

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ  
ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ  
ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΛΑΓΗ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:**  
**ΚΑΖΑΛΑΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:**  
**ΚΥΠΡΑΚΗΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2010**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	5
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΥΤΗΣ.....	10
1. Το σύστημα TARCHAN.....	11
2. Το σύστημα Swan DK.....	12
3. Salter Duck, Clam και Archimedes.....	13
4. Το σύστημα Mighty Whale.....	13
5. Το σύστημα Wave Dragon.....	14
6. Το σύστημα PELAMIS.....	15
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	16
1. Μελέτη των θαλάσσιων ανεμογενών κυματισμών στην γρήγορη κλίμακα χρόνου.....	19
2. Μελέτη των θαλάσσιων ανεμογενών κυματισμών στην αργή κλίμακα χρόνου.....	22
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	25
1. Υποεπιφανειακά όργανα.....	26
2. Επιφανειακά όργανα.....	26
3. Επίγεια όργανα.....	27
4. Δορυφορικές μετρήσεις κυματισμών.....	29
ΠΗΓΕΣ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	32
1. Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ.....	38
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	45
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	58
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ.....	64

## Εισαγωγή

Είναι γεγονός πλέον πως το κλίμα αλλάζει. Οι πάγοι στους πόλους λιώνουν, η στάθμη των θαλασσών ανεβαίνει, ακραία καιρικά φαινόμενα μαστίζουν ολόκληρες περιοχές του πλανήτη αφήνοντας πίσω τους ανθρώπινα θύματα και υλικές καταστροφές. Είναι αδιαμφισβήτητο ότι οι κλιματικές αλλαγές έχουν προκληθεί από ανθρώπινες δραστηριότητες και οι επιπτώσεις τους θα είναι καταστροφικές.

Επιστημονικές μελέτες προειδοποιούν ότι αν συνεχιστεί η συσσώρευση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, θα έχουμε να αντιμετωπίσουμε συνεχιζόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας και άνοδο της στάθμης της θάλασσας, συχνότερα και εντονότερα ακραία καιρικά φαινόμενα, ξηρασίες, πλημμύρες, επανεμφάνιση ασθενειών, καταστροφές καλλιεργειών και οικοσυστημάτων, καθώς και απώλειες ανθρώπινων ζώων.

Η κύρια αιτία του προβλήματος είναι η παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο). Σήμερα μπορούμε να προβλέψουμε τι μας περιμένει αν δεν περιορίσουμε τις εκπομπές ρύπων και αν δεν αλλάξουμε άμεσα το ενεργειακό μας μοντέλο.

Ο έλεγχος των ορυκτών καυσίμων συχνά πυροδοτεί πολεμικές συγκρούσεις. Οι κυβερνήσεις συνεχίζουν να επιδοτούν βιομηχανίες ορυκτών καυσίμων. Εταιρίες, κυβερνήσεις και πολίτες πρέπει να στραφούν άμεσα προς τις καθαρές, βιώσιμες ενεργειακές λύσεις, την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Πάντως, παρά τις αντιδράσεις των ολίγων, αλλά ισχυρών αυτού του κόσμου, η ευαισθητοποίηση και η κινητοποίηση των πολιτών ολοένα και αυξάνει. Η εκφραζόμενη, ποικιλοτρόπως, πρόθεση αντιμετώπισης του θέματος σε διεθνή κλίμακα, δείχνει ότι συνειδητοποιούμε αργά, αλλά σταθερά, πως η τεχνολογία, ως καρπός ανώτερης πνευματικής εργασίας, πρέπει να έχει στόχο να θεραπεύει και να υπηρετεί τον άνθρωπο, με σεβασμό προς το οικοσύστημα που τον φιλοξενεί.



Εκατομμύρια τόνοι μεθανίου αναδεύουν στην επιφάνεια από τον πυθμένα της Αρκτικής καθώς λειώνουν οι πάγοι. Το μεθάνιο είναι 10 φορές βλαβερότερο αέριο θερμοκηπίου από το CO<sub>2</sub>.

### Κλιματικές αλλαγές:

- Το 2005 καταγράφηκε επίσημα ως το πιο θερμό έτος των τελευταίων εκατό ετών. Έως το 2005, το πιο θερμό έτος ήταν το 1987.
- Τον 20ο αιώνα η μέση θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 0,4 – 0,8 βαθμούς Κελσίου κατατάσσοντας τον αιώνα ως τον θερμότερο των τελευταίων χιλίων ετών.
- Η Διακυβερνητική Επιτροπή για τις Κλιματικές Αλλαγές προβλέπει ότι αν συνεχίσει η εξάρτηση του πλανήτη από τα ορυκτά καύσιμα, τότε η μέση πλανητική θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 1,4 – 5,8 βαθμούς Κελσίου. Η μέση πλανητική θερμοκρασία έχει αυξηθεί σήμερα κατά 0,7 βαθμούς Κελσίου.
- Πιθανή αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3 βαθμούς Κελσίου θα προκαλέσει την αύξηση της στάθμης της θάλασσας κατά 1 μέτρο.
- Η μέση στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά 20 εκατοστά τον 20ο αιώνα.
- Οι συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα είναι οι υψηλότερες των τελευταίων 420.000 ετών.
- Η δεκαετία του 1990 ήταν η θερμότερη της χιλιετίας για το Βόρειο ημισφαίριο.
- Τα οχτώ πιο θερμά έτη που έχουν καταγραφεί στην ιστορία, εμφανίζονται μετά το 1983.
- Η Ελλάδα είναι από τις ελάχιστες αναπτυγμένες χώρες που έχουν το δικαίωμα να αυξήσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου βάσει του Πρωτοκόλλου του Κιότο. (+25%)
- Η Ελλάδα το 2005, είχε ήδη αυξήσει τις εκπομπές της κατά 28% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Τα επίσημα στοιχεία προβλέπουν αύξηση κατά 38,4% έως το 2010 και 58,4% έως το 2020.
- Μόλις το 3% της ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το 9% καλύπτεται από μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα και το υπόλοιπο 88% από ορυκτά καύσιμα με κυριότερο το λιγνίτη(55%).
- Τα σημαντικότερα κοιτάσματα λιγνίτη στην Ελλάδα (Πτολεμαΐδα, Κοζάνη, Μεγαλόπολη) θα εξαντληθούν μέσα στα επόμενα 30 χρόνια, ακόμα και αν συνεχίσουμε να τα εκμεταλλευόμαστε με τον ίδιο ρυθμό.
- Τα τελευταία 40 χρόνια στην Ελλάδα οι βροχοπτώσεις μειώθηκαν κατά 10 – 30%.
- Στην Ελλάδα η μέση μέγιστη θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί κατά 8 βαθμούς Κελσίου έως το τέλος του αιώνα. (από 33 σε 41 βαθμούς Κελσίου)

## ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η θάλασσα συνεχώς κινείται, αφού ανεβαίνει (πλημμυρίς) και κατεβαίνει (άμπωτης) λόγω της παλίρροιας, κυκλοφορεί ως ρεύματα (λόγω της διαφοράς της θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία του νερού, όπως ακριβώς συμβαίνει με τον άνεμο στην ατμόσφαιρα ) ή κινείται παλινδρομικά (κύματα).

