



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Μελέτη ενεργειακού δυναμικού παλιρροιακής ενέργειας στο στενό  
του Ευρίπου και τρόποι εκμετάλλευσης μέσω εγκατάστασης  
παλιρροιακής τουρμπίνας**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Κωνσταντίνος Χρ. Σκαλούμπακας

**Επιβλέπων :** Ευάγγελος Διαλυνάς  
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2011





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Μελέτη ενεργειακού δυναμικού παλιρροιακής ενέργειας στο στενό  
του Ευρίπου και τρόποι εκμετάλλευσης μέσω εγκατάστασης  
παλιρροιακής τουρμπίνας**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Κωνσταντίνος Χρ. Σκαλούμπακας

**Επιβλέπων :** Ευάγγελος Διαλυνάς  
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20<sup>η</sup> Ιουλίου 2011.

.....  
Ευάγγελος Διαλυνάς  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Παύλος Γεωργιάκης  
Λέκτορας ΕΜΠ

.....  
Γεώργιος Κορρές  
Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2011

.....  
Κωνσταντίνος Χρ. Σκαλούμπακας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κωνσταντίνος Σκαλούμπακας, 2011.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μέτρηση του ενεργειακού δυναμικού που βρίσκεται στο Πορθμό του Ευρίπου, στη Χαλκίδα υπό τη μορφή της παλιρροιακής ενέργειας, και η εκμετάλλευση του μέσω εγκατάστασης τουρμπίνας παλιρροιακής ενέργειας.

Λαμβάνοντας τις μετρήσεις των ταχυτήτων στο πορθμό από την ΑΓΕΤ Ηρακλής και κάνοντας την ίδια επεξεργασία με αυτή που έγινε από το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. (Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών) καταλήγουμε στα τελικά στοιχεία βάση των οποίων γίνεται η εκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού του στενού .

Στη συνέχεια γίνεται υπολογισμός της ενέργειας που είναι διαθέσιμη και υπολογίζεται η μέση πυκνότητα ισχύος του στενού.

Τέλος υπολογίζεται η ενέργεια που είναι δυνατόν να αντληθεί με προτεινόμενη εγκατάσταση συστοιχίας παλιρροιακών τουρμπίνων και ακολουθεί η οικονομική διάσταση και τα συμπεράσματα της μελέτης.

## Λέξεις Κλειδιά

Πορθμός του Ευρίπου, Χαλκίδα, παλιρροιακή ενέργεια, τουρμπίνα, ενεργειακό δυναμικό, μέση πυκνότητα ισχύος, συστοιχίας παλιρροιακών τουρμπίνων.

## **Abstract**

The scope of this thesis is the measurement of energy potential that is found in the Strait of Euripos, in Chalcis in the form of tidal energy, and its exploitation via an installation of tidal energy turbine.

Receiving the measurements of speeds in the strait from AGET Iraklis and analyzing them in the same manner as the ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. (Greek Centre of Marine Researches) we lead to the final elements. The estimation of the energy potential of the Strait is based on those elements.

Afterwards a calculation of energy that is available in the strait is made along with the average power density of the Strait.

Finally the energy that is possible to be drawn with a proposed installation of a tidal turbine farm is calculated and is followed by the economic dimension of the installation and the conclusions of study.

## **Key Words**

Strait of Euripos. Chalcis, tidal energy, turbine, energy potential, average power density, tidal turbine farm.

# Περιεχόμενα

Πίνακας Εικόνων .....	9
Πίνακας Διαγραμμάτων .....	11
ΕΝΟΤΗΤΑ 1 .....	12
Εισαγωγή.....	12
ΕΝΟΤΗΤΑ 2.....	14
2.1 Παλιρροιακή ενέργεια .....	14
2.2 Παράγουσες Μέθοδοι .....	16
2.2.1 Τεχνολογίες αξιοποίησης δυναμικής ενέργειας παλίρροιας.....	16
2.2.2 Τεχνολογίες αξιοποίησης κινητικής ενέργειας παλίρροιας.....	18
2.2.3 Δυναμική παλιρροιακή δύναμη .....	20
2.3 Περιβαλλοντικές επιδράσεις.....	21
2.4 Θεσμικό πλαίσιο .....	22
2.5 Σύγκριση με τις άλλες ΑΠΕ .....	23
ΕΝΟΤΗΤΑ 3.....	24
3.1 Παλίρροια .....	24
3.2 Ερμηνεία φαινομένου .....	26
3.3 Συνιστώσες παλίρροιας .....	28
ΕΝΟΤΗΤΑ 4.....	30
4.1 Εύριπος .....	30

ΕΝΟΤΗΤΑ 5.....	34
5.1 Πειραματικά Στοιχεία.....	34
5.2 Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	35
ΕΝΟΤΗΤΑ 6.....	46
6.1 Αξιολόγηση των πόρων.....	46
6.2 Μέση Πυκνότητα Ισχύος(APD).....	47
6.3 Δύναμη στροβίλων.....	47
ΕΝΟΤΗΤΑ 7.....	52
7.1 Οικονομική διάσταση.....	52
ΕΝΟΤΗΤΑ 8.....	55
8.1 Συμπεράσματα.....	55
ΕΝΟΤΗΤΑ 9.....	57
9.1 Προτάσεις.....	57
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	58



## Πίνακας Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ RANCE	14
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΤΟ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΦΡΑΓΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΕΣ.	16
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΗ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗ (TIDAL ELECTRIC)	17
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΣΥΣΤΗΜΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ (HAMMERFEST STRØM)	18
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΑΞΟΝΑ (ENERMAR)	19
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ (ENGINEERING BUSINESS)	19
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΣΥΣΤΗΜΑΤΥΠΟΥ VENTURI (ROCHESTER / GENTEC VENTURI)	20
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΣΧΗΜΑ ΤΗΣ ΓΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΣΥΖΥΓΙΕΣ	25
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΣΧΗΜΑ ΤΗΣ ΓΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟΥΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΣΜΟΥΣ	25
ΕΙΚΟΝΑ 10: Η ΕΛΞΗ ΤΗΣ ΣΕΛΗΝΗΣ	27
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΣ	28

**ΕΙΚΟΝΑ 12:** ΠΟΡΘΜΟΣ ΤΟΥ ΕΥΡΙΠΟΥ (ΠΑΛΑΙΑ ΓΕΦΥΡΑ) \_\_\_\_\_ 30

**ΕΙΚΟΝΑ 13:** ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΥΡΙΠΟΥ (NASA) \_\_\_\_\_ 33

**ΕΙΚΟΝΑ 14:** ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΗ ΤΟΥΡΜΠΙΝΑ( ΤΙΔΑΛΤURBINE) \_\_\_\_\_ 54

## Πίνακας Διαγραμμάτων

<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1:</b> ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΠΟΝΤΙΣΗΣ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΓΡΑΦΟΥ ΑΠΟ 17-5-2010 ΕΩΣ 15-7-2010 .....	1
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2:</b> ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ.....	37
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3:</b> ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	38
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4:</b> ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΕΡΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΗΣ ΠΑΝΣΕΛΗΝΟΥ\ΝΕΟΥ ΦΕΓΓΑΡΙΟΥ ....	42
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5 :</b> ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΕΡΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΩΝ ΤΕΤΑΡΤΩΝ ΤΟΥ ΦΕΓΓΑΡΙΟΥ .....	42
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6 :</b> ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΕΡΙΑ ΣΤΗΝ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΠΕΡΙΟΔΟ .....	43
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7:</b> ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΠΟΝΤΙΣΗΣ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΓΡΑΦΟΥ ΑΠΟ 17-5-2010 ΕΩΣ 15-7-2010 .....	44
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8:</b> ΣΤΙΓΜΙΑΙΑ ΙΣΧΥΣ ΣΕ WATT ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΛΑΙΑ ΓΕΦΥΡΑ.....	49

# ΕΝΟΤΗΤΑ 1

## Εισαγωγή

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη της περιοχής του Πορθμού του Ευρίπου σχετικά με την δυνατότητα εγκατάστασης τουρμπίνας παλιρροιακής ενέργειας για την εκμετάλλευση της διαθέσιμης, από την παλίρροια, ενέργειας που υπάρχει στο στενό.

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης θα γίνει αναφορά στη παλίρροια και της γενεσιουργές της αιτίες καθώς και στη φύση της και τις αρχές που τη διέπουν ως φυσικό φαινόμενο. Επίσης θα αναφερθούν και θα αναλυθούν οι τρόποι εκμετάλλευσης της παλιρροιακής ενέργειας και τα προτερήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζει αυτή η μορφή ανανεώσιμης ενέργειας σε σχέση με τις υπόλοιπες και κυρίως με την αιολική ενέργεια.

Θα γίνει αναφορά στο στενό του Ευρίπου και στην ιστορία του αλλά και στους λόγους για τους οποίους θεωρείται μια ικανή και αξιόλογη θέση για την εκμετάλλευση της παλιρροιακής ενέργειας. Στη συνέχεια για την εκτίμηση της υπάρχουσας ενέργειας στο στενό θα χρησιμοποιηθούν οι μετρήσεις που έγιναν από το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε (Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιας Ερευνών) σε συνεργασία με το Κ.ΑΠ.Ε (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και εκμετάλλευσης Ενέργειας) για λογαριασμό της ΑΓΕΤ Ηρακλής.

Οι μετρήσεις αυτές θα χρησιμοποιηθούν μετά την έγκριση της ΑΓΕΤ Ηρακλής που είναι και ο νόμιμος κάτοχος τους. Οι μετρήσεις αυτές ελήφθησαν σε περιοχή του στενού κοντά στο σημείο ενδιαφέροντος ( Παλαιά γέφυρα Χαλκίδας) και γίνεται εκτενής ανάλυση για αυτές στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο της εργασίας.

Στη συνέχεια μετά την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων γίνεται η εκτίμηση της διαθέσιμης, υπό μορφή παλίρροιας, ισχύος και ενέργειας στο στενό και μέσω της χρήσης διαφόρων τύπων υπολογίζεται το ποσοστό αυτής που μπορεί να εξαχθεί με τη χρήση συγκεκριμένων εγκαταστάσεων.

Λόγω των ιδιαιτεροτήτων της συγκεκριμένης τοποθεσίας δεν είναι εφικτό να γίνει κάποια πρόταση για συγκεκριμένη μηχανή του εμπορίου που θα μπορούσε να εγκατασταθεί καθώς στο εμπόριο την τρέχουσα περίοδο δεν υπάρχει ευρεία κυκλοφορία μηχανών με μέγεθος και ονομαστική ισχύ αντίστοιχα με αυτά που απαιτούνται στον Εύριπο. Παρόλα αυτά με βάση τις μετρήσεις γίνεται υπολογισμός της ενέργειας που θα παραχθεί με εγκατάσταση κατάλληλων μηχανών.

Στην συνέχεια αναλύεται η οικονομική διάσταση του εγχειρήματος και εν τέλει παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης.

## ΕΝΟΤΗΤΑ 2

### 2.1 Παλιρροιακή ενέργεια

Η παλιρροιακή δύναμη, αποκαλούμενη επίσης παλιρροιακή ενέργεια, είναι μια μορφή υδρενέργειας που μετατρέπει την ενέργεια των παλιρροιών σε ηλεκτρική ενέργεια ή άλλες χρήσιμες μορφές ενέργειας.

Οι πρώτες μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις παλιρροιακής παραγωγής ενέργειας (ο σταθμός παλιρροιακής παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος Rance) άρχισαν τη λειτουργία το 1966.



**Εικόνα 1:** Σταθμός παλιρροιακής παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος Rance

Οι παλίρροιες είναι πιο προβλέψιμες από την αιολική ενέργεια και την ηλιακή ενέργεια. Μεταξύ των πηγών ανανεώσιμης ενέργειας, η παλιρροιακή πάσχει από το σχετικά υψηλό κόστος και την περιορισμένη διαθεσιμότητα των περιοχών με τις αρκετά υψηλές παλιρροιακές σειρές ή τις ταχύτητες ροής, περιορίζοντας κατά συνέπεια η συνολική διαθεσιμότητά της.

Εντούτοις, πολλές πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις και βελτιώσεις, και στο σχέδιο (π.χ. δυναμική παλιρροιακή δύναμη, παλιρροιακές λιμνοθάλασσες) και την τεχνολογία στρόβιλων (π.χ. νέοι αξονικοί στρόβιλοι, στρόβιλοι διασταυρώσεων), δείχνουν ότι η συνολική διαθεσιμότητα της παλιρροιακής δύναμης μπορεί να είναι πολύ υψηλότερη από προηγουμένως υποτιθέμενη, και ότι οι οικονομικές και περιβαλλοντικές δαπάνες μπορούν να ριχτούν στα ανταγωνιστικά επίπεδα.

Άλλες πηγές ενέργειας προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από τον ήλιο, συμπεριλαμβανομένων των απολιθωμένων καυσίμων, συμβατικό υδροηλεκτρικό, τον αέρα, βιολογικά καύσιμα, δύναμη κυμάτων κ.α. Η πυρηνική ενέργεια χρησιμοποιεί τα γήινα ορυκτά αποθέματα των εύσχιστων στοιχείων, ενώ η γεωθερμική δύναμη χρησιμοποιεί τη γήινη εσωτερική θερμότητα που προέρχεται από έναν συνδυασμό υπόλοιπης θερμότητας από την πλανητική προσαύξηση (περίπου 20%) και θερμότητας που παράγεται μέσω της ραδιενεργού αποσύνθεσης (80%).

Η παλιρροιακή ενέργεια εξάγεται από τη σχετική κίνηση των μεγάλων μαζών του νερού. Οι περιοδικές αλλαγές των σταθμών ύδατος, και τα σχετικά παλιρροιακά ρεύματα, οφείλονται στη βαρύτητας έλξη του ήλιου και του φεγγαριού. Το μέγεθος της παλίρροιας σε μια θέση είναι το αποτέλεσμα των μεταβαλλόμενων θέσεων του φεγγαριού και του ήλιου σχετικά με τη γη, τα αποτελέσματα της γήινης περιστροφής, και η τοπική γεωγραφία του πυθμένα θάλασσας και των ακτών.

Επειδή οι γήινες παλίρροιας οφείλονται τελικά στη βαρυτική αλληλεπίδραση με το φεγγάρι και τον ήλιο και τη γήινη περιστροφή, η παλιρροιακή ενέργεια είναι σχεδόν ανεξάντλητη και ταξινομημένη ως πόρος ανανεώσιμης ενέργειας.

Μια παλιρροιακή γεννήτρια χρησιμοποιεί αυτό το φαινόμενο για να παραγάγει την ηλεκτρική ενέργεια. Μεγαλύτερη ποικιλία στις παλίρροιας ή αύξηση στις τρέχουσες παλιρροιακές ταχύτητες μπορεί εντυπωσιακά να αυξήσει τη δυνατότητα για την παλιρροιακή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. (1)

## 2.2 Παράγουσες Μέθοδοι

### 2.2.1 Τεχνολογίες αξιοποίησης δυναμικής ενέργειας παλίρροιας

Στην πρώτη κατηγορία αξιοποιείται η δυναμική ενέργεια του θαλασσινού νερού με την κατασκευή ενός φράγματος στις εκβολές κάποιου ποταμού.



