

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
**ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑ ΚΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ
ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ**

ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΠΟΛΙΤΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΛΥΚΟΥΡΓΙΩΤΗΣ ΣΩΤΗΡΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	σελ.4
ABSTRACT.....	σελ.5
1. ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΛΙΡΡΟΙΕΣ.....	σελ.6
1.1 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ.....	σελ.6
1.2 ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΠΑΛΙΡΡΟΙΕΣ.....	σελ.10
1.1.2 Ορισμοί.....	σελ.10
1.2.2 Γενεσιουργές δυνάμεις παλιρροιών.....	σελ.12
1.2.3 Ανάλυση παλιρροιών.....	σελ.15
1.2.4 Μετρήσεις παλιρροιών.....	σελ.16
1.2.5 Θαλάσσια κύματα οφειλόμενα σε σεισμικές δυνάμεις (tsunamis).....	σελ.17
2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	σελ.19
2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ – ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ.....	σελ.19
2.1.1 Προγράμματα πρόγνωσης παλίρροιας.....	σελ.26
2.2 Οργάνωση της έρευνας πεδίου με τη χρήση των οργάνων	σελ.26
3.ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ.....	σελ.27
3.1 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ.....	σελ.27
3.1.1 Γενικά.....	σελ.27
3.2 ΠΑΛΙΡΡΟΙΑ.....	σελ.27
3.2.1 Γενικά.....	σελ.27
3.2.2 Τύποι παλιρροιών.....	σελ.28
3.2.3.Παλίρροιας σε κόλπους και λιμάνια.....	σελ.30
3.2.4. Επίδραση της άμπωτης στους θαλάσσιους οργανισμούς.....	σελ.31
3.3 ΑΝΕΜΟΓΕΝΗΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΣ.....	σελ.32
3.3.1. Δράση των κυματισμών.....	σελ.34
3.3.2. Είσοδος στο λιμένα.....	σελ.35
3.3.3. Επίδραση του κυματισμού στους οργανισμούς.....	σελ.35
4.ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ SST.....	σελ.37
4.1 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ - ΥΨΟΜΕΤΡΗΤΕΣ (altimeter).....	σελ.37
4.2 ΟΡΓΑΝΑ ΣΕ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ.....	σελ.37
4.2.1 Υψομετρητής πίεσης.....	σελ.37

4.2.2 Ραντάρ υψομετρικών διακυμάνσεων.....σελ.38	σελ.38
4.2.3 Laser profiler.....σελ.38	σελ.38
4.3 GPS.....σελ.39	σελ.39
4.3.1 Τα μέρη του συστήματος GPS.....σελ.41	σελ.41
4.3.2 Σφάλματα του συστήματος GPS.....σελ.42	σελ.42
4.3.3 Μέθοδοι μετρήσεων με GPS.....σελ.43	σελ.43
4.4 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ.....σελ.44	σελ.44
4.4.1 Εισαγωγή.....σελ.44	σελ.44
4.4.2 TOPEX/Poseidon.....σελ.45	σελ.45
4.4.2.1 Περιγραφή του συστήματος.....σελ.46	σελ.46
4.4.3 JASON-1.....σελ.49	σελ.49
4.5 Η ΜΕΘΟΔΟΣ GPS – on boat.....σελ.52	σελ.52
5. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....σελ.54	σελ.54
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....σελ.54	σελ.54
5.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....σελ.55	σελ.55
5.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....σελ.57	σελ.57
5.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....σελ.59	σελ.59
5.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ.....σελ.60	σελ.60
5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....σελ.62	σελ.62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ.63	σελ.63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....σελ.64	σελ.64

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια έχουν δημοσιευτεί πολυάριθμες εργασίες πάνω στην επίδραση των μετεωρολογικών παραγόντων προκειμένου να προσδιοριστεί ο κίνδυνος της πλημμύρας των χαμηλού υψομέτρου παραλιακών περιοχών (McKenzie, K., Parlee, K. 2003). Όμως, η πλειοψηφία αυτών των μελετών περιορίστηκε κυρίως στις περιοχές με υψηλό εύρος στην αστρονομική παλίρροια και έτσι τα χαρακτηριστικά και η σημασία των μετεωρολογικών παραγόντων στις περιοχές χαμηλής παλίρροιας παραμένουν σχεδόν άγνωστα. Σε αυτήν την μελέτη προσπαθούμε να ρίξουμε κάποιο φως στο πρόβλημα της μετεωρολογικής παλίρροιας στο Αιγαίο, μιας κλειστής θάλασσας που παρουσιάζει παλίρροια χαμηλού εύρους. Σε αυτήν την περιοχή οι κίνδυνοι της πλημμύρας δεν μας είναι επαρκώς γνωστοί, αλλά σίγουρα είναι υψηλοί. Ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας ήταν να βρεθεί η σχέση μεταξύ της μετεωρολογικής ταλάντωσης και της αστρονομικής παλίρροιας, οι ανώτερες τιμές αυτής της σχέσης υπολογίστηκε γύρω στο 40 ενώ ο λόγος των μέσων τιμών εύρους μεταξύ της μετεωρολογικής και αστρονομικής ταλάντωσης κοντά στο 8. Αποτελέσματα που επιβεβαίωσαν την αρχική μας υπόθεση για τον υψηλό κίνδυνο εμφάνισης ακραίων κυμάτων (surges) στην περιοχή.

ABSTRACT

In the last years numerous studies have been confined to the surges, especially in order to identify the possibility of flooding of low-lying coastal areas (McKenzie, K., Parlee, K. 2003); still, the striking majority of these studies were mainly confined to areas with high amplitude in the astronomical tide; hence the characteristics and the significance of surges in low-tide areas remain practically unknown. In this study we try to shed some light to the problem of surges in the Aegean, a closed sea with low-amplitude tide. In this area the hazards of flooding are poorly known, but definitely high. The main aim of this work was to find the relationship between the meteorological oscillation and the astronomic tide. The division of the amplitude mean values between the meteorological and astronomic oscillation is near 8 and the max values is near 40, that is means that the risk of very big and very small tides is quite big.

1. ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΛΙΡΡΟΙΕΣ

1.1 Θαλάσσια ρεύματα

Τα θαλάσσια ρεύματα είναι μετακινήσεις υδάτινων μαζών. Τα ρεύματα υπάρχουν σ' όλα τα μήκη και πλάτη του πλανήτη στο θαλάσσιο νερό και κινούνται είτε με πολύ μικρή ταχύτητα, είτε με μία ταχύτητα που μερικές φορές φτάνει και ξεπερνάει τα 6km/h. Τα θαλάσσια ρεύματα έχουν σημαντική επίδραση στις κλιματολογικές συνθήκες και το περιβάλλον.

Οι κύριες αιτίες δημιουργίας των επιφανειακών θαλάσσιων ρευμάτων είναι η ανομοιόμορφη θερμοκρασία του νερού και οι άνεμοι. Είναι γνωστό ότι τα νερά σε μικρά πλάτη χαρακτηρίζονται από υψηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με τα νερά σε βόρεια πλάτη. Έτσι, όταν ο ήλιος θερμαίνει τα νερά στον Ισημερινό, αυτά αραιώνουν και αρχίζουν να κατευθύνονται προς τους πόλους (thermohaline flow). Κινούμενα προς τους πόλους τα νερά, χάνουν την υψηλή τους θερμοκρασία, βυθίζονται και αρχίζουν να επιστρέφουν πάλι προς την αρχική τους θέση. Αυτή η διαδικασία κίνησης συνεχίζεται χωρίς τέλος. Η επίδραση τώρα των ανέμων στο θαλάσσιο νερό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία δακτυλιοειδών κινήσεων (gyres). Τα gyres στον ισημερινό έχουν αριστερόστροφη κίνηση, στο πλάτος των 300 δεξιόστροφη και στο πλάτος των 60⁰ πάλι αριστερόστροφη. Οι κινήσεις αυτές προκύπτουν από ένα απλό θεωρητικό μοντέλο και σκόπιμο είναι το μοντέλο αυτό να συγκριθεί με την πραγματικότητα. Γενικώς το θεωρητικό αυτό μοντέλο συμφωνεί με τις κινήσεις ωκεάνιων υδάτων. Οι όποιες ασυμφωνίες πρέπει να αναζητηθούν στα υποθαλάσσια ρεύματα (subsurface currents).

Τα επιφανειακά ρεύματα χαρακτηρίζονται και ως "παρασυρόμενα" ρεύματα (drift currents). Τα ρεύματα κάτω από ένα βάθος, όπου το γενεσιουργό αίτιο δεν είναι ο άνεμος αλλά η κατανομή της πυκνότητας του νερού, που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την αλατότητα, λέγονται γεωστροφικά. Άλλα ρεύματα, που οφείλονται στις διάφορες πυκνότητες του θαλάσσιου νερού, προκαλούν κατακόρυφες μετακινήσεις υδάτινων μαζών.

Λόγω της περιστροφής της γης γύρω από τον άξονά της παρατηρείται μία απόκλιση των ανέμων και των ρευμάτων λόγω της δύναμης Coriolis. Η δύναμη αυτή ενεργεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρασύρει τα ρεύματα προς τα δεξιά από την αρχική τους διαδρομή στο βόρειο ημισφαίριο και προς τα αριστερά στο νότιο. Η μελέτη των θαλάσσιων ρευμάτων προσφέρει γνώσεις και για άλλους τομείς ζωτικής σημασίας, όπως ο υπολογισμός της κίνησης των θαλάσσιων κηλίδων, η εκτίμηση της κίνησης του πλαγκτού κ.λπ.

Μετά τα γενικά στοιχεία που δόθηκαν για τα θαλάσσια ρεύματα και αφορούν κύρια ανοιχτές θάλασσες και ωκεανούς, θα επικεντρωθεί το ενδιαφέρον μας στη *μέτρηση ρευμάτων (ρευματομετρήσεις)*, που αφορούν κατά κύριο λόγο τις υδρογραφικές αποτυπώσεις.

Ο διεθνής Υδρογραφικός Οργανισμός προβλέπει κατά τη διάρκεια υδρογραφικών εργασιών ρευματομετρήσεις στις εισόδους λιμένων και διαύλων, σε σημεία αλλαγής της διεύθυνσης των διαύλων και σε αγκυροβόλια, όταν η ταχύτητα των ρευμάτων είναι μεγαλύτερη από 0.2 ν.μ. Ρευματομετρήσεις

προβλέπονται επίσης σε παράκτιες ή μη περιοχές, όταν η ένταση των ρευμάτων επηρεάζει τη ναυσιπλοΐα.

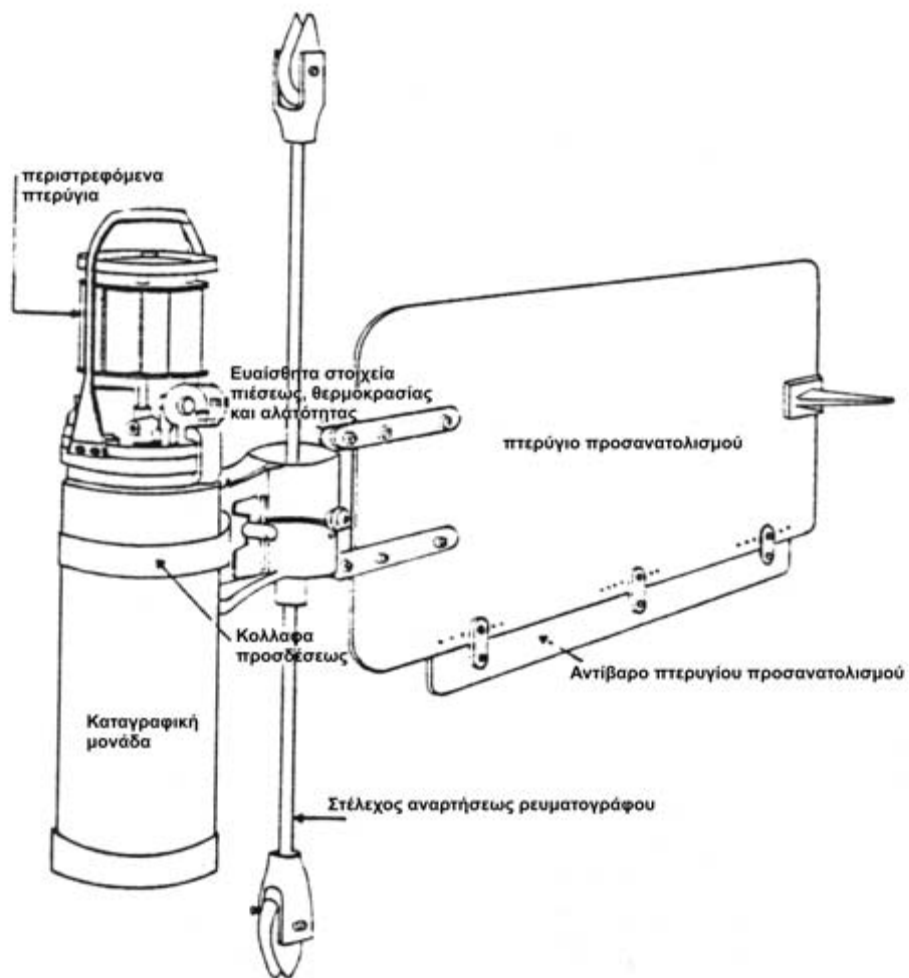
Η μέτρηση των ρευμάτων πρέπει να γίνεται σε βάθη 5 - 10m. Όταν το εύρος της παλίρροιας σε μία περιοχή είναι σημαντικό, πρέπει να γίνονται μετρήσεις κατά τις περιόδους της παλίρροιας συζυγίων και τετραγωνισμών και για περίοδο 26 ωρών τουλάχιστον. Η ένταση και η διεύθυνση των ρευμάτων πρέπει να προσδιορίζονται με ακρίβεια 0.1 ν.μ. και 1° αντίστοιχα.

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τις ρευματομετρήσεις είναι ο ρευματογραφικός κοντός, ο ρευματογράφος και το ρευματόμετρο. Ο ρευματογραφικός κοντός είναι μία κυλινδρική ράβδος μήκους λίγων μέτρων, που στο ένα άκρο της έχει κατάλληλο βάρος, έτσι ώστε όταν βυθίζεται στη θάλασσα να διατηρείται κατακόρυφη. Συνήθως βυθίζεται κατά τα 3/4 στο θαλάσσιο νερό και κατά το 1/4 παραμένει έξω. Κατά τη διάρκεια των ρευματομετρήσεων ο ρευματογραφικός κοντός τοποθετείται σε κάποια συγκεκριμένη θέση, η οποία προσδιορίζεται με κάποια από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν σε προηγούμενες ενότητες. Στη συνέχεια ο ρευματογραφικός κοντός μετατοπίζεται σε κάποιο άλλο σημείο στο θαλάσσιο νερό, αρκετά μακριά από το πρώτο και προσδιορίζεται εκ νέου με ακρίβεια η θέση του. Με τη γνώση των θέσεων του ρευματογραφικού κοντού στους αντίστοιχους χρόνους προσδιορίζεται η ένταση και η διεύθυνση του ρεύματος. Το συνολικό ρεύμα υπολογίζεται μέχρι το κατώτερο βάθος του κοντού. Σήμερα μετρήσεις ρευμάτων με ρευματογραφικό κοντό δεν πραγματοποιούνται πλέον, αφού οι αντίστοιχες μετρήσεις με σύγχρονους ρευματογράφους είναι ακριβέστερες και κατά πολύ ταχύτερες.

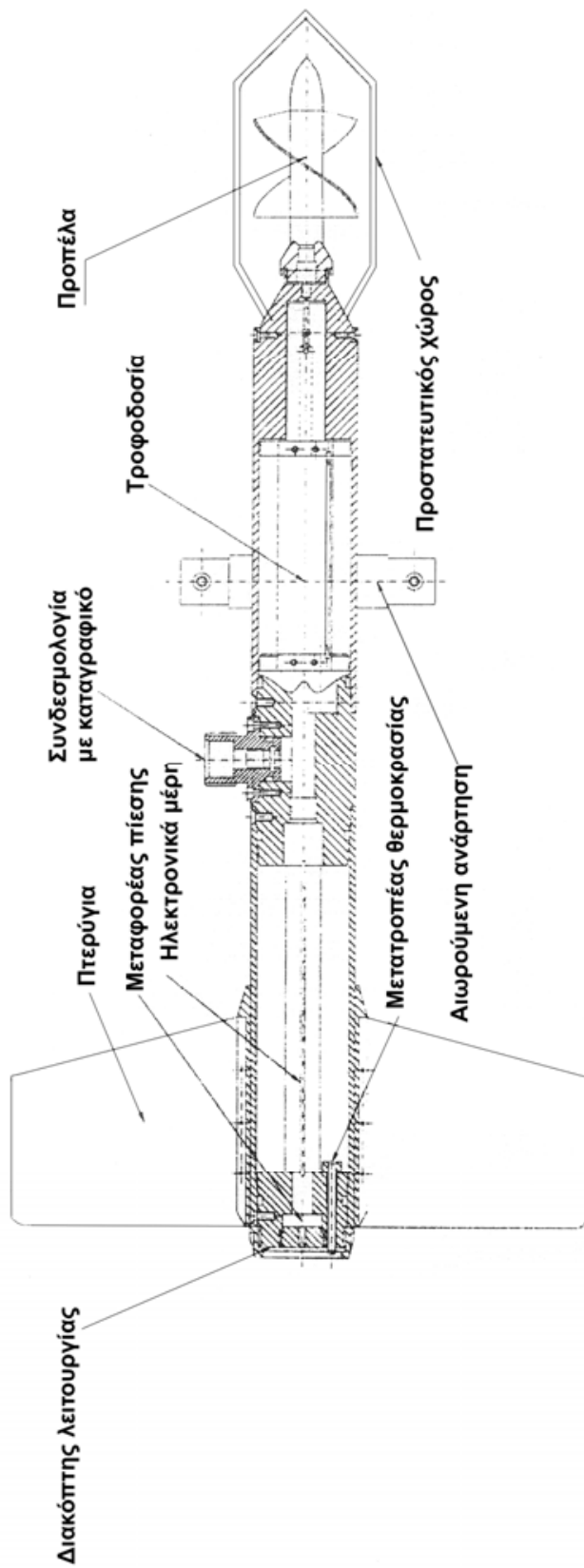
Οι ρευματογράφοι και τα ρευματόμετρα είναι όργανα που διαθέτουν ένα περιστρεφόμενο σύστημα πτερυγίων. Το σύστημα αυτό με την επίδραση του ρεύματος κινείται ανάλογα με την έντασή του. Διαθέτουν επίσης και ένα κατακόρυφο ενδείκτη προσανατολισμού, ώστε να διατηρούνται προσανατολισμένοι στη διεύθυνση του ρεύματος, η οποία προσδιορίζεται με πυξίδα. Τα ρευματόμετρα δεν έχουν την ικανότητα καταγραφής των μετρήσεων. Κατά τη διάρκεια όμως των μετρήσεων, τα μετρούμενα στοιχεία του ρεύματος κάθε χρονική στιγμή εμφανίζονται σ' έναν ενδείκτη επάνω στο υδρογραφικό σκάφος, που είναι συνδεδεμένος με το όργανο (ρευματόμετρο).

Οι ρευματογράφοι ποντίζονται σε συγκεκριμένα σημεία με τη βοήθεια πλωτήρων. Τα σημεία αυτά επισημαίνονται με επιφανειακούς σημαντήρες. Παραμένουν αρκετό χρόνο στο νερό και γίνονται μετρήσεις, ανά τακτά χρονικά διαστήματα (συνήθως 1min), της έντασης και της διεύθυνσης του ρεύματος που καταγράφονται κατάλληλα από το όργανο. Οι ρευματογράφοι έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν εκτός από τα παραπάνω στοιχεία και τη θερμοκρασία, την αλατότητα και την πίεση του θαλάσσιου νερού. Η διάρκεια των μετρήσεων αυτών μπορεί να φθάσει και τους δύο μήνες. Στις σύγχρονες υδρογραφικές- ωκεανογραφικές εργασίες ποντίζονται αρκετοί ρευματογράφοι σε διάφορα βάθη.

Στο σχήμα 1.1.α δίνεται η διάταξη ενός ρευματογράφου και στο σχήμα 1.1β ένας ρευματογράφος αυτόματης καταγραφής.



Σχ. 1.1α Ρευματογράφος (Παλληκάρης 1986)



Σχ. 1.1β Ρευματογράφος Valeport – Model 105

1.2 Θαλάσσιες παλίρροιες

Το περιοδικό φαινόμενο, κατά το οποίο εκδηλώνεται μία ταλάντωση μεγάλου ή μικρού εύρους των ωκεάνιων ή θαλάσσιων υδάτων με μορφή κύματος, ονομάζεται παλίρροια.

Οι παλίρροιες είναι ένα από τα πλέον χαρακτηριστικά φαινόμενα των θαλάσσιων μαζών. Η παρουσία τους είναι εμφανής στις παράκτιες περιοχές λόγω της περιοδικής κατακόρυφης κίνησης της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας. Τα παλιρροϊκά ρεύματα, που συνοδεύουν την άνοδο και την κάθοδο της θαλάσσιας επιφάνειας, αποτελούν τα πιο ισχυρά ρεύματα κοντά στις ακτές. Η επιφάνεια της θάλασσας ανέρχεται και κατέρχεται δύο φορές σε 24 ώρες και 50 πρώτα λεπτά, δηλαδή σε χρόνο ίσο μ' αυτόν που απαιτείται για δύο διαδοχικές διαβάσεις της σελήνης από τον ίδιο μεσημβρινό. Μία ανύψωση της θάλασσας και η ακολουθούσα κάθοδος διαρκούν 12 ώρες και 25 πρώτα λεπτά, ενώ μία ανύψωση διαρκεί 6 ώρες 12 πρώτα λεπτά και 30 δεύτερα. Η ανύψωση της θάλασσας ονομάζεται πλημμυρίδα, η κάθοδος άμπωτις. Καθημερινά πλημμυρίδα και άμπωτις καθυστερούν κατά 50 πρώτα λεπτά λόγω της μετακίνησης της σελήνης ως προς τον τοπικό μεσημβρινό.

Οι παλίρροιες σε κλειστές θάλασσες ή θαλάσσιες λεκάνες (π.χ. Μεσόγειος θάλασσα) παρουσιάζουν μικρές σχετικά τιμές (οι μέγιστες τιμές είναι της τάξης του 1m). Σε άλλες περιοχές της γης οι παλίρροιες εμφανίζουν σημαντικά υψηλές τιμές, μέχρι και αρκετά μέτρα ακόμη (π.χ. 15m στα δυτικά παράλια του Καναδά). Σε μία πρώτη προσέγγιση, η μέτρηση των παλιρροιών γίνεται με τη βοήθεια μιας βαθμολογημένης σταδίας, που τοποθετείται σε κάποια σταθερή θέση στη θάλασσα. Σε τακτά χρονικά διαστήματα, συνήθως μιας ώρας, καταγράφεται το στιγμιαίο ύψος της θαλάσσιας επιφάνειας. Η παλιρροϊκή καμπύλη κατασκευάζεται με την τοποθέτηση των υψών της θάλασσας σε σχέση με το χρόνο.

Στη συνέχεια δίνεται μία σειρά ορισμών για έννοιες συνδεδεμένες με τις παλίρροιες, που παρουσιάζουν ταυτόχρονα ενδιαφέρον στις υδρογραφικές εργασίες. Μία σχηματική απεικόνιση των εννοιών αυτών δίνεται στο σχήμα 1.2.

1.2.1 Ορισμοί (Δουκάκης 1987)

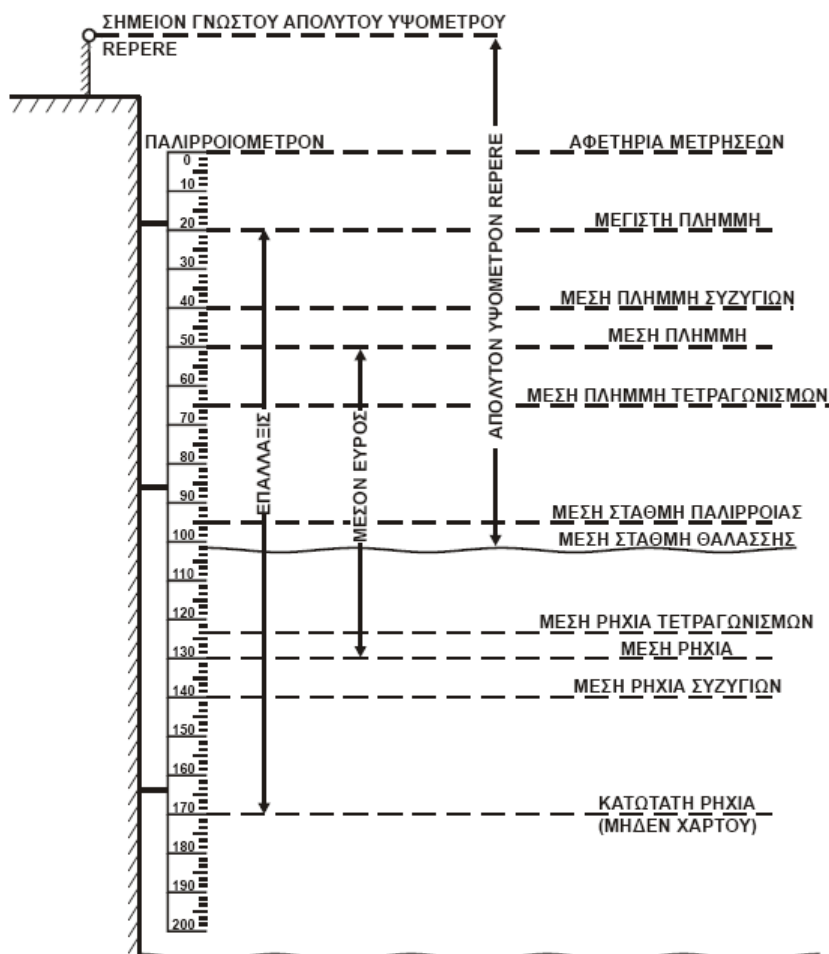
- **Παλίρροια** είναι το περιοδικό φαινόμενο της κατακόρυφης κίνησης της θάλασσας, που οφείλεται κυρίως στην επίδραση περιοδικών δυνάμεων. Οι κυριότερες απ'αυτές είναι οι ελκτικές δυνάμεις που προέρχονται από τον ήλιο και τη σελήνη. Εκτός όμως απ'αυτές υπάρχουν και τοπικά περιοδικά και μη φαινόμενα, όπως τα μετεωρολογικά, που προκαλούν τυχαίες ή συστηματικές μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης.