Η κυματική ενέργεια αποτελεί μία μη συνηθισμένη χαμηλής συχνότητας πηγή ενέργειας η οποία θα πρέπει να μετατραπεί σε συχνότητα της τάξεως των 50 Hz πριν ενσωματωθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Παρόλο που τα τελευταία χρόνια πολλά συστήματα έχουν επινοηθεί μόνο ένα μικρό ποσοστό έχει δοκιμαστεί και αξιολογηθεί για την αξιοπιστία τους

Ένα σύστημα κυματικής ενέργειας μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο στον ωκεανό και να παράγει ενέργεια, μπορεί να είναι αγκυρωμένο στο πυθμένα ή πλωτό ανοιχτά της θάλασσας, ή σύστημα εγκαταστημένο στα παράλια ή στα ρηχά νερά. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί επίσης να είναι ολικά βυθισμένο στο νερό η να είναι τοποθετημένο πάνω από την θαλάσσια επιφάνεια σε μία πλωτή πλατφόρμα. Παρά τις δυνατότητες που παρουσιάζουν τα συστήματα κυματικής ενέργειας τα περισσότερα πρωτότυπα αυτών έχουν εγκατασταθεί στις ακτές. Η αισθητική επίδραση ενός συστήματος στο περιβάλλον εξαρτάται από τον τύπο που θα υιοθετηθεί, έτσι ένα σύστημα μερικώς βυθισμένο ή τοποθετημένο λίγα χιλιόμετρα μακριά δεν επηρεάζει την εναρμόνιση του συστήματος στο φυσικό περιβάλλον. Αντίθετα συστήματα κυματικής ενέργειας τοποθετημένα στις ακτές μπορεί να επιδράσουν αρνητικά στην όλη αισθητική και να μετατρέψουν ένα φυσικό περιβάλλον σε άκρως βιομηχανικό. Έτσι προσοχή απαιτείται τόσο στην μορφή του συστήματος που πρόκειται να υιοθετηθεί καθώς και πως θα εναρμονιστεί με την υπάρχουσα αρχιτεκτονική τοπίου και το φυσικό ανάγλυφο της περιοχής. Η συνεργασία του μελετητή αρχιτέκτονα και μηχανολόγου μηχανικού κρίνεται απαραίτητη και επιτακτική για αρμονικό σχεδιασμό.



Αιτίες που δημιουργούν θαλάσσια ρεύματα είναι :

- παλίρροιες (εμφανίζουν τη μέγιστη ταχύτητα τους συνήθως στις παράκτιες περιοχές, εκεί που μπορούν να γίνουν τεχνικά έργα απόληψης της ενέργειας).
- άνεμος (αργά ρεύματα, όχι τόσο πρόσφορα για παραγωγή ενέργειας όσο τα παλιρροϊκά ρεύματα).
- θερμοκρασιακές διαφορές και διαφορές στην αλατότητα (αργά ρεύματα στα βάθη).

## Φυσική της θαλάσσιας παλιρροϊκής ενέργειας :

- Η τεχνολογία παραγωγής ενέργειας από θαλάσσια παλιρροϊκά ρεύματα εκμεταλλεύεται την άνοδο και την πτώση της στάθμης των Ωκεανών που οφείλεται στην αλληλεπίδραση των πεδίων βαρύτητας στα πλανητικά συστήματα του Ήλιου, της Γης και της Σελήνης.
- Η μέση περίοδος των ρευμάτων αυτών είναι ημερήσια, δηλαδή περίπου 24h.
- Κατά τη διάρκεια του έτους η κίνηση των ρευμάτων επηρεάζεται από την σχετική θέση των τριών πλανητών μεταξύ τους.
- Η κατακόρυφη κίνηση της ανόδου και πτώσης της στάθμης των παλιρροϊών συνοδεύεται και από οριζόντια κίνηση υδάτινων μαζών που αναφέρονται σαν παλιρροϊκά ρεύματα. Θα πρέπει κατά συνέπεια να γίνεται διάκριση μεταξύ παλιρροϊκής δυναμικής ενέργειας και κινητικής ενέργειας των σωματιδίων του νερού στη παλίρροια.

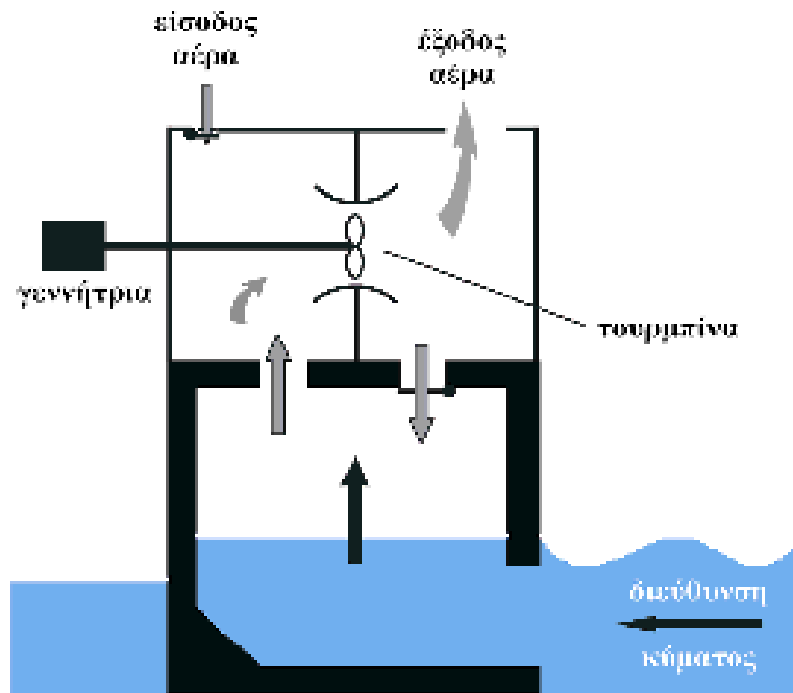
Η παγκόσμια δυναμική παλιρροϊκή ενέργεια εκτιμάται σε 3 TW, το 1 TW εξ αυτών είναι διαθέσιμο σε σχετικά ρηχά νερά. Στην Ευρώπη, την Αγγλία και τη Γαλλία έχουν την σχετικά υψηλότερη ενέργεια της κατηγορίας αυτής με διαφορά στάθμης του νερού που φθάνει τα 10m.

Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι τα θαλάσσια ρεύματα έχουν το δυναμικό να καλύψουν σημαντικό κομμάτι από τις μελλοντικές ενεργειακές ανάγκες.

Εκτιμάται ότι η εγκατεστημένη ισχύς στροβιλομηχανών εκμετάλλευσης της ενέργειας από τα θαλάσσια ρεύματα μπορεί να ξεπεράσει τα 12000 MW.

Όλες αυτές τις κινήσεις της θάλασσας μπορούμε να τις εκμεταλλευτούμε για να περιστρέψουμε τροχούς με πτερύγια και, στη συνέχεια, να παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης, είναι δυνατό να εκμεταλλευτούμε τη **θερμοκρασιακή διαφορά** μεταξύ της επιφάνειας και των βαθύτερων στρωμάτων της θάλασσας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (**Θερμική ενέργεια → ηλεκτρική ενέργεια**).

Όλες αυτές οι εφαρμογές βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο. Αν, όμως, οι επιστήμονες κατόρθωναν να κάνουν τις εφαρμογές αυτές και οικονομικά αποδοτικές, θα μπορούσαμε να αντλήσουμε ενέργεια από μια αστείρευτη δεξαμενή - πηγή, όπως είναι η θάλασσα και οι μεγάλες λίμνες, χωρίς καμία απολύτως επιβάρυνση του περιβάλλοντος.



Σχηματική διάταξη παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από τον κυματισμό της θάλασσας.