**Εικόνα 2:** Το μεγαλύτερο φράγμα παραγωγής ενέργειας από παλίρροιας.

#### *Παλιρροιακό φράγμα*

Τα παλιρροιακά φράγματα χρησιμοποιούν την πιθανή ενέργεια στη διαφορά στο ύψος (ή το κεφάλι) μεταξύ των υψηλών και χαμηλών παλιρροιών. Τα φράγματα είναι ουσιαστικά φράγματα πέρα από το πλήρες πλάτος μιας παλιρροιακής εκβολής, και πάσχουν από τις πολύ υψηλές αστικές δαπάνες υποδομής, μια παγκόσμια έλλειψη των βιώσιμων περιοχών και των περιβαλλοντολογικών θεμάτων.

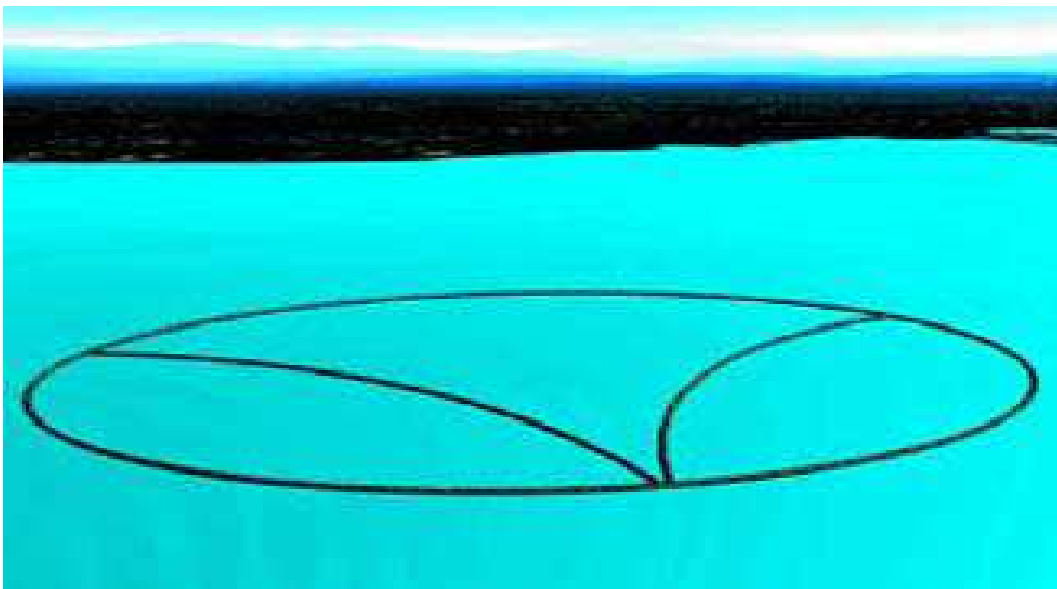
Μεγάλα έργα αυτής της κατηγορίας θεωρούνται το φράγμα του La Rance στη Γαλλία εγκατεστημένης ισχύος 240MW (βλέπε εικόνα 1), ο σταθμός Annapolis Royal στον Καναδά εγκατεστημένης ισχύος 20MW και η πειραματική μονάδα στο Kislaya της Ρωσίας εγκατεστημένης ισχύος 0,5MW. Κατά καιρούς έχουν προταθεί και άλλα παρόμοια έργα,



όπως στο Severn και στο Mersey στην Αγγλία, που όμως δεν κατάφεραν να πραγματοποιηθούν.

Η τελευταία πρόταση αξιοποίησης της δυναμικής ενέργειας της παλίρροιας περιλαμβάνει την κατασκευή ενός κλειστού αναχώματος σε μία αβαθή θαλάσσια έκταση που καλείται παλιρροιακή λιμνοδεξαμενή (tidal lagoon). Το νερό της παλίρροιας εισέρχεται στην παλιρροιακή λιμνοδεξαμενή διαμέσου θυρίδων κατά τη διάρκεια της πλημμυρίδας. Όταν η στάθμη της θάλασσας πέσει αρκετά, κατά τη διάρκεια της άμπωτης, το παγιδευμένο νερό απελευθερώνεται από τα τοιχώματα των αναχωμάτων διαμέσου στροβίλων.

Στο σχήμα 3 απεικονίζεται μέσω Η/Υ ένα τέτοιο σύστημα χωρισμένο εσωτερικά σε τρία επιμέρους τμήματα για την βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής ενέργειας.



**Εικόνα 3:** Παλιρροιακή λιμνοδεξαμενή (Tidal Electric)

## 2.2.2 Τεχνολογίες αξιοποίησης κινητικής ενέργειας παλίρροιας

Στη δεύτερη κατηγορία αξιοποιείται η κινητική ενέργεια των ρευμάτων που δημιουργούνται από την παλίρροια. Η τεχνολογία αυτή έχει αναπτυχθεί πολύ τα τελευταία πέντε χρόνια.

### *Παλιρροιακή γεννήτρια ρευμάτων*

Οι παλιρροιακές γεννήτριες ρευμάτων (ή TSGs) χρησιμοποιούν την κινητική ενέργεια της κίνησης του νερού προς τους στροβίλους δύναμης, με παρόμοιο τρόπο προς τους ανεμοστροβίλους που χρησιμοποιούν τον κινούμενο αέρα. Αυτή η μέθοδος κερδίζει στη δημοτικότητα λόγω του χαμηλότερου κόστους και το χαμηλότερο οικολογικό αντίκτυπο έναντι των παλιρροιακών φραγμάτων.

Τα συστήματα οριζόντιου άξονα (σχήμα 4) που λειτουργούν με τεχνολογία παρόμοια με αυτήν των ανεμογεννητριών, έχουν βρεθεί στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος στη Μεγάλη Βρετανία και τη Νορβηγία με τους δύο πειραματικές στροβίλους που έχουν τοποθετηθεί στο Lynmouth και στο Kvalsundet αντίστοιχα, εγκατεστημένης ισχύος και οι δύο 300kW.



**Εικόνα 4:** Σύστημα οριζόντιου άξονα (Hammerfest Strøm)

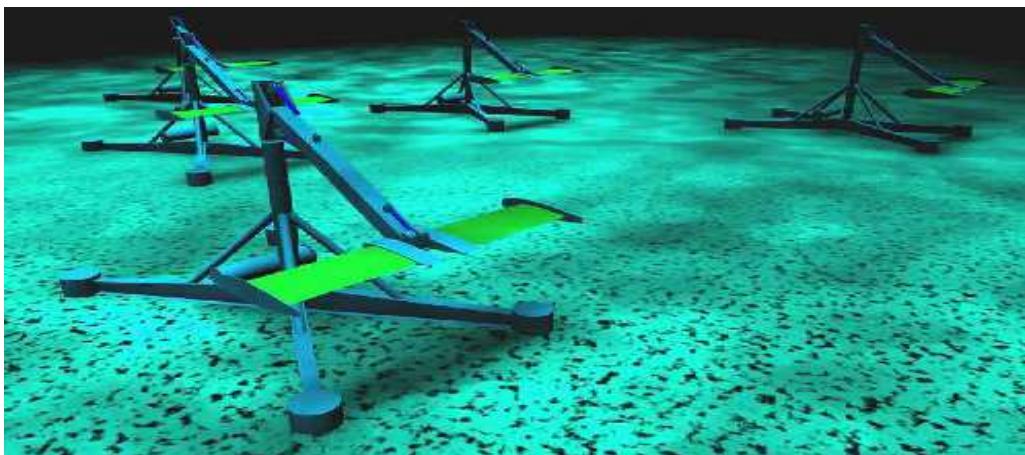
Τα συστήματα κατακόρυφου άξονα (σχήμα 5) έχουν βρει ιδιαίτερη απήχηση στην άλλη άκρη του Ατλαντικού, όπου δοκιμάζονται σε διάφορες θέσεις, αλλά και στη γειτονική μας Ιταλία όπου με τη βοήθεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης δοκιμάστηκε ένα σύστημα κατακόρυφου άξονα

ισχύος 110kW. Μία ακόμα δοκιμή πραγματοποιήθηκε στα νησιά Σέτλαντ με ακόμα μικρότερη όμως ισχύ.



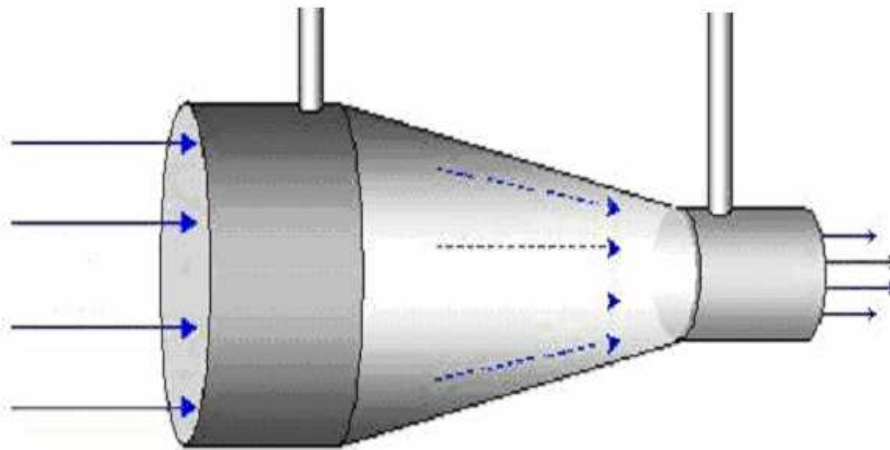
**Εικόνα 5:** Σύστημα κατακόρυφου άξονα (Enermar)

Ακόμα έχουν αναπτυχθεί τα συστήματα παλινδρομικής κίνησης (σχήμα 6) όπου χρησιμοποιούν για την παραγωγή ενέργειας τις ανωστικές δυνάμεις του νερού σε υδροπτερύγια που βρίσκονται υπό κλίση στο πεδίο ροής. Δύο μεγάλες εφαρμογές έχουν πραγματοποιηθεί στα νησιά Σέτλαντ με εγκατεστημένη ισχύ 150kW και 750kW.



**Εικόνα 6:** Σύστημα παλινδρομικής κίνησης (Engineering Business)

Τέλος έχουν προταθεί και άλλα συστήματα όπως αυτό που έχει τη μορφή ενός αγωγού τύπου Venturi (σχήμα 7), το οποίο εκμεταλλεύεται τη διαφορά πίεσης εξαιτίας της στένωσης ενός αγωγού. Ένα τέτοιο σύστημα δοκιμάστηκε στο Grimsby στη Βόρεια Αγγλία με εγκατεστημένη ισχύ 150kW.



**Εικόνα7:** Σύστημα τύπου Venturi (Rochester / Gentec Venturi)

### 2.2.3 Δυναμική παλιρροιακή δύναμη

Η δυναμική παλιρροιακή δύναμη (ή DTP) είναι μια θεωρητική τεχνολογία παραγωγής που θα εκμεταλλευόταν μια αλληλεπίδραση μεταξύ των πιθανών κινητικών ενεργειών στις παλιρροιακές ροές. Προτείνει ότι πολύ μακριά φράγματα (παραδείγματος χάριν: 30-50 το μήκος χλμ ) χτίζονται από τις ακτές κατ' ευθείαν έξω στη θάλασσα ή τον ωκεανό, χωρίς να εσωκλείουν μια περιοχή.

Οι παλιρροιακές διαφορές φάσης εισάγονται από το φράγμα, που οδηγεί σε ένα σημαντικό διαφορικό σταθμών ύδατος (τουλάχιστον 2-3 μέτρα) στις ρηχές παράκτιες θάλασσες που χαρακτηρίζονται από ισχυρά παράλληλά στην ακτή παλιρροιακά ρεύματα όπως βρίσκουμε στο UK,

την Κίνα και την Κορέα. Κάθε φράγμα θα παρήγε τη δύναμη σε μια κλίμακα 6 – 15 gw. (2)

## 2.3 Περιβαλλοντικές επιδράσεις

Πολύ λίγη άμεση έρευνα ή παρατήρηση των παλιρροιακών συστημάτων ρευμάτων υπάρχει. Οι περισσότερες άμεσες παρατηρήσεις αποτελούνται από να απελευθερώσουν τα κολλημένα ψάρια προς τα πάνω της συσκευής και της άμεσης παρατήρησης της θνησιμότητας ή του αντίκτυπου στα ψάρια.

Μια μελέτη του προγράμματος παλιρροιακής ενέργειας νησιών Roosevelt (IEPOTEΛEΣTIA, Verdant δύναμη) στον ανατολικό ποταμό (πόλη της Νέας Υόρκης), χρησιμοποίησε 24 διασπασμένους υδροακουστικούς αισθητήρες ακτινών (echosounder) για να ανιχνεύσει και να ακολουθήσει την κυκλοφορία των ψαριών και προς τα πάνω και προς τα κάτω κάθε ένας από έξι στροβίλους.

Τα αποτελέσματα πρότειναν:

- (1) πολύ λίγα ψάρια χρησιμοποιούσαν αυτήν την μερίδα του ποταμού,
- (2) εκείνα τα ψάρια που χρησιμοποίησαν αυτήν την περιοχή δεν χρησιμοποιούσαν τη μερίδα του ποταμού που θα τα υπέβαλλε σε χτύπημα από λεπίδα, και
- (3) κανένα στοιχείο ότι ψάρια πέρασαν μέσα από την λεπίδα.

Η εργασία διευθύνεται αυτήν την περίοδο από το κέντρο βορειοδυτικής εθνικό θαλάσσιο ανανεώσιμης ενέργειας (NNMREC [51]) για να εξερευνήσει και να καθιερώσει τα εργαλεία και τα πρωτόκολλα για την αξιολόγηση των φυσικών και βιολογικών καταστάσεων και ελέγχει τις περιβαλλοντικές αλλαγές που συνδέονται με την ανάπτυξη παλιρροιακής ενέργειας.

Το κύμα και η παλιρροιακή ενέργεια έχουν δύο σημαντικά πλεονεκτήματα πέρα από άλλους ανανεώσιμους πόρους. Κατ' αρχάς, οι ωκεάνιες παλίρροιες είναι προβλέψιμες και κανονικές. Δεύτερον, η

ενέργεια κυμάτων θα μπορούσε να είναι αφθονότερη από την παλιρροιακή ενέργεια, ενώ όντας λιγότερο διαλείπουσα από τον αέρα ή την ηλιακή δύναμη.

Εντούτοις, οι εγκαταστάσεις κυμάτων και παλιρροιακής ενέργειας αντιμετωπίζουν επίσης μερικά μειονεκτήματα. Αρχικός μεταξύ αυτών είναι εκείνο το γεγονός ότι οι όροι κατά μήκος των ακτών ή στην ωκεάνια επιφάνεια μπορούν να είναι σκληροί στο κύμα και τις παλιρροιακές εγκαταστάσεις. Τα προτερήματα παραγωγής πρέπει να χτιστούν με τους λειτουργικούς κινδύνους - όπως τα συντρίβοντα κύματα και το διαβρωτικό αλατισμένο νερό - στο μυαλό.

## 2.4 Θεσμικό πλαίσιο

Η προώθηση των ΑΠΕ έχει αποτελέσει από πολλά χρόνια βασικό στόχο της ενεργειακής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.). Στη Λευκή Βίβλο του 1997 για την κοινοτική στρατηγική και το σχέδιο δράσης «Ενέργεια για το μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», τέθηκε ως ποσοτικά προσδιορισμένος στόχος ο διπλασιασμός της συμμετοχής των ΑΠΕ στο σύνολο της ενεργειακής κατανάλωσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το 2010, ώστε να φθάσει στο 12% από το 6% που ήταν το 1995.