- **Πλημμυρίδα** είναι η φάση της παλίρροιας, κατά την οποία η επιφάνεια της θάλασσας ανέρχεται μέχρι να φτάσει στο μεγαλύτερο ύψος της.

- **Πλήμμη** είναι η φάση κατά την οποία η θάλασσα στάθμη φτάνει στο μεγαλύτερο ύψος της.

- **Μέση πλήμμη** είναι η μέση τιμή των πλημμών που παρατηρήθηκαν στο χρονικό διάστημα των παρατηρήσεων. Η πραγματική μέση πλήμμη δίνεται για μετρήσεις 18.6 ετών.
- **Μέγιστη πλήμμη** είναι η μέγιστη πλήμμη που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Για να έχουμε σωστή εικόνα θα πρέπει να έχουμε συνεχείς μετρήσεις 18.6 ετών.
- **Παλίρροιες συζυγιών** είναι οι παλίρροιες που παρατηρούνται κατά την εποχή των συζυγιών. Οι συζυγίες συμπίπτουν χρονικά με την περίοδο της πανσελήνου ή την περίοδο της νέας σελήνης, όταν δηλαδή η γη βρίσκεται σε "ευθεία" με τον ήλιο και τη σελήνη.
- **Παλίρροιες τετραγωνισμών** είναι οι παλίρροιες που παρατηρούνται κατά την εποχή των τετραγωνισμών. Οι τετραγωνισμοί συμπίπτουν χρονικά με την περίοδο του πρώτου και του τελευταίου τετάρτου της σελήνης, δηλαδή, όταν τα αστρικά σώματα ήλιος-γη-σελήνη σχηματίζουν γωνία 90°.
- **Άμπωτις** είναι η φάση της παλίρροιας κατά την οποία η επιφάνεια της θάλασσας κατεβαίνει μέχρι να φτάσει στο ελάχιστο ύψος της.
- **Ρηχία** είναι η φάση της παλίρροιας κατά την οποία η επιφάνεια της θάλασσας φτάνει στο ελάχιστο ύψος της.
- **Μέση ρηχία** είναι η μέση τιμή των ρηχιών που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων.
- **Κατώτατη ρηχία** είναι η ελάχιστη ρηχία που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.
- **Στάθμη της θάλασσας** είναι το επίπεδο που εφάπτεται σ' αυτήν στο σημείο παρατήρησης, αφού έχει αφαιρεθεί ο κυματισμός.
- **Μέση στάθμη θάλασσας** είναι η μέση τιμή του ύψους της επιφάνειας που παρατηρήθηκε για την περίοδο των μετρήσεων. Για τον προσδιορισμό της μέσης στάθμης χρειάζονται μακροχρόνιες μετρήσεις (18.6 χρόνων). Πρέπει να σημειώσουμε ότι η μέση στάθμη της θάλασσας υπόκειται και αυτή σε μία μικρή εποχιακή μεταβολή.
- **Μέση στάθμη παλίρροιας** είναι το μεσοπαράλληλο επίπεδο μεταξύ μέσης πλήμμης και μέσης ρηχίας.
- **Επάλλαξη** είναι η διαφορά των τιμών της κατώτατης ρηχίας και της μέγιστης πλήμμης που παρατηρήθηκαν στη διάρκεια των μετρήσεων.
- **Εύρος παλίρροιας** είναι η διαφορά που προκύπτει από τη σύγκριση μιας πλήμμης με την επόμενη ρηχία ή και αντίστροφα.
- **Μέγιστο εύρος παλίρροιας** είναι η μέγιστη τιμή εύρους παλίρροιας που παρατηρήθηκε στην περίοδο των μετρήσεων.

- **Μέσο εύρος παλίρροιας** είναι η μέγιστη τιμή εύρους παλίρροιας που παρατηρήθηκε στην περίοδο των μετρήσεων.
- **Μέσο εύρος παλίρροιας** είναι η διαφορά μεταξύ μέσης πλήμμης και μέσης ρηχίας.
- **Ελάχιστο εύρος παλίρροιας** είναι η ελάχιστη τιμή εύρους για την περίοδο των παρατηρήσεων.
- **Ύψος παλίρροιας** είναι το ύψος της θαλάσσιας επιφάνειας από τη μέση στάθμη της θάλασσας.
- **Σεληνοπαλιρροϊκό διάστημα** είναι ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της μεσουράνησης της σελήνης στο σημείο παρατήρησης και της πλήμμης που ακολουθεί.



Σχ. 1.2 Διάγραμμα παλιρροϊκών ενδείξεων

1.2.2 Γενεσιουργές δυνάμεις παλιρροιών

Η γη λόγω των ελαστικών ιδιοτήτων που παρουσιάζει, μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα ελαστικό σώμα. Το ελαστικό αυτό σώμα υφίσταται παραμορφώσεις λόγω των παλιρροιών τόσο του στερεού φλοιού της γης όσο και

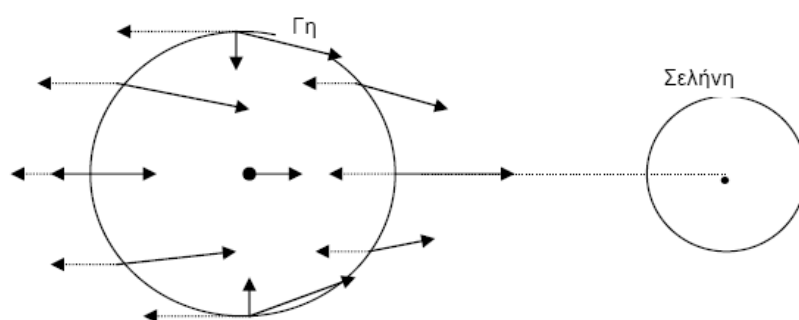
των θαλασσών. Οι παλίρροιες είναι αποτέλεσμα των δυνάμεων που ασκούνται στη γη από τη σελήνη και τον ήλιο κατά κύριο λόγο και διάφορα άλλα αστρικά σώματα.

Οι παραμορφώσεις του γήινου σώματος, που μπορεί να παρομοιαστούν με συμπίεσεις, ισοδυναμούν με κινήσεις κάποιων μαζών, οι οποίες προκαλούν ένα δυναμικό, το *παλιρροϊκό δυναμικό (tidal potential)*.

Αν θέλουμε να απομονώσουμε τις παλίρροιες των θαλασσών από τις παλίρροιες του στερεού φλοιού της γης, θα αναφερθούμε πάλι στις ίδιες γενεσιουργές δυνάμεις, δηλαδή τις επιδράσεις σελήνης και ήλιου επάνω στα επιφανειακά ύδατα της γης, που με τη σειρά τους πιέζουν τις στερεές ελαστικές μάζες. Η διαφορά είναι ότι οι παλίρροιες των θαλάσσιων υδάτων είναι ένα πιο σύνθετο φαινόμενο, επειδή επηρεάζονται και από μετεωρολογικά φαινόμενα (άνεμοι) και από την πίεση των θαλάσσιων μαζών, που δημιουργούν άλλα επιφανειακά ρεύματα.

Αν θεωρήσουμε ιδανικές συνθήκες, δηλαδή τη γη μία συμπαγή σφαίρα, τη σελήνη να βρίσκεται πάντοτε στο ισημερινό επίπεδο, τότε στη μάζα της γης, εκτός από την έλξη της σελήνης επιδρά και μία άλλη δύναμη, που επενεργεί σε κάθε σημείο της γήινης μάζας και είναι η φυγόκεντρη δύναμη, που αναπτύσσεται λόγω περιστροφής του συστήματος γης-σελήνης γύρω από ένα κοινό κέντρο. Η συνιστώσα φυγόκεντρων και ελκτικών δυνάμεων σε κάθε σημείο της γης προκαλεί κινήσεις μαζών και επομένως τη δημιουργία ενός θεωρητικού παλιρροϊκού δυναμικού. Αντίστοιχα προκύπτει το θεωρητικό δυναμικό του ήλιου λόγω κίνησης του συστήματος γης-σελήνης γύρω απ'αυτόν.

Το θεωρητικό δυναμικό σελήνης και ήλιου αναπτύσσεται ως ένα άθροισμα αρμονικών ταλαντώσεων (*μερικές παλίρροιες ή κύματα*), οι οποίες προσδιορίζονται από τις συχνότητές τους f , τα εύρη τους (μεγέθη) δ και τις φάσεις φ . Πολύ συχνά στις εφαρμογές χρησιμοποιείται μία ανάπτυξη που περιλαμβάνει 505 κύματα (Cartwright and Tayler 1971, Cartwright and Edden 1973). Τα περισσότερα ενδιαφέροντα από τα κύματα αυτά είναι τα ημι-ημερήσια M2 (σελήνη), S2 (ήλιος), N2 (εκκεντρότητα της σεληνιακής τροχιάς) και ημερήσια κύματα O1 (σελήνη), P1 (ήλιος), K1 (σεληνοηλιακή απόκλιση).



Σχ.1.3 Γενεσιουργός δύναμη των παλιρροιών

Είναι προφανές ότι οι δυνάμεις των αστρικών σωμάτων, που επιδρούν στις θαλάσσιες μάζες και τις αναγκάζουν να ταλαντώνονται, περιστρέφονται γύρω από τη γη με την ίδια γωνιακή ταχύτητα του γενεσιουργού αιτίου (σελήνη-ήλιος). Λόγω όμως αδράνειας, τριβών και άλλων αιτίων παρατηρείται μία σταθερή υστέρηση της εξέλιξης του φαινομένου της παλίρροιας, που είναι χαρακτηριστική

για κάθε τόπο και λέγεται φάση φ. Όταν λοιπόν η φάση μιας συνιστώσας της παλιρροϊκής δύναμης κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (χρόνος GMT) έχει μία ορισμένη τιμή, η αντίστοιχη παλιρροϊκή συνιστώσα του τόπου σε τοπικό χρόνο έχει μία τιμή μικρότερη της προηγούμενης κατά φ. Έτσι προσπαθούμε να προσδιορίσουμε για κάθε παλιρροϊκή συνιστώσα τη φάση φ (ή υστέρηση φάσης) που παρατηρείται στο συγκεκριμένο τόπο. Εκτός όμως από τη φάση, είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε και τη συνεισφορά της συγκεκριμένης συνιστώσας στην παρατηρούμενη παλίρροια, δηλαδή το μέγεθός της δ, που ονομάζεται πολλές φορές και απόλυτο πλάτος. Η φάση φ εκφράζεται σε μοίρες ανά ώρα και το μέγεθος δ σε εκατοστά.

Στον πίνακα 1.1 περιέχονται οι σημαντικότερες θεωρητικές παλιρροϊκές συνιστώσες με τη φάση τους φ, το σχετικό* μέγεθός τους δ και τον αριθμό κυμάτων για ορισμένες απ' αυτές. Τα μεγέθη όλων των συνιστωσών είναι ανηγμένα στο μέγεθος μιας συνιστώσας αναφοράς.

Οι σημαντικότερες παλιρροϊκές συνιστώσες				
Όνομασία	Αριθμός κυμάτων	Περιγραφή	Φάση φ [°]	Μέγεθος δ (σχετικό)
Ημι-ημερήσιες συνιστώσες – Ομάδα 1				
K1 O1	242-274	Σεληνιακή απόκλιση	15°.04	0.58
	194-219		13°.94	0.42
K1 P1		Ηλιακή απόκλιση	14°.96	0.20
O1 M1 J1		Μεταβολή απόστασης σελήνης	13°.40	0.08
			14°.49	0.02
			15°.59	0.03
Ημι-ημερήσιες συνιστώσες – Ομάδα 2				
M2	399-424	Βασική σεληνιακή συνιστώσα	28°.98	1.00
S2	442-488	Βασική ηλιακή συνιστώσα	30°.00	0.46
N2		Εκκεντρότητα σεληνιακής τροχιάς	28°.44	0.20
L2			29°.53	0.03
K2		Σεληνοηλιακή απόκλιση, μεταβολές απόστασης του ήλιου	30°.08	0.13
T2			29°.96	0.03
μ2		Ανωμαλίες τροχιάς σελήνης λόγω έλξης από τον ήλιο	27°.97	0.02
2ν2			27°.90	0.03
ν2			28°.51	0.04
λ2			29°.46	0.01
2MS2			27°.97	-

Πίνακας 1.1

Προκειμένου να δοθεί μία εικόνα για το είδος της παλίρροιας σ' έναν τόπο χρησιμοποιείται ο λόγος

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2}$$

Με βάση το κριτήριο αυτό οι παλίρροιες κατατάσσονται σε τρεις τύπους, τον ημερήσιο, ημιημερήσιο και μικτό, όπως φαίνεται και στον πίνακα 1.2.

Προσδιορισμός του τύπου των παλιρροιών

ΤΥΠΟΣ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΣ	F
Ημι-ημερήσιος	0 – 0.25
Μικτός με υπεροχή του ημι-ημερήσιου	0.25 – 1.5
Μικτός με υπεροχή του ημερήσιου	1.5 – 3
Ημερήσιος	3 - ∞

Πίνακας 1.2

1.2.3 Αναλυση παλιρροιών

Η ανάλυση των παλιρροιών σήμερα γίνεται συνήθως με την αρμονική μέθοδο (βλ. π.χ. Pond and Rickard 1986). Η αρμονική μέθοδος μέχρι πριν λίγα χρόνια ήταν μία ημιγραφική μέθοδος, που για την ανάλυση των παλιρροιών χρησιμοποιούσε πίνακες και ειδικά "stencils" σε μία διαδικασία εξαιρετικά επίπονη. Με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών η ημιγραφική εκδοχή της αρμονικής ανάλυσης των παλιρροιών σχεδόν καταργήθηκε.

Η αρμονική μέθοδος συνίσταται στη σύγκριση σ' έναν ορισμένο τόπο, όπου υπάρχει μία σειρά παλιρροϊκών μετρήσεων για κάποιο χρονικό διάστημα, της θεωρητικής παλίρροιας με την πραγματική (μετρημένη) παλίρροια, οι οποίες δεν συμπίπτουν και σχηματίζουν κάποιο υπόλοιπο. Το υπόλοιπο αυτό αντιστοιχεί και στη διαφορά ανάμεσα στο θεωρητικό δυναμικό και το πραγματικό (μετρημένο) δυναμικό. Η διαφορά αυτή του δυναμικού αναπτύσσεται σε σειρά σφαιρικών συχνοτήτων του δυναμικού, μέσα σε μία τέτοια περίοδο φυσικά, που καλύπτουν οι διαθέσιμες (συνήθως ωριαίες) μετρήσεις για το συγκεκριμένο σταθμό. Η ανάπτυξη αφορά μία σειρά (όχι όλες) παλιρροϊκών συνιστωσών με άγνωστα ϕ και δ , που αναπτύσσονται ταυτόχρονα με το θεωρητικό δυναμικό για $\phi = 0$ και $\delta = 1$. Από τη λύση ενός συστήματος κανονικών εξισώσεων προκύπτουν τελικά για τις χρησιμοποιούμενες παλιρροϊκές συνιστώσες (ομάδες κυμάτων) η φάση ϕ και το μέγεθος δ . Οι τιμές αυτές ϕ και δ , που προκύπτουν από την παραπάνω ανάλυση ισχύουν για τις συγκεκριμένες παλιρροϊκές συνιστώσες (ομάδες κυμάτων) και για το σταθμό μετρήσεων για πάντα.

Οι συνιστώσες των γενεσιουργών παλιρροϊκών δυνάμεων μπορούν να αναλυθούν σε οριζόντιες και κατακόρυφες και να αποδοθούν από την εξίσωση:

$$f = \delta \sin(\phi t + K)$$

όπου δ το μέγεθος (εύρος) των γενεσιουργών παλιρροϊκών δυνάμεων, ϕ η φάση τους και K μία σταθερά που εξαρτάται από την τιμή του f στο χρόνο $t = 0$. Τα δ και ϕ για τις διάφορες παλιρροϊκές συνιστώσες είναι άγνωστες ποσότητες, που προσδιορίζονται από τη λύση ενός συστήματος κανονικών εξισώσεων και t είναι ο χρόνος στον οποίο έχουμε μία συγκεκριμένη τιμή (μέτρηση) παλίρροιας, ή μία χρονική στιγμή η οποία βρίσκεται έξω από τα όρια των μετρήσεων και στην οποία επιχειρείται να γίνει πρόβλεψη της παλίρροιας. Ο χρόνος αυτός χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ορισμένων αστρονομικών παραμέτρων που μεταβάλλονται χρονικά.

Τελικά οι συνιστώσες των γενεσιουργών παλιρροϊκών δυνάμεων δίνονται από την εξίσωση:

$$P = \delta(M2)\sin[\phi(M2)t - K_1] + \delta(S2)\sin[\phi(S2)t - K_2] \\ + \delta(K2)\sin[\phi(K2)t - K_3] + \dots \\ + \delta(O1)\sin[\phi(O1)t - K_n] + \delta(K1)\sin[\phi(K1)t - K_{n+1}]$$

όπου τα μεγέθη δ (•) εξαρτώνται από το γεωγραφικό πλάτος. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι οι γενεσιουργές παλιρροϊκές δυνάμεις αναφέρονται σ' ένα σύστημα συντεταγμένων στη γη που έχει τρεις συνιστώσες, μία κάθετη και δύο οριζόντιες. Η εξίσωση δείχνει ότι κάθε μία από τις συνιστώσες αυτές μπορεί να παρασταθεί από μία σειρά αρμονικών όρων, των οποίων το μήκος της περιόδου υπολογίζεται με βάση τις σχετικές κινήσεις της σελήνης, του ήλιου και της γης.

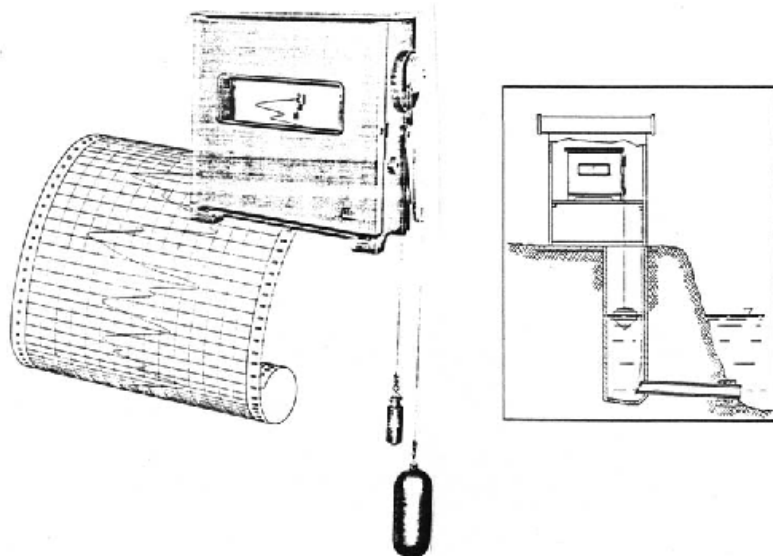
1.2.4 Μετρήσεις παλιρροιών

Η μέτρηση της τιμής της παλίρροιας σε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή μπορεί να γίνει είτε έμμεσα είτε άμεσα. Στον έμμεσο τρόπο έχουμε κάποια σειρά μετρήσεων (συνήθως ωριαίων) για κάποιο σταθμό παλιρροιών και μπορούμε να δώσουμε μία εκτίμηση (πρόβλεψη) για την τιμή της παλίρροιας, είτε μέσα στο χρονικό διάστημα που είναι διαθέσιμες οι μετρήσεις, είτε σε κάποια χρονική στιγμή έξω από τις διαθέσιμες μετρήσεις. Αυτή η εκτίμηση είναι δυνατή με βάση την ανάλυση των παλιρροιών που δόθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Από την ανάλυση των παλιρροιών στο σταθμό και σύμφωνα με τις διαθέσιμες μετρήσεις, προσδιορίζονται οι παράμετροι ϕ και δ για κάθε παλιρροϊκή συνιστώσα (ομάδα κυμάτων), ή διαφορετικά για κάθε συνιστώσα των γενεσιουργών παλιρροϊκών δυνάμεων. Οι τιμές αυτές και ο χρόνος αντικαθίστανται σε μία σχέση της μορφής (1.2) και προσδιορίζεται η τιμή της παλίρροιας στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή και στο συγκεκριμένο σταθμό. Ο άμεσος τρόπος μέτρησης της παλίρροιας συνίσταται στη χρησιμοποίηση κάποιων ειδικών οργάνων, των παλιρροιομέτρων και των παλιρροιογράφων.

Το παλιρροιόμετρο είναι συνήθως μία μεταλλική ράβδος που φέρνει υποδιαίρεσεις ανά εκατοστό, όπως φαίνεται στο σχήμα (1.2). Το παλιρροιόμετρο στερεώνεται κατακόρυφο σ' ένα σημείο της ακτής (συνήθως κάποια προβλήτα), έτσι ώστε η χαμηλότερη υποδιαίρεσή του να βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (σχ. 1.2). Το ανώτερο σημείο του παλιρροιομέτρου αντιστοιχεί συνήθως στη μηδενική υποδιαίρεση (σχ. 1.2) και συνδέεται γεωμετρικά με δύο σημεία σταθερά της ξηράς επισημαινόμενα (διαφορές υψομέτρων), ώστε να είναι δυνατή η επανατοποθέτηση του παλιρροιομέτρου στο ίδιο σημείο. Οι μετρήσεις της παλίρροιας γίνονται με αναγνώσεις της στάθμης της θάλασσας ανά τακτά χρονικά διαστήματα, συνήθως μιας ώρας, στην κλίμακα του παλιρροιομέτρου. Ο μέσος όρος των αναγνώσεων καθορίζει το παλιρροϊκό επίπεδο της μέσης στάθμης της θάλασσας. Στη συνέχεια προσδιορίζεται το υψόμετρο των σταθερών επισημαινόμενων σημείων της ξηράς (térèρες) από τη μέση στάθμη της θάλασσας.

Για την ακριβέστερη μέτρηση των παλιρροιών χρησιμοποιούνται ειδικά καταγραφικά όργανα, οι παλιρροιογράφοι. Ένας παλιρροιογράφος αποτελείται βασικά από ένα καταγραφικό μηχανισμό (κυλινδρικό τύμπανο), που περιστρέφεται με ωρολογιακό μηχανισμό και από ένα πλωτήρα που τοποθετείται

σε ειδική δεξαμενή, η οποία συνδέεται με τη θάλασσα (σχ. 1.4). Η κατακόρυφη κίνηση του πλωτήρα μεταδίδεται στη γραφίδα του καταγραφικού μηχανισμού, που καταγράφει τις μεταβολές της επιφάνειας της θάλασσας. Η διάρκεια της καταγραφής μπορεί να είναι ημερήσια, μηνιαία ή ετήσια.



Σχ. 1.4 Μηχανικός παλιρροιογράφος

Εκτός από τους μηχανικούς παλιρροιογράφους υπάρχουν και οι ηλεκτρονικοί παλιρροιογράφοι, όπου η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας γίνεται σύμφωνα με την υδροστατική πίεση που ασκείται σε κάποιο ευαίσθητο σημείο του οργάνου, που τοποθετείται κάτω από τη θάλασσα. Οι μεταβολές της υδροστατικής πίεσης μεταδίδονται με τη μορφή διαφορών ηλεκτρικής τάσης στον ηλεκτρικό καταγραφικό μηχανισμό και αποθηκεύονται στη μνήμη του. Ανάλογα με τη συχνότητα των μετρήσεων η διάρκεια καταγραφής των ηλεκτρονικών παλιρροιογράφων μπορεί να φθάσει μέχρι και δύο χρόνια. Οι ηλεκτρονικοί παλιρροιογράφοι εγκαθίστανται πολύ εύκολα, δεν χρειάζονται ειδικές δεξαμενές για τους πλωτήρες και σε ορισμένους τύπους ο καταγραφικός μηχανισμός μπορεί να τοποθετηθεί και κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

1.2.5 Θαλάσσια κύματα οφειλόμενα σε σεισμικές δυνάμεις (tsunamis)

Κινήσεις θαλάσσιων μαζών στα βάθη των θαλασσών που προέρχονται από σεισμικές δραστηριότητες, δημιουργούν μεγάλης περιόδου κύματα, τα γνωστά *tsunamis*, τα οποία εσφαλμένα ονομάζονται και παλιρροϊκά, αφού ο μηχανισμός δημιουργίας των *tsunamis* είναι εντελώς διαφορετικός από το μηχανισμό γένεσης των παλιρροιών. Βέβαια δεν δημιουργούν όλοι οι σεισμοί *tsunamis*. Θεωρείται βέβαιο σήμερα ότι *tsunamis* παράγουν οι σεισμοί που προκαλούν μία κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης ως προς το βυθό, ενώ δεν δημιουργούν ανάλογα κύματα οι σεισμοί που προκαλούν συνιστώσες της κίνησης.