Η κινητική ενέργεια των κυμάτων μπορεί να περιστρέψει την τουρμπίνα, όπως φαίνεται στο σχήμα. Η ανυψωτική κίνηση του κύματος πιέζει τον αέρα προς τα πάνω, μέσα στο θάλαμο και θέτει σε περιστροφική κίνηση την τουρμπίνα έτσι ώστε η γεννήτρια να παράγει ρεύμα. Αυτός είναι ένας μόνο τύπος εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων. Η παραγόμενη ενέργεια είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες μιας οικίας, ενός φάρου, κ.λπ.

Η αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας χρονολογείται από εκατοντάδες χρόνια πριν, αφού με τα νερά που δεσμεύονταν στις εκβολές ποταμών από την παλίρροια, κινούνταν νερόμυλοι. Ο τρόπος είναι απλός: Τα εισερχόμενα νερά της παλίρροιας στην ακτή κατά την πλημμυρίδα μπορούν να παγιδευτούν σε φράγματα, οπότε κατά την άμπωτη τα αποθηκευμένα νερά ελευθερώνονται και κινούν υδροστρόβιλο, όπως στα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Τα πλέον κατάλληλα μέρη για την κατασκευή σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι οι στενές εκβολές ποταμών. Η διαφορά μεταξύ της στάθμης του νερού κατά την άμπωτη και την πλημμυρίδα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 μέτρα.

Επίσης η θερμική ενέργεια των ωκεανών μπορεί να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα αρκεί η διαφορά αυτή να είναι τουλάχιστον 3,5οC.

Τα **πλεονεκτήματα** από τη χρήση της ενέργειας των ωκεανών, εκτός από "καθαρή" και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα γνωστά ευεργετήματα, είναι το σχετικά μικρό κόστος κατασκευής των απαιτούμενων εγκαταστάσεων, η μεγάλη απόδοση (40-70 KW ανά μέτρο μετώπων κύματος) και η δυνατότητα παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση από το άφθονο θαλασσινό νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.

Οι σπουδαιότερες **δυσκολίες** που αντιμετωπίζονται στην εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας είναι:

-Τυχαίοι θαλάσσιοι κυματισμοί ως προς το ύψος, τη φάση και την διεύθυνσή τους. Έτσι, είναι δύσκολο να επιτύχουμε μέγιστη απόδοση μιας συσκευής σε όλο το εύρος των συχνοτήτων διέγερσής της από τους θαλάσσιους κυματισμούς

-Οι φορτίσεις που οφείλουν να αναληφθούν από τις συσκευές σε περίπτωση ακραίων καιρικών συνθηκών, όπως τυφώνες, μπορεί να είναι και 100 φορές μεγαλύτερες από τις μέσες φορτίσεις που δέχονται οι κατασκευές σε συνήθεις καταστάσεις λειτουργίας.

-Η σύζευξη της ακανόνιστης, αργής κίνησης του κυματισμού (συχνότητας περίπου 0.1 Hz) με ηλεκτρικούς κινητήρες απαιτεί συνήθως περί τις 500 φορές υψηλότερη συχνότητα.

### **Κύρια Προβλήματα στην εφαρμογή της θαλάσσιας ενέργειας**

- Σύνδεση με το δίκτυο. Το κόστος μεγάλο για τη μεταφορά στη ξηρά. Επί πλέον το δίκτυο ξηράς δεν είναι προσαρμοσμένο στις μεγάλες ποσότητες ενέργειας που μπορούν να προέλθουν από τη θάλασσα.

- Κόστος παραγωγής. Σήμερα της τάξης των 33 – 37 c€/kWh. Στόχος είναι να μειωθεί σε κόστος αντίστοιχο αυτών των συμβατικών τεχνολογιών. Για το σκοπό αυτό είναι αναγκαία η καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των συστημάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον.

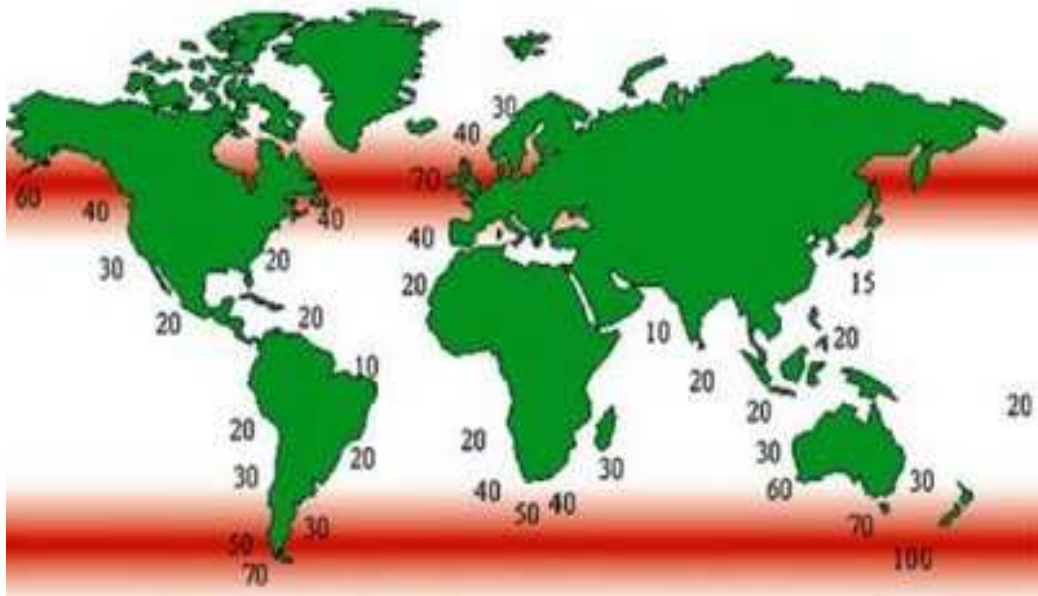
- Θεσμικό πλαίσιο: Απόλυτη ανάγκη για περιβαλλοντική πολιτική που να ενθαρρύνει τους πιθανούς επενδυτές. Είναι αναγκαίες πιο σταθερές συνθήκες στην αγορά για να επιταχύνουν την τεχνολογική εξέλιξη και την εμπορική εκμετάλλευση. Είναι αναγκαία η ύπαρξη εθνικού και ευρωπαϊκού θεσμικού πλαισίου που να ακολουθεί μια τιμολογιακή πολιτική αντίστοιχη αυτής των φωτοβολταϊκών.

- Απλοποίηση των διαδικασιών αδειοδότησης.

Η κύρια πρόκληση κατά συνέπεια είναι η σχεδίαση συστημάτων με:

- υψηλό βαθμό αξιοπιστίας
- χαμηλό κόστος
- ασφάλεια





Χάρτης: Παγκόσμιο κυματικό δυναμικό σε kW/m



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

### **ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

#### **Εισαγωγή**

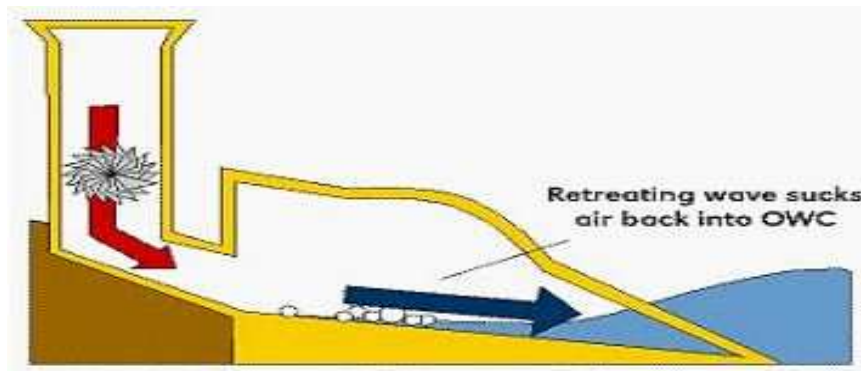
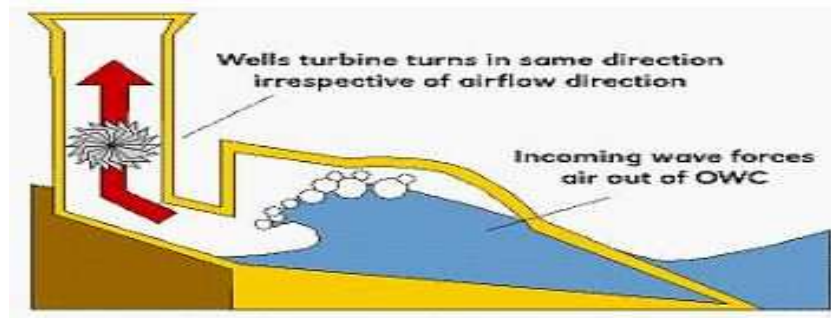
Κατά την δεκαετία του '70 μόνο δυο χώρες κατάφεραν να αναδείξουν τις δυνατότητες των συστημάτων κυματικής ενέργειας μέσα από τα ερευνητικά τους προγράμματα, η Ιαπωνία και η Μεγάλη Βρετανία. Οι επίμονες προσπάθειες των ερευνητών τους κατάφεραν να βελτιώσουν την απόδοση παραγωγικότητας των συστημάτων αυτών. Εδώ θα δούμε κάποιες από τις τεχνολογίες αυτές. Σε γενικές γραμμές τα συστήματα μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες, τα σταθερά και τα πλωτά.

Τα **σταθερά συστήματα** τα οποία τοποθετούνται στις ακτές ή στα ρηχά νερά έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των πλωτών συστημάτων και συγκεκριμένα στον τομέα της συντήρησης.



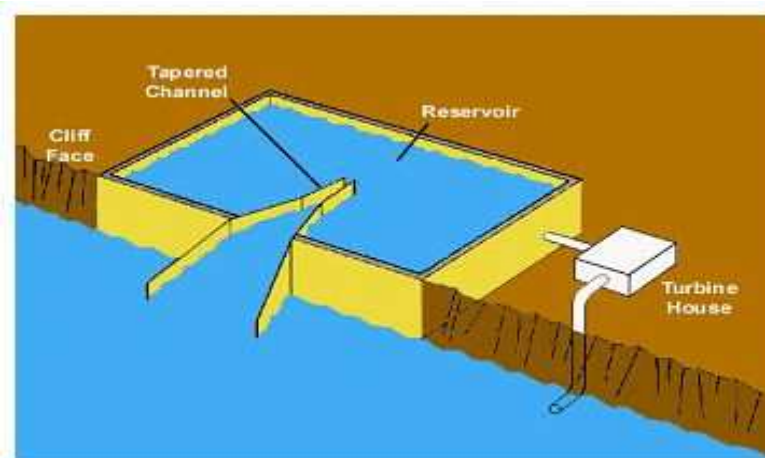
Ωστόσο, ο αριθμός των διαθέσιμων περιοχών κατάλληλες για σταθερά συστήματα είναι περιορισμένος. Οι ταλαντώσεις που συντελούνται στην στήλη νερού του συστήματος μετατρέπουν την κυματική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η διαδικασία που ακολουθείται γίνεται σε δύο στάδια. Καθώς το νερό εισέρχεται στο εσωτερικό του συστήματος αναγκάζει τον αέρα που υπάρχει να μετατοπιστεί προς το επάνω μέρος και να θέσει σε λειτουργία την τουρμπίνα η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική.

Η διαδικασία μετατροπής περιγράφεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα



### Το σύστημα TAPCHAN

Ένα σημαντικό σύστημα είναι το λεγόμενο TAPCHAN (Tapered channel systems). Πρόκειται δηλαδή για σύστημα με χρήση βαθμιαίων καναλιών σε δεξαμενή. Καθώς το νερό εισέρχεται στην δεξαμενή τα κανάλια συμβάλουν στην αύξηση του ύψους των κυμάτων και στην συνέχεια κινούν έναν άξονα τοποθετημένο παράλληλα σε αυτά. Η κίνηση του άξονα μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική και στην συνέχεια την διοχετεύει σε ηλεκτρικό δίκτυο ή αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Η ιδέα του συστήματος αυτού υιοθετεί αρχές παραδοσιακού υδροηλεκτρικού συστήματος, συλλέγει νερό, αποθηκεύει νερό και μετατρέπει αυτό μέσω της κίνησης σε ηλεκτρική ενέργεια.



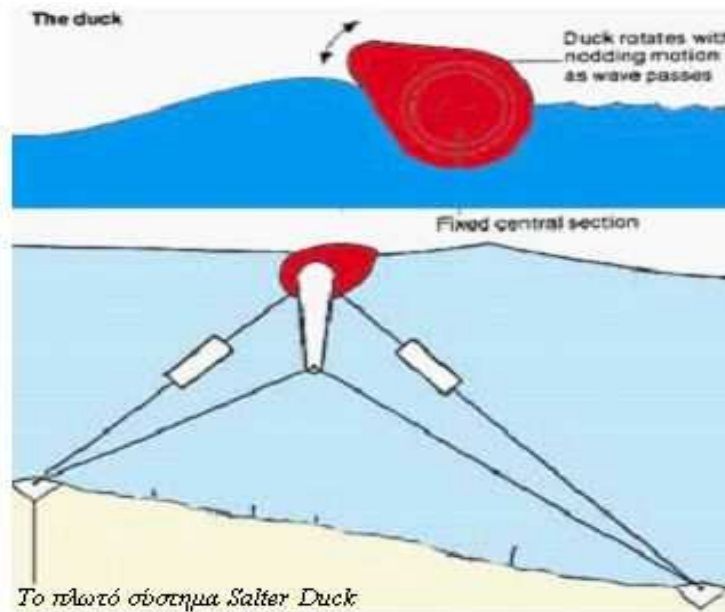
Τα συστήματα αυτά έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης, μεγάλη αξιοπιστία και επιπρόσθετα ότι η δεξαμενή έχει την δυνατότητα να παράγει ενέργεια όταν απαιτηθεί κάτι

που δύσκολα επιτυγχάνεται με άλλα συστήματα. Δυστυχώς όμως τα συστήματα τύπου TARCHAN δεν είναι κατάλληλα για εφαρμογή σε όλες τις παράλιες περιοχές. Ιδανικές περιοχές είναι εκείνες με σταθερό ρυθμό κυμάτων, με καλό μέσο ποσό κυματικής ενέργειας και με ύψος κυμάτων μικρότερο του 1 μέτρου, καθώς και παράλιες περιοχές με βαθιά νερά και έκταση για την εγκατάσταση δεξαμενής.

### ***Τα πλωτά συστήματα:***

#### *Salter Duck, Clam και Archimedes*

Τα πλωτά συστήματα, που είναι περισσότερο γνωστά στην ερευνητική κοινότητα είναι τα Salter Duck, Clam και Archimedes. Τα πλωτά συστήματα σε αντίθεση με τα σταθερά παράγουν ενέργεια από την αρμονική κίνηση του πλωτού τμήματος του συστήματος και όχι από την κίνηση της σταθερής τουρμπίνας στο εσωτερικό. Στα συστήματα αυτά οι οδηγοί ανεβαίνουν και κατεβαίνουν ανάλογα με την κίνηση του κύματος και η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται μέσω της κίνησης αυτής.