Στη συνέχεια με την οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Σεπτεμβρίου 2001 για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, τέθηκε ως στόχος η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ να καλύπτει το 22,1% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής στην Ε.Ε. το 2010. Στο πλαίσιο αυτό η χώρα μας έχει αναλάβει τη δέσμευση οι ΑΠΕ να καλύπτουν το 2010 το 20,1% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Ακόμα σήμερα βάσει του αναπτυξιακού νόμου 2601/98 ισχύει ότι για κάθε έργο παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές επιχορηγείται από το κράτος ποσοστό 30% (αιολικά πάρκα) ή 40% (μικρά υδροηλεκτρικά, φωτοβολταϊκά, γεωθερμία, κ.τ.λ.), ενώ υπάρχει φοροαπαλλαγή στο 70% επί του κόστους της επένδυσης. Επομένως

υπάρχει κίνητρο για μία επένδυση αυτού του είδους από ιδιωτικούς φορείς. (3)

## 2.5 Σύγκριση με τις άλλες ΑΠΕ

Η ενέργεια από παλίρροια σε σχέση με τις υπόλοιπες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα μεταξύ των οποίων, και ανάλογα με το σύστημα παραγωγής ενέργειας που τελικά επιλέγεται, μπορεί να είναι:

- το χαμηλό λειτουργικό κόστος,
- οι ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις,
- η αξιοπιστία και η προβλεψιμότητα,
- η ελάχιστη οπτική ρύπανση,
- η δυνατότητα επέκτασης με εγκατάσταση νέων υπομονάδων.

Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται τα εξής:

- το υψηλό αρχικό κόστος,
- η μικρή ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτού του είδους,
- το ότι είναι λίγες εκείνες οι θέσεις που μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά η παλίρροια,
- η διαβρωτικότητα του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

## ΕΝΟΤΗΤΑ 3

### 3.1 Παλίρροια

**Παλίρροια**, ονομάζεται το φυσικό φαινόμενο της περιοδικής ανόδου και καθόδου της στάθμης του νερού μίας μεγάλης λίμνης και κυρίως των θαλασσών. Η άνοδος της στάθμης ονομάζεται *πλημμυρίδα* (flood tide), ενώ η κάθοδος ονομάζεται *άμπωτη* (ebb ή low tide). Από κοινού, πλημμυρίδα και άμπωτη αποτελούν το φαινόμενο της παλίρροιας. Το φαινόμενο αυτό που επαναλαμβάνεται δύο φορές το 24ώρο (ακριβέστερα 24ώρες 50' και 30") οφείλεται στη βαρυτική έλξη της Σελήνης αλλά και του Ήλιου πάνω στη Γη, καθώς και στη περιστροφή των ουρανίων σωμάτων αυτών.

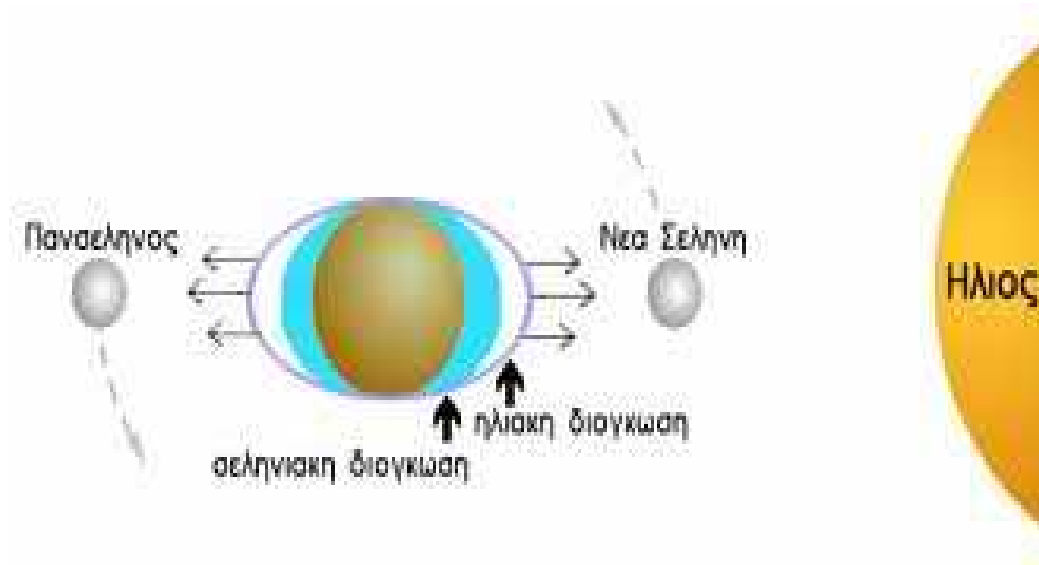
Αυτός ο χρόνος (24 ώρες και 50,5 λεπτά) μεσολαβεί και μεταξύ δύο "διαβάσεων" της Σελήνης πάνω από ένα τόπο, δηλαδή δύο "άνω μεσουρανήσεων" όπως λέγονται. Έτσι η μία πλημμυρίδα συμβαίνει στην άνω μεσουράνηση της Σελήνης σε ένα τόπο και η άλλη στη κάτω μεσουράνηση κάτω από τον ίδιο τόπο συμπληρώνοντας 12 ώρες και 25 λεπτά από τη πρώτη.

Εξ άλλου και οι δύο αμπώτιδες συμβαίνουν όταν η Σελήνη βρίσκεται στην ανατολή και έπειτα (μετά από 12ώρες και 25λεπτά) στη δύση. Εξ αυτού προκύπτει και η σχέση της Σελήνης και του φαινομένου.

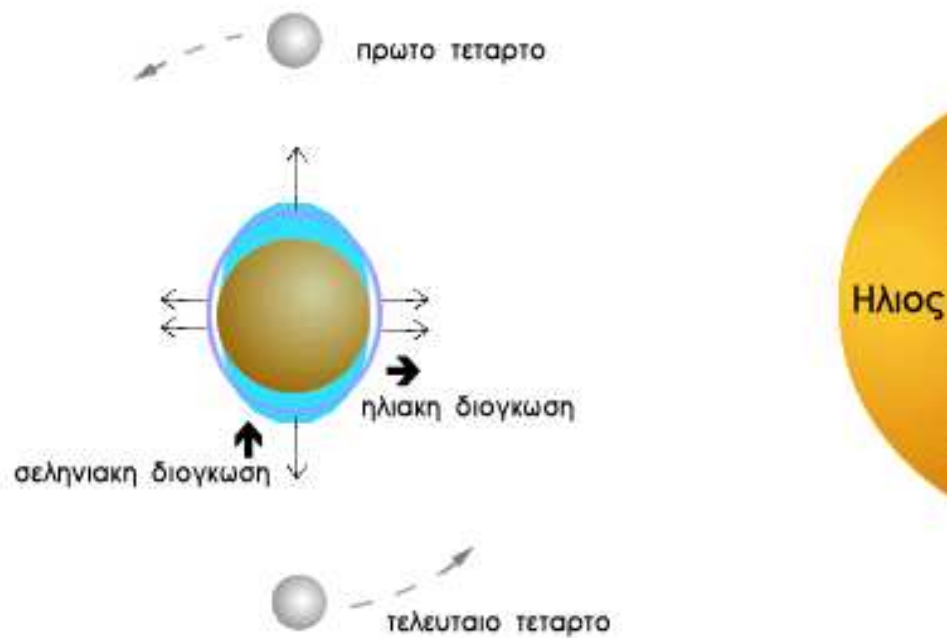
Επειδή επιπλέον το ύψος της στάθμης εξαρτάται όχι μόνο από την απόσταση Γης - Σελήνης αλλά και Γης - Ηλίου προκύπτει ότι και ο Ήλιος έχει σχέση με την παλίρροια. Επίσης διαπιστώνεται ότι το ύψος των υδάτων εξαρτάται από τις φάσεις της Σελήνης, δηλαδή από τη θέση της ως προς τον Ήλιο. Και αυτό διότι κατά τις συζυγίες, δηλαδή κατά τη σύνοδο (νέα σελήνη) και κατά την αντίθεση (πανσέληνος) παρατηρείται η υψηλότερη στάθμη, ενώ κατά τους τετραγωνισμούς (Π.Τ. και Τ.Τ.) σημειώνεται η χαμηλότερη.

Αν και οι αρχαίοι Έλληνες, τόσο ο Πυθέας ο Μασσαλιώτης, όσο και ο Σέλευκος αλλά και ο Ποσειδώνιος ήταν οι πρώτοι που διαπίστωσαν τη σχέση της παλίρροιας με τη Σελήνη, τελικά στον Νεύτωνα οφείλεται η ερμηνεία του φαινομένου.





**Εικόνα 8:** Σχήμα της γης κατά της συζυγίες



**Εικόνα 9:** Σχήμα της γης κατά τους τετραγωνισμούς

### 3.2 Ερμηνεία φαινομένου

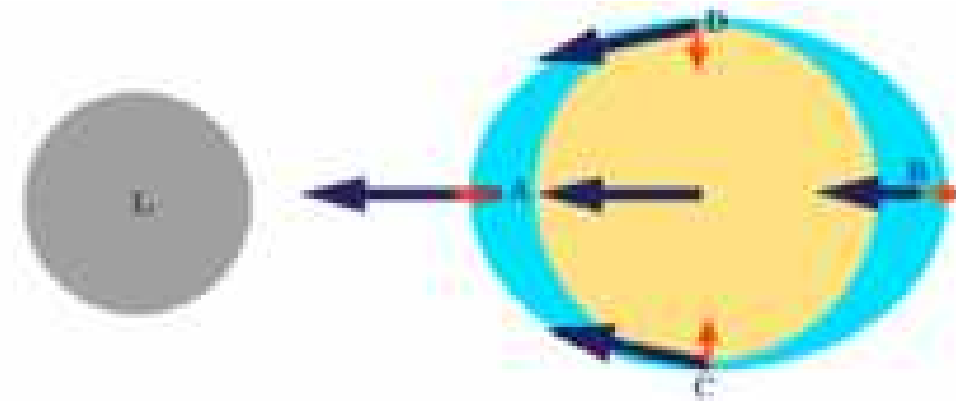
Όπως έχει αποδειχθεί η έλξη της Σελήνης επί του υγρού στοιχείου της Γης είναι κατά 2,2 φορές μεγαλύτερη της έλξης που ασκεί σε αυτό ο Ήλιος. Βάσει λοιπόν αυτού του δεδομένου ας υποθεθεί ότι όλη η επιφάνεια της Γης καλύπτεται από ύδατα.

Τότε υπό την επίδραση της έλξης της Σελήνης τα ύδατα των θαλασσών θα συσσωρεύονται περισσότερο προς το μέρος που θα είναι η Σελήνη, αλλά και επιπλέον όπως διδάσκει η Μηχανική των ρευστών και στο εκ διαμέτρου αντίθετο σημείο της Γης ίδια συσσώρευση θα παρατηρείται. Έτσι η συσσώρευση αυτή θα έδινε στη Γη μια μορφή ελλειψοειδούς.

Αν ακόμα υποθεθεί πως προς το μέρος της Σελήνης βρίσκεται και ο Ήλιος, τότε η συνδυασμένη έλξη Σελήνης + Ηλίου θα καταστήσει το ελλειψοειδές περισσότερο πεπλατυσμένο όπως αυτό ακριβώς συμβαίνει στις συζυγίες. Ενώ αντίθετα στους τετραγωνισμούς, όπου Σελήνη, Γη και Ήλιος σχηματίζουν ορθή γωνία, η έλξη του Ηλίου θα εξουδετερώσει μέρος της έλξης της Σελήνης με συνέπεια το ελλειψοειδές σχήμα της Γης να τονίζεται λιγότερο, στραμμένο πάντα προς τη Σελήνη.

Αυτό αποτελεί και την λεγόμενη "στατική θεωρία της παλίρροιας" όπου στις παλίρροιες συζυγιών οι έλξεις Σελήνης και Ηλίου προστίθενται, ενώ στις παλίρροιες τετραγωνισμών οι έλξεις αυτές αναιρούνται.

Λόγω όμως και της περιστροφής της Γης στον άξονά της, αυτή στρέφει προς τη Σελήνη διαφορετικά κάθε φορά μέρη της επιφάνειάς της. Συνεπώς και το ελλειψοειδές σχήμα της θα αλλάζει συνεχώς τη θέση των δύο υδάτινων εξογκωμάτων, δηλαδή των πλημμυρίδων όπως και των μεταξύ αυτών αμψώτιδων.



**Εικόνα 10:** Η έλξη της Σελήνης

Επειδή όμως η περιστροφή της Γης γίνεται από Δύση προς Ανατολή σε 24 ώρες, η μετατόπιση των υδάτινων εξογκωμάτων θα γίνεται ναί μεν στον ίδιο χρόνο αλλά από Ανατολή προς Δύση. Και αυτό διότι τα ύδατα κινούνται προς τα πίσω, δηλαδή τα μέρη που άφησε μεσουρανώντας η Σελήνη, καθώς η Γη περιστρέφεται.

Έτσι πολύ απλά στη πραγματικότητα ένα πελώριο κύμα κινείται συνεχώς στη στάθμη των ωκεανών σε αντίθετη διεύθυνση της περιστροφής της Γης, και πάντα προς το μέρος που βρίσκεται η Σελήνη. Φυσικά οι ήπειροι εμποδίζουν το κύμα αυτό αλλάζοντάς του συνεχώς την κανονική του πορεία, καθώς επίσης και την ώρα της πλημμυρίδας και της αμπώτιδας, κατά τόπους ανάλογα και με την μορφολογία και διάταξη των ακτών στις οποίες και παρατηρείται έντονα το φαινόμενο.

Έχει υπολογισθεί πως η συνεχής κίνηση των υδάτων στην επιφάνεια της Γης, που συμβαίνει αντίθετα της περιφοράς της ελαττώνει πολύ – πολύ αργά και σταθερά τη ταχύτητα περιστροφής της. Έτσι υπολογίζεται πως ο χρόνος περιστροφής της Γης λόγω του συνεχούς αυτού φαινομένου, αυξάνεται περίπου κατά δύο δευτερόλεπτα ανά 100.000 έτη.

Η μετακίνηση των παλιρροιών προκαλεί μια συνεχή απώλεια μηχανικής ενέργειας στο σύστημα γη-φεγγαριών λόγω της άντλησης του νερού μέσω των φυσικών περιορισμών γύρω από τις ακτές, και τον επακόλουθο ιξώδη διασκεδασμό στο βυθό και στην αναταραχή.

