energy in Europe: current status and perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier*, vol. 6(5), 405-431.
10. Zervakis V., Georgopoulos D., Drakopoulos P. (2000). The role of the North Aegean in triggering the recent Eastern Mediterranean climatic changes. *Journal of Geophysical Research*, 105, 103-116. <https://doi.org/10.1029/2000JC900131>.

11. Λεμονής Γ. (2001). Κυματική ενέργεια στην Ευρώπη- Εθνικές δραστηριότητες και προοπτικές αξιοποίησης., Κέντρο ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.
12. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, τεύχος δεύτερο, Αρ.Φύλου 1167, 22 Απριλίου 2016, Αριθμός απόφασης 47/2016.
13. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, τεύχος δεύτερο, Αρ.Φύλου 1203, 26 Απριλίου 2016, Αριθμός απόφασης 46/2016.

Ιστοσελίδες

1. Seagen Wales. (n.d.). Retrieved June 5, 2019, from <http://www.seagenwales.co.uk/>.
2. ANDRITZ HYDRO Hammerfest – *Develops and supplies turn-key tidal power arrays.* (n.d.). Retrieved June 5, 2019, from <http://www.andritzhydrohammerfest.co.uk/>.
3. Verdant Power. (n.d.). Retrieved June 7, 2019, from <https://www.verdantpower.com>.
4. Sustainable Marine Energy. (n.d.). Retrieved June 8, 2019, from <http://www.sustainablemarine.com/>.
5. MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink. (n.d.). Retrieved June 10, 2019, from <https://www.mathworks.com/>.
6. ΔΕΔΔΗΕ (n.d.). Retrieved June 8, 2019, from <https://www.deddie.gr/el/>.