Η ανάπτυξη των συστημάτων αυτών ξεκίνησε την δεκαετία του '80 και η καθυστέρηση αυτή οφείλεται σε λάθος υπολογισμούς που έγιναν όσον αφορά το κόστος παραγωγής ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη της τεχνολογίας τα λάθη κατανοήθηκαν και η έρευνα και ανάπτυξη ξεκίνησε και πάλι. Όμως οι ρυθμοί ανάπτυξης γίνονται με αργό ρυθμό λόγω μειωμένων ερευνητικών κονδυλίων και κυβερνητικών επιδοτήσεων. Εξαιρεση αποτελούν κάποια ερευνητικά ιδρύματα στην Ευρώπη και φωτεινό παράδειγμα η Σκανδιναβία με το να πρωτοστατεί πλέον στο τομέα αυτό.

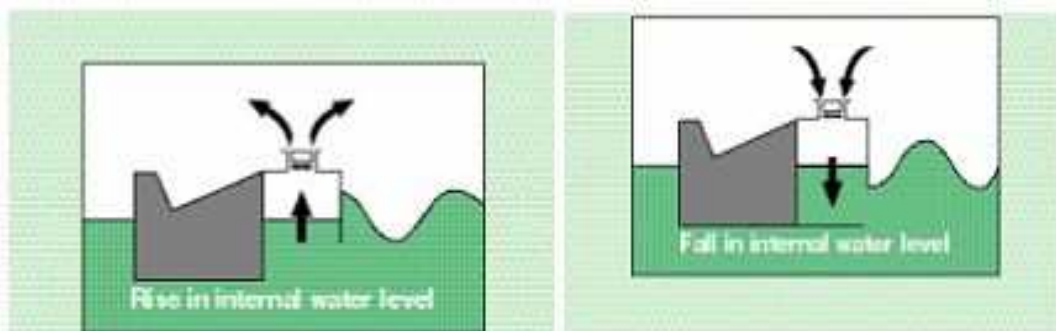
## Το σύστημα *Mighty Whale*



Αποτελεί το ερευνητικό πρόγραμμα Ιαπόνων επιστημόνων με την ονομασία *Mighty Whale*, όπως το όνομα προδίδει πρόκειται για κινητό σύστημα κυματικής ενέργειας που εξωτερικά το περίβλημα θυμίζει μικρή φάλαινα..

Το σύστημα *Mighty Whale* μετατρέπει την κυματική ενέργεια σε ηλεκτρική με την χρήση κάθετης στήλης νερού που περικλείεται στο εσωτερικό του. Καθώς το σύστημα κινείται στην επιφάνεια της θάλασσας, το νερό εισέρχεται στην κάθετη στήλη και κινεί την τουρμπίνα παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια.

Όπως φαίνεται στην εικόνα κάτω, το νερό εισέρχεται από το στόμιο του *Mighty Whale* και αυξάνει την στάθμη του νερού εσωτερικά, ο αέρας κινείται προς τα επάνω και κινεί την τουρμπίνα. Η διαδικασία θυμίζει αυτής των σταθερών συστημάτων, με την διαφορά ότι το σύστημα στην περίπτωση αυτή κινείται.



Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας του συστήματος *Mighty Whale*.

## Το σύστημα *Wave Dragon*

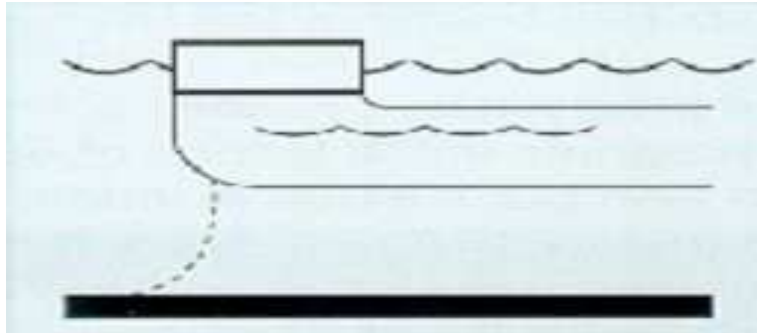


Ένα παρόμοιο σύστημα είναι αυτό με την ονομασία Wave Dragon. Το σύστημα αυτό είναι πλωτό και κάνει χρήση μεγάλης θαλάσσιας επιφάνειας. Τα κύματα εγκλωβίζονται από δύο πλωτές πλατφόρμες από μπετόν τοποθετημένες η μία απέναντι από την άλλη σε απόσταση 227 μ. Η πλωτή δεξαμενή στην οποία καταλήγει το κύμα καταλαμβάνει όγκο χωρητικότητας 2.600 κ.μ.. Το νερό εισέρχεται στην πλωτή δεξαμενή και κινεί τις τουρμπίνες με ταχύτητα 100 κ.μ. το δευτερόλεπτο. Το σύστημα αυτό είναι το μοναδικό πρόγραμμα της Δανίας που συμμετέχει στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Κυματικής Ενέργειας.

Είναι τυχαίο άραγε το γεγονός ότι η Ελλάδα δεν εκπροσωπεί κανένα πρόγραμμα και απουσιάζει εντελώς; μάλλον όχι, αφού ο ερευνητικός τομέας στην Ελλάδα έχει τα χαμηλότερα ποσοστά συμμετοχής στην Ευρώπη.

### **Το σύστημα *Swan DK3***

Ένα άλλο πρωτοποριακό πλωτό σύστημα αποτελεί το Swan DK3, αρχικά αναπτύχθηκε από την Ιαπωνία, έλλειψη κονδυλίων οδήγησε στο να αναπτυχθεί από την συνεργασία της Κίνας με την Δανία. Στο σύστημα αυτό περιλαμβάνεται ένας αγωγός σε σχήμα L στο κάτω μέρος και το νερό εισέρχεται στον αγωγό και ο αέρας κινεί την τουρμπίνα στο επάνω μέρος παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Μοντέλα εξομοίωσης και πειράματα έχει προγραμματίσει το Ινστιτούτο Υδραυλικής της Δανίας στην Βόρεια θάλασσα για τα επόμενα χρόνια.



## Το σύστημα Pelamis



Το σύστημα Pelamis, της βρετανικής εταιρείας Pelamis Wave Power, ονομαστικής ισχύος 750 kW, έχει ήδη δοκιμασθεί με επιτυχία σε διασυνδεδεμένη λειτουργία, και ετοιμάζεται η εγκατάσταση κυματικών πάρκων με πολλές μηχανές Pelamis στις πορτογαλικές, σκοτσέζικες και βρετανικές ακτές.

Η μηχανές Pelamis, πήραν την ονομασία τους από το λατινικό «θαλάσσιο φίδι». Οι μηχανές αυτές είναι μια σειρά κόκκινων μεταλλικών σωλήνων που επιπλέουν, καθεμία στο μέγεθος ενός μικρού τραίνου, συνδεδεμένων μεταξύ τους και με κατεύθυνση ίδια με αυτή των κυμάτων. Τα κύματα ταξιδεύουν μέσα από τους σωλήνες, προκαλώντας τους ταλάντωση, και ένα υδραυλικό σύστημα εκμεταλλεύεται αυτήν την κίνηση για να παραγάγει ηλεκτρική ενέργεια 750 μεγαβάτ. Κάθε μηχανή Pelamis έχει μήκος 170 μέτρα, πλάτος 3,5 και ζυγίζει 750 τόνους. Όταν θα βρίσκονται σε πλήρη λειτουργία οι μηχανές θα παράγουν ενέργεια που θα μπορεί να τροφοδοτεί 1.500 νοικοκυριά, ενώ στο απώτερο μέλλον σχεδιάζεται η εγκατάσταση ακόμη 25 μηχανών Pelamis. Ο συλλέκτης ενέργειας του συστήματος αποτελείται από ένα πλάγιο θάλαμο από μπετόν που βρίσκεται πάνω στους βράχους και έχει πρόσβαση που επιτρέπει την ελεύθερη είσοδο και έξοδο του νερού των κυμάτων από τον κεντρικό θάλαμο. Όταν τα κύματα εισέρχονται στον θάλαμο, το επίπεδο του νερού ανεβαίνει και συμπιέζει τον αέρα στην κορυφή του θαλάμου ο οποίος κινεί μία τουρμπίνα.