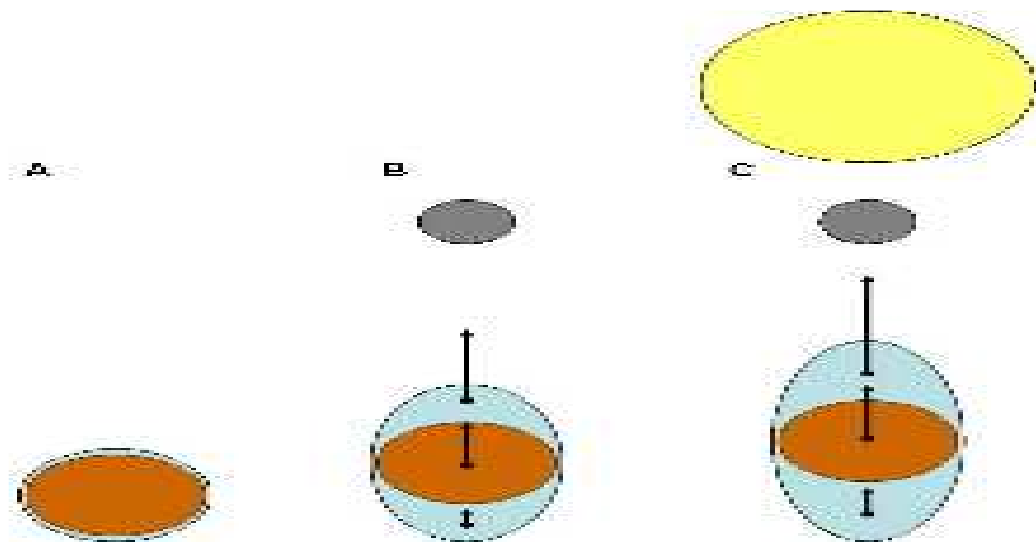
Αυτή η απώλεια ενέργειας έχει αναγκάσει την περιστροφή της γης για να επιβραδύνει στα 4.5 δισεκατομμύριο έτη από το σχηματισμό. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 620 εκατομμυρίων ετών που η

περίοδος περιστροφής έχει αυξηθεί από 21.9 ώρες στις 24 ώρες σε αυτήν την περίοδο η γη έχει χάσει 17% από την περιστροφική της ενέργεια. Ενώ η παλιρροιακή δύναμη μπορεί να πάρει την πρόσθετη ενέργεια από το σύστημα, αυξάνοντας το ποσοστό επιβράδυνσης, η επίδραση θα ήταν αξιοπρόσεχτη κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων ετών , κατά συνέπεια όντας αμελητέα.

### 3.3 Συνιστώσες παλίρροιας

Η γενεσιουργός δύναμη των παλιρροιών είναι η βαρυτική δύναμη που προκαλεί Ήλιος και η Σελήνη. Οι δυνάμεις αυτές λέγονται παλιρροϊκές δυνάμεις. Ο μεν Ήλιος λόγω της μεγάλης του μάζας η δε Σελήνη λόγω της μικρής σχετικά απόστασης από τη Γη, έστω κι αν συγκρινόμενη η διάμετρος της Γης με την απόσταση αυτή κρίνεται πολύ μικρή.

Η έλξη που ασκείται απο αυτά τα σώματα στη Γη (στο κέντρο της) και σε κάποιο σημείο της επιφάνειάς της είναι διαφορετική, έτσι η γενεσιουργός αυτή δύναμη είναι αντιστρόφως ανάλογη με τον κύβο της απόστασης από τον Ήλιο και τη Σελήνη. Ωστόσο η επίδραση της απόστασης είναι σημαντική, αν ληφθεί υπόψη ότι η δράση του Ηλίου φθάνει στο ήμισυ εκείνης της Σελήνης.



**Εικόνα 11:** Μέγιστες τιμές παλίρροιας

Συνδυαζόμενες οι δράσεις των δύο αυτών ουρανίων σωμάτων συγκροτούν μια "ηλιοσεληνιακή δύναμη" μεγέθους του δεκάκις εκατομμυριοστού της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Η κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης αυτής αλλάζει ελάχιστα την ένταση της βαρύτητας, ενώ η οριζόντια συνιστώσα μεταβάλλει την διεύθυνσή της κατά μια γωνία της τάξης μεγέθους του εκατοστού του δευτερολέπτου της μοίρας (0,01").

Οι νευτώνειες αρχές της βαρύτητας επέτρεψαν τον ποσοτικό προσδιορισμό της γενεσιουργού αυτής δύναμης της παλίρροιας πάνω στη μάζα των ωκεανών. Προς καλύτερη αντίληψη του μηχανισμού της δράσης αυτής θεωρείται ότι κάθε περιοδική συνιστώσα της δύναμης προκαλεί μερική παλίρροια κατά την ίδια περίοδο και γίνεται αποδεκτό ότι η συνολική παλίρροια είναι η συμβολή όλων των επιμέρους παλιρροιών που ονομάζονται συνιστώσες παλίρροιας ή κύματα παλίρροιας.

Το σύνολο των ημι-ημερήσιων αυτών κυμάτων συγκροτούν την "ημι-ημερήσια παλίρροια" που παρουσιάζει και τις δύο πλημμυρίδες και δύο αμπώτιδες, σε κάθε περιστροφή της Σελήνης γύρω από την Γη, . Οι κύριες συνιστώσες των ημι-ημερησίων κυμάτων αποτελούν ένα μέσο ηλιακό και ένα μέσο σεληνιακό κύμα που προκαλούνται από την (υποθετική) κίνηση της Σελήνης και του Ήλιου γύρω από τη Γη, στο επίπεδο του Ισημερινού. Ένα άλλο επίσης σεληνιακό κύμα δημιουργείται λόγω της απόστασης Γης - Σελήνης.

Έτσι τα χαρακτηριστικά της ημι-ημερήσιας παλίρροιας καθορίζονται σχεδόν σε όλα τα σημεία της υδρόσφαιρας από το μέσο σεληνιακό ημι-ημερήσιο κύμα που είναι και η σημαντικότερη συνιστώσα. Κατά την "πανσέληνο" και την "νέα σελήνη" το μέσο ηλιακό κύμα βρίσκεται σε φάση με το μέσο σεληνιακό κύμα προκαλώντας τις μεγάλες παλίρροιας ή παλίρροιας συζυγιών. Αντίθετα στο "τέταρτο" της Σελήνης τα αποτελέσματα των κυμάτων αυτών αλληλοαναιρούνται προκαλώντας τις λεγόμενες "μικρές παλίρροιας" ή "παλίρροιας τετραγωνισμών". (4)

## ΕΝΟΤΗΤΑ 4

### 4.1 Εύριπος



Εικόνα 12: Πορθμόςτου Ευρίπου (Παλαιά γέφυρα)

**Ο πορθμός του Ευρίπου έχει πλάτος 39 μέτρα, μήκος 40 μέτρα και βάθος 8,5 μέτρα. Σε αυτόν παρουσιάζεται το εξής περίεργο φαινόμενο: τα νερά του κινούνται συνεχώς, ενώ ταυτόχρονα αλλάζουν φορά κινήσεως. Άλλοτε κατευθύνονται προς τον Βόρειο και άλλοτε προς τον Νότιο Ευβοϊκό.**

**Μετά από συστηματικές παρατηρήσεις διαπιστώθηκε ότι 22 - 23 ημέρες κάθε μήνα το ρεύμα παρουσιάζει μια κανονικότητα και αλλάζει φορά κάθε 6 ώρες περίπου, με αποτέλεσμα να συμπληρώνει τέσσερις εναλλαγές κάθε 24 ώρες και 50 λεπτά όπως ακριβώς η παλίρροια.**

Από τις ημέρες του κανονικού ρεύματος 11-12 αντιστοιχούν στην περίοδο της Νέας Σελήνης και άλλες τόσες στην περίοδο της Πανσελήνου. Πολλές φορές παρουσιάζεται μια αρρυθμία, οπότε το φαινόμενο ολοκληρώνεται σε 22 ώρες και 22 λεπτά. Τις υπόλοιπες 6 ή 7 ημέρες, από τις οποίες 3 ημέρες αντιστοιχούν στην περίοδο του πρώτου και οι υπόλοιπες στην περίοδο του τελευταίου τετάρτου, το ρεύμα είναι ακανόνιστο.

Η ταχύτητα του ρεύματος ανέρχεται σε 5-6 μίλια την ώρα, ενώ μερικές φορές μπορεί να ανέρχεται και στα 9 μίλια την ώρα. Όταν δε το ρεύμα ενισχύεται από τους ισχυρούς βορείους ανέμους, που πνέουν κατά καιρούς στην περιοχή η ταχύτητά των ανωτέρων υδάτινων μαζών προς το Νότιο Ευβοϊκό γίνεται ακόμη μεγαλύτερη. Λέγεται, μάλλον υπερβολικά, ότι στην περίπτωση αυτή θα δυσκολευόταν και ένας καρχαρίας να κολυμπήσει κατά την αντίθετη φορά.

### **Γιατί Εύριπος;**

Το τοπωνύμιο «Εύριπος» (εύ + ριπή) παραπέμπει στην ορμητική φορά την οποία εμφανίζει στο σημείο αυτό, όπως ήδη αναφέρθηκε, η παλίρροια. Συναντάται δε και στη διεθνή βιβλιογραφία με την ονομασία *euirpus* για να περιγράψει κάθε φυσικό αλλά και τεχνητό πορθμό ή στένωμα στον οποίο παρουσιάζονται ισχυρά παλιρροϊκά ρεύματα.

### **Που οφείλεται όμως το φαινόμενο αυτό;**

Σήμερα δεχόμαστε την ακόλουθη εξήγηση: Το κύμα της παλίρροιας γεννιέται από την έλξη της Σελήνης στην Ανατολική Μεσόγειο και κατευθύνεται προς τα δυτικά. Όταν φθάνει στο νότιο Αιγαίο προχωρεί προς τα βόρεια και φθάνει στις ανατολικές ακτές της Εύβοιας τρεις ώρες περίπου μετά τη στιγμή που κατά την οποία η Σελήνη διέρχεται από το μεσημβρινό της Χαλκίδας.

Εντούτοις το κύμα που μπαίνει στο Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο φθάνει στο στενό του Ευρίπου 1 ώρα και 15 λεπτά νωρίτερα από το κύμα που φθάνει από το βορρά γιατί η διαδρομή που ακολουθεί είναι μικρότερη. Αλλά και ο όγκος του θαλάσσιου ύδατος του νοτίου κύματος είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο όγκο του βορείου κύματος, γιατί το βόρειο εμποδίζεται στη διαδρομή του από τη στενή βόρεια είσοδο του Βορείου Ευβοϊκού κόλπου στην περιοχή των Ωρεών.

Έτσι, οι περισσότεροι υδάτινοι όγκοι φθάνουν από τα νότια νωρίτερα, με αποτέλεσμα να ανεβάζουν τη στάθμη στο μέρος εκείνο

κατά 30 ως 40 εκατοστά, οπότε δημιουργείται το ρεύμα από τα νότια προς τα βόρεια.

Μετά 6 ώρες αντιστρέφονται οι συνθήκες γιατί εν τω μεταξύ φθάνει στο στενό το κύμα που μπήκε στο Βόρειο Ευβοϊκό Κόλπο και έτσι ανεβαίνει η στάθμη στο βόρειο μέρος του στενού με αποτέλεσμα να αντιστρέφεται το ρεύμα. Κατά την Πανσέληνο και τη Νέα Σελήνη, οπότε οι παλίρροιες είναι περισσότερο έντονες, έχουμε μεγαλύτερη διαφορά στάθμης μεταξύ Βορείου και Νοτίου Ευβοϊκού Κόλπου και, επομένως, ισχυρότερο ρεύμα. Η περίοδος των 22 ωρών και 22 λεπτών πρέπει να αποδοθεί στη διαμόρφωση των ακτών των δύο πλευρών του Ευβοϊκού κόλπου.

Κατά την εποχή του πρώτου και τελευταίου τετάρτου της Σελήνης οι παλίρροιες δεν είναι έντονες και επομένως και τα κύματα που εισέρχονται στους δύο κόλπους είναι εξασθενημένα. Όλα αυτά συν η μορφολογία των ακτών, του βυθού και η φορά των ανέμων συμβάλλουν ώστε η ροή των υδάτων να είναι εντελώς ακανόνιστη.

### **Ποίοι ασχολήθηκαν με το φαινόμενο**

Το πρόβλημα της παλίρροιας του Ευρίπου ερεύνησαν πολλοί αρχαίοι και νέοι επιστήμονες, όπως ο Αριστοτέλης, ο Πλίνιος, ο Μάνσελ και ο Μιαούλης. Την τελική εξήγηση έδωσε ο καθηγητής Δ. Αιγινήτης, που στηρίχθηκε σε πλούσιο υλικό παρατηρήσεων. (5)





**Εικόνα 13:** Δορυφορική εικόνα της Αττικής και του Ευρίπου (NASA)

## ΕΝΟΤΗΤΑ 5

### 5.1 Πειραματικά Στοιχεία

#### *ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ*

Για την μελέτη της δυνατότητας παραγωγής ενέργειας μέσω της παλίρροιας στο στενό του Ευρίπου είναι απαραίτητη η γνώση των ταχυτήτων των κινούμενων υδάτων δια μέσου του στενού. Μια τέτοια ενέργεια έγινε το **Δεκέμβριο του 2010** από το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε (ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ) σε συνεργασία με το Κ.Α.Π.Ε (ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ) για λογαριασμό της ΑΓΕΤ Ηρακλής.

Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας μετά την έγκριση της ΑΓΕΤ Ηρακλής διατεθήκαν για χρήση στην πτυχιακή αυτή εργασία και παρουσιάζονται στην συνέχεια.

Στην πρώτη φάση έγινε καταγραφή των ταχυτήτων και των κατευθύνσεων των ρευμάτων σε κομβικές θέσεις της περιοχής του πορθμού του Ευρίπου. Επιλέχθηκαν τρεις περιοχές στενώσεων :

- 1) Η περιοχή της νέας κρεμαστής γέφυρας
- 2) Η παλαιά γέφυρα μέσα στην πόλη της Χαλκίδας και
- 3) Η περιοχή ανάμεσα στους δύο φάρους στο βόρειο τμήμα του διαύλου

Στην περιοχή της νέας κρεμαστής γέφυρας έγινε πόντιση ρευματογράφου κοντά στη θέση του κόκκινου φάρου με βάθος πυθμένα στα 6,5m. Ο ρευματογράφος ήταν πάνω σε ακίνητη βάση, ένα μέτρο πάνω από το πυθμένα και κατέγραψε τις σημειακές τιμές της θερμοκρασίας, της έντασης και της διεύθυνσης του ρεύματος κάθε μισή ώρα από τις 17 Μαΐου έως τις 25 Αυγούστου του 2010.

Επιπλέον στις 17 και 18 Μαΐου , στις 7 Ιουλίου και στις 23 Σεπτεμβρίου 2010 έγιναν καταγραφές σε μορφή στιγμιότυπων του ρεύματος κατά μήκος και κατά πλάτος, δηλαδή εγκάρσια στους διαύλους στις κομβικές θέσεις της νέας γέφυρας , της παλαιάς γέφυρας και στο βόρειο δίαυλο ανάμεσα στους φάρους. Οι καταγραφές αυτές έγιναν με χρήση ενός ακουστικού ρευματογράφου ADCP ( Acoustic Doppler Current Profiler ) , ο οποίος παρέχει το προφίλ του ρεύματος, δηλαδή την διεύθυνση και την ταχύτητα αυτού σε διαφορετικά βάθη στη συγκεκριμένη γεωγραφική θέση (σημείο) μέτρησης.

Το ADCP, δεδομένου ότι ποντιζόταν επιφανειακά σε βάθος περίπου 0.5m από ακίνητο πλωτό μέσο σε κάθε θέση μέτρησης, δεν μπορεί να παρέχει τις τιμές του ρεύματος στο ανώτερο στρώμα της θάλασσας ( σε απόσταση της τάξης των 1-1,5 m από την ελεύθερη επιφάνεια ), καθώς επίσης και σε απόσταση της τάξης των 1-2 m από τον πυθμένα, καθόσον στην περιοχή εκείνη οι μετρήσεις έχουν συνήθως σφάλμα λόγω επιρροής των ακουστικών ανακλάσεων από τον πυθμένα.