Τα *tsunamis* παράγονται και από άλλες γήινες κινήσεις, όπως μετακινήσεις τμημάτων του θαλάσσιου βυθού, ή δραστηριότητες θαλάσσιων ρηφαιστίων. Τα

tsunamis έχουν πολύ μεγάλο μήκος κύματος (100-200km) και μεγάλη περίοδο, από 10 μέχρι 20 λεπτά. Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα διάδοσής τους είναι πολύ μεγάλη, περίπου 500km/h. Στον ανοικτό ωκεανό το ύψος των κυμάτων αυτών είναι μικρό, γύρω στα 0.5m, με αποτέλεσμα να μη γίνονται αντιληπτά. Όταν το *tsunamis* πλησιάσει τις ακτές και αν η διαμόρφωση του βυθού είναι κατάλληλη, μπορεί το ύψος του να φτάσει τα 15-30m και τότε είναι δυνατόν να προκαλέσει τρομακτικές καταστροφές. Πιθανολογείται ότι ένα τέτοιο κύμα κατάστρεψε το Μινωικό πολιτισμό 3000 χρόνια πριν. Τα *tsunamis* εμφανίζονται με αρκετή συχνότητα στον Ειρηνικό. Η Ιαπωνία και άλλα νησιά του Ειρηνικού έχουν υποστεί συχνά μεγάλες ζημιές από τα κύματα αυτά. Η μελέτη των *tsunamis* με όλα τα στοιχεία και τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτώνται, ως και τα επακόλουθα που προκαλούν, ενδιαφέρουν την άμυνα των ακτών από τη διαβρωτική ενέργεια της θάλασσας και την κατασκευή λιμενικών εγκαταστάσεων, φραγμάτων, αγκυροβολιών κ.λπ.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

2.1 Μέθοδοι – Όργανα μέτρησης διακύμανσης της στάθμης

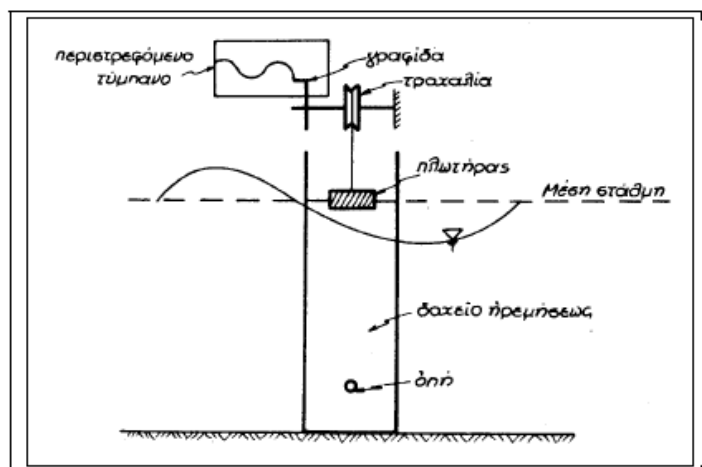
Για την μέτρηση της παλίρροιας έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς διάφορα όργανα μερικά από αυτά αναφέρονται παρακάτω:

Παλιρροιόμετρο (Tide Poles) : Πρόκειται για έναν απλό τύπο οργάνου μέτρησης της παλίρροιας, το οποίο αποτελείται από μια μεταλλική ράβδο, η οποία είναι αριθμημένη σε εκατοστόμετρα. Το παλιρροιόμετρο τοποθετείται κατακόρυφα στη θάλασσα και σε τέτοιο βάθος ώστε η μέση στάθμη της θάλασσας να αντιστοιχεί στο μέσο περίπου του οργάνου. Στο άνω άκρο του έχει την ένδειξη μηδέν, το οποίο ορίζει το μηδενικό επίπεδο του σταθμού, που αποτελεί την αφετηρία των μετρήσεων της παλίρροιας. Οι μετρήσεις λαμβάνονται από τον εκάστοτε αρμόδιο για τις μετρήσεις, ο οποίος ανά συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (π.χ κάθε δίωρο) μετράει την αυξομείωση της στάθμης της θάλασσας από τον παλιρροιόμετρο. Τέτοιου τύπου όργανα χαρακτηρίζονται από περιορισμένη αξιοπιστία.

Παλιρροιογράφοι (Automatic Tide Gauges) : Πρόκειται για μηχανικά όργανα τα οποία καταγράφουν αυτόματα το ύψος της παλίρροιας σε συνάρτηση με το χρόνο. Οι παλιρροιογράφοι είτε σταθεροποιούνται μέσα στο νερό είτε δένονται σε πλωτήρες. Παίρνουν συνεχόμενες μετρήσεις για 1520 ημέρες. Το αποτέλεσμα της καταγραφής του εν λόγω οργάνου είναι μια συνεχής καμπύλη, από την οποία εξάγονται στατιστικά στοιχεία παλίρροιας, που χαρακτηρίζονται για την ακρίβεια και συνιστώνται για επιστημονικές έρευνες, μια τυπική μορφή μηχανικού παλιρροιογράφου δίνεται στην εικόνα 2.1. Σήμερα υπάρχουν και ψηφιακοί παλιρροιογράφοι οι οποίοι βασίζονται σε δυο κυρίως αρχές:

- Στη μέτρηση της στάθμης μέσα σε σωλήνα με υπερήχους και την καταγραφή των μετρήσεων σε μνήμες. Η μέθοδος αυτή στη ουσία αντικαθιστά το μηχανικό μέρος της κλασικής μεθόδου.
- Στον υπολογισμό της στάθμης με μετρήσεις της πίεσης μέσα στο νερό με ηλεκτρονικό πιεσόμετρο.

Στην Ελλάδα επίσημος φορέας καταγραφής των παλιρροιών είναι η Υδρογραφική Υπηρεσία Ναυτικού, η οποία διαθέτει πλήρες δίκτυο μηχανικών κυρίως παλιρροιογράφων εγκατεστημένων στα μεγάλα λιμάνια.

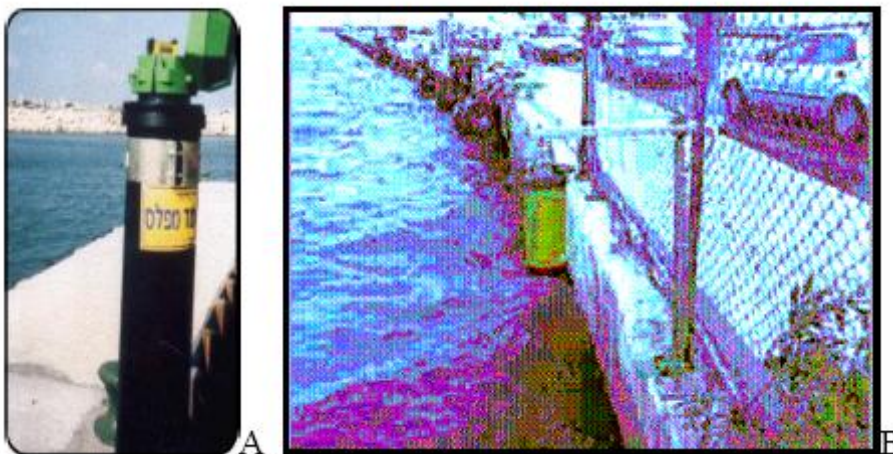


Εικόνα 2.1. Τυπική μορφή απλού μηχανικού παλιρροιογράφου



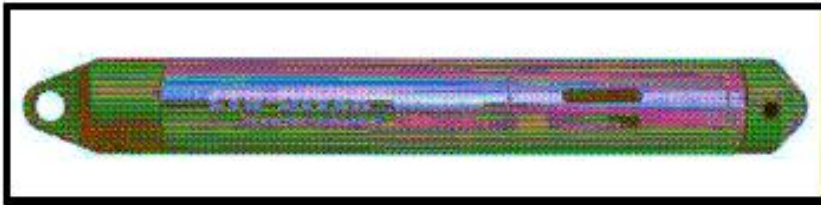
Εικόνα 2.2. (http://www.valeport.co.uk/pdf/archive/730_tide.pdf)

Σε μελέτες που έγιναν στο Ισραήλ έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλοι τύποι οργάνων για την μέτρηση της παλίρροιας, όπως οι τύποι THALES και KALESTO OTT (Shirman and Melzer, 2002). Οι τύποι THALES, είναι ψηφιακά όργανα τα οποία βυθίζονται μέσα στο νερό και παραμένουν εκεί για όσο διαρκεί η μέτρηση, λαμβάνοντας μετρήσεις κάθε 5 min με ανάλυση 1 cm. Ενώ οι τύποι KALESTO OTT, είναι όργανα μέτρησης της παλίρροιας που δεν βυθίζονται μέσα στο νερό αλλά παραμένουν κρεμασμένοι πάνω από τη στάθμη της θάλασσας για όσο χρονικό διάστημα χρειαστεί. Πρόκειται για ραντάρ που εκπέμπουν μικροκύματα με συχνότητα 24,125 GHz και ισχύ 5 mW, με συχνότητα καταγραφής έως και 5 sec,



Εικόνα 2.3. Α)παλιρροιογράφος τύπου THALES Β) παλιρροιογράφος τύπου KALESTO OTT (Shirman and Melzer, 2002)

Οι μετρήσεις της παλίρροιας και της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας στον λιμένα των Ν. Μουδανιών, έγιναν με τη βοήθεια δυο οργάνων. Ενός CTD-Diver, ο οποίος μετρά την πίεση του νερού και ενός Baro-Diver, ο οποίος μετρά την ατμοσφαιρική πίεση.



Εικόνα 2.4. CTD-Diver (<http://www.aqualab.com.au/brochure/CTD-diver-brochure.pdf>)

Υπάρχουν τρία είδη CTD-Diver τα οποία διαχωρίζονται ανάλογα με το επιθυμητό βάθος πόντισης (<http://www.aqualab.com.au/brochure/CTD-diver-brochure.pdf>): D1261 για 10 m D1263 για 30 m D1265 για 100 m.

Στις μετρήσεις που έγιναν στο λιμένα των Ν. Μουδανιών, ο CTD-Diver που χρησιμοποιήθηκε είναι το D1261 για βάθη έως και 10 μέτρα. CTD-Diver είναι ρυθμισμένος να μετράει την πίεση του νερού όταν αυτό ανεβαίνει ή κατεβαίνει και να την αποδίδει σε cm. Αυτό συμβαίνει καθώς εμπεριέχει ενσωματωμένο αισθητήρα πίεσης, ο οποίος καθορίζει το βάθος με τη μέτρηση της πίεσης του νερού. Επιπλέον έχει τη δυνατότητα να μετρά θερμοκρασία, αγωγιμότητα και ειδική αγωγιμότητα. Βυθίζεται μέσα στο νερό και παραμένει εκεί για όσο χρόνο διαρκεί η μέτρηση. Όταν βρίσκεται εκτός νερού λειτουργεί σαν βαρομετρική, μετρώντας μόνο την ατμοσφαιρική πίεση, όταν όμως βυθίζεται στο νερό προστίθεται και η πίεση του νερού. Ο Baro-Diver εκτός από την ατμοσφαιρική πίεση μετρά και την ατμοσφαιρική θερμοκρασία και δεν βυθίζεται στο νερό αλλά αναρτάται κάπου έξω, κοντά στο σημείο όπου βρίσκεται βυθισμένος ο CTD-Diver



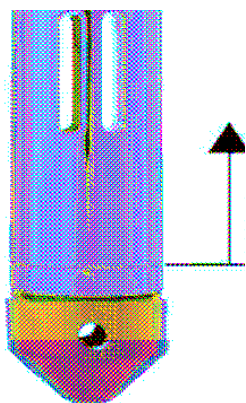
Εικόνα 2.5. Baro-Diver

Και τα δύο όργανα εμπεριέχουν χρονομετρητή-ρολόι. Πριν από κάθε μέτρηση ρυθμίζεται η ημερομηνία και η ώρα που θα ξεκινήσει το όργανο να μετρά, καθώς και η συχνότητα λήψης των μετρήσεων (π.χ στις 13/09/2007 και ώρα 13:00 γίνεται ρύθμιση ώστε να ξεκινήσουν να παίρνουν μετρήσεις και με συχνότητα κάθε 5 λεπτά). Απαραίτητο είναι να ξεκινήσουν και τα δύο όργανα την ίδια ώρα και να έχουν την ίδια συχνότητα λήψης μετρήσεων. Η ρύθμιση του κάθε οργάνου γίνεται ξεχωριστά, συνδέοντάς τα με τον υπολογιστή μέσω ειδικού προγράμματος (LDM). Τα όργανα συνδέονται με τον υπολογιστή μέσω ενός

καλωδίου DDC το οποίο διαβιβάζει τα δεδομένα από τον υπολογιστή. Μέσα από το πρόγραμμα, για την εκκίνηση των οργάνων δίνεται η δυνατότητα άμεσης εκκίνησης, ή μελλοντικής εκκίνησης (Future Start) λήψης μετρήσεων. Και στις δυο περιπτώσεις απαραίτητο για να ξεκινήσουν τα όργανα να παίρνουν μετρήσεις, είναι να γίνει ρύθμιση της επιθυμητής ημερομηνίας και ώρας εκκίνησης των μετρήσεων. Και τα δύο όργανα είναι ρυθμισμένα να δίνουν τις μετρήσεις της ατμοσφαιρικής πίεσης και της πίεσης του νερού σε εκατοστά, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι:

$$1\text{mbar} = 1.0972\text{cm H}_2\text{O} \text{ ή } 1\text{cm H}_2\text{O} = 0.980665\text{ mbar}$$

Ο CTD-Diver δένεται με σχοινί, το μήκος του οποίου εξαρτάται από το βάθος που επιθυμούμε να το βυθίσουμε. Όταν σκοπός της χρήσης των οργάνων είναι μόνο η μέτρηση της αυξομείωσης της στάθμης του νερού, τότε το βάθος που θα βυθιστεί ο CTD-Diver δεν παίζει κανέναν ρόλο. Όταν όμως σκοπεύουμε να μετρήσουμε και το βάθος του πυθμένα στο σημείο βύθισης του οργάνου, τότε το όργανο θα πρέπει να βυθιστεί μέχρι τον πυθμένα. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, λόγω της ιδιαίτερης ευαισθησίας του οργάνου, σε κόκκους άμμου και λάσπη κατασκευάστηκε ένας τρίποδας για να το στηρίζει και να το κρατάει σε απόσταση 3cm από τον πυθμένα. Η απόσταση αυτή έπρεπε να προστεθεί στη συνέχεια στα αποτελέσματα, μαζί με 2 cm ακόμη τα οποία είναι μια απόσταση ανάμεσα στον αισθητήρα και το άκρο του οργάνου. Η απόσταση αυτή κρίθηκε σκόπιμο να προστεθεί στο τέλος μαζί με τα 3 cm της απόστασης του οργάνου από τον πυθμένα, δηλαδή στο σύνολο έπρεπε να προστεθούν 5 cm στο ύψος του βάθους καταγραφής του.



Εικόνα 2.6.

Όση ώρα ο CTD-Diver βρίσκεται βυθισμένος στο νερό ο Baro-Diver βρίσκεται αναρτημένος κοντά στο σημείο πόντισης του CTD-Diver.



Εικόνα 2.7.α)ο CTD-Diver και ο Baro-Diver, εικόνα 2.7.β) ο τρίποδας

Κατά τη λήξη των μετρήσεων τα όργανα συνδέονται με τον υπολογιστή, μέσω του καλωδίου DDC και διαβάζονται από το πρόγραμμα LDM, τα αποτελέσματα μεταφέρονται στο excel και εκεί γίνεται η επεξεργασία τους. Όσον αφορά τον υπολογισμό της στάθμης, σύμφωνα και με το εγχειρίδιο χρήσης των οργάνων ο προσδιορισμός της στάθμης γίνεται ως εξής: Αφαιρώντας από τις μετρήσεις του CTD-Diver τις μετρήσεις του Baro-Diver βρίσκεται το ύψος της στάθμης επιφάνειας της θάλασσας. Αν ο Diver τοποθετείται στον πυθμένα, τότε η παραπάνω αφαίρεση οδηγεί στον υπολογισμό του βάθους της υδάτινης στήλης. Για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω ακολουθεί το εξής παράδειγμα: Έστω η ένδειξη του οργάνου έξω από τη στήλη Baro Level είναι $B = 1030,3 \text{ cm}$ Έστω η ένδειξη του οργάνου μέσα στη στήλη Diver Level είναι $D = 1268,1 \text{ cm}$ Το ύψος της υδάτινης στήλης θα είναι $H=D-B$ ή $1268,1-1030,3 = 237,8 \text{ cm}$ (2,4 m) Πιο αναλυτικά, ο υπολογισμός του ύψους της υδάτινης στάθμης είναι βασισμένος στη μέτρηση της πίεσης που καταγράφεται από το κάθε όργανο (ατμοσφαιρική πίεση για το Baro και πίεση του νερού για το Diver). Ουσιαστικά λοιπόν οι καταγραφές του οργάνου βασίζονται στη μέτρηση της πίεσης και από την επίλυση της εξίσωσης μεταβολής της πίεσης με το βάθος (που γίνεται προφανώς από το ενσωματωμένο λογισμικό του οργάνου) προσδιορίζεται το βάθος (ή ύψος της υδάτινης στήλης). Πιο ειδικά, ο υπολογισμός του ύψους της παλιρροιακής διακύμανσης της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας προκύπτει από την καταγραφή της μεταβολής του βάθους ως εξής:

$$p_{abs} = p_o + \rho \cdot g \cdot h \quad \text{ή} \quad p_{abs} = p_o + p \quad (\text{όπου } p = \rho \cdot g \cdot h)$$

όπου p_{abs} η απόλυτη πίεση, p_o η ατμοσφαιρική πίεση, ρ η υδροστατική πίεση ρ η πυκνότητα του νερού (1025 Kg/m), $g = 9,81$ (m2/sec) και h το βάθος πόντισης (m) . Έτσι λοιπόν, με βάση τα δεδομένα των οργάνων η καταγραφή του Diver L αντιστοιχεί στην απόλυτη πίεση p . Τα δύο μεγέθη **LabsDiver** (σε εκατοστά) και **pDiver2**(σε Pa ή N/m) συνδέονται μεταξύ τους με την παρακάτω σχέση:

$$p_{abs} = (L_{diver} / 1000) \cdot 10^5 \quad \text{ή} \quad p_{abs} = L_{Diver} \cdot 100 \quad (\text{N/m}^2)$$

αφού 1 εκ αντιστοιχεί σε πίεση 1 mb και 1 bar ισούται με 10^5 N/m²

Επίσης η καταγραφή του Baro L_{baro} αντιστοιχεί στην ατμοσφαιρική πίεση p_o . Τα δύο μεγέθη L_{baro} (σε εκατοστά) και p_o (σε Pa ή N/m²) συνδέονται μεταξύ τους με την παρακάτω σχέση:

$$p_o = (L_{baro} / 1000) \cdot 10^5 \quad \text{ή} \quad p_o = L_{baro} \cdot 100 \quad (\text{N/m}^2)$$

Αν στη συνέχεια με βάση τον τύπο

$$p_{abs} = p_o + \rho \cdot g \cdot h \quad \text{ή} \quad p = \rho \cdot g \cdot h \quad \text{όπου } p = p_{abs} - p_o$$

γίνει επίλυση ως προς h (βάθος) τότε είναι φανερό ότι πρέπει να οδηγούμαστε στην ένδειξη του L_{diver} ή ακριβέστερα στην $L_{diver} - L_{baro} / 100$ (σε μέτρα). Ισχύει δηλαδή:

$$h = (p_{abs} - p_o) / (\rho \cdot g) \quad \text{ή} \quad h = (L_{diver} - L_{baro}) \cdot 100 / (\rho \cdot g)$$

όπου τα L_{diver} και L_{baro} είναι σε εκατοστά

Για τον υπολογισμό του ύψους του ανεμογενούς κυματισμού τα όργανα τοποθετήθηκαν στις ίδιες θέσεις και με τον ίδιο τρόπο, όπως και στις μετρήσεις για την παλίρροια. Η επεξεργασία των δεδομένων των οργάνων έγινε από το ίδιο πρόγραμμα (LDM) με το οποίο έγινε και η επεξεργασία των μετρήσεων της παλίρροιας ο τρόπος όμως που επεξεργάστηκαν τα δεδομένα στο excel και η καταγραφή των δεδομένων έγινε όπως παραπάνω, με τη διαφορά ότι η μετατροπή της πίεσης σε βάθος λαμβάνει υπόψη της και τη συνιστώσα της δυναμικής πίεσης που προκαλείται από το ανεμογενές κύμα. Πιο ειδικά, από την εκτίμηση της περιόδου του κύματος T (από την καταγραφή), υπολογίζουμε αρχικά το μήκος κύματος στα ανοιχτά $L_0 = g (T / 2\pi)$.Στη συνέχεια από το διάγραμμα συσχέτισης των λόγων d / L_0 και d / L βρίσκουμε το μήκος κύματος L (m) στη θέση που αντιστοιχεί στο βάθος d στο οποίο γίνεται η μέτρηση. Εδώ

πρέπει να επισημάνουμε ότι δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε το βάθος πόντισης του οργάνου να ικανοποιεί τη σχέση $d < L/2$ έτσι ώστε το όργανο να καταγράφει και την υδροδυναμική συνιστώσα της πίεσης. Από την παράκτια τεχνική και τη φυσική ωκεανογραφία είναι γνωστό ότι η διακύμανση της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας όταν η μορφή του κύματος προσεγγίζεται από ημιτονοειδή καμπύλη δίνεται από τη σχέση (Κουτίτας, 1996):

$$\zeta = H/2 \cdot \cos(kx - \omega t) \quad (i)$$

όπου $k=2\pi/L$ και $\omega=2\pi/T$

Επίσης η πίεση (υδροστατική και υδροδυναμική) κοντά στον πυθμένα δίνεται από τη σχέση:

$$p = -\rho \cdot g \cdot z + (\rho \cdot g \cdot H/2) \cdot (1/\cosh(2\pi \cdot d / L)) \cos(kx - \omega t) \quad (ii)$$

όπου $p = p_{abs} - p_0$ (N/m^2) και $z = -d$ (m)

Από τις δύο παραπάνω σχέσεις (i) και (ii) και γνωρίζοντας το μήκος L του κύματος (αφού προσδιορισθεί από τα στοιχεία των καταγραφών) υπολογίζεται η διακύμανση της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας ζ ως εξής:

$$p = -\rho \cdot g \cdot z + (\rho \cdot g \cdot \zeta) \cdot (1/\cosh(2\pi \cdot d / L)) \Rightarrow$$

$$\zeta = [p / (\rho \cdot g)] \cdot \cosh(2\pi \cdot d / L) + z \cdot \cosh(2\pi \cdot d / L) \quad \eta$$

$$\zeta = [(L_{Diver} \cdot 100 - L_{baro} \cdot 100) / (\rho \cdot g)] \cdot \cosh(2\pi \cdot d / L) + z \cdot \cosh(2\pi \cdot d / L)$$

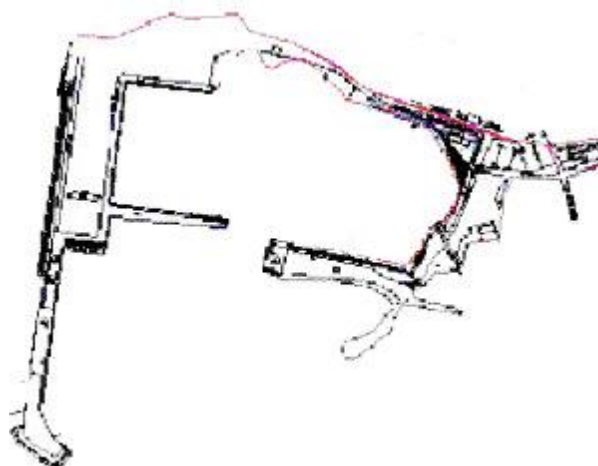
όπου ζ η διακύμανση της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας λόγω κυματισμού (m), $p = p_{abs}$ την απόλυτη και ατμοσφαιρική πίεση αντίστοιχα (N/m), d το βάθος νερού από τη μέση στάθμη κυματισμού (m), z στην περίπτωση μας (πόντιση στον πυθμένα) το βάθος νερού όπως προηγούμενα, δηλ. $z = -d$ (m) και Για να γίνει στη συνέχεια υπολογισμός του συνολικού βάθους d προστίθεται η διακύμανση ζ στο μέσο βάθος d δηλ. d πρέπει να ταυτίζεται με το $(L)/100$ (σε μέτρα). Συνοψίζοντας, τονίζεται και πάλι ότι η όλη διαδικασία χρήσης των οργάνων (σταθμηγράφων) βασίζεται στην αναγωγή δεδομένων πίεσης σε δεδομένα βάθους.

2.1.1 Προγράμματα πρόγνωσης παλίρροιας.

Εκτός από τα όργανα καταμέτρησης της παλίρροιας, υπάρχουν και προγράμματα πρόγνωσης της παλίρροιας (tide tables), όπως για παράδειγμα το wxtide και το xtide. Αυτά τα προγράμματα λειτουργούν σαν ρολόι. Είναι ρυθμισμένα να υπολογίζουν την παλίρροια σε κάθε σημείο της γης, μέσω συντεταγμένων και βάση της θέσης της σελήνης. Για την εύρεση της παλίρροιας μέσω τέτοιων προγραμμάτων, χρειάζεται να είναι γνωστές οι συντεταγμένες του σημείου για το οποίο αναζητάται το εύρος της παλίρροιας. Έπειτα τα αποτελέσματα δίνονται από διαγράμματα. Το wxtide είναι ρυθμισμένο να υπολογίζει την παλίρροια από το 1970 μέχρι το 2037. Συνεπώς η προσφορά των προγραμμάτων αυτών είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς προσφέρουν πληροφορίες για την παλίρροια τόσο για το παρελθόν όσο και για το μέλλον (<http://www.flaterco.com/xtide/files.html>).