### **Συμπεράσματα,**

Οι περισσότερες τεχνολογίες που είδαμε παραπάνω βασίζονται στην ίδια ιδέα , να εκμεταλλευτούν την κίνηση των κυμάτων και με κάποιο υδραυλικό τρόπο να την οδηγήσουν σε μια γεννήτρια. Μπορούμε να πούμε επίσης ότι η πιο εξελιγμένη και ανεπτυγμένη τεχνολογία είναι αυτή του Pelamis.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### Εισαγωγή στη μελέτη των θαλάσσιων ανεμογενών κυματισμών

#### *Εισαγωγή*

Για να κατανοηθούν και να χρησιμοποιηθούν σωστά τα αποτελέσματα του Άτλαντα είναι σκόπιμο να παρουσιασθεί, έστω και συνοπτικά, το απαραίτητο θεωρητικό (μαθηματικό) υπόβαθρο για τη μελέτη και μοντελοποίηση των ανεμογενών θαλάσσιων κυματισμών. Η αναγκαιότητα αυτή καθίσταται επιτακτικότερη από το γεγονός ότι στην Ελλάδα, μέχρι στιγμής, δεν υπάρχει δημόσιος φορέας που να παρέχει επίσημη κυματική πρόγνωση κατά τα πρότυπα της μετεωρολογικής πρόγνωσης. Έτσι, δεν υπάρχει εξοικείωση των χρηστών με τις βασικές έννοιες της κυματικής και η (ανεπίσημη) κυματική πρόγνωση που παρέχεται σήμερα από ορισμένους φορείς (όπως π.χ. το ΕΛΚΕΘΕ ή το ΙΕΣΕ/ Πανεπιστημίου Αθηνών) δεν «κατανοείται» πάντοτε με το σωστό τρόπο.

Ορισμένες σχετικά πρόσφατες, μονογραφίες στις οποίες συνοψίζεται η βασική θεωρία για τη στοχαστική μελέτη και μοντελοποίηση των θαλάσσιων ανεμογενών κυματισμών είναι των Massel (1996), Ochi (1998), Young (1999), Goda (2000), Boccotti (2000), Tucker, Pitt (2001), Lavrenov (2003). Επίσης μια αναλυτική μελέτη του όλου θέματος παρουσιάζεται στο πανεπιστημιακό σύγγραμμα με τίτλο «Πράξεις και μετασηματισμοί τυχαίων μεταβλητών. Ανεμογενείς θαλάσσιοι κυματισμοί» του καθ. Γ.Α. Αθανασούλη, Έκδοση ΕΜΠ, 2003, που διδάσκεται στο τμήμα ναυπηγών μηχανολόγων μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Σε μια προσπάθεια προσέγγισης της εξέλιξης του συνολικού φαινομένου των θαλάσσιων επιφανειακών κυματισμών, μπορούμε να διακρίνουμε τα στάδια της γένεσης (wave generation), ανάπτυξης (wave development), διάδοσης, (wave propagation), και απόσβεσης (wave decay). Καθένα από αυτά τα στάδια αποτελεί ένα επιμέρους φυσικό φαινόμενο με τις δικές του ιδιαιτερότητες και το δικό του υποσύνολο συσχετισμών φαινομένων και διαδικασιών. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των θαλάσσιων επιφανειακών κυματισμών είναι ο χώρος διάδοσης (η επιφάνεια της θάλασσας) και το είδος της γενικότερης υδροδυναμικής ροής (ροή ρευστού με ελεύθερη επιφάνεια). Όμως, η ολιστική μελέτη του φαινομένου ενέχει σημαντικές δυσκολίες λόγω της πολυπαραμετρικής φύσης του:

- Το χωρικό πεδίο της πρωταρχικής των κυματισμών άλλοτε είναι σχετικά καλά ορισμένο (π.χ., στην περίπτωση των ανεμογενών κυματισμών είναι το σύνορο μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας και του εφραπτόμενου στρώματος της ατμόσφαιρας), και άλλοτε όχι (π.χ., στην περίπτωση των παλιρροιών είναι ο Παγκόσμιος Ωκεανός).
- Περαιτέρω η χρονική στιγμή της γένεσης μπορεί να προσδιορισθεί είτε με σχετική ακρίβεια (π.χ., στην περίπτωση των παλιρροιών η στιγμή έναρξης του φαινομένου ακολουθεί την περίοδο της παλίρροιας, ενώ στη περίπτωση των ανεμογενών κυματισμών είναι κάποια χρονική στιγμή μετά την έναρξη της καταιγίδας), είτε όχι (στην περίπτωση των κυματισμών τσουνάμι, η στιγμή γένεσης του φαινομένου σχετίζεται με τη στιγμή έναρξης του σεισμού ή της έκρηξης του ηφαιστείου, η οποία γενικά δεν είναι προβλέψιμη). Ειδικότερα, κάθε επιμέρους χαρακτήρας του φαινομένου των θαλάσσιων



κυματισμών εξελίσσεται χρονικά στη δική του κλίμακα χρόνου και χώρου, και, από αυτήν την άποψη, δεν μπορεί καταρχήν να υπάρξει μια μοναδική και συνολική προσέγγιση στο όλο φαινόμενο. Έτσι, η γένεση των ανεμογενών κυματισμών μπορεί να εξελίσσεται σε μερικές ώρες από τη στιγμή επιβολής του αιτίου ή μπορεί να είναι σχεδόν ταυτόχρονη με την επιβολή του αιτίου (στην περίπτωση των τσουνάμι). Αντίστοιχες παρατηρήσεις ισχύουν για τη φάση ανάπτυξης και διάδοσης των επιφανειακών κυματισμών, όπου

- Η χρονική εξέλιξη του φαινομένου μπορεί να διαρκεί από μερικές ώρες μέχρι ορισμένα εικοσιτετράωρα και το συνολικό φαινόμενο μπορεί να επαναλαμβάνεται σε τακτά (π.χ., στην περίπτωση των παλιρροιών ή άτακτα (π.χ, στην περίπτωση των ανεμογενών κυματισμών) χρονικά διαστήματα.
- Γενικά οι θαλάσσιοι κυματισμοί, ενώ ουσιαστικά δημιουργούνται σε μια περιορισμένη περιοχή της ελεύθερης επιφάνειας (την περιοχή της «γένεσης»), στη συνέχεια διαδίδονται σε αποστάσεις που μπορεί να εκτείνονται σε μερικές εκατοντάδες η και χιλιάδες χιλιόμετρα από την περιοχή της γένεσης.
- Τέλος, τα αίτια δημιουργίας και συντήρησης και ο τρόπος επιβολής τους αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που διαμορφώνουν τη διαδικασία της γένεσης, τη κυματική μορφολογία, καθώς και τα πρώτα στάδια της διάδοσης των επιφανειακών κυματισμών.