Με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν το ζητούμενο είναι η εκτίμηση των ταχυτήτων του ρεύματος πάνω στις εγκάρσιες τομές στις κομβικές θέσεις κατά τη διάρκεια του πλήρους παλιρροιακού κύκλου καθώς και των μεταβολών τους από την περίοδο της Πανσελήνου και Νέας Σελήνης στα Σεληνιακά Τέταρτα.

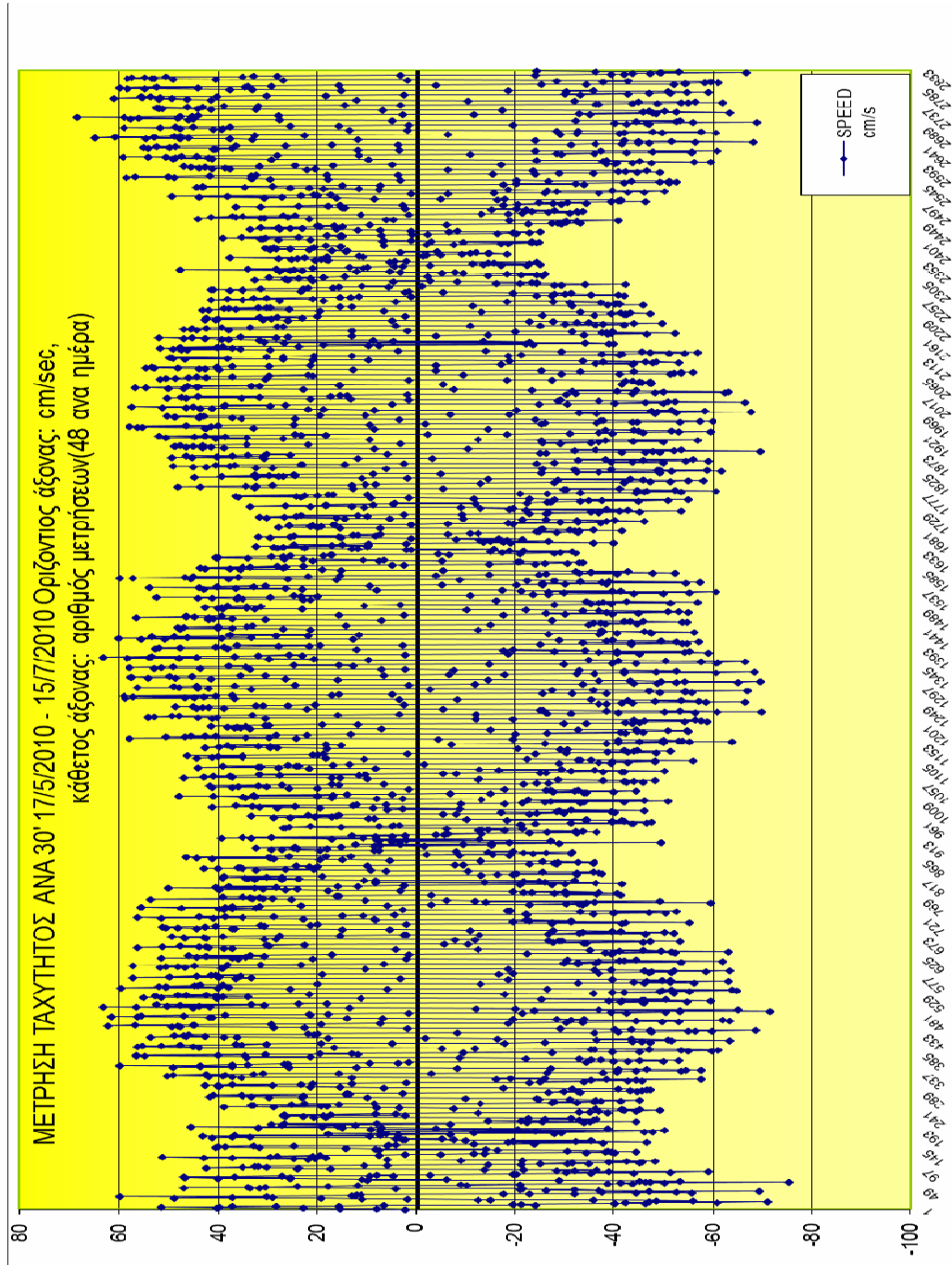
## **5.2 Ανάλυση Αποτελεσμάτων**

### ***ΡΕΥΜΑΤΟΓΡΑΦΟΣ***

Στο διάγραμμα (1) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων από τον ποντισμένο ρευματογράφο. Από τις 17 Μαΐου έως τις 15 Ιουλίου έχουν καταγραφεί δύο πλήρεις σεληνιακοί μήνες μετρήσεων, δεδομένου ότι στις 17 Μαΐου η Σελήνη ήταν τεσσάρων ημερών και στις 15 Ιουλίου που έγινε η πρώτη ανάσυρση του ήταν και πάλι τεσσάρων ημερών.

Στις 15 Ιουλίου ο ρευματογράφος ανασύρθηκε, τοποθετήθηκε νέα μνήμη και επαναποντίστηκε στην ίδια θέση. Ατυχώς μετά την επαναπόντιση παρουσίασε τεχνικά προβλήματα, με απότομη, αυθημερόν,

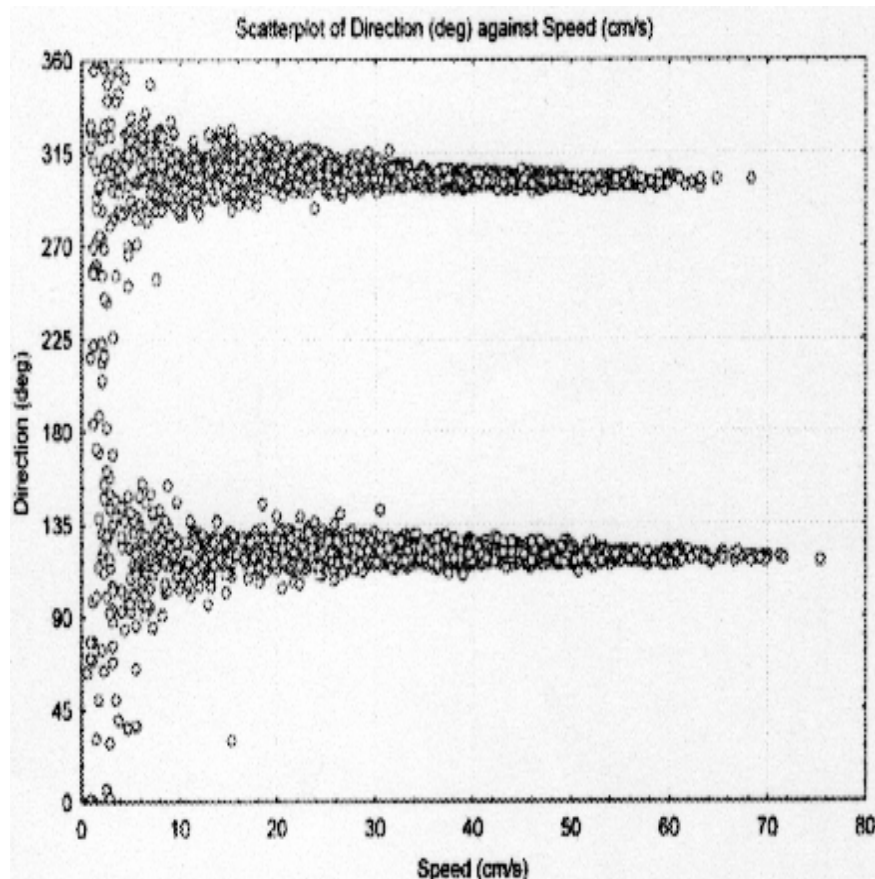
ελάττωση στις καταγραφόμενες τιμές της έντασης του ρεύματος, και σταμάτησε να λειτουργεί στις 25 Αυγούστου και ανασύρθηκε οριστικά στις 10 Οκτωβρίου. Λόγω της βλάβης που προαναφέρθηκε, το τμήμα των καταγραφών μετά τις 15 Ιουλίου δεν χρησιμοποιείται στη ανάλυση των δεδομένων ακολούθει.



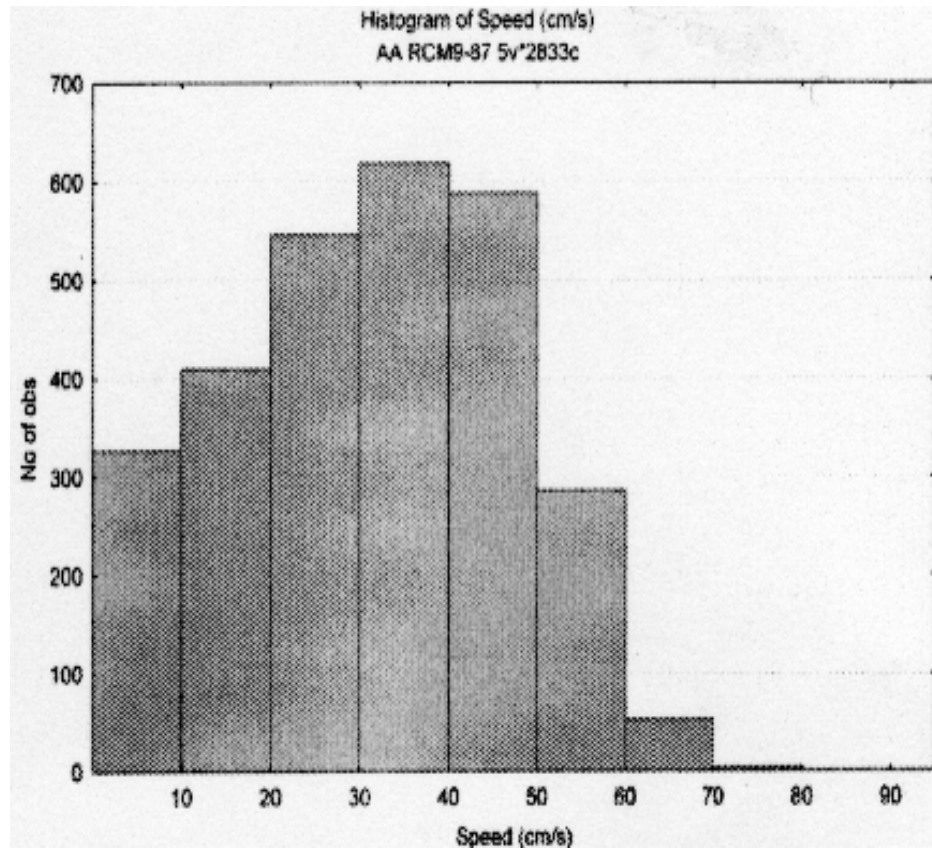
**Διάγραμμα 1:** Μετρούμενες ταχύτητες στο σημείο πόντισης του ρευματογράφου από 17-5-2010 έως 15-7-2010

Σε ότι αφορά τα δεδομένα του ρευματογράφου έως τις 15 Ιουλίου, παρατηρούμε μέγιστα ταχύτητας στη ροή κατά μήκος του διαύλου που κυμαίνονται από περίπου 60 cm/s έως 65 cm/s στις ημέρες με Πανσέληνο ή Νέα Σελήνη και μέχρι 30-40 cm/s στα Σεληνιακά Τέταρτα. Όπως είναι αναμενόμενο, η εγκάρσια ροή είναι ασθενική, της τάξεως των 3-5 cm/s.

Στο διάγραμμα (2) δείχνεται το διάγραμμα διασποράς της ταχύτητας του ρεύματος σε σχέση με την διεύθυνση και στο διάγραμμα (3) το ιστόγραμμα της ταχύτητας ρεύματος. Από το διάγραμμα (2) παρατηρούμε ότι οι υψηλές ταχύτητες ρεύματος παρουσιάζουν συστηματικά συνεχώς μειούμενη κατευθυντική διασπορά τείνοντας στις δύο βασικές κατευθύνσεις ροής.



**Διάγραμμα 2:** Διασπορά της ταχύτητας του ρεύματος σε σχέση με τη διεύθυνση



**Διάγραμμα 3:** Ιστόγραμμα ταχύτητας ρεύματος

Από το διάγραμμα (3) φαίνεται άμεσα ότι οι επικρατούσες ταχύτητες του ρεύματος στη περιοχή των μετρήσεων είναι στο διάστημα [ 30,40 ] cm/s. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό του ιστογράμματος είναι η ασυμμετρία του.

Από την στατιστική ανάλυση της ταχύτητας του ρεύματος κατά την περίοδο των μετρήσεων προέκυψε ότι η μέση ταχύτητα είναι 31,43 cm/s, η μέγιστη ταχύτητα είναι 75.4 cm/s και η τυπική απόκλιση είναι 15.4 cm/s. Το τελευταίο αποτέλεσμα υποδηλώνει την αναμενόμενη μεγάλη διασπορά της ταχύτητας γύρω από τη μέση της τιμή.

## **ADCP**

Πέραν των επιτόπιων συστηματικών μετρήσεων της ροής με χρήση του ποντισμένου ρευματογράφου, χρησιμοποιήθηκε ένα φορητό όργανο ADCP για τη λήψη στιγμιότυπων της ροής και την εν συνεχεία συσχέτιση της με τα δεδομένα του ρευματογράφου. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν στις 17 και 18 Μαΐου, 7 Ιουλίου και 23 Σεπτεμβρίου 2010.

Τα στιγμιότυπα της δομής της ροής στις κομβικές θέσεις, τα οποία ελήφθησαν με χρήση του ADCP φανερώουν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά. Ειδικότερα:

1. Από τις μετρήσεις που έγιναν υψηλότερη ταχύτητα παρουσιάζεται στην παλαιά γέφυρα και ακολουθούν οι ταχύτητες στο διάυλο της νέας γέφυρας ο οποίος έχει συγκρίσιμο πλάτος με το βόρειο διάυλο ανάμεσα στους φάρους, αλλά μικρότερο μέσο βάθος. Κατά συνέπεια οι ταχύτητες στο βόρειο διάυλο είναι μικρότερες από ότι στη νέα γέφυρα.
2. Υπάρχει μικρή εξασθένηση του ρεύματος με το βάθος σε ολόκληρη τη θαλάσσια στήλη η οποία είναι εντονότερη στη τομή της νέας γέφυρας αλλά πρακτικά ασήμαντη στη παλαιά γέφυρα. Η ροή εξασθενεί σημαντικά μόνο πολύ κοντά (1-1.5 m) στο πυθμένα.
3. Οι ταχύτητες σε κάθε διάυλο δεν είναι πάντα ακριβώς παράλληλες με τον διαμήκη άξονα του διαύλου. Αυτό οφείλεται σε φαινόμενα τύρβης αλλά και σε επιρροή με μορφολογικά χαρακτηριστικά της γειτονικής ακτογραμμής σε κάθε διάυλο σε σχέση με τη γενική προέλευση του πυρήνα του ρεύματος που εισέρχεται στο διάυλο στη συγκεκριμένη φάση του δωδεκάωρου παλιρροιακού κύκλου. Συγκεκριμένα, όταν το ρεύμα ανεβαίνει βόρεια, άφου διέλθει από το διάυλο της νέας γέφυρας, συνεχίζει λόγω αδράνειας 300° προς Βορρά και στην παλαιά γέφυρα εισέρχεται προερχόμενο από τα νοτιοδυτικά, δηλαδή προερχόμενο από τις κατευθύνσεις 250-260° προς Βορρά. Κατά συνέπεια οι ταχύτητες στο διάυλο προς τη πλευρά της Χαλκίδας είναι ισχυρότερες από ότι προς τη πλευρά της Βοιωτίας. Παρόμοιο φαινόμενο παρατηρείται στο διάυλο της νέας γέφυρας κατά την προς Νότο ροή (κάθοδο) του ρεύματος.