2.2 Οργάνωση της έρευνας πεδίου με τη χρήση των οργάνων

Τα όργανα χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της παλίρροιας και του κυματισμού. Για τον υπολογισμό της παλίρροιας έγιναν δεκατέσσερις 12ώρες μετρήσεις με συχνότητα λήψης ανά 5 λεπτά. Επιπλέον έγιναν άλλες 6 μετρήσεις με σκοπό την παρατήρηση του κυματισμού, οι οποίες είχαν διάρκεια από 10' έως 45', με συχνότητα 1 και 2 sec. Ο CTD- Diver δένεται με σχοινί μήκους 6 μέτρα, έτσι ώστε να είναι δυνατή η πόντισή του και στο βαθύτερο σημείο του λιμένα, ενώ ο BaroDiver τοποθετήθηκε κάπου δίπλα στο σημείο πόντισης του CTD- Diver και πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι μετρήσεις έγιναν σε τρία σημεία του λιμένα των Ν. Μουδανιών, στις δυο άκρες της εισόδου (θέση 1,2) και δίπλα στο λιμενικό (θέση 3), στα σημεία όπως φαίνονται στο χάρτη. Τα συγκεκριμένα σημεία επιλέχτηκαν για πρακτικούς λόγους (π.χ προσβασιμότητα) σε συνδυασμό με θέσεις όπου παραβάλουν τα μεγαλύτερα σκάφη.



Εικόνα 2.8 οι θέσεις μετρήσεων στον λιμένα Νέων Μουδανιών.

3.ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ

3.1 Μεταβολή της στάθμης της θάλασσας

3.1.1 Γενικά

Η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας οφείλεται κυρίως στις διακυμάνσεις λόγω παλίρροιας, κυμάτων, ανέμων και βαρομετρικών μεταβολών. Η παλίρροια μέσω της πλημμυρίδας και αμπώτιδας επιδρά περιοδικά στην αυξομείωση της θαλάσσιας στάθμης. Η σταθερή πνοή του ανέμου για μεγάλο χρονικό διάστημα προς μία κατεύθυνση, έχει σαν αποτέλεσμα τη μετακίνηση των μαζών νερού προς τη διεύθυνση του ανέμου, γεγονός που προκαλεί την πτώση της στάθμης στην περιοχή απ' όπου πνέει ο άνεμος και μια παράλληλη αύξηση της στάθμης στην περιοχή προς την οποία πνέει, παρασύροντας τις μάζες του νερού. Αλλά και η μικρού χρονικού διαστήματος επίδραση του ανέμου μπορεί να προκαλέσει την λεγόμενη φουσκοθαλασσιά και να μεταβάλλει τη στάθμη της θάλασσας. Οι βαρυτικές αλλαγές επίσης, είναι δυνατό σε μικρό χρονικό διάστημα να προκαλέσουν αξιοσημείωτες αυξομειώσεις της στάθμης της θάλασσας. Όσο πιο χαμηλή είναι η ατμοσφαιρική πίεση κατά τη διάρκεια του έτους, τόσο πιο υψηλή είναι ετήσια μέση θαλάσσια στάθμη. Σημειώνεται ότι μια μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης κατά 1mbar αυξάνει την θαλάσσια στάθμη κατά 1cm (El-Din, et al. 2007).

3.2 Παλίρροια

3.2.1 Γενικά

Ως παλίρροια ορίζουμε τις διαδοχικές εναλλασσόμενες ανόδους και καθόδους του επιπέδου της θάλασσας σε σχέση με την ξηρά, που δημιουργούνται από τη βαρυτική έλξη που ασκούν η σελήνη και ο ήλιος στη γη (Αλμπανάκης, 1999).

Οι μεταβολές της στάθμης των Ελληνικών θαλασσών, λόγω του φαινομένου της παλίρροιας είναι σχετικά μικρές και ως εκ τούτου υπερκαλύπτονται σε ορισμένες περιπτώσεις από αντίστοιχες μεταβολές που προκαλούνται από τα μετεωρολογικά φαινόμενα, την ατμοσφαιρική πίεση, τον άνεμο κ.τ.λ (Ξένος, 2000). Τέτοιου είδους μεταβολές, στη Μεσόγειο, σπάνια ξεπερνούν σε μέση τιμή τα 0,25m (Savvidis et al. 2005), τα 0,3 m (Αλμπανάκης, 1999).

Οι παλίρροιες είναι ένα φαινόμενο φυσικής προέλευσης, το οποίο έχει άμεση σχέση με την ελκτική δύναμη της σελήνης και του ήλιου πάνω στη γη. Εκδηλώνεται σε όλες τις θαλάσσιες ακτές, στους κόλπους, στους πορθμούς, στους ισθμούς και στις λίμνες. Γίνεται φανερό μέσω της ανύψωσης και ταπείνωσης της στάθμης του νερού στην επιφάνεια της γης (Haslett, 2000). Για κάθε θαλάσσια ακτή ή λιμάνι, η μορφή με την οποία εμφανίζεται η παλίρροια είναι διαφορετική. Σ' αυτό συντελούν διάφοροι παράγοντες και προπάντων η μορφολογία των ακτών, τα βάθη των θαλασσών και των λιμνών, η διαμόρφωση του πυθμένα (η διεύθυνση του ανέμου που επικρατεί στο συγκεκριμένο χώρο), οι γεωγραφικές συντεταγμένες κ.α που μεταβάλουν

το φαινόμενο της παλίρροιας και παίζουν σημαντικό ρόλο στο εύρος και στο χρόνο άφιξης αλλά και το ύψος της παλίρροιας σε μια περιοχή (Λεοντάρης, 1995, Αλμπανάκης, 1999).

3.2.2 Τύποι παλιρροιών

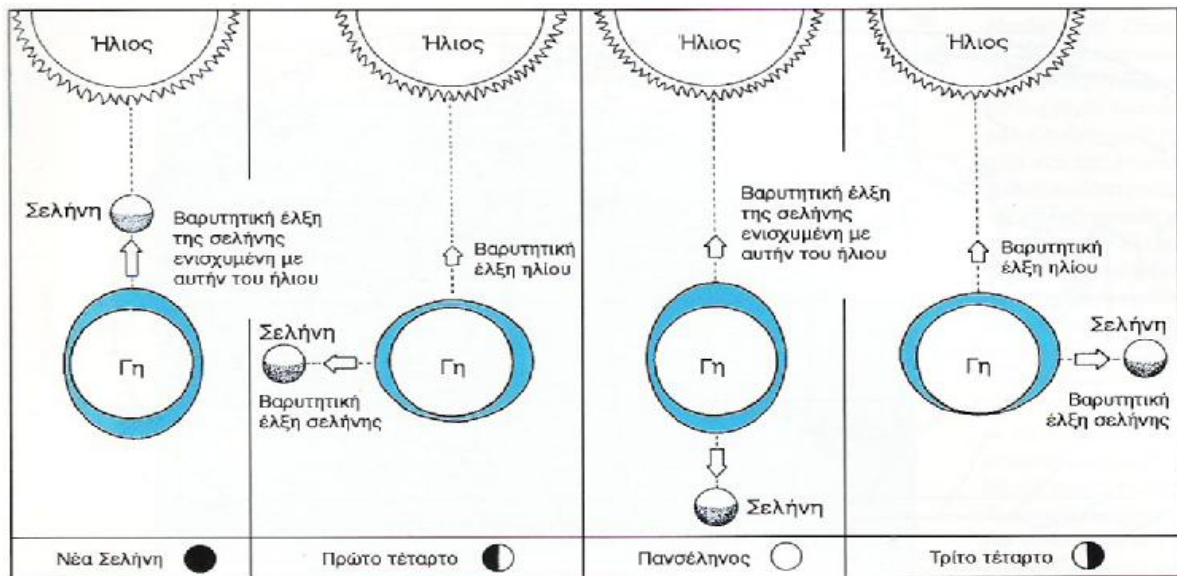
Καθώς η γη δεν είναι τελείως καλυμμένη από νερό, οι παλίρροιες, κυρίως εξαιτίας της ύπαρξης των ηπείρων, συμπεριφέρονται διαφορετικά από ότι στην περίπτωση κατά την οποία η γη ήταν τελείως καλυμμένη από νερό. Συνεπώς οι παλίρροιες διαφέρουν από μέρος σε μέρος ανάλογα με την τοποθεσία, το σχήμα και το βάθος της θαλάσσιας λεκάνης. Έτσι ανάλογα με τον ρυθμό εμφάνισής τους διαχωρίζονται σε τρεις τύπους. Ημιημερήσιες παλίρροιες, παρουσιάζουν δυο πλήμμες και δύο ρηχίες κάθε μέρα. Τέτοιες παλίρροιες συναντώνται στην ανατολική ακτή της βόρειας Αμερικής και το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης και της Αφρικής.

Μικτές παλίρροιες, έχουν δυο ολοκληρωμένες πλήμμες αλλά διαφορετικού ύψους η κάθε μία. Συναντώνται σε περιοχές όπως οι δυτικές ακτές των Ηνωμένων Πολιτειών και του Καναδά. Ημερήσιες παλίρροιες, εμφανίζονται με μία μόνο πλήμμη και μία ρηχία κάθε ημέρα. Τέτοιες παλίρροιες συναντώνται στον Κόλπο του Μεξικού και κατά μήκος των ακτών της Ανταρκτικής καθώς και σε ορισμένα τμήματα του Ειρηνικού Ωκεανού. Στην περίπτωση ημιημερίσιου τύπου παλίρροιας, η στάθμη της θάλασσας ανέρχεται και κατέρχεται περιοδικά δυο φορές την ημέρα. Πιο ειδικά, για έξι περίπου ώρες η επιφάνεια του νερού ανέρχεται και τότε έχουμε την πλημμυρίδα, ενώ στη συνέχεια για έξι περίπου ώρες κατέρχεται και έχουμε την άμπωτη. Οι στάθμες των επιπέδων της πλήμμης αλλά και της ρηχίας μεταβάλλονται όχι μόνο με το χρόνο αλλά και με το γεωγραφικό τόπο, (Δασκαλάκης, 1999). Το συνολικό αυτό φαινόμενο της πλημμυρίδας και της άμπωτιδας συνιστά τη γνωστή παλίρροια. Η διαφορά ύψους μεταξύ της πλημμυρίδας και της ρηχίας ονομάζεται εύρος παλίρροιας και όπως αναφέρθηκε στη Μεσόγειο δεν ξεπερνά τα 0,30 m. (Αλμπανάκης, 1999). Η περιοδική αυτή κύμανση γίνεται δύο φορές στις 24 ώρες 50' και 30'' (Λεοντάρης, 1995, Αλμπανάκης, 1999). Αυτή η περίοδος είναι ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δυο διαδοχικών διαβάσεων της σελήνης από το μεσημβρινό του τόπου, όπου συμβαίνει το φαινόμενο της παλίρροιας.

Έτσι γίνεται φανερό πως η παλίρροια συνδέεται άμεσα με τη σελήνη και αποτελεί φυσική συνέπεια της δράσης της επάνω στο περίβλημα της γης που αποτελείται από νερό. Ταυτόχρονα και ο ήλιος δημιουργεί παλιρροιακές διογκώσεις με τον ίδιο τρόπο όπως η σελήνη. Αν και ο ήλιος είναι πολύ μεγαλύτερος από τη σελήνη, λόγω της μεγάλης του απόστασης από τη γη, περίπου 400 φορές πιο μακριά από τη σελήνη, η επίδρασή του στη δημιουργία των παλιρροιών είναι περίπου μόνο η μισή από αυτήν της σελήνης. Ενώ λοιπόν η βαρυτική έλξη του Ηλίου είναι 178 φορές ισχυρότερη από τη βαρυτική έλξη της Σελήνης, η Σελήνη είναι εκείνη που κυριαρχεί τον παλιρροιακό μηχανισμό (Castro, 1991). Ο χρόνος δύο διαδοχικών πλημμυρίδων δεν είναι ίσος με το χρόνο δύο διαδοχικών άμπωτιδων, γιατί η θάλασσα χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να κατέβει παρά για να ανέβει. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από το σχήμα των ακτών. Έτσι παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στο χρόνο ανόδου και καθόδου των θαλασσών, από

τόπο σε τόπο, π.χ. στη Χάβρη η διαφορά αυτή είναι 2 ώρες και 8', ενώ στην Βρέστη είναι μόνο 16'. Η μεγαλύτερη παλίρροια παρουσιάζεται όταν η Σελήνη η Γη και ο Ήλιος ευθυγραμμίζονται. Τότε οι παλιρροϊκές δυνάμεις της Σελήνης και του ήλιου προστίθενται και μάλιστα με τη μεγαλύτερη δυνατή ένταση. Η ανύψωση των θαλασσών από την παλίρροια είναι αρκετά περίπλοκο φαινόμενο, γιατί συμβαίνουν ταυτόχρονα πολλά φαινόμενα που συμβάλλουν στην τελική διαμόρφωση της στάθμης των θαλασσών. Ένα τέτοιο παράλληλο φαινόμενο είναι η αυξομείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Με την εμφάνιση της πλημμυρίδας αυξάνεται η ατμοσφαιρική πίεση εξαιτίας της συσσώρευσης μαζών αέρα, με αποτέλεσμα τη μικρότερη ανύψωση των θαλασσών. Πρέπει να σημειωθεί ότι η παλίρροια δεν έχει πάντα το ίδιο ύψος, ακόμα και μέσα στην ίδια μέρα. Η διαφορά ύψους των παλιρροιών κατά την ίδια ημέρα, ονομάζεται ημερήσια ανισότητα, (Δασκαλάκης, 1999). Η ημερήσια ανισότητα οφείλεται στην κίνηση της Σελήνης βόρεια ή νότια του Ισημερινού, οπότε η επίδραση της Σελήνης είναι διαφορετικού βαθμού (εκτός από την περίπτωση που η Σελήνη βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον Ισημερινό). Αξιοσημείωτη ημερήσια ανισότητα παρατηρείται στον Ινδικό και Ειρηνικό Ωκεανό, ενώ στο Βόρειο Ατλαντικό είναι μόνο ελαφρά ορατή. Στις παλίρροιες της Ευρώπης το φαινόμενο αυτό είναι πολύ λιγότερο σύνθετο παρά σε άλλες περιοχές της γης .

Όταν ο Ήλιος, η Γη και η Σελήνη βρίσκονται σε ευθεία γραμμή, όπως στη Νέα Σελήνη και την Πανσέληνο (εικόνα 3.1), οι παλιρροιακές δυνάμεις του Ήλιου και της Σελήνης προστίθενται. Έτσι έλκουν προς την ίδια κατεύθυνση και αναγκάζουν τις πλημμυρίδες να είναι υψηλότερες από τις μέσες, και τις αμπώτιδες να είναι χαμηλότερες από τις μέσες. Αυτές οι ισχυρότερες παλίρροιες ονομάζονται μέγιστες παλίρροιες ή παλίρροιες συζυγιών (Spring tides). Οι παλίρροιες συζυγιών χαρακτηρίζονται από μεγάλες τιμές εύρους παλίρροιας, πλήμμης και ρηχίας. Με τη Σελήνη στο πρώτο ή τελευταίο τέταρτο (εικόνα 3.1), η παλιρροιακή δύναμη της Σελήνης ενεργεί σε μια κάθετη κατεύθυνση στην παλιρροιακή δύναμη του Ήλιου (αφαιρείται η παλίρροια που προκαλείται από την έλξη του Ήλιου). Αυτό κάνει τις παλίρροιες μικρότερες από τις μέσες, και ονομάζονται ελάχιστες παλίρροιες ή παλίρροιες τετραγωνισμών (Near tides). Οι παλίρροιες τετραγωνισμών χαρακτηρίζονται από μικρές τιμές εύρους παλίρροιας, πλήμμης και ρηχίας.



Σχήμα 3.1. Μεταβολή της παλίρροιας σε σχέση με τη θέση της σελήνης του ήλιου και της γης. (Τροποποιημένο σχήμα από Castro, 1991)

Παλίρροια και ρεύμα κατά την ανύψωση και την πτώση της στάθμης των νερών η παλίρροια συνοδεύεται από περιοδική οριζόντια κίνηση του νερού, που ονομάζεται παλιρροιακό ρεύμα (tidal current ή tidal stream). Οι δυο κινήσεις, παλίρροια (με την ευρύτερη έννοια του κύματος) και παλιρροιακό ρεύμα, βρίσκονται σε στενή σχέση. Αποτελούν μέρη του ίδιου φαινομένου, που δημιουργείται από τις παλιρροιακές δυνάμεις του ήλιου και της σελήνης κυρίως. Είναι εν τούτοις, απαραίτητο να γίνει σαφής διάκριση μεταξύ παλίρροιας και παλιρροιακού ρεύματος, επειδή η σχέση τους δεν είναι απλή ούτε και παντού η ίδια. Οι ναυτικοί χρησιμοποιούν την τεχνική ορολογία : παλίρροια (tide) για την κατακόρυφη ανύψωση και πτώση του νερού και παλιρροιακό ρεύμα (tidal current) για την οριζόντια ροή. Η παλίρροια έχει πλημμυρίδα και αμπώτιδα, ενώ το παλιρροιακό ρεύμα κατευθύνεται από την ανοικτή θάλασσα προς την ακτή οπότε παρατηρείται η πλημμυρίδα του παλιρροιακού ρεύματος και από την ακτή προς την ανοικτή θάλασσα, οπότε παρατηρείται η αμπώτιδα του παλιρροιακού ρεύματος (Ζαφειρόπουλος, 2001).

Το ανέβασμα ή το κατέβασμα της στάθμης των νερών, δεν προέρχεται από κατακόρυφες κινήσεις των μορίων του νερού που οφείλονται στις δυνάμεις της γέννησης των παλιρροιών, γιατί οι τελευταίες αυτές είναι εντελώς ανεπαρκείς για να εξουδετερώσουν τις δυνάμεις της βαρύτητας. Η ανύψωση της ελεύθερης στάθμης των νερών οφείλεται σε οριζόντιες κινήσεις των μορίων οι οποίες κατευθύνονται από τα μακρύτερα ευρισκόμενα σημεία προς τα αμέσως κάτω από τη Σελήνη σημεία της γήινης σφαίρας (Δασκαλάκης, 1999).

3.2.3 Παλίρροιας σε κόλπους και λιμάνια

Ένας κόλπος ή μια λιμνοθάλασσα, που συνδέονται με τον ωκεανό μέσω ενός μικρού λιμανιού παρουσιάζουν παλίρροια πολύ μικρότερη από αυτή που παρουσιάζεται στον ίδιο τον ωκεανό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ροή του νερού μειώνεται λόγω της μικρής εισόδου του λιμανιού που συνδέει τον κόλπο με τον ωκεανό. Επίσης υπάρχουν και απώλειες ενέργειας οι οποίες

οφείλονται σε τριβές κατά την είσοδο και έξοδο του νερού και που περιορίζουν τη παλίρροια ενός κόλπου. Τέλος, η παλίρροια ενός κόλπου καθυστερεί από την αντίστοιχη του ωκεανού γιατί χρειάζεται κάποιος χρόνος για να γεμίσει η λιμνοθάλασσα (Αλμπανάκης, 1999). Στο λιμάνι Gallegos της Αργεντινής το εύρος της παλίρροιας φτάνει τα 18 m και στην Granville της Γαλλίας φθάνει τα 16,80 m. Το εύρος της παλίρροιας είναι πολύ μικρό ή εντελώς αμελητέο σε εσωτερικές ή κλειστές θάλασσες και λίμνες, τέτοιες θάλασσες είναι η Μεσόγειος, κ.α (Μέμος, 2000).

3.2.4 Επίδραση της άμπωτης στους θαλάσσιους οργανισμούς

Τα φυτά και τα ζώα που βρίσκονται στην μεσοπαραλιακή ζώνη, βρίσκονται σε συνθήκες πολύ πιο αντίξοες απ' ό τι οι υπόλοιποι οργανισμοί. Το ανώτερο τμήμα της μεσοπαραλιακής ζώνης, βυθίζεται τελείως μόνο κατά την πλήμμη και ακόμα και τότε για μικρό χρονικό διάστημα. Βέβαια το ανώτατο στρώμα της μπορεί να βυθίζεται καθημερινά αλλά μόνο κατά τη διάρκεια ιδιαίτερα έντονων συζυγιακών παλιρροιών. Πρακτικά, το ανώτατο μέρος της μεσοπαραλιακής ζώνης δε βυθίζεται σχεδόν ποτέ. Όμως, διατηρείται υγρό εξαιτίας του "ψεκασμού" του από τη θραύση των κυμάτων. Ο χρόνος ανάδυσης ή ο χρόνος που οι οργανισμοί ζουν έξω από το νερό, αυξάνεται προς τα ανώτερα επίπεδα της μεσοπαραλιακής ζώνης (Castro, 1991). Μερικά από τα βασικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι θαλάσσιοι οργανισμοί όταν βρίσκονται έξω από το νερό κατά την άμπωτη είναι η αφυδάτωση, η άνοδος της θερμοκρασίας, η ασιτία (π.χ οι διηθηματοφάγοι οργανισμοί εφόσον δεν βρίσκονται στο νερό αδυνατούν να φιλτράρουν), η ανοξία, η οσμωτική πίεση (οσμωτικό σοκ) και η αυξημένη θήρευση (αποτελώντας τροφή για τα πουλιά). Συνεπώς για να "γλιτώσει" ένας οργανισμός από την άμπωτη, πρέπει να είναι σε θέση να αποφεύγει την αφυδάτωση ή να την αντέχει. Έτσι οι περισσότεροι οργανισμοί της μεσοπαραλιακής ζώνης, αντιμετωπίζουν αυτό το πρόβλημα είτε με το να στεγανοποιούνται (πεταλίδες), είτε με το να μετακινούνται (καβούρια), σε μέρη με περισσότερη υγρασία και να περιμένουν να ανέβει ξανά η στάθμη του νερού. Κάποιοι οργανισμοί αντί να μετακινούνται σε υγρές θέσεις όταν η στάθμη του νερού πέφτει, μένουν μόνιμα εδραιωμένοι σε υγρές θέσεις (μύδια). Τέλος κάποιοι άλλοι οργανισμοί, είναι ικανοί να αφυδατώνονται και να επανέρχονται στη φυσιολογική τους κατάσταση όταν η στάθμη του νερού ανέβει ξανά (ορισμένα μακροφύκη των βράχων μπορούν να αντέξουν απώλεια νερού μέχρι και 90% όταν αφυδατωθούν, επανέρχονται όμως στη φυσιολογική τους κατάσταση αμέσως όταν ανέβει η στάθμη του νερού) (Σκούφας, 2003).



Εικόνα 3.2. Οργανισμοί (πεταλίδες και μύδια) εδραιωμένοι σε υγρές θέσεις, όταν η στάθμη μειώνεται.

3.3 Ανεμογενής κυματισμός

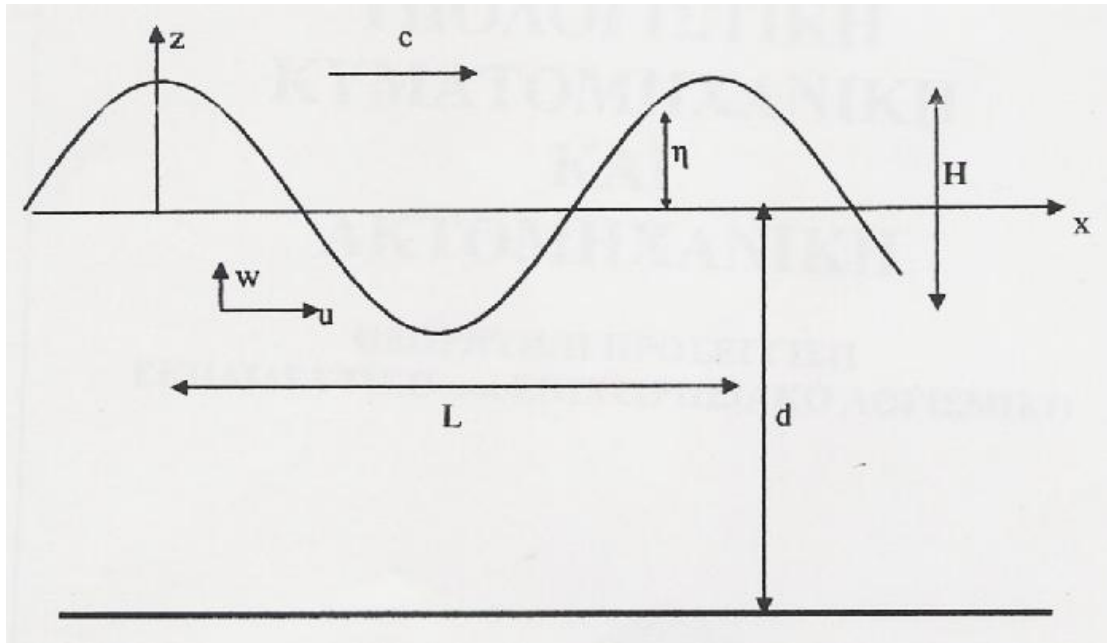
Σε κάθε συνεχές και παραμορφώσιμο μέσο, ως κυματισμοί μπορεί να οριστούν όλες εκείνες οι μη μόνιμες (περιοδικές ή μη) διαταραχές της θέσεως των μορίων του, γύρω από μια θέση ισορροπίας είτε στο εσωτερικό είτε στην επιφάνειά του (Σαββίδης, 2004). Με την ευρεία έννοια της φυσικής τα ελαστικά κύματα είναι μεταφορά ενέργειας με περιοδική κίνηση των μορίων της ύλης. Έτσι, τα κύματα είναι περιοδικές μηχανικές ταλαντώσεις των μορίων του νερού, οποιασδήποτε περιόδου, στην επιφάνεια ή στο βάθος, με τις οποίες γίνεται μεταφορά ενέργειας (Σαββίδης, 2004). Τα κύματα δημιουργούνται από ποικίλες αιτίες (πίνακας 1.), όπως η βαρύτητα, οι καταιγίδες, οι σεισμοί, η έλξη της σελήνης και του ήλιου, η κυριότερη όμως αιτία δημιουργίας θαλάσσιων κυμάτων είναι ο άνεμος. Σε κλειστές θάλασσες όπως είναι η Μεσόγειος, η Βαλτική, ο Εύξεινος Πόντος κ.ά. που θεωρούνται 'απαλλαγμένες' από παλίρροιες, ο άνεμος αποτελεί την κατ' εξοχήν αιτία των παρατηρουμένων κυμάτων.