Λαμβάνοντας υπόψη και τις απαιτήσεις πρόγνωσης του φαινομένου, η κατάσταση περιπλέκεται ακόμα περισσότερο. Έτσι, ο χώρος και ο χρόνος της προεκβολής (πρόβλεψης) αποτελούν ένα βασικότατο ρυθμιστικό παράγοντα, καθώς οι θεωρητικές προσεγγίσεις που θα χρησιμοποιηθούν σχετίζονται με τις χωροχρονικές κλίμακες προεκβολής. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια προσέγγιση που είναι κατάλληλη για τη μελέτη του φαινομένου σε μια κλίμακα να είναι συχνά ακατάλληλη σε μια άλλη.

## **Κλίμακες χρόνου**

Εστιάζοντας στη συνέχεια στους θαλάσσιους ανεμογενείς κυματισμούς και στη σωστή χρήση των αντίστοιχων κυματικών δεδομένων και προγνώσεων σε διάφορες εφαρμογές, πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι οι κυματισμοί αυτοί μελετώνται, μοντελοποιούνται και προβλέπονται με διαφορετικούς τρόπους σε διαφορετικές κλίμακες χρόνου. Το πρωτογενές φαινόμενο ( ανύψωση της επιφάνειας της θάλασσας) μελετάται πλήρως μέσω της θεωρίας των στάσιμων και κανονικών στοχαστικών διαδικασιών στη βραχυχρόνια κλίμακα χρόνου. Όμως όταν η στασιμότητα παύει να ισχύει τότε δεν ισχύουν τα αντίστοιχα θεωρητικά αποτελέσματα, οπότε επιβάλλεται η χρήση εναλλακτικών θεωρήσεων για τη περιγραφή της ακολουθίας πλέον των καταστάσεων θάλασσας, βλ. εδάφιο 2.4.3. τους δυο κεντρικούς άξονες για τη μελέτη των θαλάσσιων ανεμογενών κυματισμών αποτελούν τα αποτελέσματα της θεωρίας των στάσιμων και κανονικών στοχαστικών διαδικασιών και η έννοια του κυματιστικού φάσματος πυκνότητας ισχύος ( στη συνέχεια θα αναφέρεται απλά ως «φάσμα»).

Ειδικότερα για τη μελέτη των ανεμογενών κυματισμών στο πεδίο του χρόνου θεωρούμε δυο ειδών κλίμακες: τις «γρήγορες κλίμακες χρόνου» και τις «αργές κλίμακες χρόνου», βλ. Soukissian (1995).

#### Γρήγορες κλίμακες χρόνου (t)

Βασική περίοδος δειγματοληψίας	0,5 sec
Περίοδος από κύμα σε κύμα	12 sec (4-20 sec)
Περίοδος από κυματική ομάδα σε κυματική ομάδα	100 sec
Διάρκεια στασιμότητας	3 ώρες (1/2-6 ώρες)

Η βασική περίοδος δειγματοληψίας ( sampling period) είναι το ελάχιστο χρονικό διάστημα για το οποίο έχουμε τη στοιχειώδη αριθμητική πληροφορία για τη συνάρτηση της ανύψωσης της επιφάνειας της θάλασσας η (t). αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η πληροφορία για την ανωτέρω συνάρτηση είναι διακριτή με βήμα της τάξεως των 0.5 sec π.χ., ένα κύμα με περίοδο 10 sec περιγράφεται από 20 σημεία της ανυψώσεως. Η περίοδος από κύμα σε κύμα ( wave period) είναι εκείνο το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο παρατηρείται το στοιχειώδες «δομικό συστατικό» του φαινομένου, δηλαδή το «ένα κύμα» ( individual wave), και αντιστοιχεί στην συνηθισμένη περίοδο μηδενικής πρόσβασης  $T_z$ , βλ. εδάφιο 2.3.1. Η περίοδος κυματικής ομάδας (wave group period) είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο κυματικές ομάδες , όπου πλέον έχουν «αποκαλυφθεί» ορισμένοι από τους βασικούς χαρακτήρες του φαινομένου, βλ. Goda (2000), σελ. 268. Τέλος, η διάρκεια στασιμότητας (duration of stationarity) είναι η μεγαλύτερη χρονική κλίμακα από τις γρήγορες κλίμακες χρόνου και ορίζεται πρακτικά ως το χρονικό διάστημα κατά το οποίο δεν μεταβάλλεται ο στατικός χαρακτήρας της ανύψωσης επιφάνειας της θάλασσας. Γενικά , σε χρονικά διαστήματα της τάξεως της διάρκειας στασιμότητας, η ανύψωση της επιφάνειας της θάλασσας στο χώρο και το χρόνο μπορεί να περιγράφεται ικανοποιητικά από ένα στάσιμο, κανονικό και εργοδικό στοχαστικό πεδίο (random field), βλ. εδάφιο 2.3.2.

#### Αργές κλίμακες χρόνου(τ)

Βασική περίοδος δειγματοληψίας	3 ώρες (1/2-6 ώρες)
Περίοδος καιρικού συστήματος	50 ώρες (1-15 ημέρες)
Περίοδος από εποχή σε εποχή	1 έτος
Περίοδος από έτος σε έτος	10 έτη
Κλιματική περίοδος	100 έτη

Η βασική περίοδο δειγματοληψίας (της αργής κλίμακας χρόνου) είναι το ελάχιστο εκείνο χρονικό διάστημα για το οποίο έχουμε τη στοιχειώδη στατιστική πληροφορία για τη συνάρτηση της ανύψωσης της επιφάνειας της θάλασσας η (τ). η περίοδος καιρικού συστήματος (weather system period) είναι το χρονικό εκείνο διάστημα στο οποίο σημειώνονται ορατές (παρατηρήσιμες) καιρικές αλλαγές. Στη περίοδο αυτή αναφέρονται οι συνήθεις επιχειρησιακές προγνώσεις των φασματικών μοντέλων. Η περίοδος από εποχή σε εποχή (seasonal period) αποτελεί τη βασική (στατιστική) περίοδο του φαινομένου των ανεμογενών θαλάσσιων κυματισμών, με την έννοια ότι είναι το ελάχιστο δυνατό χρονικό διάστημα για το οποίο έχει ισχύ οποιαδήποτε στατιστική ανάλυση των φασματικών κυματικών παραμέτρων (βλ. κατωτέρω). η περίοδος από έτος σε έτος (annual period) και η κλιματική περίοδος ( climatic period) είναι οι δύο μεγαλύτερες χρονικές περιόδους από τις αργές κλίμακες χρόνου. Οι περισσότερες εφαρμογές που αφορούν μακροχρόνιες προβλέψεις των χαρακτηριστικών των θαλάσσιων κυματισμών και των αποκρίσεων πλοίων και

πλωτών κατασκευών σε αυτούς γίνονται στα πλαίσια των δύο τελευταίων περιόδων. Ειδικότερα για τους ανεμογενείς κυματισμούς, η βασική διαφορά των περιόδων αυτών σε σχέση με εφαρμογές μοντελοποίησης και μακροχρόνιας πρόβλεψης συνίσταται στο ότι, ενώ για την εξέλιξη του φαινομένου στη περίοδο από έτος σε έτος υπάρχουν διαθέσιμα στατιστικά δεδομένα, για την εξέλιξη στην κλιματική περίοδο δεν υπάρχουν (ακόμα) αντίστοιχα δεδομένα. Το γεγονός αυτό καθιστά απαγορευτική τη διατύπωση αξιόπιστων νόμων για τη συμπεριφορά αυτού του φαινομένου σε πολύ μεγάλες χρονικές κλίμακες.