Δεδομένου ότι οι θέσεις που έχουν επιλεγεί στους τρεις διαύλους είναι πρακτικά πάνω στην ίδια ρευματογραμμή και σε σχετικά μικρές μεταξύ τους αποστάσεις σε σχέση με τη κλίμακα του παλιρροιακού κύματος, προκύπτει ότι οι διαμήκεις ταχύτητες σε κάθε διάυλο στο

κεντρικό τμήμα του πυρήνα της ροής, δηλαδή κοντά στο μέσο της διατομής και σε βάθος περίπου 3 m, σχετίζονται γραμμικά πολύ ικανοποιητικά με τις αντίστοιχες διαμήκεις ταχύτητες που καταγράφονται στη θέση του ρευματογράφου στην ίδια χρονική στιγμή.

Οι τρεις ευθείες παλινδρόμησης για τις τρεις θέσεις όπου αποτυπώθηκαν οι δισδιάστατες δομές της ροής στις 17 και 18 Μαΐου και στις 7 Ιουλίου είναι :

$$1) \text{ New Bridge : } V_{cm} = -0.0867 + 0.7364 V_{ADCP}$$

$$2) \text{ OldBridge : } V_{cm} = 0.4165 + 0.2135 V_{ADCP}$$

$$3) \text{ North Lights : } V_{cm} = 3.5961 + 1.3067 V_{ADCP}$$

Όπου  $V_{cm}$  είναι η ταχύτητα του ρεύματος που καταγράφεται από το ρευματογράφο και  $V_{ADCP}$  είναι η ταχύτητα του ρεύματος που καταγράφεται από το ADCP. Οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης για τις τρεις ανωτέρω ομάδες δεδομένων είναι 0.998, 0.997, 0.996 και θεωρούνται πολύ υψηλοί υποδηλώνοντας πολύ καλή γραμμική συσχέτιση.

Η πολύ καλή αυτή συσχέτιση επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό των αντιπροσωπευτικών δομών της κατανομής των διαμηκών ταχυτήτων κατά μήκος και των δυο διαύλων σε όλο το πλάτος και βάθος αυτών στις διαφορετικές φάσεις της Σελήνης, χρησιμοποιώντας γραμμική προεκβολή που βασίζεται στις αντίστοιχες ευθείες παλινδρόμησης.

Κατά πρώτον κατασκευάζουμε για κάθε διάυλο μία κατά προσέγγιση μέση κατανομή ταχυτήτων κατά μήκος αυτού που αντιπροσωπεύει ολόκληρο το δωδεκάωρο κύκλο. Στη κατανομή αυτή τα μεγέθη των ταχυτήτων είναι α-διάστατα διότι ανάγονται ( σε ποσοστά) ως προς την ταχύτητα κοντά στο πυρήνα της ροής, δηλαδή στο μέσο του διαύλου και σε βάθος 3 m περίπου, η οποία, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σχετίζεται γραμμικά με την αντίστοιχη διαμήκη ταχύτητα που καταγράφει ο ποντισμένος ρευματογράφος. Τα ποσοστά αυτά θεωρούνται ανεξάρτητα από τη φάση της Σελήνης.

Ακολουθώντας, από τα δεδομένα του ποντισμένου ρευματογράφου, προσδιορίζουμε αντιπροσωπευτικές μέσες τιμές του μέτρου της



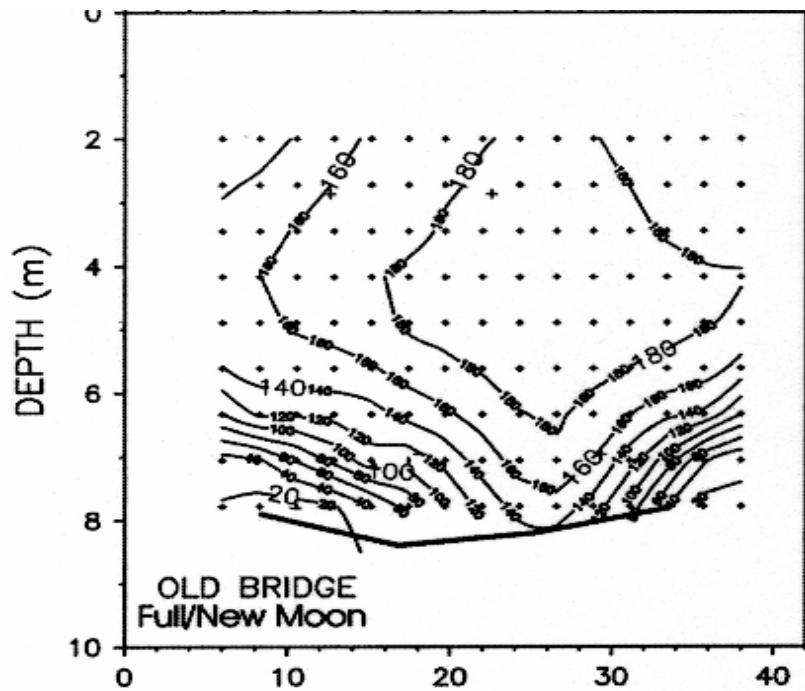
ταχύτητας κατά μήκος του δίαυλου για το δωδεκάωρο κύκλο των ακόλουθων περιόδων :

- (a) της νέας Σελήνης και της Πανσέληνου (Σελήνη μίας ημέρας και Σελήνη 14 ημερών)
- (b) στο πρώτο και δεύτερο τέταρτο ( Σελήνη 7 ημερών και Σελήνη 22 ημερών)
- (c) ενδιάμεσα στις περιόδους (a) και (b) ( Σελήνη 4 ημερών και Σελήνη 18 ημερών)

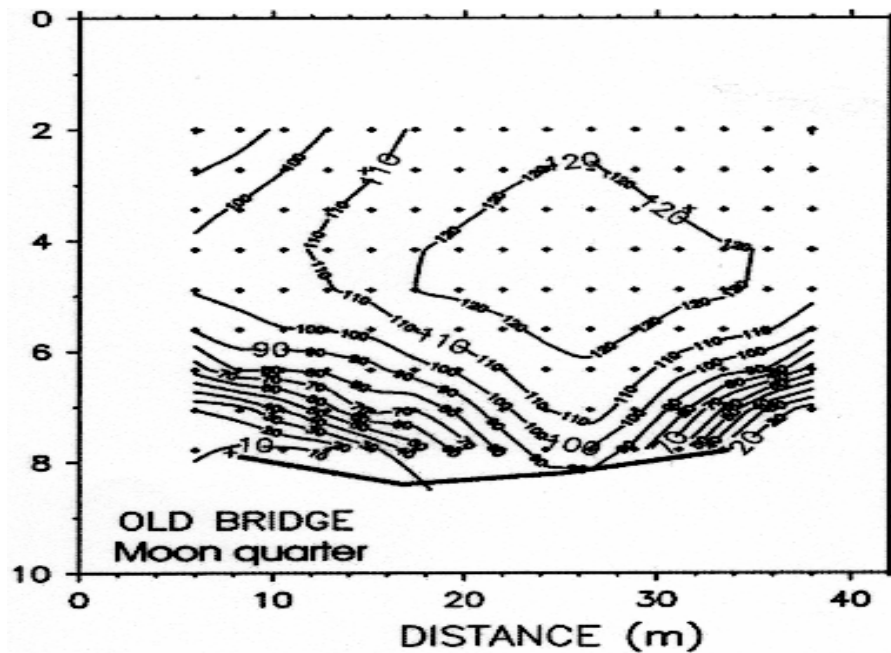
Οι τιμές αυτές προκύπτουν με τη χρήση των ευθειών παλινδρόμησης που αναφέρθηκαν ανωτέρω.

Η μέση τιμή για το δωδεκάωρο κύκλο κυμαίνεται από μέγιστα τις τάξεως των 38 cm/s στην περίοδο (a), σε ελάχιστα τις τάξεως των 25cm/s στην περίοδο (b), ενώ στην ενδιάμεση φάση, περίοδο (c), παραμένει υψηλή της τάξεως των 36 cm/s. Οι τιμές αυτές, μέσα από τις ευθείες παλινδρόμησης μας παρέχουν τις αντίστοιχες τιμές της αντιπροσωπευτικής ταχύτητας του δωδεκάωρου κύκλου κοντά στο πυρήνα της ροής σε κάθε δίαυλο στις διαφορετικές φάσεις της Σελήνης.

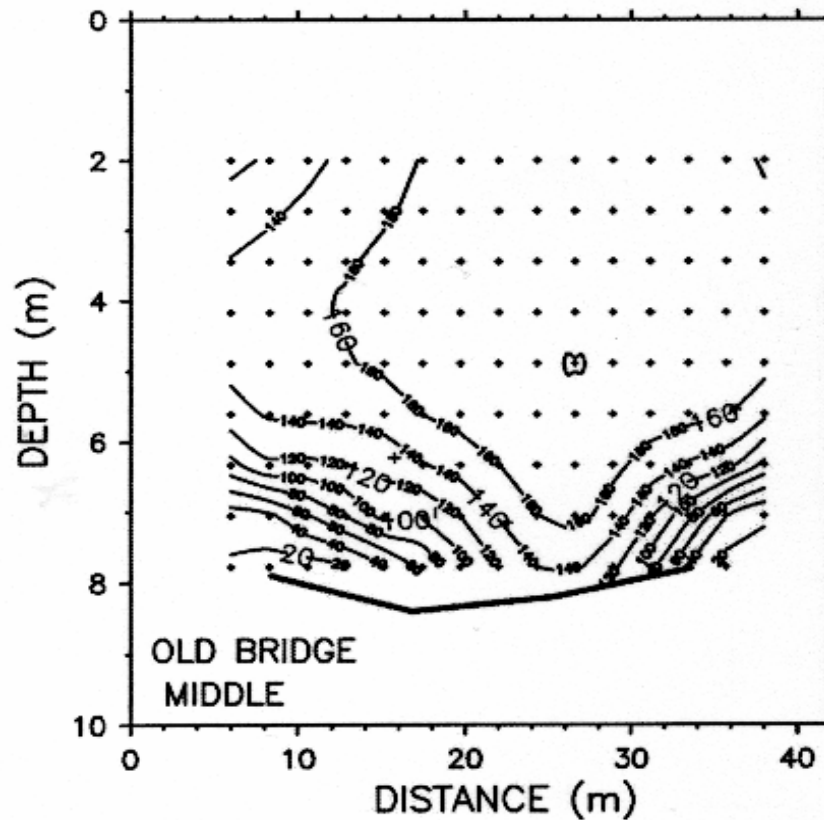
Όταν οι ταχύτητες που προκύπτουν για το πυρήνα της ροής σε κάθε δίαυλο πολλαπλασιαστούν με τις αδιάστατες (ποσοστιαίες) κατανομές, προκύπτουν τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων (4), (5), (6) που είναι και το ζητούμενο.



**Διάγραμμα 4:** Περιοχές ταχυτήτων σε συνάρτηση με το βάθος και την απόσταση από τη στεριά στην περίοδο της πανσελήνου/νέου φεγγαριού



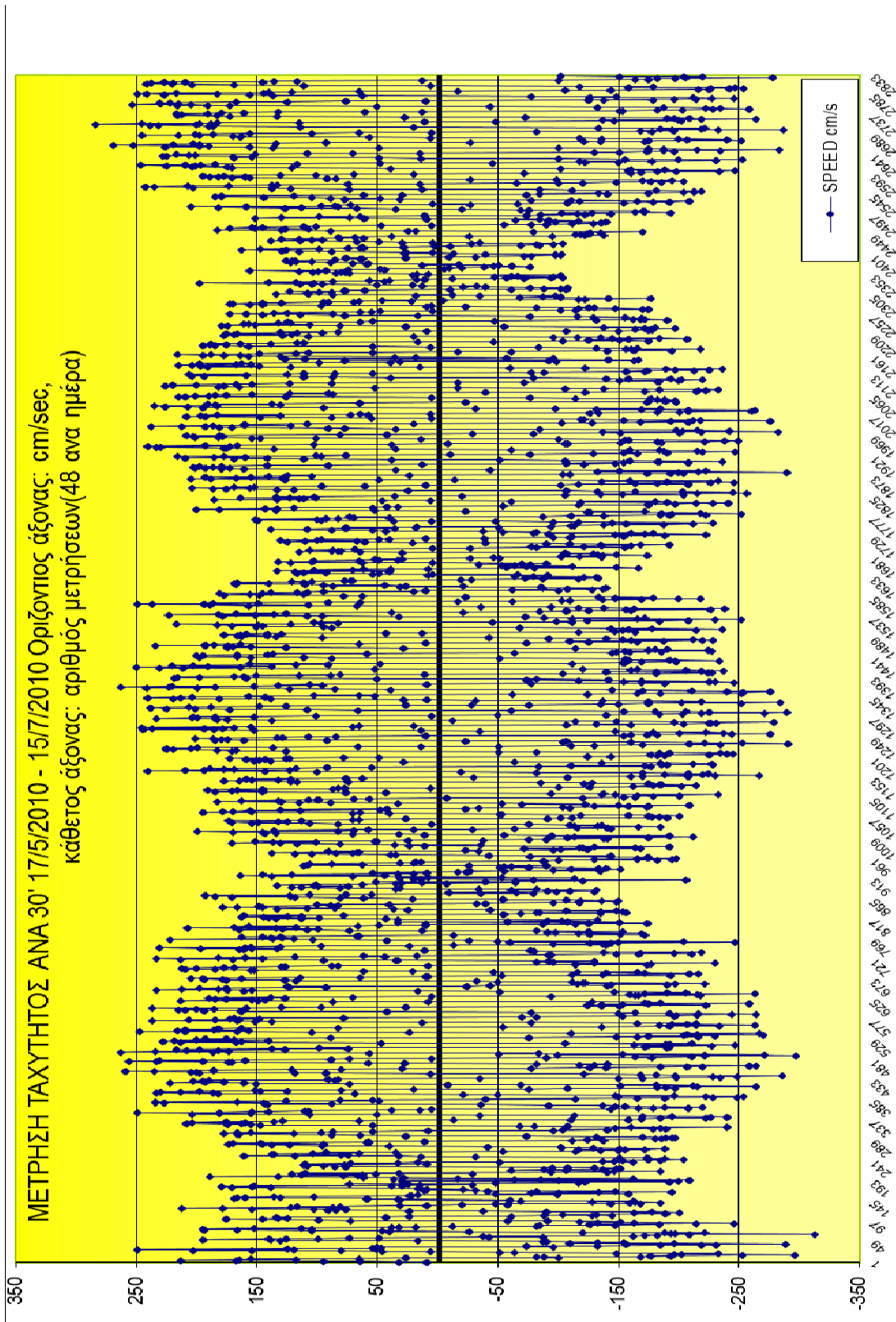
**Διάγραμμα 5 :** Περιοχές ταχυτήτων σε συνάρτηση με το βάθος και την απόσταση από τη στεριά στην περίοδο των τετάρτων του φεγγαριού



**Διάγραμμα 6 :** Περιοχές ταχυτήτων σε συνάρτηση με το βάθος και την απόσταση από τη στεριά στην ενδιάμεση περίοδο

Με βάση αυτά τα αποτελέσματα μπορεί να εκτιμηθεί το ενεργειακό δυναμικό σε κάθε διάυλο/τομή για ένα δωδεκάωρο κύκλο στις διαφορετικές φάσεις της Σελήνης, καθώς επίσης μπορεί να γίνει ο ίδιος υπολογισμός για διαφορετικά τμήματα του δίαυλου όπου ενδεχομένως στο μέλλον μπορεί να τοποθετηθεί μια πτέρυγα ή υδροτουρμπίνα με συγκεκριμένες διαστάσεις για άντληση της ενέργειας του ρεύματος.