Τύπος κύματος	Περίοδος	Δύναμη που επηρεάζει τα χαρακτηριστικά των κυμάτων.	Δύναμη που δημιουργεί τα κύματα.	Σχόλια.
Τριχοειδή κύματα	< 0,1 sec	Επιφανειακή τάση	Άνεμος	-
Μεγάλης βαρύτητας κύματα	0,1-1 sec	Επιφανειακή τάση και βαρύτητα	Άνεμος	-
Συνήθους βαρύτητας κύματα	1-30 sec	Βαρύτητα	Άνεμος	Άνεμογενή κύματα
Μικρής βαρύτητας κύματα	30 sec – 5min	Βαρύτητα και επιτάχυνση Coriolis	Άνεμος και συνήθη κύματα βαρύτητας	Σπύσιμο κυμάτων στην ακτή, ταλαντώσεις και καταγίδες
Μακράς περιόδου κύματα	>5 min	Βαρύτητα και επιτάχυνση Coriolis	Καταγίδες Σεισμοί	Tsunamis
Συνήθη παλιρροϊκά κύματα	Καθορισμένη περίοδος σε ώρες	Βαρύτητα και επιτάχυνση Coriolis	Έλξεις Σελήνης και Ήλιου	Παλίρροια
Μετασηματισμένα παλιρροϊκά κύματα	-	Βαρύτητα και επιτάχυνση Coriolis	Καταγίδες και έλξεις Σελήνης και Ήλιου	-

Πίνακας 3.1 Τύποι κυμάτων

Κατά την έναρξη της δράσης του ανέμου, στην επιφάνεια του ηρεμούντος ύδατος δημιουργούνται "ρυτίδες" ακανόνιστου σχήματος. Αργότερα όσο αυξάνει η ένταση του ανέμου παρατείνεται και η διάρκεια της δράσεως αυτού στην επιφάνεια του ύδατος, με συνέπεια οι ρυτίδες να μεταβάλλονται σε **κύματα** ακαθόριστου σχήματος και διεύθυνσης. Στη συνέχεια όμως, όταν παύσει να πνέει ο άνεμος τα κύματα λαμβάνουν συγκεκριμένη μορφή, δηλαδή κανονικό σχήμα με ορισμένο ύψος, μήκος και περίοδο. Αν μάλιστα δεν μεσολαβήσει άλλη αιτία η περίοδος του κυματισμού θα διατηρείται μέχρι της πλήρους απόσβεσής της.

Τα κύματα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις παράκτιες ζώνες, καθώς σχετίζονται με την κατασκευή παράκτιων έργων, όπως κυματοθραυστών, αλιευτικών καταφυγίων και άλλων λιμενικών έργων, καθώς και με φαινόμενα διάβρωσης, μεταφοράς και απόθεσης φερτών υλών (Σαββίδης, 2004).



Εικόνα 3.3. Ορισμός παραμέτρων συστήματος γραμμικών κυματισμών

Όπου:

L = το μήκος κύματος

H = το ύψος του κύματος

C = η φασική ταχύτητα (ταχύτητα διαδόσεως) του κύματος (m/s)

w, u = οι συνιστώσες ταχύτητας των μορίων του νερού, γενικά διαφορετικές του C (m/s). d = Το βάθος του νερού στην αρχική κατάσταση. η = η απόσταση της στάθμης της θάλασσας από τη μέση στάθμη κυματισμού (ΜΣΚ).

3.3.1 Δράση των κυματισμών

Η δράση των κυματισμών στο εσωτερικό των λιμένων είναι επιβλαβής και αποφευκτέα. Συνήθως είναι αδύνατων να προφυλαχθούν τελείως οι λιμένες από τους κυματισμούς που έρχονται από την ανοιχτή θάλασσα ή δημιουργούνται τοπικά (σε εκτάσεις 5 km). Η επίδρασή τους στα πλοία είναι συνάρτηση του πλάτους και της σχέσεως μήκους τους προς το μήκος των πλοίων. Η προέλευσή τους είναι ποικίλη (Κουτίτας, 2005). Εάν οι κυματισμοί δεν απορροφηθούν από ειδικές διατάξεις ή κεκλιμένες ακτές με μηδενικούς συντελεστές ανακλάσεως, μπορούν να ανακλαστούν και να δημιουργήσουν στο εσωτερικό της λεκάνης μια κατάσταση στάσιμων κυματισμών (αντιμάμαλο) που είναι ενοχλητική για τα μικρά πλοία. Τα μέτρα που παίρνονται για τον περιορισμό της δράσεως των (κυρίως βραχέων) κυματισμών αφορούν (Κουτίτας, 2005):

- Στην παρεμπόδιση της εισόδου ενέργειας στο εσωτερικό των λιμένων την κατάλληλη διάταξη των κυματοθραυστών.
- Στην απορρόφηση της ενέργειας πριν φθάσει στις θέσεις παραβολής με διατάξεις (π.χ η διαμόρφωση μακρόστενης εισόδου με παράλληλους βραχίονες από λιθορριπές που απορροφούν πλευρικά την ενέργεια των κυματισμών , η παγίδευση των κυματισμών που προσπίπτουν λοξά ως

προς την είσοδο με κεκλιμένα πρηνή προς τις γραμμές κορυφής των κυμάτων, η διατήρηση ή δημιουργία κεκλιμένων ακτών που δεν επιτρέπουν ανάκλαση των κυματισμών κ.τ.λ)

- Στην κατάλληλη διάταξη των θέσεων παραβολής, ώστε τα πλοία να ενοχλούνται το ελάχιστο δυνατό.

3.3.2 Είσοδος στο λιμένα

Η είσοδος των πλοίων, εφ' όσον το βάθος στην περιοχή της εισόδου του λιμένα δεν είναι αρκετό για την εξυπηρέτηση του "πλοίου μελέτης" (δηλαδή του μέγιστου πλοίου που θα εξυπηρετήσει ο λιμένας), γίνεται μέσω υφαλαύλακας, συνήθως τραπεζοειδούς διατομής, βυθοκορημένης στο φυσικό απόθεμα. Ο υφαλαύλακας οδηγεί στη είσοδο. Η προσέγγιση γίνεται με την κανονική ταχύτητα πλεύσεως, ενώ στο εσωτερικό η ταχύτητα ελιγμών μειώνεται (Κουτίτας, 2005). Κατά την προσέγγιση και είσοδο τα πλοία υπόκεινται στην επίδραση παλίρροιας, κυματισμών και ρευμάτων που επηρεάζουν την κίνησή τους και συνεπώς και τις απαιτούμενες διαστάσεις πλάτους και βάθους υφαλαύλακας. Ο υπολογισμός του απαραίτητου βάθους γίνεται εμπειρικά ή με ανάλυση των επί μέρους διαστάσεων. Με βάση προηγούμενες μετρήσεις επί τόπου και έρευνες σε φυσικά ομοιώματα προτείνεται από την PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses), εμπειρικά ότι το ελάχιστο "πόδι πιλότου" είναι 1,5-2,5 m (γύρω στο 15% του βυθίσματος). Έτσι το ελάχιστο βάθος στην κατάσταση κατωτάτης ρηχίας (δηλαδή κατά την αμπώτιδα της πιο ισχυρής παλίρροιας) πρέπει να είναι ίσο προς το έμφορτο βύθισμα του "πλοίου μελέτης" συν 1,5 έως 2,5 m. Η ανάλυση φανερώνει ότι στον καθορισμό του ελάχιστου βάθους νερού συμβάλλουν οι εξής επί μέρους παράγοντες (Κουτίτας, 2005) :

- Το βύθισμα των φορτωμένων πλοίων, που είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της γραμμής φορτώσεως και του χαμηλότερου σημείου της καρίνας του.
- Οι μεταβολές πυκνότητας που παρατηρούνται κατά την μετάβαση από το θαλασσινό νερό (1,025 gr/cm³) στο γλυκό νερό των ποταμών (1 gr/cm³).
- Η παλίρροια που επικρατεί στην περιοχή.
- Το επί πλέον βύθισμα σε περιορισμένα παιδία πλεύσεως.
- Οι ταλαντώσεις λόγω κυματισμών και ιδιαίτερα οι στροφές γύρω από τους άξονες οχ,ογ.
- Η κατά μήκος κλίση της καρίνας.

3.3.3 Επίδραση του κυματισμού στους οργανισμούς

Οι οργανισμοί της μεσοπαραλιακής ζώνης καθώς είναι εκτεθειμένοι στα κύματα έχουν αναπτύξει μηχανισμούς για να μπορούν να αντεπεξέλθουν, όπως ισχυρή προσκόλληση, χαμηλή κατανομή και ευκαμψία. Οι εδραιωμένοι οργανισμοί στερεώνονται γερά πάνω στα βράχια για να μην παρασυρθούν. Για παράδειγμα τα μακροφύκη χρησιμοποιούν δίσκους προσκόλλησης, τα βελονοειδή εξασφαλίζουν τη σταθερότητα τους με τη βοήθεια μιας κόλλας και τα μύδια χρησιμοποιούν τις ίνες του βύσσου τους για την προσκόλληση. Πολλοί από τους κινούμενους θαλάσσιους οργανισμούς μπορούν να

προσκολληθούν δυνατά πάνω στα βράχια. Οι πεταλίδες και τα πολυπλακοφόρα χρησιμοποιούν το μυώδες πόδι τους ως ένα ισχυρό όργανο προσκόλλησης. Από την άλλη, οι γοβιοί (*Gubius*) και τα κολλησόψαρα (*Gobiesox*) (οικογένεια δισκοκέφαλων ψαριών που ονομάζονται επίσης και εχενίδες) έχουν βεντούζες προσκόλλησης. Βέβαια τα ψάρια δεν προσκολλούνται τόσο ισχυρά όσο οι πεταλίδες, μπορούν όμως να κολυμπήσουν αν αποκολληθούν. Κάποιοι άλλοι οργανισμοί κρύβονται για να προφυλαχτούν από τον κυματισμό. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελούν τα παραλιακά καβούρια (*Pachygrapsus*, *Hemigrapsus*, *Grapsus*) τα οποία μετακινούνται σε προφυλαγμένες θέσεις όταν η κυματική δράση γίνεται ισχυρή. Ένα άλλο εξίσου ενδιαφέρον παράδειγμα αποτελεί η θαλάσσια ανεμώνη (*Actinia equina*), που συναντάται στη μεσοπαραλιακής ζώνη της μεσόγειου και άλλων θαλασσών (Karalis et al, 2003).



Εικόνα 3.4. εδραιωμένοι οργανισμοί *M.galloprovincialis*

Σε προφυλαγμένες από τον κυματισμό θέσεις η ανεμώνη είναι ψηλόσωμη, ενώ σε περιοχές με ισχυρή κυματική δράση είναι πολύ πιο κοντόσωμη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της αντίστασης του σώματος στη ροή του νερού επιτρέποντας σε περισσότερο νερό να περάσει πάνω από την ανεμώνη, με αποτέλεσμα αυτή να συλλαμβάνει περισσότερα μερίδια τροφής. Άλλοι οργανισμοί όπως τα φαιοφύκοι του γένους *Cystoseira* (Montesanto and Panayotidis, 2000), αντιμετωπίζουν τον κυματισμό με την ευλυγισία τους. Σε ήρεμα νερά στέκεται όρθιο ενώ όταν το χτυπάει το κύμα, κάμπτεται προς την κατεύθυνση του κύματος. Ένας ακόμη τρόπος για να προστατευτούν από τη κυματική δράση οι οργανισμοί είναι με το σχηματισμό πυκνών ομάδων. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελούν τα μύδια, που όταν αναπτύσσονται ως απομονωμένα άτομα δέχονται την πλήρη επίδραση της κυματικής δράσης, ενώ όταν σχηματίζουν πυκνές ομάδες, τα κύματα δε χτυπάνε άμεσα πάνω στο καθένα απ' αυτά, αλλά "γλιστρούν" πάνω τους (Castro, 1991).

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ SST

Ο υπολογισμός της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας με κάποια ακρίβεια είναι μια πολύ πρόσφατη κατάκτηση της επιστήμης και της τεχνολογίας. Παρότι για πάνω από 200 χρόνια οι άνθρωποι γνώριζαν πως η στάθμη της θάλασσας δεν ήταν παντού η ίδια αλλά διαφέρει από τόπο σε τόπο δεν είχαν την δυνατότητα να μετρήσουν αυτή τη μεταβολή. Μόνο τα τελευταία χρόνια με την ανακάλυψη των εναέριων αλιμτρών αλλά και των δορυφορικών γεωδαιτικών συστημάτων (GPS, TOPEX/Poseidon κ.α.) έγινε δυνατή μια λεπτομερής παρατήρηση της θαλάσσιας τοπογραφίας. Τα πρόσφατα πειράματα μας έφεραν μπροστά σε πολλές μεγάλες εκπλήξεις καθώς κανένας δεν είχε προβλέψει πόσο μεγάλες μεταβολές παρουσιάζει η επιφανειακή τοπογραφία των ωκεανών. Και αν στις μεγάλες θάλασσες η έρευνα των δορυφορικών προγραμμάτων μας έδωσε εντυπωσιακά και ακριβή αποτελέσματα, σε μικρές θάλασσες αλλά και σε παράκτιες περιοχές η έρευνα είναι ακόμα σε αρκετά πρώιμο στάδιο. Σε αντίθεση με το γεωειδές η μέτρηση της SST γίνεται παραδοσιακά «από αέρος». Τα κυριότερα όργανα για αυτό είναι οι υψομετρητές.

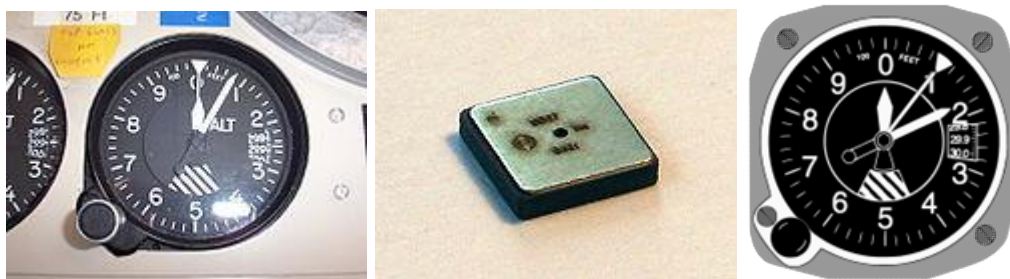
4.1 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ - ΥΨΟΜΕΤΡΗΤΕΣ (altimeter)

Ένας υψομετρητής είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για να μετρήσει το ύψος ενός αντικειμένου επάνω από ένα σταθερό επίπεδο. Η μέτρηση του ύψους καλείται υψομέτρηση. Ο όρος είναι αντίστοιχος με τον όρο βαθομέτρηση που χρησιμοποιείται για τις μετρήσεις βαθών από τα υποβρύχια. Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζονται διάφορα είδη υψομετρητών.

4.2 ΟΡΓΑΝΑ ΣΕ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ

4.2.1 Υψομετρητής πίεσης

Ένας υψομετρητής πίεσης (ή αλλιώς βαρομετρικός υψομετρητής) είναι ο υψομετρητής που χρησιμοποιούν τα περισσότερα αεροσκάφη. Η αρχή λειτουργίας του έχει ως εξής. Ένα βαρόμετρο μετρά την ατμοσφαιρική πίεση από ένα σταθερό σημείο (κοντά στη θάλασσα) έξω από το αεροσκάφος. Η πίεση αέρα μειώνεται με την αύξηση του ύψος περίπου 100 millibars ανά 800 μέτρα ή μια ίντσα στήλης υδραργύρου ανά 1000.



Εικόνα 4.1 Διάφορα είδη υψομετρητών που συναντάμε σε αεροσκάφη

Ο υψομετρητής είναι βαθμονομημένος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να παρουσιάσει την πίεση άμεσα ως ύψος επάνω από τη μέση στάθμη θάλασσας, σύμφωνα με ένα μαθηματικό πρότυπο για την γήινη ατμόσφαιρα (ISA). Τα παλαιότερα αεροσκάφη χρησιμοποίησαν ένα απλό βαρόμετρο όπου η βελόνα έκανε λιγότερο από μια περιστροφή γύρω από το μηδέν. Τα σύγχρονα αεροσκάφη χρησιμοποιούν έναν ευαίσθητο υψομετρητή (Sensitive Altimeter) του οποίου η βελόνα διαγράφει πολλαπλάσιες περιστροφές, ενώ περιέχει και μία ή περισσότερες δευτερεύουσες βελόνες που καταγράφουν τον αριθμό των περιφορών. Με αυτά τα όργανα η ακρίβεια στη μέτρηση του ύψους αγγίζει τα πολύ λίγα μέτρα (2-5 m).

Σε έναν ευαίσθητο υψομετρητή, η πίεση αναφοράς σταθμών θάλασσας μπορεί να ρυθμιστεί από ένα δίκτυο σταθερών σταθμών ανά τη γη. Αυτό συμβαίνει καθώς η πίεση αναφοράς στις ίντσες της στήλης υδραργύρου διαφέρει από τόπο σε τόπο, ενώ επηρεάζεται από την συνεχή μετακίνηση των συστημάτων πίεσης και τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας.

Στην αεροπορία η περιφερειακή ή τοπική πίεση αέρα μετρείται με βάση τη μέση στάθμη θάλασσας (MSL) και ονομάζεται το QNH ή "υψομέτρηση υποβάθρου". Η πίεση που θα δοθεί τον υψομετρητή για να υπολογίσει το ύψος επάνω από το έδαφος σε ένα δεδομένο σημείο ονομάζεται QFE του τομέα. Ένας υψομετρητής δεν μπορεί παρόλα αυτά να ρυθμιστεί για τις αλλαγές στη θερμοκρασία του αέρα.

Ο τύπος υπολογισμού που χρησιμοποιεί ένας υψομετρητής για ύψη έως 11.000 μ είναι:

$$h = \frac{(1 - (P/P_{ref})^{0.19026}) \times 288.15}{0.00198122}$$

(4.1)

,όπου h είναι το ύψος σε πόδια, P η στατική πίεση και P_{ref} η πίεση αναφοράς.

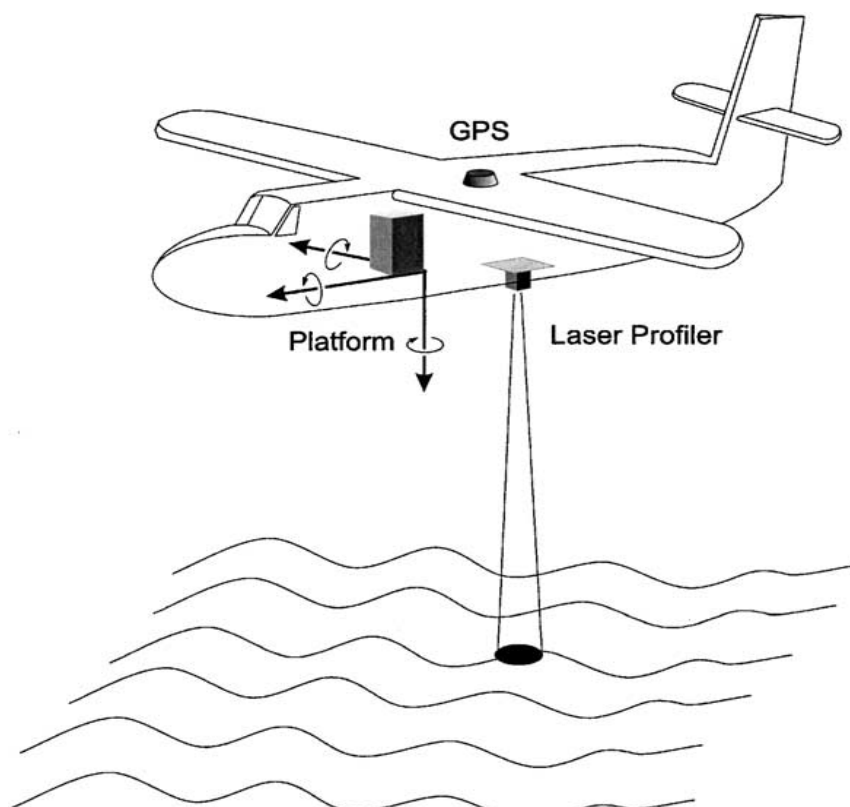
4.2.2 Ραντάρ υψομετρικών διακυμάνσεων

Ένα ραντάρ υψομετρικών διακυμάνσεων μετρά το ύψος αμεσότερα, χρησιμοποιώντας το χρόνο που λαμβάνεται για ένα σήμα που αντανάκλαται από την επιφάνεια πίσω στα αεροσκάφη. Το ραντάρ υψομετρικών διακυμάνσεων χρησιμοποιείται για να μετρήσει το ύψος επάνω από το γήινο επίπεδο κατά τη διάρκεια της προσγείωσης στα αεροσκάφη. Η τεχνολογία υψομετρικών ραντάρ χρησιμοποιείται επίσης για να επιτρέπει στα μαχητικά αεροσκάφη να πετάνε σε πολύ χαμηλό ύψος.

4.2.3 Laser profiler

Μια σύγχρονη μέθοδος προσδιορισμού της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας (SST) είναι αυτή της τοποθέτησης μια συσκευής laser profiler σε αεροσκάφος. Το σύστημα, που διαθέτει επίσης έναν επιταχυντή τριών (3) βαθμών ελευθερίας και ένα σύστημα GPS για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης του αεροσκάφους, είναι ιδανικό για την αποτύπωση της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας σε μικρές θάλασσες. Η ακρίβεια που μπορεί να

επιτευχθεί με αυτή τη μέθοδο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Πάντως, με τη συλλογή και άλλων δεδομένων όπως καταγραφές από παλιρροιογράφοις η μέθοδος του laser profiler μπορεί να φτάσει την ακρίβεια των 3-5 cm. Στην Εικόνα 4.2 βλέπουμε σχηματικά το σύστημα αυτό. Μετρήσεις με το σύστημα laser profiler έχουν γίνει κατά το παρελθόν και στην περιοχή μελέτης μας τα αποτελέσματα των οποίων θα παρουσιαστούν σε επόμενο κεφάλαιο σε σύγκριση με τα δικά μας (Cocard, Geiger, Kahle, Veis, 2002).

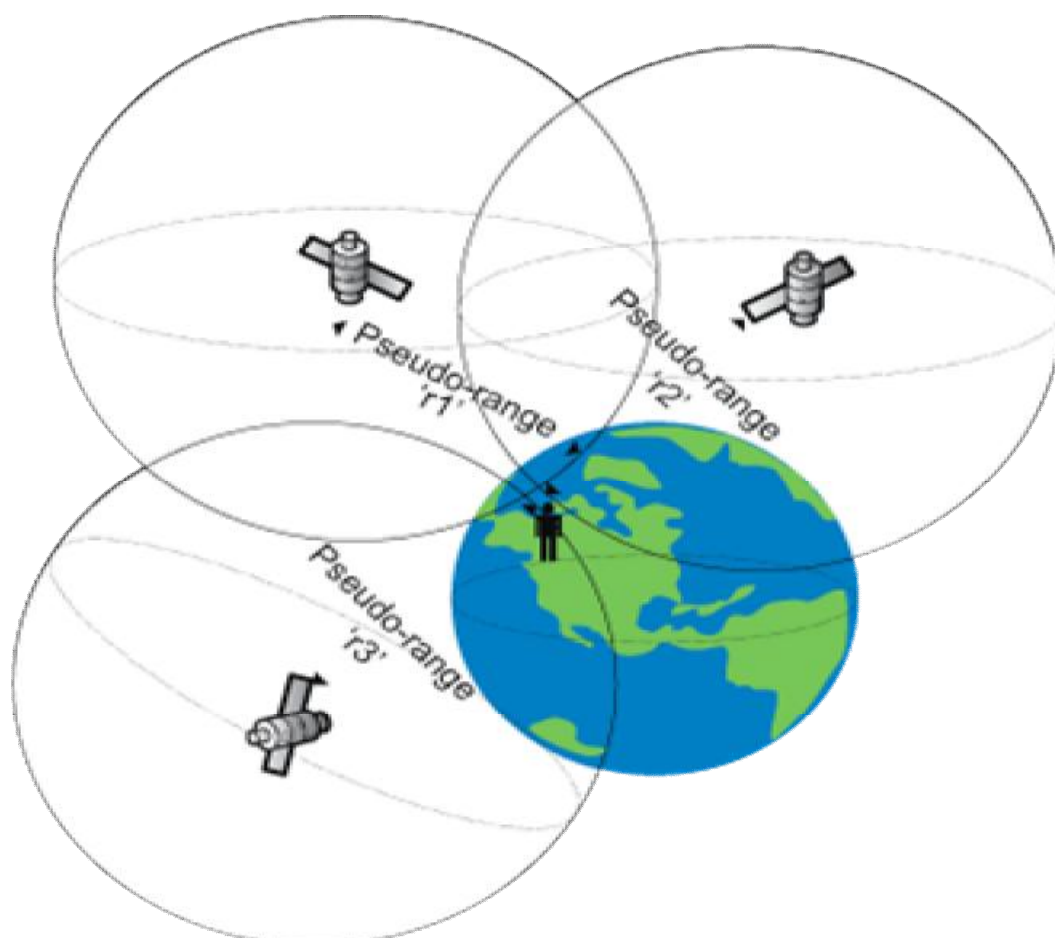


Εικόνα 4.2. Το σύστημα laser profiler.