Μετά από την ανάλυση προκύπτει το διάγραμμα τιμών των ταχυτήτων του ρεύματος στην παλαιά γέφυρα που είναι και το ζητούμενο. Η ανάλυση θα μπορούσε να είχε αποφευκτική αν η πόντιση του ρευματογράφου γινόταν κατευθείαν στην παλαιά γέφυρα, αλλά κάτι τέτοιο θα ήταν δύσκολο λόγω της θέσης και της κίνησης των διαφόρων πλεύσιμων στην περιοχή. Παρόλα αυτά η γραμμική συσχέτιση μας δίνει μια πολύ καλή ακρίβεια των ταχυτήτων του ρεύματος που επικρατούν στην περιοχή της παλαιάς γέφυρας. Έτσι οι περαιτέρω υπολογισμοί θα γίνουν με βάση τις τιμές του επόμενου διαγράμματος. (6)



**Διάγραμμα 7:** Μετρούμενες ταχύτητες στο σημείο πόντισης του ρευματογράφου από 17-5-2010 έως 15-7-2010

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αναφορικά με την εκτίμηση του διαθέσιμου δυναμικού των ρευμάτων και το ποσοστό αυτού που μπορεί να αντληθεί σύμφωνα με τους φυσικούς και μηχανικούς περιορισμούς.

## ΕΝΟΤΗΤΑ 6

### 6.1 Αξιολόγηση των πόρων

Ενώ οι αρχικές αξιολογήσεις της διαθέσιμης ενέργειας σε ένα κανάλι έχουν την εστίαση στους υπολογισμούς που χρησιμοποιούν το πρότυπο ροής κινητικής ενέργειας, οι περιορισμοί της παλιρροιακής ηλεκτρικής παραγωγής είναι σημαντικά πιο περίπλοκοι. Η μέγιστη φυσική πιθανή ενεργειακή εξαγωγή από ένα στενό που συνδέει δύο μεγάλες λεκάνες δίνεται μέσα σε 10% από:

$$P = 0.22 \rho g \Delta H_{\max} Q_{\max}$$

όπου

$\rho$  = η πυκνότητα του νερού (το νερό της θάλασσας είναι  $1025 \text{ kg/m}^3$ )

$g$  = η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

$\Delta H_{\max}$  = μέγιστη διαφορά ανύψωση επιφάνειας νερού κατά μήκος του καναλιού(m)

$Q_{\max}$  = μέγιστο ογκομετρικό ποσοστό ροής διαμέσου του καναλιού.( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Ο τύπος αυτός δεν είναι τόσο εύχρηστος όσο παρουσιάζεται. Στον Εύριπο για την χρήση του τύπου μας ενδιαφέρουν η μέγιστη ταχύτητα που μετρήθηκε στα  $3.134 \text{ m/s}$ , το πλάτος του στενού που είναι  $39\text{m}$ , το βάθος  $8.5\text{m}$  και το εύρος της παλίρροιας που είναι  $0.4\text{m}$  και στην περίπτωση μας ισούται με τη μέγιστη διαφορά ανύψωση επιφάνειας νερού κατά μήκος του καναλιού. Άρα το μέγιστο είναι  $\Delta H_{\text{tide}} = 0.4\text{m}$ .

Το μέγιστο ογκομετρικό ποσοστό ροής διαμέσου του καναλιού δίνεται από τον παρακάτω τύπο

$$Q_{\max} = U_{\max} \times \text{width} \times \text{dept}$$

Και στην περίπτωσή μας  $Q_{\max} = 1038.921\text{m}^3/\text{s}$ .

Άρα τελικά η διαθέσιμη ισχύς στο κανάλι είναι ίση με:

$$P = 919.3 \text{KWatt}$$

Ο υπολογισμός αυτός αφορά την μέγιστη δυνατή ισχύ που μπορεί να μας προσφέρει η τοποθεσία σε θεωρητική εκμετάλλευση 100% , πράγμα που είναι ανέφικτο με τα σημερινά δεδομένα της υπάρχουσας τεχνολογίας αλλά και του αντίκτυπου που θα είχε μια τέτοια αλλαγή στα έμβια όντα του θαλάσσιου περιβάλλοντος του στενού. (7)

## 6.2 Μέση Πυκνότητα Ισχύος(APD)

Η μέση πυκνότητα ισχύος APD(AveragePowerDensity) που είναι διαθέσιμη σε μια θεωρούμενη διατομή ανά μέτρο επιφάνειας δίνεται από τον τύπο :

$$APD = 0.5 \rho V^3 \text{Watt/m}^2$$

$\rho$  = η πυκνότητα του νερού (το νερό της θάλασσας είναι  $1025 \text{ kg/m}^3$ )

$V$  = η ταχύτητα της ροής (m/sec)

Με χρήση του αρχείου μέτρησης των ταχυτήτων που μετρήθηκαν από το ρευματογράφο για περίοδο δύο μηνών και γραμμικό συσχετισμό με τη θέση που μας ενδιαφέρει υπολογίζεται η μέση ταχύτητα στο στενό στα  $1.291 \text{m/sec}$ . Τιμή που θεωρείται αντιπροσωπευτική για το έτος καθώς προκύπτει ως ο μέσος όρος δύο συνοδικών σεληνιακών μηνών.

$$\text{Άρα :} APD = 1105.872 \text{ Watt/m}^2$$

(6)

## 6.3 Δύναμη στροβίλων

Τα διάφορα σχέδια στροβίλων έχουν τις ποικίλες αποδοτικότητες και επομένως ποικιλία παραγωγή δύναμης. Εάν η αποδοτικότητα του

στροβίλου «ξ» είναι γνωστή η εξίσωση μπορεί κατωτέρω να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει την παραγωγή δύναμης ενός στροβίλου. Η ενέργεια διαθέσιμη από αυτά τα κινητικά συστήματα μπορεί να εκφραστεί ως:

$$P = \frac{\xi \rho A V^3}{2}$$

όπου:

$\xi$  = η αποδοτικότητα στροβίλων

P = η ισχύς που παράγεται ( Watt)

$\rho$  = η πυκνότητα του νερού (το νερό της θάλασσας έχει  $1025 \text{ kg/m}^3$ )

A = η περιοχή σάρωσης του στροβίλου (σε  $\text{m}^2$ )

V = η ταχύτητα της ροής(m/sec)

Η ισχύς που μπορεί να ανακτηθεί όμως είναι μικρότερη από την παραπάνω έκφραση κατά ένα συντελεστή  $c_p$ , η ανώτερη τιμή του οποίου είναι 0,593 και γνωστή ως **όριο του Betz**.

Αν λάβουμε υπόψη τις απώλειες ενέργειας που υπεισέρχονται κατά τη μετάδοση της κίνησης μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων και της γεννήτριας παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος, θεωρώντας δύο ακόμα μειωτικούς συντελεστές, τότε η παραπάνω σχέση θα λάβει την ακόλουθη τελική μορφή:

$$P(t) = 0.5 C_p n_1 n_2 \rho A V^3$$

όπου:

P(t) = η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (W),

$n_1$  = συντελεστής μετάδοσης κίνησης στο κιβώτιο ταχυτήτων,

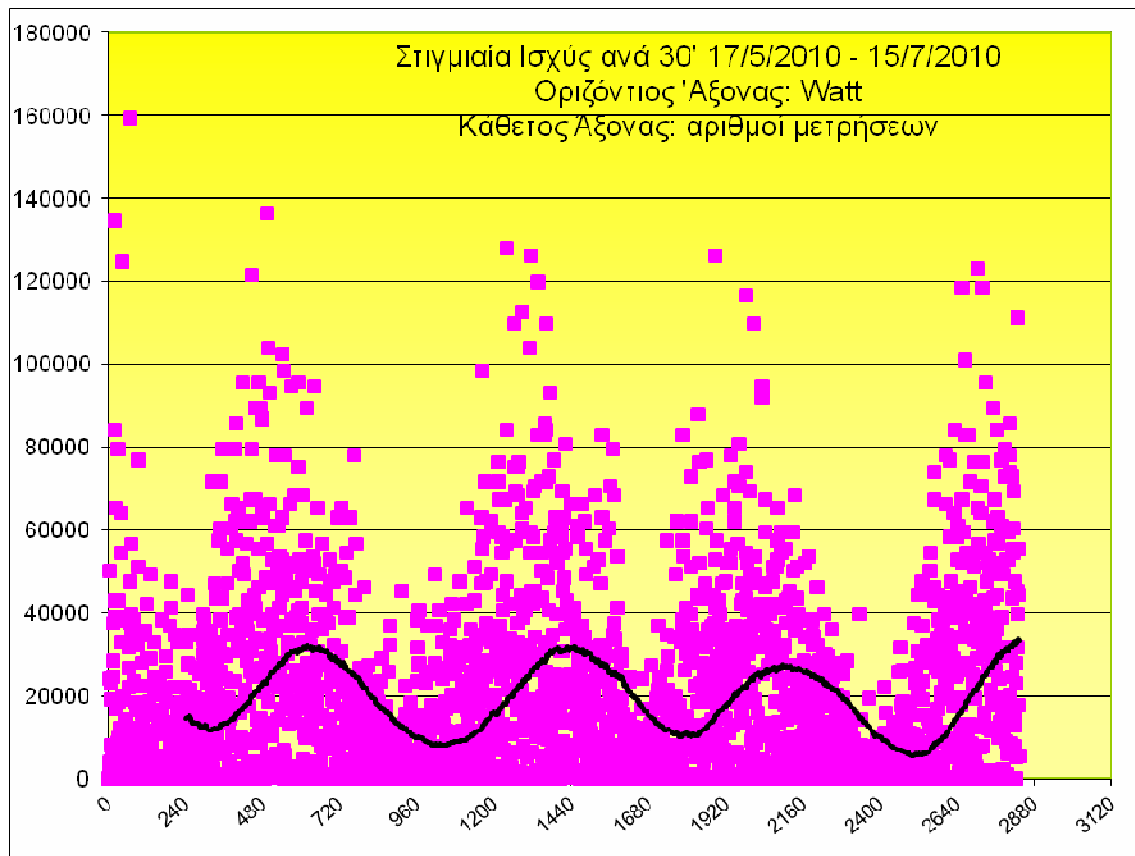
$n_2$  = συντελεστής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεννήτρια.

Η διαθέσιμη και παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αντίστοιχα προκύπτει με ολοκλήρωση των παραπάνω σχέσεων ως προς το χρόνο.



Για τους υπολογισμούς θεωρήθηκαν οι ακόλουθες τιμές των συντελεστών:  $c_p = 0,40$ ,  $n_1 = 0,95$  και  $n_2 = 0,94$ .

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η στιγμιαία ισχύς σε watt στην παλαιά γέφυρα για την περίοδο των 2 μηνών που έγιναν οι μετρήσεις. Θεωρήθηκε υδροτουρμπίνα διαμέτρου 6 μέτρων, η δε μαύρη γραμμή αντιπροσωπεύει τον κυλιόμενο μέσο όρο ανά 240 μετρήσεις, δηλαδή 5 ημέρες.



**Διάγραμμα 8:** Στιγμιαία ισχύς σε Watt με βάση τις μετρήσεις ταχυτήτων στην παλαιά γέφυρα.

Μιλώντας τώρα για μέση ισχύ, μπορούμε να δούμε την ισχύ που θα μπορούσε να παραχθεί στην πλήρη διατομή της παλαιάς γέφυρας(39m x 8,5m).Οπότε για την πλήρη διατομή του στενού η μέση ισχύς που μπορεί να παραχθεί αντιστοιχεί σε **133.925 KWatt**.

Αν τώρα θεωρήσουμε στρόβιλο διαμέτρου 6 μέτρων η μέση ισχύς που μπορεί να παράγει αντιστοιχεί σε **11.183KWatt**.

Θεωρητικά σε ένα πρώτο στάδιο θα μπορούσαν να εγκατασταθούν 4 τέτοιοι στρόβιλοι σε παραλληλία και να παράγουν συνολικά **44.7KWatt**.

Η ισχύς αυτή είναι σχετικά μικρή παρόλα αυτά αντιστοιχεί σε **391.572Mwh** ενέργειας σε ετήσια παραγωγή ενώ η δυνατότητα του στενού ανέρχεται σε **1173,183Mwh** ανά διατομή , τιμή που μπορεί να προσεγγιστεί καλύτερα από μια συστοιχία 4 στροβίλων όσο βελτιώνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και κατά επέκταση ο συντελεστής Betz τείνει στο ανώτατο όριο του 0.593.

Με μία τέτοια διάταξη θα αντλείται **33.37%** της ενέργειας που προσφέρεται σε μία διατομή αλλά μόλις ένα **4,8%**της συνολικής ισχύος που προσφέρει το στενό!

Αυτή η εγκατάσταση λοιπόν μπορεί να είναι ένα πρώτο βήμα για την εκμετάλλευση της ενέργειας του στενού, το οποίο αν λειτουργήσει με βάση τις προβλεπόμενες τιμές θα δώσει και τις αντίστοιχες μετρήσεις για μία επέκταση της εγκατάστασης με τοποθέτηση τουρμπίνων παλιρροιακής ενέργειας σε περισσότερες διατομές, οι οποίες δεν θα παράγουν την ίδια ενέργεια αλλά ελαφρά λιγότερη λόγω της πτώσης ταχύτητας που θα δημιουργείται στο ρεύμα από την αρχική εγκατάσταση.

Μία πρόβλεψη για τη μέγιστη εφικτή ενεργειακή εκμετάλλευση της ενέργειας του στενού θα μας έδινε ένα ποσοστό **25%** της συνολικής διαθέσιμης ισχύος(**230Kwatt**) δηλαδή **2014,8 Mwh** ενέργειας. Μία διόλου ευκαταφρόνητη ποσότητα που θα αντιστοιχούσε στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σχεδόν 403 νοικοκυριών!

Η συνολική ετήσια ενέργεια ανά διατομή επαρκεί για την κάλυψη των ετήσιων ενεργειακών αναγκών 234 κατοικιών αν θεωρήσουμε μια μέση κατανάλωση ανά κατοικία περίπου 5 Mwh. Αντίστοιχα η ετήσια ενέργεια της συστοιχίας θα μπορούσε να καλύψει τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες 78 κατοικιών.

Το φυσικό όριο εξαγωγής ενέργειας αντιστοιχεί στο **38%** της ροής, έτσι από τα **919.3 KW** ισχύος που είναι η συνολική ισχύς που προσφέρει η ροή κατά μήκος του καναλιού τα **349.334KW** είναι εφικτό να εξαχθούν με βάση τις φυσικές δυνατότητες του καναλιού. Οι περιορισμοί που μας εμποδίζουν να έχουμε αυτό το αποτέλεσμα είναι αρχικά οι τεχνικοί, δηλαδή οι απώλειες των τουρμπίνων και των γεννητριών αλλά δευτερεύοντος και η διαφύλαξη της ισορροπίας του οικοσυστήματος καθώς μια τόσο μεγάλη αλλαγή στην κίνηση θα δημιουργούσε μεγάλες ανισορροπίες.