4.3 GPS

Το GPS (Global Positioning System) είναι ένα γεωδαιτικό δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης ενός σημείου στο χώρο που αρχικά σχεδιάστηκε για τις ανάγκες πλοήγησης του Αμερικανικού Ναυτικού, αλλά κατέληξε να έχει γενικευμένη πολιτική χρήση. Η λειτουργία του GPS στηρίζεται σε 24 γεωδαιτικούς δορυφόρους οι οποίοι βρίσκονται σε σταθερές τροχιές γύρω από τη γη και οι συντεταγμένες τους είναι κάθε στιγμή γνωστές με μεγάλη ακρίβεια. Η αρχή λειτουργίας του GPS είναι η εξής: ο προσδιορισμός ενός σημείου στο χώρο (συντεταγμένες x,y,z) γίνεται με τον υπολογισμό των αποστάσεων του σημείου αυτού από τρεις δορυφόρους ως τομή τριών γεωμετρικών τόπων. Δηλαδή, το σημείο που θέλουμε να προσδιορίσουμε τις συντεταγμένες του βρίσκεται στην τομή τριών σφαιρών, με κέντρο κάθε σφαίρας ένα δορυφόρο και ακτίνα την απόσταση του σημείου από τον αντίστοιχο δορυφόρο (Εικόνα 4.3). Το πρόβλημα επομένως ανάγεται στον υπολογισμό των αποστάσεων ενός σημείου από το δορυφόρο και

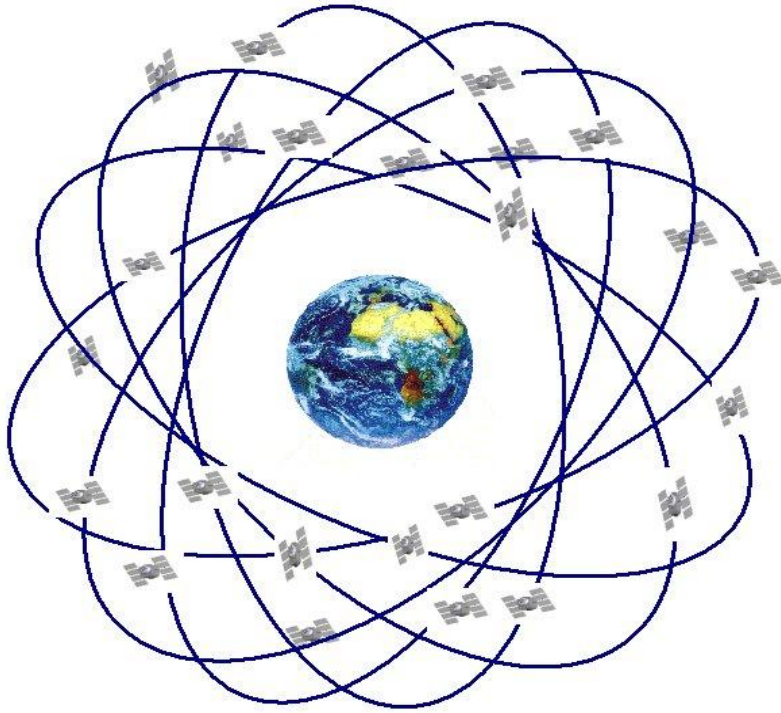
αντιστοιχεί σε σύστημα τριών αγνώστων (συντεταγμένες x,y,z) και τριών παρατηρήσεων (τρεις αποστάσεις).



Εικόνα 4.3. Υπολογισμός της θέσης ενός σημείου από την τομή τριών σφαιρών – αποστάσεων του συστήματος GPS

Η μέτρηση των αποστάσεων δορυφόρου-δέκτη γίνεται με τη μέτρηση του χρόνου, Δt , που διέρρευσε από τη στιγμή που εστάλη ένα σήμα με γνωστή ταχύτητα (ταχύτητα του φωτός) από το δορυφόρο μέχρι να φτάσει στο δέκτη. Επειδή για λόγους οικονομίας χρήματος και χώρου οι δέκτες δεν διαθέτουν ρολόι ακριβείας, ο χρόνος στο δέκτη θεωρείται ένας ακόμη (τέταρτος) αγνώστος και εισάγεται μία ακόμη παρατήρηση, η απόσταση από έναν τέταρτο δορυφόρο.

Στην πράξη, η θέση ενός δέκτη υπολογίζεται από περισσότερους από 4 δορυφόρους, και από σήμα δύο διαφορετικών συχνοτήτων (συχνότητες L1 και L2) που εκπέμπουν οι γεωδαιτικοί δορυφόροι. Οι υψηλών προδιαγραφών δέκτες GPS έχουν δυνατότητα λήψης και ανάλυσης και των δύο συχνοτήτων από πολλούς δορυφόρους, ενώ αντίθετα οι φτηνοί μόνο μιας και από λίγους. Οι 24 δορυφόροι GPS έχουν τεθεί ανά 4 σε 6 καθορισμένες τροχιές (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4. Διαφορετικές τροχιές των δορυφόρων του συστήματος GPS

Ο σχεδιασμός είναι τέτοιος ώστε να είναι ορατοί 4 δορυφόροι ανά πάσα στιγμή από κάθε σημείο επιφάνειας της Γης. Καθώς οι δορυφόροι κινούνται στον ουρανό, ο δέκτης λαμβάνει σήματα από τις νέες τους αλλά γνωστές θέσεις και υπολογίζει μία μέση τιμή των συντεταγμένων του.

4.3.1 Τα μέρη του συστήματος GPS

Ένα σύστημα GPS αποτελείται από τα εξής μέρη:

- **κεραία** μικρών διαστάσεων και βάρους για να είναι δυνατές οι μετρήσεις και σε αντίξοες συνθήκες. Η κεραία του GPS είναι πολυκατευθυντήρια, δηλαδή μπορεί να λάβει το σήμα από κάθε κατεύθυνση και να το οδηγήσει στο κέντρο της κεραίας, σημείο ως προς το οποίο γίνονται οι μετρήσεις. Πρέπει όμως για ακριβείς μετρήσεις να είναι κατακόρυφος ο άξονας της. Στην Εικόνα 4.5 βλέπουμε μια χαρακτηριστική κεραία GPS.



Εικόνα 4.5. Κεραία GPS της εταιρίας Leica

- **δέκτη**, ο οποίος παραλαμβάνει το σήμα από την κεραία και στην συνέχεια επεξεργάζεται τις καταγραφές. Πιο συγκεκριμένα, αποκωδικοποιεί το σήμα των μετρήσεων που λαμβάνει από την κεραία. Δέκτες υπάρχουν μονής και διπλής συχνότητας, με αποτέλεσμα οι πρώτοι να μπορούν να αποκωδικοποιήσουν μόνο το σήμα L1, ενώ οι δεύτεροι μπορούν να αποκωδικοποιήσουν και τα δύο σήματα. Λόγω της ιδιότητας αυτής οι δέκτες διπλής συχνότητας δίνουν πιο ακριβείς μετρήσεις σε μικρότερο χρονικό διάστημα και για λόγο αυτό είναι και μεγαλύτερο το κόστος τους. Να σημειωθεί ότι ο δέκτης χρησιμεύει και για την αποθήκευση των μετρήσεων.

- **Ηλεκτρονικό υπολογιστή** χειρός στον οποίο εισάγονται οι ρυθμίσεις για την διεξαγωγή των μετρήσεων (είδος μετρήσεων, συχνότητα καταγραφής, ύψος κεραίας κλπ). Οι διαδικασίες αυτές μπορούν να γίνουν και απευθείας από ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου μπορούν να αποθηκευτούν και οι μετρήσεις.

4.3.2 Σφάλματα του συστήματος GPS

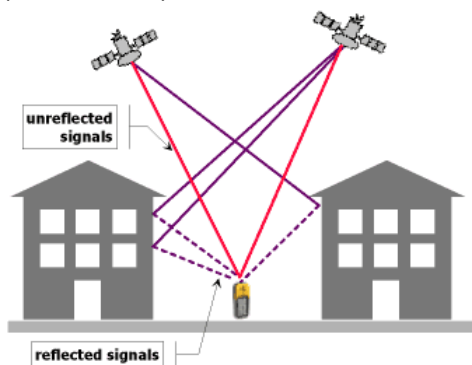
Όπως αναφέρθηκε, απαιτούνται 4 δορυφόροι για τον προσδιορισμό ενός σημείου στο χώρο. Παρόλα αυτά όμως εξαιτίας των σφαλμάτων που εμπιρεύουν οι μετρήσεις του GPS συνήθως απαιτούνται τουλάχιστον 6 με 7 δορυφόροι για να είναι οι μετρήσεις ακριβείς. Τα σφάλματα που εμφανίζονται

στο GPS οφείλονται σε διάφορους τομείς της λειτουργίας και τα πιο σημαντικά είναι τα εξής:

- Τα σφάλματα των χρονομέτρων των δορυφόρων, τα οποία ελέγχονται πάντως από τα επίγεια κέντρα ελέγχου του GPS.

- Τα σφάλματα λόγω επίδρασης των στρωμάτων της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας καθώς το σήμα του GPS διέρχεται μέσα από αυτά τα στρώματα και διαθλάται εισάγοντας σφάλματα στα μήκη.

- Τα σφάλματα των πολλαπλών διαδρομών λόγω ανάκλασης του σήματος (multipath error). Το σφάλμα αυτό προκαλείται όταν το σήμα δεν μεταδίδεται απευθείας από τον δορυφόρο στον δέκτη αλλά πρώτα έχει γίνει ανάκλαση του πάνω σε επιφάνειες που βρίσκονται κοντά. Τέτοιου είδους ανακλάσεις προκαλούν συνήθως το νερό, οι μεταλλικές επιφάνειες και τα κτίρια (Εικόνα 4.6).



Εικόνα 4.6. Ανάκλαση δορυφορικού σήματος σε επιφάνειες γύρω από την κεραία. Αποτέλεσμα της ανάκλασης, είναι η λήψη δύο ειδών σήματος α) απευθείας από το δορυφόρο και β) από τις διάφορες ανακλάσεις. Το γεγονός αυτό εισάγει σφάλματα στις μετρήσεις.

- Τα σφάλματα που προκαλούνται λόγω των λίγων δορυφόρων που χρησιμοποιούνται ή λόγω της κακής γεωμετρικής τους διάταξης. Τα σφάλματα αυτά μειώνονται με την αύξηση του πλήθους των δορυφόρων που είναι ορατοί από τον δέκτη (6 με 8 δορυφόροι θεωρούνται αρκετοί), την καταλληλότητα της θέσης τους και με την αύξηση της γωνίας ϵ που σχηματίζει ο χαμηλότερος ορατός δορυφόρος με τον ορίζοντα, δηλαδή το οριζόντιο επίπεδο.

- Τα σφάλματα λόγω των «εποχιακών» επιδράσεων (seasonal effects). Είναι συστηματικά σφάλματα τα οποία υπεισέρχονται στις μετρήσεις λόγω των μεγάλων μεταβολών της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας (Eckl et al., 2001).

4.3.3 Μέθοδοι μετρήσεων με GPS

Το σύστημα GPS είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να μπορεί να προσδιορίζει την θέση σημείου στο χώρο είτε αυτό είναι σταθερό είτε αυτό κινείται. Ο προσδιορισμός αυτός μπορεί να γίνει με δύο μεθόδους:

- Με την μέθοδο «stand-alone» όπου έχουμε τις καταγραφές μόνο ενός GPS τοποθετημένου σε συγκεκριμένου σημείου. Στην περίπτωση αυτή η

ακρίβεια δεν μπορεί να πέσει κάτω από τα 5 μέτρα (Smith, 1997). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την ναυσιπλοΐα κλπ. (Moore, Roberts, 1999).

• **Με την μέθοδο «differential», ευρύτερα γνωστή ως DGPS** όπου έχουμε καταγραφές δύο GPS: ενός στο σημείο που μας ενδιαφέρει (κινητού ή ακίνητου) και ενός δεύτερου ακίνητου GPS αναφοράς (λειτουργεί ταυτόχρονα με το πρώτο) τοποθετημένου σε ένα παρακείμενο σημείο αναφοράς. Οι δύο δέκτες GPS θεωρείται ότι λαμβάνουν σήματα που ακολουθούν κοινή διαδρομή, αντιστοιχούν σε κοινή γεωμετρική διάταξη και πλήθος κοινών ορατών δορυφόρων και έτσι απαλείφονται σε μεγάλο βαθμό σφάλματα που εμφανίζονται επιτυγχάνοντας ακρίβεια, έως μερικών χιλιοστών (Smith, 1997).

Μια εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι ότι επιτρέπει να έχουμε ένα δέκτη σταθερό (δέκτη αναφοράς, base receiver) και ένα δέκτη κινούμενο (rover receiver). Οι συνεχείς μετρήσεις του δέκτη αναφοράς εμφανίζουν μεταβολή των συντεταγμένων του που οφείλεται σε σφάλματα. Εκτιμώντας μια μέση τιμή της πραγματικής θέσης του, μπορούμε να εκτιμήσουμε τα σφάλματα κάθε στιγμής και με αυτά να διορθώσουμε τη θέση ενός κινούμενου δέκτη (rover receiver). Η επεξεργασία των μετρήσεων μπορεί να γίνει είτε εκ των υστέρων (post-processing), εφόσον οι δέκτες διαθέτουν καταγραφικό, είτε με άμεσο προσδιορισμό συντεταγμένων (real-time).

Η μέθοδος DGPS επιτρέπει να προσδιορίσουμε με ακρίβεια συντεταγμένες σημείων που είναι είτε ακίνητα είτε κινούνται. Στην πρώτη περίπτωση εφαρμόζεται η μέθοδος static, εκτιμώντας ουσιαστικά μια μέση τιμή των αποτελεσμάτων. Η μέθοδος αυτή έχει εφαρμογή και σε μελέτη πολύ αργών, ημιστατικών κινήσεων (π.χ. την παρακολούθηση σημείων ενός φράγματος, τεκτονικού ρήγματος ή και ηφαιστείου, όπου ο ρυθμός κίνησης των σημείων θεωρείται πρακτικά μηδενικός κατά την διάρκεια των μετρήσεων).

Στη δεύτερη περίπτωση, γνωστή ως μέθοδο kinematic, εντελώς απλουστευτικά, οι συντεταγμένες του σταθερού σημείου υπολογίζονται ως η μέση τιμή όλων των διαθέσιμων τιμών, και οι διαφορές των συντεταγμένων κάθε τιμής από τη μέση τιμή εισάγονται ως διορθώσεις στις αντίστοιχες τιμές των μετρήσεων του κινούμενου σημείου σε σχετικά μικρή απόσταση δέκτη (<1-5km).

Μία παραλλαγή της μεθόδου αυτής είναι η RTK (real-time kinematic), όπου κάθε στιγμή οι διορθώσεις από τον base receiver εισάγονται στον rover με ραδιοζεύξη, καλωδιακή σύνδεση ή άλλο πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας (πχ.GSM).

Κατά την εκτέλεση του δικούς μας πειράματος χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο 'kinematic GPS –on boat' για την οποία θα πούμε περισσότερα σε επόμενη παράγραφο. Η αναφορά εδώ του συστήματος GPS γίνεται γιατί αποτελεί πλέον ένα από τα κυριότερα συστήματα μέτρησης της SST μαζί φυσικά με τους δορυφόρους.

4.4 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ

4.4.1 Εισαγωγή

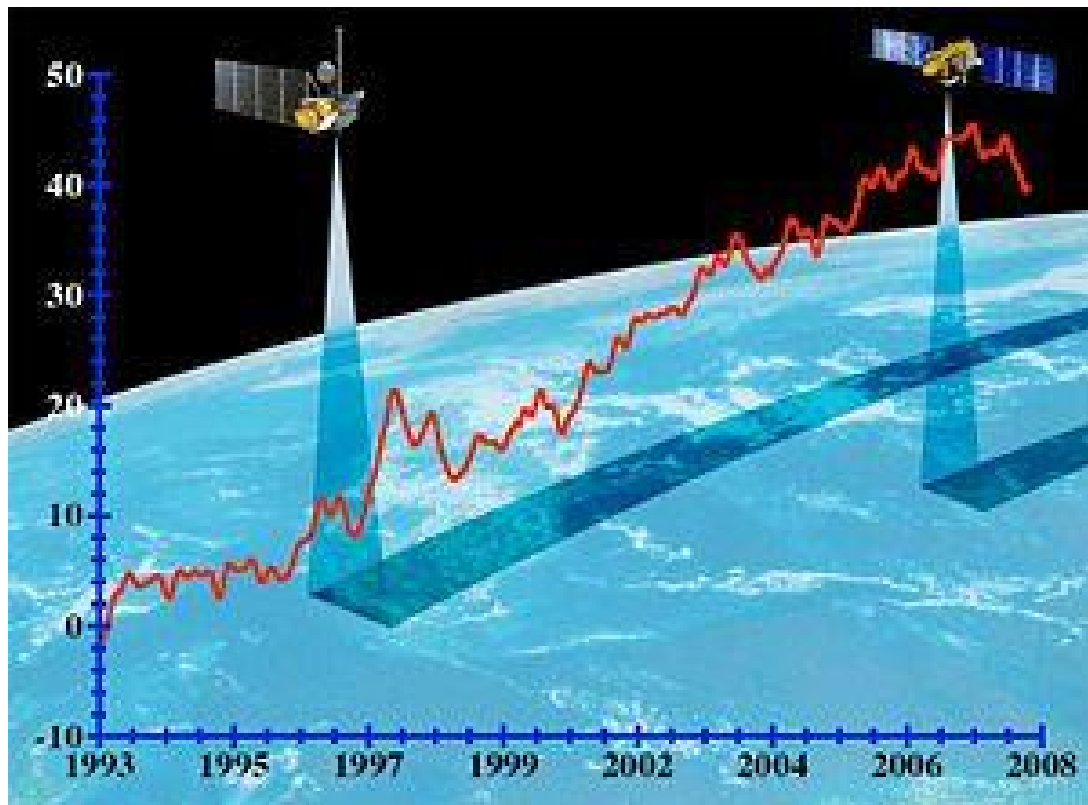
Ένας αριθμός από δορυφόρους χρησιμοποιούν προηγμένους υψομετρητές ραντάρ διπλής συμβολής για να υπολογίσουν το ύψος από το δορυφόρο.

Η μέτρηση που παίρνει ο δορυφόρος, διορθωμένη και από σταθερά δεδομένα επιφάνειας από GPS, μας επιτρέπει τον ακριβή υπολογισμό αυτού του ύψους. Τα δύο διαφορετικά μήκη κύματος των ραδιοκυμάτων που λαμβάνει ο δορυφόρος χρησιμοποιούνται για να επιτρέψουν στον υψομετρητή να διορθώσει αυτόματα τα σφάλματα. Κύρια πηγή αυτών των σφαλμάτων είναι η διάχυση των ραδιοκυμάτων από την ιονόσφαιρα.

Οι υψομετρητές διαστημικών ραντάρ έχουν αποδειχθεί θαυμάσια εργαλεία για την επιφανειακή θαλάσσια τοπογραφία, για τη χαρτογράφηση δηλαδή των «λόφων» και των «κοιλιάδων» της επιφάνειας της θάλασσας. Αυτά τα όργανα στέλνουν έναν παλμό μικροκυμάτων στην επιφάνεια του ωκεανού και μετρούν το χρόνο που παίρνει για να επιστρέψει. Ένα ραδιόμετρο μικροκυμάτων, που είναι ενσωματωμένο στο δορυφόρο, διορθώνει οποιαδήποτε καθυστέρηση μπορεί να προέρχεται από τους υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Ακολουθώντας, γίνονται και άλλες διορθώσεις από σφάλματα που προέρχονται λόγω της επίδρασης των ηλεκτρονίων στην ιονόσφαιρα και την ξηρή μάζα του αέρα της ατμόσφαιρας. Ο συνδυασμός αυτών των στοιχείων με την ακριβή θέση του διαστημικού σκάφους το καθιστά ικανό να καθορίσει το ύψος της θαλάσσιας επιφάνειας με ακρίβεια λίγων εκατοστών (περίπου μια ίντσα). Η δύναμη και η μορφή του σήματος που επιστρέφει παρέχουν επίσης τις πληροφορίες για την ταχύτητα αέρα και το ύψος των ωκεάνιων κυμάτων. Αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνται στα ωκεάνια πρότυπα για να υπολογίσουν την ταχύτητα και την κατεύθυνση των ωκεάνιων ρευμάτων και το ποσό και τη θέση της θερμότητας που αποθηκεύεται στον ωκεανό.

4.4.2 TOPEX/Poseidon

Το πρόγραμμα TOPEX/Poseidon που άρχισε το 1992 ήταν μια κοινή δορυφορική αποστολή μεταξύ της NASA, της αμερικανικής διαστημικής υπηρεσίας, και της CNES, της γαλλικής διαστημικής υπηρεσίας, για να χαρτογραφήσει την ωκεάνια τοπογραφία (Εικόνα 4.7). Το πρώτο ωκεανογραφικό ερευνητικό σκάφος που ταξιδεύει στο διάστημα, το TOPEX/Poseidon βοήθησε την ωκεανογραφία με την παρουσίαση συγκεκριμένων στοιχείων και έτσι απέδειξε την αξία των δορυφορικών παρατηρήσεων. Ο διακεκριμένος ωκεανογράφος Walter Munk περιέγραψε το TOPEX/Poseidon σαν "το πλέον επιτυχημένο ωκεάνιο πείραμα όλων των εποχών."

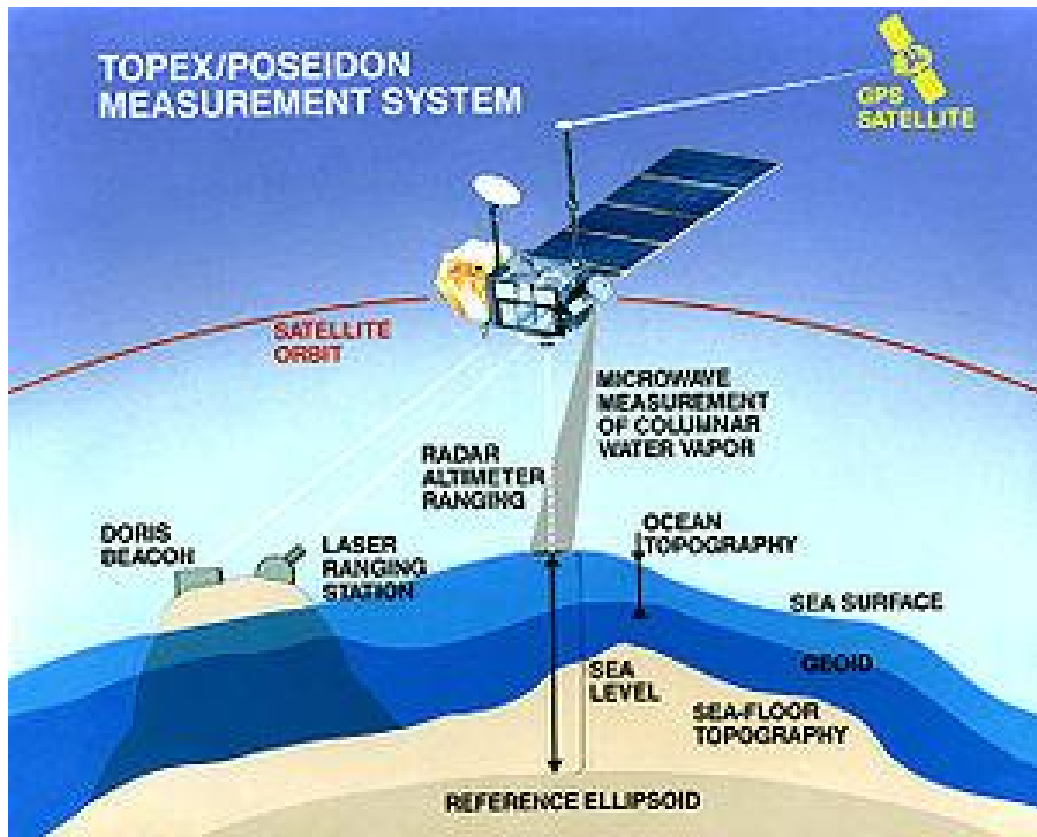


Εικόνα 4.7. Παρουσιάζεται η άνοδος στη στάθμη της θάλασσας που μετριέται από αποστολή των NASA/CNES TOPEX/Poseidon και από την αποστολή JASON-1. (εικόνα: Πανεπιστήμιο του Κολοράντο)

4.4.2.1 Περιγραφή του συστήματος

Πριν από TOPEX/Poseidon οι επιστήμονες είχαν μόνο μια μερική εικόνα του γήινου ωκεανού που προερχόταν από τα αποσπασματικά ερευνητικά δεδομένα αλλά και από τα δεδομένα του δορυφόρου Seasat, που όμως λειτούργησε για πολύ λίγο διάστημα. Ο υψομετρητής TOPEX/Poseidon παρείχε, έτσι, την πρώτη συνεχή σφαιρική κάλυψη της επιφανειακής θάλασσας τοπογραφίας όλων των ωκεανών. Από την τροχιά των 1.330 χιλιομέτρων επάνω από τη γη, ο TOPEX/Poseidon παρείχε τις μετρήσεις ύψους επιφάνειας στο 95% της επιφάνειας των ωκεανών που δεν καλύπτεται από πάγο, με ακρίβεια 3,3 εκατοστών cm (Εικόνα 4.8). Η αποτύπωση που έκανε ο δορυφόρος των «λόφων» και των «κοιλιάδων» της επιφάνειας της θάλασσας οδήγησαν σε μια νέα κατανόηση της ωκεάνιας κυκλοφορίας των ρευμάτων και της επίδρασής της στο κλίμα του πλανήτη.