Άλλη μια μέθοδος που αξίζει να επισκεφτούμε είναι η εγκατάσταση ενός δυναμικού φράγματος.

Δηλαδή η κατασκευή ενός φράγματος αρκετά μεγάλου σε μήκος(της τάξεως των km) μέσα στη θάλασσα κατά τέτοιο τρόπο **ώστε να αυξήσει τον όγκο του νερού και την ταχύτητα** που εισέρχεται στον πορθμό αυξάνοντας έτσι την ενέργεια που μπορούμε να αντλήσουμε σε πιο αξιόλογα επίπεδα.

Η τεχνολογία αυτή είναι ακόμα σε πολύ πρώιμο στάδιο αλλά είναι πολλά υποσχόμενη και σίγουρα στο μέλλον μπορεί να αποφέρει μεγάλη βελτίωση στην εκμετάλλευση της παλιρροιακής ενέργειας.

## ΕΝΟΤΗΤΑ 7

### 7.1 Οικονομική διάσταση

Η παλιρροιακή ενέργεια ενώ σε ερευνητικό επίπεδο έχει προχωρήσει σε μεγάλο βαθμό, είναι μια σχετικά καινούργια μορφή ανανεώσιμης ενέργειας στον εμπορικό τομέα. Η χρήση των υδροτουρμπίνων σε ελεύθερη ροή είναι ακόμα πιο καινούργια καθώς η χρήση φραγμάτων ήταν πιο συνήθης στο παρελθόν.

Στην περίπτωση των φραγμάτων το κόστος εγκατάστασης είναι πολύ μεγάλο και το κόστος παραγωγής κυμαίνεται από 2-20cents του ευρώ. Λόγω του ιδιαίτερα αυξημένου κόστους εγκατάστασης και της μακράς περιόδου αποπληρωμής δεν υπήρξε ιδιαίτερο επενδυτικό ενδιαφέρον για την παλιρροιακή ενέργεια.

Και το ενδιαφέρον υπήρξε μόνο σε εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης ισχύος, κλασικό παράδειγμα είναι ο σταθμός παλιρροιακής ενέργειας Rance, ο οποίος είναι ο πρώτος στον κόσμο παλιρροιακός σταθμός παραγωγής ενέργειας, αλλά και ο μεγαλύτερος σε ισχύ.

Η εγκατάσταση βρίσκεται στις εκβολές του ποταμού Rance, στη Βρετανία, Γαλλία. Άνοιξε στις 26 Νοεμβρίου 1966, σήμερα λειτουργεί από την Electricité de France, και είναι ο μεγαλύτερος παλιρροιακός σταθμός παραγωγής ενέργειας στον κόσμο, όσον αφορά την εγκατεστημένη ισχύ.

Με μέγιστη ισχύ των 240 μεγαβάτ, που παράγεται από τις 24 τουρμπίνες, προμηθεύει 0,012% της ζήτησης ισχύος της Γαλλίας. Με ένα παράγοντα χωρητικότητας περίπου 40%, αυτό παρέχει ένα μέσο όρο τα 96 μεγαβάτ, που δίνει μια ετήσια παραγωγή των περίπου 600 GWh. Το αρχικό κόστος εγκατάστασης ήταν 620 εκατομμύρια φράγκα.

Κατά επέκταση ακολούθησαν και άλλες επενδύσεις μέχρι που η τεχνολογία να γίνει επαρκής για την εγκατάσταση τουρμπίνων σε ελεύθερη ροή αποφεύγοντας το μεγάλο κόστος εγκατάστασης. Παρόλα αυτά η τεχνολογία στηρίζεται σε ταχύτητες τουλάχιστον 1m/sec και διάμετρο τουρμπίνας τουλάχιστον 16m.

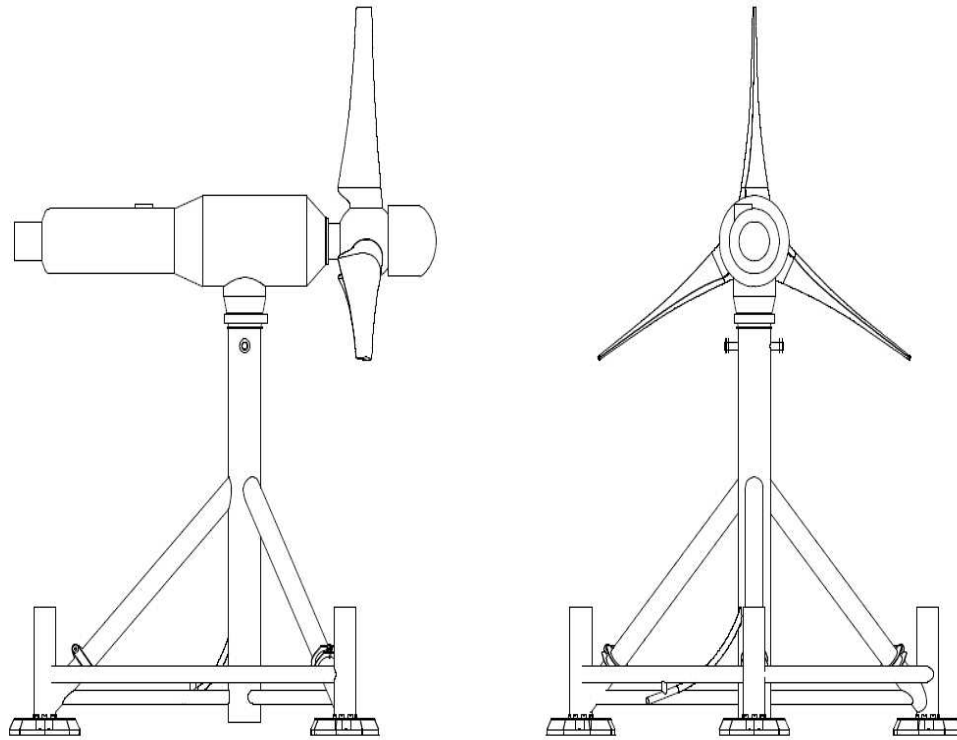
Επομένως με τα τεχνολογικά δεδομένα του σήμερα ένα σημείο όπως το στενό του Ευρίπου δεν ανήκει στην ζώνη εκμετάλλευσης που ασχολούνται οι περισσότερες κατασκευάστριες εταιρίες, πρωτίστως λόγω βάθους (8,5m) που περιορίζει τη διάμετρο του ρότορα της τουρμπίνας περιορίζοντας και την παραγωγή ενέργειας σημαντικά και δευτερευόντως λόγω ταχύτητας που είναι σε ένα οριακά βιώσιμο επίπεδο για μία επένδυση.

Αυτό σε καμία περίπτωση δεν σημαίνει ότι η συγκεκριμένη επένδυση δεν θα είναι αποδοτική, απλά ότι με τα δεδομένα του σήμερα δεν είναι εύκολο να υπολογιστεί το κατά πόσο θα συμφέρει μια τέτοια εγκατάσταση, καθώς δεν υπάρχουν μηχανές του εμπορίου που θα εξυπηρετούσαν την συγκεκριμένη περίπτωση.

Οπότε ο υπολογισμός του κόστους εγκατάστασης και των λειτουργικών εξόδων είναι πολύ δύσκολος. Παρόλα αυτά η παρακάτω υδρο-τουρμπίνα που παρουσιάζεται που είναι μοντέλο που αναπτύσσεται και αναμένεται να είναι έτοιμο προς εγκατάσταση το 2013 και μπορεί να γίνει παραγγελία σε μέγεθος ρότορα ανάλογα με την εγκατάσταση (minimum 16m) δίνει μία τάξη μεγέθους για την απόσταση που έχει μια εγκατάσταση όπως αυτή του Ευρίπου από τα σημερινά δεδομένα.

ΜΕΣΗ ΙΣΧΥΣ	1MW
ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ	2.7m/s
Cut-in ΤΑΧΥΤΗΤΑ	1.0m/s
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	3.4m/s
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΡΟΤΟΡΑ	18m
ΜΗΚΟΣ ΤΟΥΡΜΠΙΝΑΣ	21m
ΜΑΖΑ ΤΟΥΡΜΠΙΝΑΣ	140t (air)
ΜΑΖΑ ΘΕΜΕΛΙΩΝ	110t (air)
ΒΑΘΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	30-80m @ LAT*
ΥΨΟΣ ΑΠΟ ΒΥΘΟ	19m nominal

\* Lowest Astronomical Tide



**Εικόνα 14:** Παλιρροιακή τουρμπίνα( Tidal turbine)

Υπάρχουν όμως και εγκαταστάσεις της τάξεως του Ευρίπου όπως στο East River της Νέας Υόρκης όπου εγκαταστάθηκαν 6 γεννήτριες των 35 kwatt με ρότορες διαμέτρου 5 m. Το αποτέλεσμα ήταν ικανοποιητικό και στη συνέχεια θα υπάρξει επέκταση στην ισχύ του ενός μεγαβάτ.

Αυτή είναι και η λογική εγκατάσταση στον πορθμό του Ευρίπου μια συστοιχία παλιρροιακών τουρμπίνων ισχύος 12 kwatt για την παραγωγή ενέργειας βιώσιμα αλλά με μικρό οικονομικό κέρδος στο οποίο αν συνυπολογιστεί η ανάγκη για αύξηση της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές σύμφωνα με τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα αποτελούσε μια πολύ καλή κρατική επένδυση.

## ΕΝΟΤΗΤΑ 8

### 8.1 Συμπεράσματα

- Η παλιρροιακή ενέργεια είναι μία θελκτική μορφή ανανεώσιμης ενέργειας λόγω της κανονικότητας που παρουσιάζει καθώς είναι ένα παλινδρομικό - περιοδικό φαινόμενο.
- Η τεχνολογία σχετικά με την τοποθέτηση τουρμπίνων σε ελεύθερη ροή ύδατος είναι σε πρώιμο στάδιο ακόμη και στο μέλλον θα είναι σε θέση να δώσει περισσότερες πληροφορίες για μια εγκατάσταση στον Εύριπο
- Η ενέργεια που μπορεί να εξαχθεί από το στενό είναι αρκετά σημαντική ακόμα και με τους σημερινούς περιορισμούς πόσο μάλλον αν επέλθει μια ενδεχόμενη βελτίωση του μηχανικού μέρους.
- Μία πρώτη κίνηση είναι η εγκατάσταση μίας συστοιχίας 4 παλιρροιακών τουρμπίνων διαμέτρου 6 μέτρων για την παραγωγή μέσης ισχύος 44,7 Kwatt και αφού επαληθευθεί και στην πράξη αυτή η παραγωγή εν συνέχεια μπορεί να επεκταθεί η εγκατάσταση με προσθήκη περισσότερων τουρμπίνων για αύξηση της παραγωγής.
- Πέραν του ενεργειακού κομματιού πρέπει να υπάρξει και αντίστοιχη αντιμετώπιση από τους φορείς της περιοχής για την προστασία της εγκατάστασης καθώς η περιοχή της παλαιάς γέφυρας είναι ένας πολυσύχναστος χώρος, και μία τέτοια εγκατάσταση θα ήταν απαγορευτική για την κίνηση πλεούμενων στο χώρο
- Στο οικονομικό κομμάτι δυστυχώς δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες για μία εγκατάσταση όπως ο Εύριπος. Όμως δεδομένης της ισχύος της εγκατάστασης και το μικρό μέγεθος των τουρμπίνων που χρειάζονται καθώς και την σχετική εγγύτητα στην ξηρά Το αρχικό κόστος της εγκατάστασης( κόστος τουρμπίνων, γεννητριών, υποθαλάσσιου καλωδίου, κ .α) θα είναι σχετικά χαμηλό. Επίσης το κόστος παραγωγής της KWH όπως αναφέρθηκε πριν είναι φθηνό στις παλιρροιακές εγκαταστάσεις και κατά επέκταση η εγκατάσταση θα

είναι βιώσιμη λογικά αλλά χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα.



## ΕΝΟΤΗΤΑ 9

### 9.1 Προτάσεις

- ❖ Θα βοηθούσε σε μεγάλο βαθμό την περαιτέρω μελέτη εγκατάστασης τουρμπίνας παλιρροιακής ενέργειας στον Εύριπο η ύπαρξη μετρήσεων στο σημείο ενδιαφέροντος. Επομένως πρέπει να πραγματοποιηθούν μετρήσεις στα σημεία ενδιαφέροντος (στενώσεις) των δύο πλευρών του Πορθμού.
- ❖ Οι μετρήσεις αυτές θα πρέπει να έχουν ελάχιστη διάρκεια ενός έτους προκειμένου να θεωρούνται αξιόπιστες όσον αφορά στην αλλαγή των εποχών, την μεταβλητότητα του ανέμου, και την σχετική κίνηση του συστήματος ήλιος-σελήνη-γη, που είναι σημαντικοί παράγοντες για την ένταση του ρεύματος και την εύρεση της πρακτικής περιόδου του φαινομένου.
- ❖ Θα πρέπει, με δεδομένο ότι η εκμετάλλευση του δυναμικού των φυσικών φαινομένων, είναι σε αρχικό στάδιο εφαρμογής και επιστημονικής εκτιμήσεως και δοκιμάζονται ιδέες, θεωρίες και συστήματα για τη βελτίωση της απόδοσης τους, να δοκιμαστούν άλλα είδη μηχανικών εφαρμογών και πειραματικές διατάξεις που να έχουν καλύτερη εφαρμογή σε εξειδικευμένα σημεία του γεωφυσικού περιβάλλοντος.
- ❖ Θα πρέπει να δοκιμαστούν πειραματικά ιδέες για, όχι απλώς την πλήρη εκμετάλλευση του ενεργειακού δυναμικού στον Πορθμό, αλλά και για την τεχνητή αύξηση του.(π.χ. χρήση της δυναμικής παλιρροιακής δύναμης με κατασκευή επιμήκους φράγματος στην είσοδο του Ευβοϊκού κόλπου ή κατασκευή συγκλίνοντος υπογείου φράγματος εκατέρωθεν του Πορθμού για την δημιουργία και εκμετάλλευση του φαινομένου της στένωσης που χρησιμοποιείται και στους αγωγούς τύπου Venturi.)
- ❖ Γενικότερα πιστεύω ότι η επιστημονική κοινότητα της Ελλάδος, λόγω της πληθώρας φυσικών ενεργειακών πόρων που διαθέτει η χώρα, θα πρέπει να ασχοληθεί πιο ενεργά με την επιστημονική διερεύνηση όλων των δυνατοτήτων και την εκμετάλλευσή τους.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. **Cartwright, D.E.** *Tides A Scientific History*. Cambridge : Cambridge University Press, 1999.
  
2. **Ιωάννης Ψαράς, Κωνσταντίνος Μέμος.** *Η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών στην ενεργειακή αξιοποίηση της παλίρροιας των στενών του Ευρίπου.*
  
3. **Οδηγία 2001/77/ΕΚ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Σεπτεμβρίου 2001 για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ενέργειας. **Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων** . 2001.
  
4. **Wikipedia.** *Παλίρροια.*
  
5. **Αντωνίου, δρ.Αστροφυσικής Αντώνιος.** *Οι παλίρροιες και το φαινόμενο του πορθμού του Ευρίπου.*
  
6. **ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.** *Διερεύνηση του θαλάσσιου ρεύματος στην περιοχή του πορθμού του Ευρίπου με στόχο την ενεργειακή του εκμετάλευση* . 2010.
  
7. **Joel F. Atwater, Gregory A. Lawrence.** *Energy Policy*. Elsevier. 2010.