Το σημαντικότερο επίτευγμα της αποστολής ήταν ο καθορισμός της ωκεάνιας κυκλοφορίας, του πώς δηλαδή η θερμότητα που αποθηκεύεται στον ωκεανό κινείται από μια θέση προς άλλη. Δεδομένου ότι ο ωκεανός κρατά το μεγαλύτερο μέρος της γήινης θερμότητας από τον ήλιο, η ωκεάνια κυκλοφορία είναι μια κατευθυντήρια δύναμη του κλίματος. Με το TOPEX/Poseidon κατέστη έτσι δυνατό για πρώτη φορά να συγκριθούν τα πρότυπα των υπολογιστών για την ωκεάνια κυκλοφορία με τις πραγματικές σφαιρικές παρατηρήσεις.

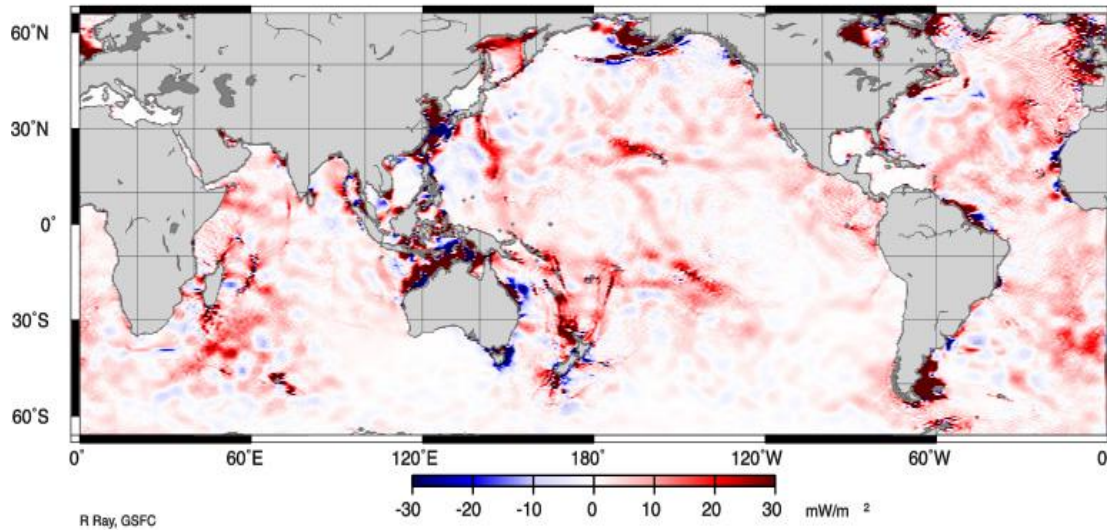


Εικόνα 4.8. Το δορυφορικό σύστημα καταγραφής της θαλάσσιας τοπογραφίας TOPEX/Poseidon

Ο αρχικός προγραμματισμός για την αποστολή TOPEX/Poseidon ήταν μόλις για τρία (3) χρόνια. Παρόλα αυτά η αποστολή συνεχίστηκε για δέκα (10) έτη. Σε αυτά τα χρόνια η αποστολή:

- Μέτρησε τη στάθμη θάλασσας με μια πρωτοφανή ακρίβεια (3,3 cm)
- Μετρήθηκαν για πρώτη φορά παγκόσμια παλιρροιακά κύματα (Εικόνα 4.9).

M2 Tidal Energy Dissipation
From balance of working and flux divergence

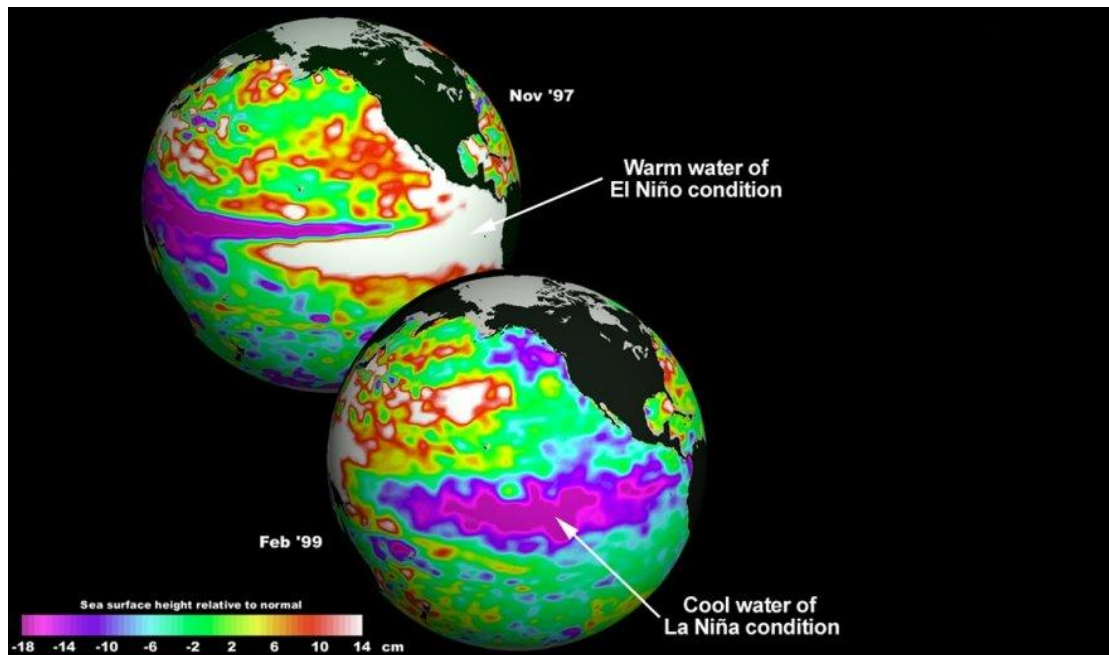


Εικόνα 4.9. Εύρος της κύριας συνιστώσας της αστρονομικής παλίρροια M2 έτσι όπως καταγράφηκε από τον TOPEX/Poseidon (πηγή: NASA)

- **Καταγράφηκαν και αποτυπώθηκαν για πρώτη φορά τα ωκεάνια ρεύματα** σε παγκόσμια κλίμακα και έτσι έγινε δυνατή η εξαγωγή των πρώτων συμπερασμάτων για την επίδραση της κλιματικής αλλαγής, ανάλογα με τις εποχές, στα ρεύματα σε παγκόσμιο επίπεδο.

- **Μετρήθηκαν μεγάλης κλίμακας ωκεάνια χαρακτηριστικά φαινόμενα**, όπως τα κύματα Rossby και Kelvin και μελετήθηκαν φαινόμενα, όπως το Ελ Νίνιο, το Λα Νίνια, καθώς και οι ταλαντώσεις του Ειρηνικού ωκεανού (Pacific Decadal Oscillation) (Εικόνα 4.10).

- **Βελτίωσε σημαντικά τη γνώση μας στον τομέα της γήινης βαρύτητας.** Αυτό προκύπτει μέσω του ακριβούς υπολογισμού της επιφάνειας της θάλασσας ή οποία εξαρτάται άμεσα από τη βαρύτητα.



Εικόνα 4.10. Η μεταφορά θερμότητας που παρατηρήθηκε στον Ειρηνικό ωκεανό κατά την περίοδο του φαινομένου Ελ Νίνιο.

Τον Οκτώβριο του 2005 μετά από 62.000 και πλέον τροχιές, το TOPEX/Poseidon σταμάτησε να λειτουργεί, ενώ στις 18 Ιανουαρίου 2006 γύρισε πίσω στη γη.

4.4.3 JASON-1

Ο δορυφόρος, που πήρε το όνομά του από τον ήρωα του μύθου, είναι ο διάδοχος του δορυφόρου TOPEX/Poseidon, ο οποίος μέτρησε την ωκεάνια τοπογραφία από το 1992 μέχρι το 2005. Όπως ο προκάτοχός του, ο JASON-1 είναι αποτέλεσμα ενός κοινού προγράμματος μεταξύ Γαλλίας και ΗΠΑ (NASA και CNES). Ο διάδοχος του JASON-1, JASON-2 μπήκε σε λειτουργία τον Ιούνιο του 2008. Αυτοί οι δορυφόροι παρέχουν μια μοναδική σφαιρική αποτύπωση των ωκεανών τόσο μεγάλης ακρίβειας που είναι αδύνατον να προέκυπτε από τη χρησιμοποίηση της παραδοσιακής ship-based δειγματοληψίας.

Ο JASON-1 (Εικόνα 4.13) είχε ως σκοπό να μετρήσει την κλιματική αλλαγή μέσω των μετρήσεων υψηλής ακρίβειας (χιλιοστόμετρο) και των κυκλικών (ανά έτος) μεταβολών στη στάθμη της θάλασσας. Όπως TOPEX/Poseidon έτσι και ο JASON-1 χρησιμοποιεί έναν υψομετρητή για να μετρήσει τους «λόφους» και τις «κοιλιάδες» της επιφάνειας του ωκεανού. Αυτές οι μετρήσεις της τοπογραφίας επιφάνειας θάλασσας επιτρέπουν στους επιστήμονες να υπολογίσουν την ταχύτητα και την κατεύθυνση των ωκεάνιων ρευμάτων και να ελέγχουν την ωκεάνια κυκλοφορία. Ο ωκεανός είναι βασική γήινη αποθήκη ηλιακής ενέργειας. Με το πρόγραμμα JASON-1 οι μετρήσεις του ύψους επιφάνειας αποκαλύπτουν τις περιοχές στις οποίες αυτή η θερμότητα αποθηκεύεται, το πώς κινείται γύρω από τη γη από τα ωκεάνια ρεύματα, και τις επιπτώσεις που έχουν αυτές οι διεργασίες στον καιρό και στο κλίμα.



Εικόνα 4.13. Ο δορυφόρος Jason 1.

Ο JASON-1 εκτοξεύτηκε στις 7 Δεκεμβρίου 2001 από την πολεμική βάση Vandenberg της Καλιφόρνιας. Κατά τη διάρκεια των πρώτων μηνών ο JASON-1 εκτελούσε μια σχεδόν ίδια τροχιά με τον TOPEX/Poseidon η οποία επέτρεπε τη διαγώνια βαθμολόγηση και διόρθωση. Στο τέλος αυτής της περιόδου, ο παλαιότερος δορυφόρος κινήθηκε προς μια νέα τροχιά. Ο Jason έχει έναν κύκλο επανάληψης 10 ημερών.

Ο TOPEX/Poseidon και ο JASON-1 έχουν καταλυτική συμβολή στην πρόοδο της επιστήμης της φυσικής ωκεανογραφίας και στις μελέτες του κλίματος (Pavlis, N.K., Holmes, Kenyon, Schmit, Trimmer, 2004). Τα στοιχεία δεκαπέντε (15) ετών της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας μας έχουν δώσει την ευκαιρία να παρατηρήσουμε και να κατανοήσουμε την κυκλική μεταβολή της ωκεάνιας κυκλοφορίας και της στάθμης της θάλασσας. Τα αποτελέσματα έχουν βελτιώσει την κατανόηση του ρόλου του ωκεανού στην αλλαγή του κλίματος και έχουν βελτιώσει τις προβλέψεις του καιρού και του κλίματος. Τα στοιχεία από αυτές τις αποστολές χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν τα ωκεάνια πρότυπα που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες της μετεωρολογίας, όπως η προβλεπόμενη ένταση των τυφώνων, και να προσδιορίσουν τα μεγάλα φαινόμενα όπως το Ελ Νίνιο και το Λα Νίνια. Τα

στοιχεία χρησιμοποιούνται για πολλές διαφορετικές εφαρμογές, όπως τα δρομολόγια των πλοίων, η αλιεία κ.α.

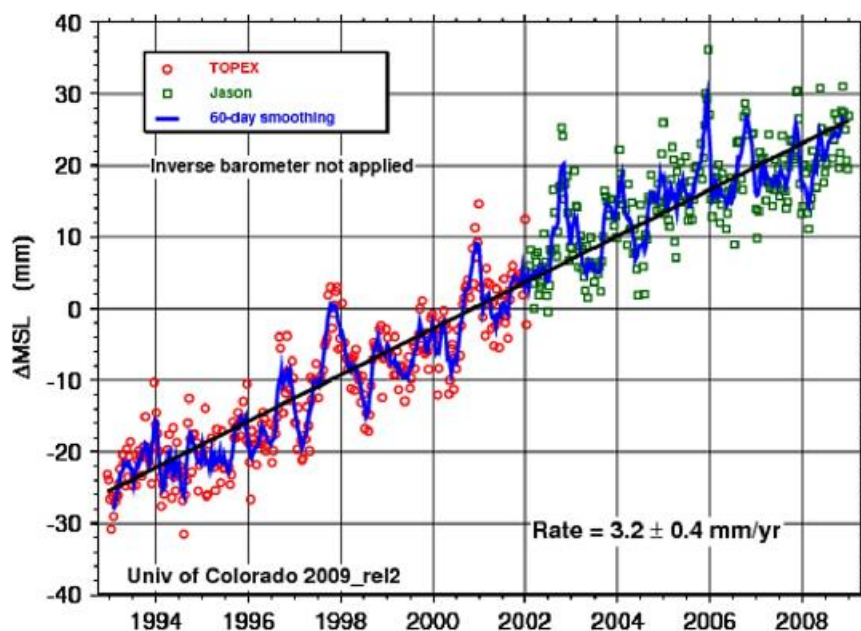
Ο TOPEX/Poseidon και Ο Jason 1 μας έχουν βοηθήσει αρκετά στην κατανόηση της:

- **ωκεάνιας μεταβλητότητας**

Οι αποστολές αποκάλυψαν την εκπληκτική μεταβλητότητα του ωκεανού, πόσο αλλάζει από εποχή σε εποχή, σε ετήσια βάση, από δεκαετία σε δεκαετία και ακόμα για πιο μεγάλα χρονικά διαστήματα. Διέλυσαν την παραδοσιακή εικόνα ενός quasi-steady προτύπου ωκεάνιας κυκλοφορίας με παρουσίαση αποδείξεων πως ο ωκεανός αλλάζει γρήγορα σε όλες τις κλίμακες, από τα τεράστια χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως το Ελ Νίνιο και το Λα Νίνια, τα οποία μπορούν να εκτείνονται σε ολόκληρο ισημερινό Ειρηνικό, έως τους μικροσκοπικούς στροβίλους που στροβιλίζονται από το μεγάλο ρεύμα του Περσικού Κόλπου στον Ατλαντικό.

- **Αλλαγής στάθμης θάλασσας**

Οι μετρήσεις από τον TOPEX/Poseidon και τον JASON-1 δείχνουν ότι η μέση στάθμη θάλασσας έχει αυξηθεί περίπου τρία χιλιοστά από το 1993. Αυτό μας δείχνει μια αύξηση δύο φορές πιο μεγάλη από τις εκτιμήσεις που είχαμε για τον προηγούμενο αιώνα. Αυτά τα δεδομένα μας δείχνουν μια πιθανή επιτάχυνση της ανόδου της στάθμης των θαλασσών (Εικόνα 4.14)



Εικόνα 4.14. Αύξηση της μέσης θαλάσσιας στάθμης από το 1993 έως και σήμερα. Η αύξηση είναι περίπου 3,2 χιλιοστά το χρόνο

• Πλανητικά κύματα

Οι αποστολές του TOPEX/Poseidon και του JASON-1 κατέστησαν σαφή τη σημασία των κυμάτων πλανητικής κλίμακας, όπως τα κύματα Rossby και Kelvin. Κανένας δεν είχε συνειδητοποιήσει πόσο διαδεδομένα ήταν αυτά τα κύματα. Χιλιάδες χιλιόμετρα πλάτους αυτά τα κύματα κινούνται από τον αέρα κάτω από την επίδραση της γήινης περιστροφής και είναι σημαντικοί παράγοντες για το σχηματισμό του κλίματος στις μεγάλες ωκεάνιες λεκάνες.

• Ωκεάνιες παλίρροιες

Οι ακριβείς μετρήσεις του TOPEX/Poseidon και του JASON-1 έχουν φέρει τη γνώση των ωκεάνιων παλίρροιών σε ένα πρωτοφανές επίπεδο. Η αλλαγή της στάθμης του νερού, λόγω της παλιρροιακής κίνησης στον ωκεανό, είναι γνωστή παντού στη γη με ακρίβεια 2,5 εκατοστόμετρα (cm). Αυτή η νέα ανακάλυψη έχει αναθεωρήσει την ιδέα πως οι παλίρροιες διαλύονταν στον μεγάλο ωκεανό. Αντί να χάνεται όλη η ενέργεια της παλίρροιας στις ρηχές θάλασσες και κοντά στις ακτές, όπως πιστεύαμε στο παρελθόν, η αποστολή έδειξε ότι το ένα τρίτο (1/3) της παλιρροιακής ενέργειας χάνεται στα μεγάλα βάθη. Εκεί, η ενέργεια καταναλώνεται με τη μίξη του νερού διαφορετικής πυκνότητας, ένας θεμελιώδης μηχανισμός στη φυσική που κυβερνά τη γενική κυκλοφορία του ωκεανού και αποκαλύφθηκε με τις αποστολές αυτές.

• Ωκεάνια πρότυπα

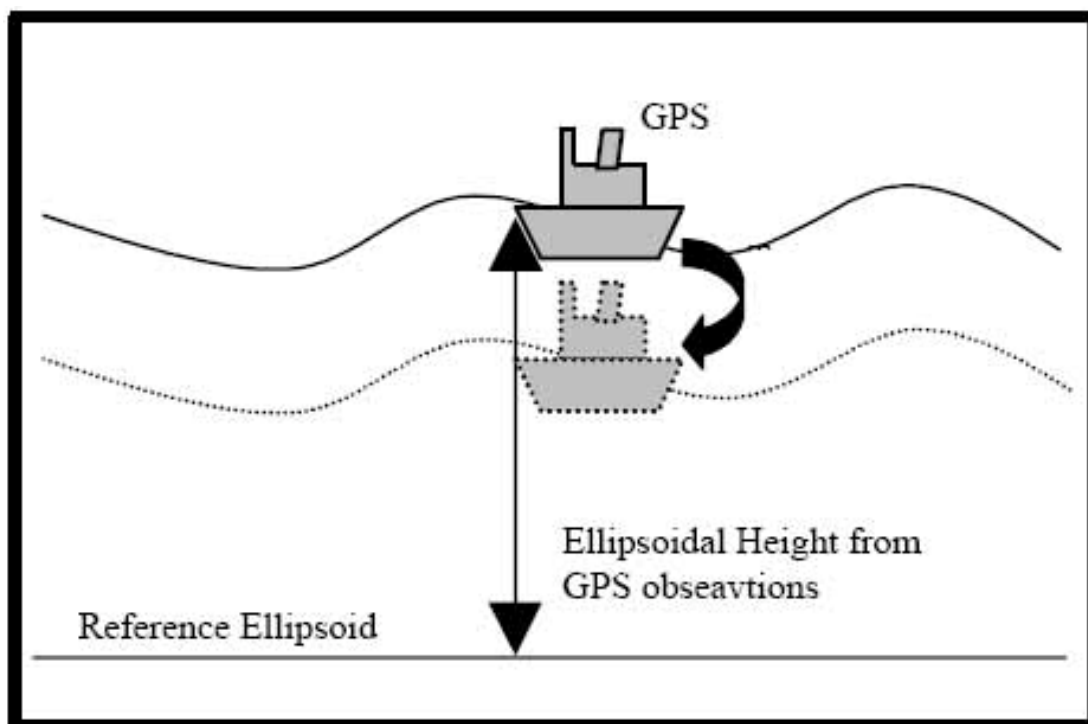
Ο TOPEX/Poseidon και οι παρατηρήσεις του JASON-1 παρείχαν τα πρώτα παγκόσμια στοιχεία για τη βελτίωση της απόδοσης των αριθμητικών ωκεάνιων προτύπων που είναι ένα βασικό συστατικό των προτύπων πρόβλεψης κλίματος.

Εκτός από την έρευνα του κλίματος, τις προβλέψεις τυφώνων και μεγάλων καιρικών φαινομένων, έρευνα των δύο δορυφορικών αποστολών μας έδωσε μια σειρά από άμεσες εφαρμογές. Η καλύτερη πλοήγηση των σκαφών μέσω της κατάρτισης ακριβέστερων χαρτών ρευμάτων και στροβίλων, οι έρευνες για μεγάλα θαλάσσια θηλαστικά, όπως οι φάλαινες, είναι κάποιες από τις εφαρμογές.

4.5 Η ΜΕΘΟΔΟΣ GPS – on boat

Όπως είδη έχουμε αναφέρει η μέθοδος αποτελεί την πλέον σύγχρονη προσέγγιση για τη μελέτη της επιφανειακής θαλάσσιας τοπογραφίας και κατ' επέκταση και του γεωειδούς. Το κύριο πλεονέκτημά της είναι ότι μπορεί να βρει εφαρμογή σε παράκτιες περιοχές, σε κόλπους και μικρά κανάλια, εκεί όπου οι περισσότερες από τις τεχνικές που αναλύθηκαν παραπάνω αποτυγχάνουν να δώσουν αποτελέσματα μεγάλης ακρίβειας. Η μέθοδος 'GPS – on boat' στηρίζεται στην μέθοδο του κινηματικού (kinematic) GPS που βασίζεται, εκτός της συλλογής δεδομένων από δέκτες GPS πάνω σε κινούμενο σκάφος, και στη συλλογή δεδομένων από σταθερούς δέκτες της

ξηράς. Στη βιβλιογραφία δεν έχουμε ακόμα παρά ελάχιστες αναφορές για αυτή την τεχνική, με εξαίρεση μια ολοκληρωμένη μελέτη που έγινε το 2003 σε κόλπο της Κορσικής και πέτυχε ακρίβεια 1,3 cm. (Bonnetfond, Exertier, Laurain, Ménard, Orsoni, Jeansou, Haines, Kubitschek, Born, 2003) Η τεχνική αυτή βρίσκεται ακόμα σε αρκετά πειραματικό στάδιο καθώς παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες κατά την εφαρμογή που θα αναλύσουμε σε επόμενο κεφάλαιο. Μόνο τα τελευταία χρόνια με τη βελτίωση της ακρίβειας των GPS έχει γίνει δυνατή η αποτελεσματική εφαρμογή αυτής της τεχνικής. Στην Εικόνα 4.15 παρουσιάζεται σχηματικά αυτή η τεχνική.



Εικόνα 4.15. Η τεχνική του kinematic 'GPS – on boat'. Όπως είναι εμφανές από το σχήμα το GPS λαμβάνει το ύψος με βάση το Ελλειψοειδές Αναφοράς (ΕΑ), ενώ επηρεάζεται συνέχεια από τον κυματισμό. (Πηγή: Yabuki, Fujita, 2003).

5. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας που καταγράφονται από τους παλιρροιογράφους απεικονίζουν την σύνθεση δύο παραγόντων. Της αστρονομικής παλίρροιας που αντιπροσωπεύει μια χρόνος-προβλέψιμη επίδραση και της μετεωρολογική παλίρροια. Η μετεωρολογική παλίρροια (surges) αντιπροσωπεύει τους μάλλον τυχαίους παράγοντες που τείνουν είτε να αυξήσουν είτε να χαμηλώσουν το επίπεδο της θάλασσας που καθορίζεται από τους αστρονομικούς παράγοντες. (Pirazzoli, P.A. 2000, Pugh, D.T., Faull, H.E. 1983).

Η μελέτη της μετεωρολογικής παλίρροιας είναι σημαντική για τρεις λόγους. Κατ' αρχάς, οι μετεωρολογικές παλίρροιας (surges), σε αντίθεση με την αστρονομική παλίρροια, δεν είναι προβλέψιμες γιατί οφείλονται στο συνδυασμό παραγόντων όπως οι άνεμοι και οι αλλαγές της βαρομετρικής πίεσης. Δεύτερον, μπορούν να συνδεθούν με γεγονότα πλημμύρων (De Kraker, A.M.J. 2006) ή με ακραίο χαμηλό (negative surges) προκαλώντας προβλήματα σε ορισμένα λιμάνια, και τρίτον, οι παράγοντες αυτοί μπορεί να ενισχύονται με το χρόνο στα πλαίσια της κλιματολογικής αλλαγής.

Τα τελευταία χρόνια έχουν δημοσιευτεί πολυάριθμες εργασίες πάνω στην επίδραση των μετεωρολογικών παραγόντων προκειμένου να προσδιοριστεί ο κίνδυνος της πλημμύρας των χαμηλού υψομέτρου παραλιακών περιοχών (McKenzie, K., Parlee, K. 2003). Όμως, η πλειοψηφία αυτών των μελετών περιορίστηκε κυρίως στις περιοχές με υψηλό εύρος στην αστρονομική παλίρροια και έτσι τα χαρακτηριστικά και η σημασία των μετεωρολογικών παραγόντων στις περιοχές χαμηλής παλίρροιας παραμένουν σχεδόν άγνωστα.

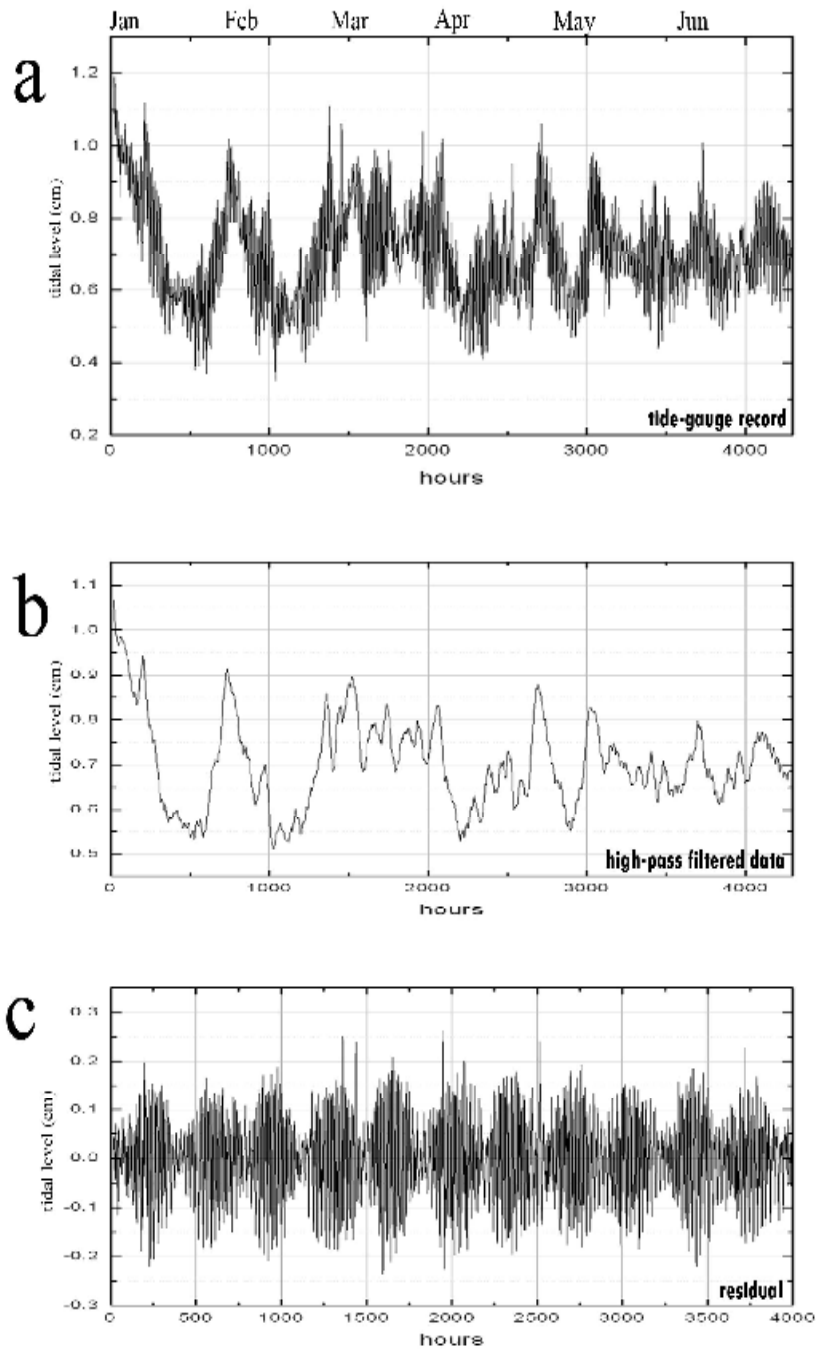
Σε αυτήν την μελέτη προσπαθούμε να ρίξουμε κάποιο φως στο πρόβλημα της μετεωρολογικής παλίρροιας στο Αιγαίο, μιας κλειστής θάλασσας που παρουσιάζει παλίρροια χαμηλού εύρους (3 έως 18 cm, Tsimplis, 1992 υδρογραφική Υπηρεσία Στρατού). Σε αυτήν την περιοχή οι κίνδυνοι της πλημμύρας δεν μας είναι επαρκώς γνωστοί, αλλά σίγουρα είναι υψηλοί. Για παράδειγμα, ένα κύμα το 1980 οδήγησε στην αστοχία των πλευρικών εμποδίων που προστατεύουν ένα σημαντικό δέλτα δίπλα στην πόλη της Θεσσαλονίκης, παράγοντας σημαντικές καταστροφές και τη μόνιμη απώλεια εδάφους (Stiros, S.C. 2001). Μια καταστροφή τύπου mini Katrina.

Το συμπέρασμα αυτής της μελέτης είναι ότι τα χαρακτηριστικά και οι επιπτώσεις των μετεωρολογικών παραγόντων σε αυτήν την περιοχή χαμηλής παλίρροιας είναι πάρα πολύ διαφορετικά απ' ό,τι σε άλλες περιοχές και ο σχετικός κίνδυνος της πλημμύρας των παραλιακών περιοχών αυτών είναι πολύ υψηλότερος.

5.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στη μελέτη μας αναλύσαμε τις ωριαίες καταγραφές από το λιμάνι της Αλεξανδρούπολης ($40^{\circ} 50' '' \text{ N}$, $25^{\circ} 52' '' \text{ E}$). Αυτή η καταγραφή είναι σημαντική επειδή η Αλεξανδρούπολη είναι ανοικτή στο Αιγαίο πέλαγος και βρίσκεται στη βόρεια περιοχή του όπου η μέση παλίρροια είναι μέγιστη (10-12 εκατ. ενώ η παλίρροια στα άλλα σημεία του Αιγαίου είναι της τάξης των 5-10cm). Οι καταγραφές καλύπτουν την περίοδο μεταξύ 1/1/2001 και 6/30/2001, και περιέχουν στοιχεία ωριαίες καταγραφές υψηλής ακρίβειας που ήταν διαθέσιμες από την Υδρογραφική Υπηρεσία Στρατού. Το αρχείο των καταγραφών ήταν πλήρες χωρίς καμία έλλειψη αλλά ποιο σύντομο χρονικά από μελέτες που έγιναν από άλλους στο παρελθόν (Tsimplis 1992, μέχρι και 7 έτη). Ακόμα, η συχνότητα της δειγματοληψίας είναι υψηλότερη και κατάλληλη για τη μελέτη της μετεωρολογικής παλίρροιας, ενώ τα στοιχεία είναι ανώτερης ποιότητας σε σχέση με εκείνα που συλλέγονταν στο παρελθόν χάρη σε μια νέα διαδικασία παλιρροιακών καταγραφών που υιοθετείται από την Υδρογραφική Υπηρεσία τα τελευταία χρόνια. Αυτή η νέα διαδικασία επιτρέπει επίσης να ελαχιστοποιήσουμε τα χασμάτα δειγματοληψίας.

Τα διαθέσιμα στοιχεία παρουσιάζονται σαν συνάρτηση του χρόνου στο Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1. a) συνάρτηση μέσης θαλάσσιας στάθμης του λιμανιού της Αλεξανδρούπολης κατά τη διάρκεια του πρώτου εξαμήνου του 2001 (ωριαίες καταγραφές). Αυτή η χρονοσειρά αντιπροσωπεύει τον συνδυασμό αστρονομικής και μετεωρολογικής παλίρροιας. b) Η χρονοσειρά (a) μετά την επιβολή ενός φίλτρου μετακινούμενου μέσου όρου 35 ωρών. Αυτή η χρονοσειρά αντιπροσωπεύει τη μετεωρολογική παλίρροια. c) Χρονοσειρά που αντιπροσωπεύει την αστρονομική παλίρροια και αποτελεί το αποτέλεσμα της αφαίρεσης της χρονοσειράς (b) από την (a).

5.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Οι καταγραφές των παλιρροιογράφων αποτελούνται από δύο συνιστώσες. Μια αστρονομική παλίρροια T_{aj} στο χρόνο j που μπορεί να αντιπροσωπευθεί ως άθροισμα των πολυάριθμων περιοδικών συναρτήσεων του τύπου

$$T_{aj} = \sum a_i (\cos w_i t_j + \phi_i) \quad (1)$$

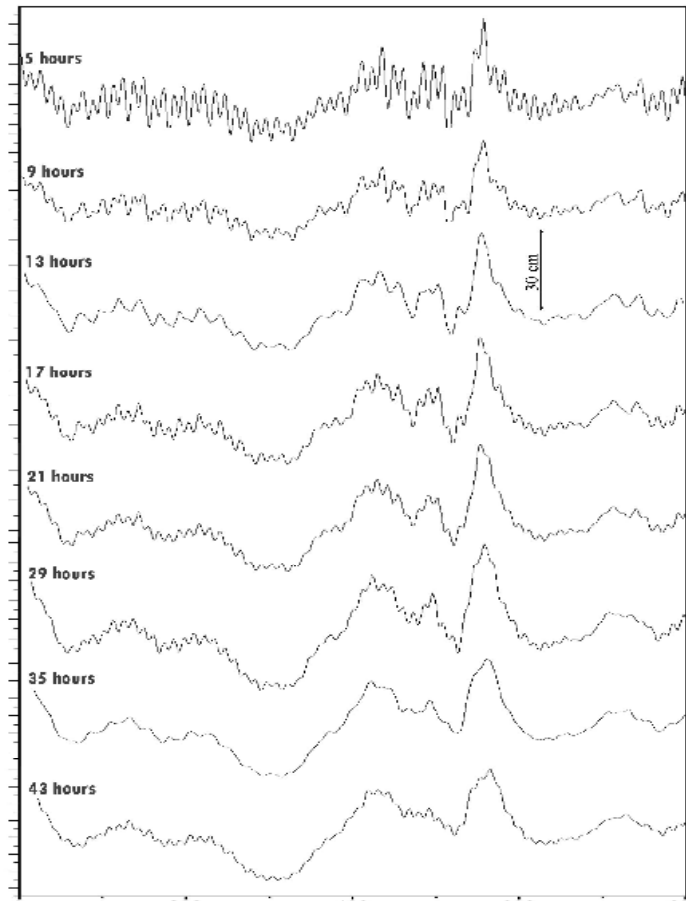
όπου i = ο αριθμός της παλιρροιακής συνιστώσας και όπου T_i , a_i and Φ_i οι αντίστοιχες περίοδος, το εύρος και η φάση, και μιας μη περιοδική συνάρτηση T_{mj} που απεικονίζει την συνδυασμένη επίδραση των μετεωρολογικών παραγόντων (surges).

Όπως είναι προφανές η συνολική θαλάσσια ταλάντωση καθορίζεται από την εξίσωση

$$T_j = T_{aj} + T_{mj} \quad (2)$$

Εάν οι παλιρροιακοί παράγοντες είναι γνωστοί, η αστρονομική παλίρροια T_{aj} μπορεί να υπολογιστεί και, έτσι, η μετεωρολογική παλίρροια μπορεί να προκύψει εύκολα από την εξίσωση (2). Οι παλιρροιακοί παράγοντες στο Αιγαίο έχουν υπολογιστεί από τον Μ. Ν. Τσιμπλή το 1992 βάσει μιας μακροχρόνιας βάσης δεδομένων παλιρροιακών καταγραφών. Εντούτοις αυτό το αρχείο περιείχε χάσματα ενώ οι καταγραφές αναγνωρίστηκαν πρόσφατα ότι περιέχουν συστηματικά και τυχαία σφάλματα. Για αυτόν τον λόγο η ανάλυσή μας βασίστηκε στις τεχνικές ανάλυσης ψηφιακών σημάτων από μια νέα βάση δεδομένων χρησιμοποιώντας κατά κύριο λόγο το λογισμικό του MATHEMATICA®.

Σε ένα πρώτο βήμα χρησιμοποιήσαμε ένα φίλτρο χαμηλής διέλευσης για να εξαλείψουμε τα μικρής διάρκειας αποτελέσματα από την αρχική χρονοσειρά #1. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα φίλτρο κινούμενου μέσου όρου. Οι δοκιμές έγιναν με ένα «φιλτράρισμα» μεταβλητού παραθύρου (5, 9, 13, 17, 21, 29, 34, 43 ωριαίες καταγραφές). Τελικά το φίλτρο που επιλέχτηκε ήταν αυτό των 34 ωριαίων καταγραφών. Οι λόγοι είναι ότι το φίλτρο αυτό οδηγεί στην ομαλότερη καμπύλη (Σχήμα 2) ενώ αντιστοιχεί σε μια περίοδο περίπου 30% μεγαλύτερη από τη μέγιστη ημερήσια συνιστώσα της αστρονομικής παλίρροιας (περίπου 24 ώρες) και ως εκ τούτου εξαλείφει τις ημι-ημερήσιες και τις ημερήσιες συνιστώσες του αστρονομικού παράγοντα. Αυτή η επιλογή παραθύρου είναι μια προσέγγιση υιοθετείται συχνά στη βιβλιογραφία (Keruss M. και J. Sennikovs 1999). Έτσι, τελικά η χρονοσειρά #2 μπορεί να θεωρηθεί μια καλή προσέγγιση της μετεωρολογικής παλίρροιας.



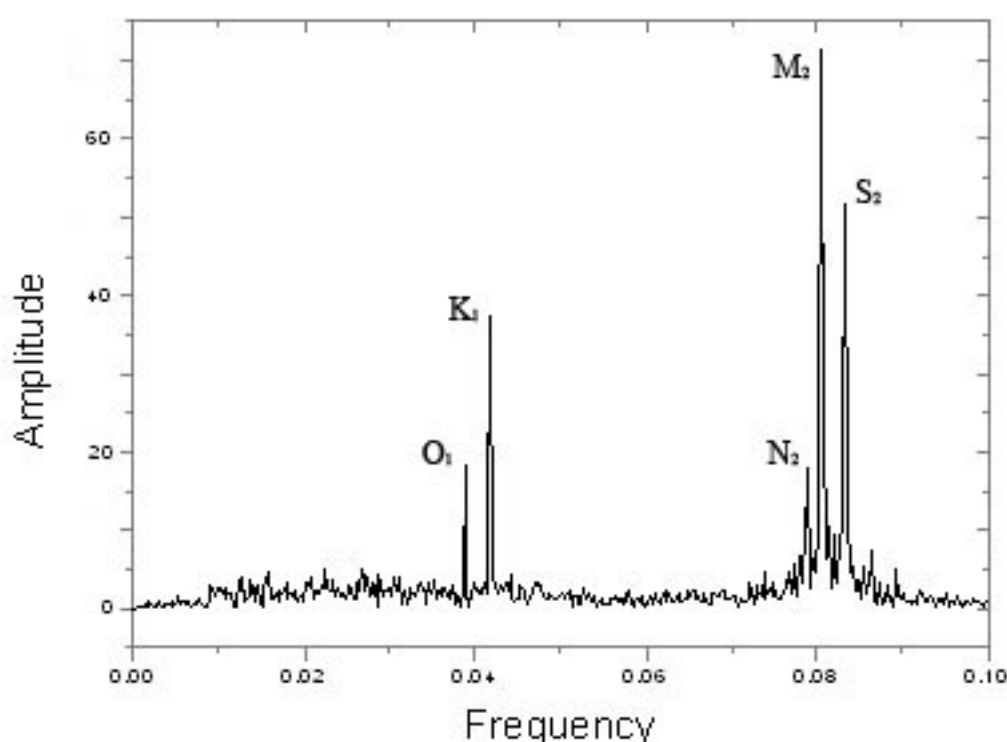
Σχήμα 5.2. Η χρονοσειρά των ωριαίων καταγραφών μέσης θαλάσσιας στάθμης μετά την επιβολή φίλτρων μετακινούμενου μέσου όρου. Όπως είναι εμφανές το φίλτρο των 13 και 35 ωρών δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα ως προς την απομόνωση των αστρονομικών παραγόντων από την μετεωρολογική παλίρροια.

Σε ένα δεύτερο βήμα προσπαθήσαμε να υπολογίσουμε την αστρονομική παλίρροια και να επιβεβαιώσουμε τη σημασία των αποτελεσμάτων μας μέσω μιας σύγκρισης των υπολογισμένων παλιρροιακών συνιστωσών με εκείνους που υπολογίστηκαν από άλλους ερευνητές. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2), η χρονοσειρά #2 αφαιρέθηκε από την αρχική χρονοσειρά #1 και το αποτέλεσμα αντιστοιχεί σε μια νέα χρονοσειρά #3 που προσεγγίζει την αστρονομική παλίρροια. Εάν η υπόθεση είναι σωστή, μια ανάλυση αυτής της τελευταίας χρονικής σειράς θα οδηγούσε στις αναμενόμενες παλιρροιακές συνιστώσες. Έτσι, η χρονοσειράς #3 υποβλήθηκε σε μια FFT ανάλυση με σκοπό να καθοριστούν οι περίοδοι (και συχνότητες) των κυρίαρχων παλιρροιακών συνιστωσών. Μετά από μια σύγκριση των υπολογισμένων τιμών με τις εκτιμήσεις άλλων ερευνητών, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων και έτσι υπολογίστηκαν οι παράγοντες της εξίσωσης (1) δηλαδή τα διάφορα εύρη, οι περίοδοι και οι συχνότητες.

Σε ένα τρίτο βήμα αναλύσαμε περαιτέρω το μετεωρολογικό θόρυβο ως συνάρτηση του χρόνου και του εύρους της αστρονομικής παλίρροιας.

5.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η αρχική χρονοσειρά #1, η ομαλοποιημένη χρονοσειρά #2 που μετά τη χρησιμοποίηση ενός φίλτρο κινούμενου μέσου όρου 34 ωρών προσεγγίζει το μετεωρολογικό θόρυβο και η χρονοσειρά #3 που προσεγγίζουν την αστρονομική παλίρροια, όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.1. Χρησιμοποιώντας την τεχνική FFT υπολογίσαμε τις κύριες συχνότητες της χρονοσειράς #3 που προσεγγίζει την αστρονομική παλίρροια. Στο φάσμα που προέκυψε από αυτή την ανάλυση, πέντε (5) από τις αιχμές είναι σαφώς ορατές (Σχήμα 3). Αυτές οι αιχμές αντιστοιχούν στις κύριες περιόδους της αστρονομικής παλίρροιας και έτσι μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα οι συχνότητες των O₁, K₁, N₂, και S₂ παλιρροιακά συστατικών.



Σχήμα 5.3. Οι κύριες συχνότητες της αστρονομικής παλίρροιας (σχήμα 1c) μετά από ανάλυση Fourier

Ο Πίνακας 5.1. παρουσιάζει τα αποτελέσματά μας, τις τιμές που υπολογίστηκαν από των M. N. Τσιμπλή καθώς επίσης και τις θεωρητικές τιμές. Όπως είναι φανερό όλες οι τιμές που προκύπτουν από την παρούσα εργασία είναι συνεπείς με τους παλαιότερους υπολογισμούς και δείχνουν ότι η προσέγγισή μας για τον υπολογισμό της μετεωρολογικής παλίρροιας που περιγράφεται ανωτέρω είναι ικανοποιητική. Με βάση τις εξισώσεις (1) διαμορφώσαμε ένα σύστημα εξισώσεων με πέντε περιοδικούς όρους που αντιστοιχούν στα παλιρροιακά συστατικά στοιχεία που θέλαμε να υπολογίσουμε. Ο αριθμός εξισώσεων είναι ίσος με το μήκος της χρονοσειράς.

Τα άγνωστα στοιχεία ήταν το εύρος και η φάση κάθε παλιρροιακής συνιστώσας. Για τη λύση αυτού του συστήματος χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων και τα αποτελέσματα του εύρους των κύριων συνιστωσών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.1. Συχνότητες

Κύριες συχνότητες	Αποτελέσματα αυτής της εργασίας	Θεωρητικές τιμές	Αποτελέσματα από <i>Tsimplis 1994</i>
M2	0.08081112	0.080515297	0.08039732
S2	0.08333138	0.08333332	0.08333333
N2	0.077965491	0.077459334	0.0774871
K1	0.041766104	0.04178855	0.04178075
O1	0.038746933	0.038729667	0.03873065

Πίνακας 5.2. Εύρος

	Αποτελέσματα αυτής της εργασίας (cm)	Αποτελέσματα από <i>Tsimplis 1994</i>
M2	7.25	7.14
S2	5.41	4.96
N2	1.76	1.30
K1	3.83	2.60
O1	1.91	1.29

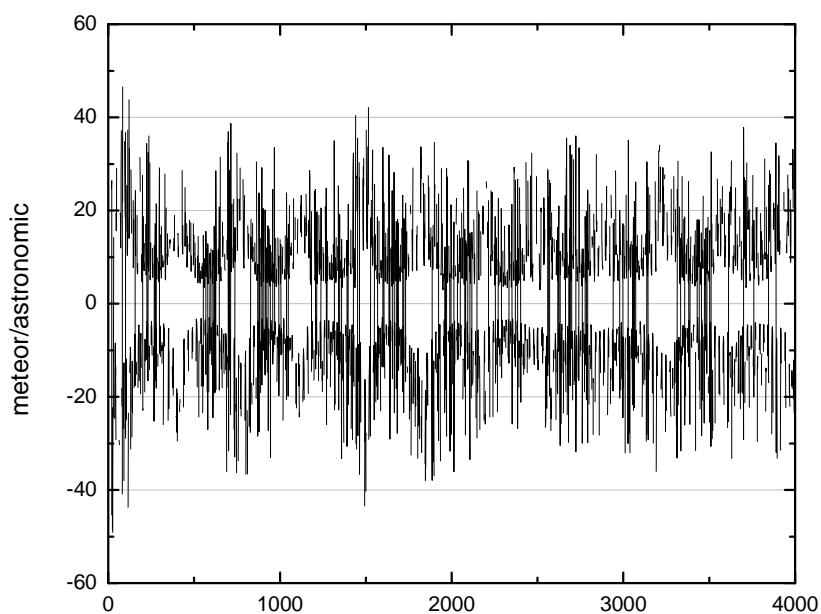
Στη συνέχεια, με βάσει τις εξισώσεις (1) αλλά και τα χαρακτηριστικά μεγέθη των πέντε κύριων συνιστωσών που υπολογίσαμε αναμορφώσαμε την κυματοσυνάρτηση που προσομοιώνει την αστρονομική παλίρροια. Αυτή η κυματοσυνάρτηση είναι σχεδόν ίδια με τη χρονοσειρά #3 που παρουσιάστηκε στο σχήμα 1c, με διαφορές της τάξης του χιλ.

5.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας ήταν να βρεθεί η σχέση μεταξύ της μετεωρολογικής ταλάντωσης και της αστρονομικής παλίρροιας. Έτσι, αφαιρέσαμε από την αστρονομική παλίρροια (σχήμα 3c) τις πολύ μικρές τιμές (μεταξύ -0.02 και 0.02) και έπειτα υπολογίζουμε τη σχέση μετεωρολογικής προς αστρονομική παλίρροια. Αυτό είναι εμφανίζεται στο Σχήμα 4.

Όπως μπορούμε να δούμε στο σχήμα οι ανώτερες τιμές της σχέσης μετεωρολογικής και αστρονομικής παλίρροιας είναι γύρω στο 40. Αυτό σημαίνει ότι ο κίνδυνος εμφάνισης πολύ μεγάλων και πολύ μικρών τιμών στην μέση θαλάσσιας στάθμης σε σχέση με την αστρονομική παλίρροια είναι πολύ μεγάλος.

Ο πίνακας 3 παρουσιάζει τη μέση τιμή εύρους της αστρονομικής παλίρροιας σε σύγκριση με τις μέσες τιμές της μετεωρολογικής ταλάντωσης. Όπως μπορούμε να δει κανείς ο λόγος των μέσων τιμών εύρους μεταξύ της μετεωρολογικής και αστρονομικής ταλάντωσης είναι κοντά στο 8. Αυτή η τιμή είναι πολύ μεγάλη σε αντίθεση με άλλες περιοχές πάνω στη γη.



Σχήμα 5.4. Διακύμανση του εύρους της μετεωρολογικής παλίρροιας προς το εύρος της αστρονομικής

Πίνακας 3.

	Εύρος (cm)	/αστρον. Παλίρροια
Αστρονομική παλίρροια (μέση τιμή)	10.54	1
Μετρολογική παλίρροια	84	7.969
Συνολική ταλάντωση	60.1	5.702

5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ακόλουθα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από την παρούσα εργασία.

(i) Επιβεβαιώθηκε ότι αστρονομική ταλάντωση είναι ημήμερισίου χαρακτήρα καθώς τόσο η κύρια συνιστώσα της αστρονομικής παλίρροιας είναι η M2 τόσο και η κυματομορφή της είναι χαρακτηριστική του είδους.

(ii) Διαπιστώθηκε ότι η περιοδική αλλαγή της στάθμης της θάλασσας καθορίζεται κυρίως από τις μετεωρολογικές παραμέτρους παρά από τις αστρονομικές.

(iii) Ο κίνδυνος εμφάνισης ακραίων τιμών μέσης στάθμης της θάλασσας είναι πολύ μεγάλος. Παρά το μικρό εύρος της συνολικής διακύμανσης η πολύ μεγαλύτερη συνεισφορά των τυχαίων μετεωρολογικών παραγόντων σε σχέση με την εύκολα προβλέψιμη αστρονομική παλίρροια αυξάνει των κίνδυνο εμφάνισης ακραίων τιμών (χαμηλών και υψηλών) που μπορούν να επιφέρουν καταστροφικές επιπτώσεις ιδιαίτερα για περιοχές χαμηλού υψομέτρου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- De Kraker, A.M.J. (2006) "Flood events in the southwestern Netherlands and coastal Belgium, 1400-1953" *Hydrological Sciences Journal* 51 (5), pp. 913-929
- Keruss M. and J. Sennikovs (1999), "Determination of tides in Gulf of Riga and Baltic Sea", in *Proc. International Scientific Colloquium "Modelling of Material Processing"*, Riga, May 28 – 29
- McKenzie, K., Parlee, K. (2003), "Climate change: A new challenge for coastal development and infrastructure design" *Proceedings, Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering* 2003, pp. 391-400
- Pugh, D.T., Faull, H.E. (1983) " Tides, Surges and Mean Sea Level trends"
- Pirazzoli, P.A. (2000), "Surges, atmospheric pressure and wind change and flooding probability on the Atlantic coast of France" *Oceanologica Acta* 23 (6), pp. 643-661
- Stiros, S.C. (2001), "Subsidence of the Thessaloniki (northern Greece) coastal plain, 1960-1999" *Engineering Geology* 61 (4), pp. 243-256
- Tsimplis, M.N. (1994), "Tidal oscillations in the Aegean and Ionian Seas" *Estuarine, Coastal & Shelf Science* 39 (2), pp. 201-208

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Διαγράμματα και αναλύσεις FFT