Γενικά, στις γρήγορες (βραχυχρόνιες) κλίμακες χρόνου ο φαινόμενος και ταχέως μεταβαλλόμενος χαρακτήρας της ανύψωσης της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας  $\eta(t)$ . Στην περίπτωση αυτή, με τη βοήθεια της θεωρίας των στάσιμων και κανονικών στοχαστικών διαδικασιών, το πρόβλημα μελετάται πλήρως. Στις αργές κλίμακες χρόνου δεν υπάρχει το αντίστοιχο θεωρητικό υπόβαθρο, και έτσι το πρόβλημα μετατοπίζεται συνήθως στη μοντελοποίηση της ακολουθίας των φασματικών χαρακτηριστικών που αντιστοιχούν στις διαδοχικές καταστάσεις θάλασσας. Κατά συνέπεια, η κύρια επίδραση των διαφορετικών κλιμάκων χρόνου στη μελέτη των θαλάσσιων κυματισμών και στην ορθολογική συγκέντρωση και διαχείριση των κυματικών δεδομένων οφείλεται στο γεγονός ότι ένα στοχαστικό μοντέλο, το οποίο είναι κατάλληλο για την περιγραφή της συνάρτησης  $\eta(t)$  και της στατιστικής των οριζόμενων επί αυτής μεγεθών (όπως, π.χ., του ύψους κύματος που μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα) στα πλαίσια της μελέτης στη γρήγορη κλίμακα χρόνου, είναι ακατάλληλο για κάποια άλλη. Επιπλέον στη γρήγορη κλίμακα χρόνου, τα βασικά κυματικά (φασματικά) χαρακτηριστικά, η χρήση των οποίων έχει καθιερωθεί σε επιχειρησιακές εφαρμογές (όπως είναι π.χ., το σημαντικό ύψος κύματος), θεωρούνται σταθερές ποσότητες, ενώ στις αργές κλίμακες χρόνου θεωρούνται τυχαίες μεταβλητές ή στοχαστικές διαδικασίες. Υπό αυτό το πρίσμα, άλλου είδους κυματικά δεδομένα απαιτούνται όταν εργαζόμαστε στη γρήγορη κλίμακα χρόνου και άλλου είδους δεδομένα όταν εργαζόμαστε στην αργή. Σε κάθε πάντως περίπτωση, μόνον ο συνδυασμός μετρήσεων ή άλλου είδους σχετικών δεδομένων (π.χ., δεδομένα από προσομοίωση) και στοχαστικής μοντελοποίησης επιτρέπει την βαθύτερη μελέτη του όλου φαινομένου και παρέχει την δυνατότητα αξιόπιστων προβλέψεων.

Όλες οι ανωτέρω παρατηρήσεις καταδεικνύουν ότι το θέμα της μελέτης και πρόβλεψης των ανεμογενών θαλάσσιων κυματισμών αποτελεί ένα ιδιαίτερα σύνθετο όσο και περίπλοκο φυσικομαθηματικό πρόβλημα.

## **Μελέτη των θαλάσσιων ανεμογενών κυματισμών στη γρήγορη κλίμακα χρόνου**

### **Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των θαλάσσιων κυματισμών**

Στη συνέχεια ορίζονται και περιγράφονται ορισμένα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά των θαλάσσιων ανεμογενών κυματισμών, όπως είναι το ύψος, το πλάτος και η περίοδος κύματος, και γίνεται μια σύντομη εισαγωγή στη στοχαστική θεώρηση του φαινομένου. Τα μεγέθη αυτά ορίζονται και στις δύο κλίμακες χρόνου, όμως η αναλυτική θεωρία για τη μαθηματική περιγραφή τους έχει ισχύ μόνο μέσα στη διάρκεια στασιμότητας.

Ας θεωρήσουμε τη συνάντηση της ανύψωσης  $\eta(t)$  σε ένα σταθερό σημείο της αδιατάρακτης ελεύθερης επιφάνειας. Η καταγραφή της ανύψωσης συνίσταται σε μια ακανόνιστη αλληλουχία κορυφών και κοιλάδων που αντιστοιχούν σε τοπικά μέγιστα και τοπικά ελάχιστα της ανύψωσης, βλ. Σχήμα 2.1. γενικά, η κυματομορφή της ανύψωσης της επιφάνειας της θάλασσας μπορεί να μεταβάλλεται από μια ομαλή και λεία καμπύλη ημιτονοειδούς τύπου (για τις αποθάλασσες) μέχρι και καμπύλη έντονα ακανόνιστου σχήματος (για τους τοπικούς ανεμογενείς κυματισμούς). Πάνω στη κυματομορφή μπορεί κανείς να διακρίνει το δομικό συστατικό του κυματικού φαινομένου που είναι το «ένα κύμα» και να ορίσει ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά του, όπως είναι το ύψος (wave height) και η περίοδος κύματος (wave period). Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να εκτιμώνται από την καταγραφή ενός οργάνου οπότε θα ονομάζονται μετρούμενα (measured), ενώ όταν προσεγγίζονται από οπτική παρατήρηση θα ονομάζονται παρατηρούμενα (visual). Τα χαρακτηριστικά αυτά ονομάζονται επίσης φαινόμενα (apparent characteristics), με την έννοια ότι φαίνονται απευθείας πάνω στην επιφάνεια της θάλασσας.

**Ορισμός 1:** Η (προσημασμένη) κατακόρυφη απόσταση μιας κορυφής (τοπικού μέγιστου) από την αδιατάρακτη επιφάνεια ονομάζεται πλάτος κορυφής κύματος (ή απλά πλάτος κύματος) και συμβολίζεται ως  $a_c$  ή απλούστερα,  $a$ .

**Ορισμός 2:** Η (απόλυτη) κατακόρυφη απόσταση μεταξύ μιας κορυφής και της επόμενης κοιλάδας ονομάζεται ύψος κύματος κορυφής- κοιλάδας, και συμβολίζεται ως  $H_{CT}$  ή, απλούστερα,  $H$ .

Το ύψος κύματος  $H$  είναι μη αρνητική ποσότητα. Αντιστοίχως ορίζεται και το ύψος κύματος κοιλάδας-κορυφής που συμβολίζεται ως  $H_{rc}$ .

Στη συνέχεια ορίζονται οι σημαντικότερες κυματικές περίοδοι που διακρίνονται πάνω σε μια καταγραφή της  $\eta(t)$ .

**Ορισμός 3:** Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών υπερβάσεων του επιπέδου ηρεμίας από τη συνάρτηση  $\eta(t)$  ονομάζεται περίοδος μηδενικής υπέρβασης (zero up-crossing period) και συμβολίζεται ως  $T_z$ .

**Ορισμός 4:** Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών (κοιλάδων) της συνάρτησης  $\eta(t)$  ονομάζεται περίοδος (κοιλάδων) (crest/ trough period) και συμβολίζεται ως  $T_c$  ( $T_T$ ).

Ομοίως μπορούν να ορισθούν και άλλα μεγέθη όπως η περίοδος κορυφής – κοιλάδας  $T_{CT}$ , κ.λπ.

Τονίζεται ότι οι τιμές των φαινομένων μεγεθών που ορίστηκαν ανωτέρω μεταβάλλονται κατά μήκος μιας καταγραφής, ακόμη και όταν η κατάσταση θάλασσας παραμένει σταθερή. Ως εκ τούτου, και σύμφωνα με την στοχαστική θεώρηση των ανεμογενών κυματισμών, τα ανωτέρω μεγέθη θεωρούνται τυχαίες μεταβλητές και η πιθανοθεωρητική τους δομή περιγράφεται με τη βοήθεια συναρτήσεων κατανομής. Ο αναλυτικός προσδιορισμός αυτών των συναρτήσεων βασίζεται στα πρωτογενή αποτελέσματα του Rice (1954). Βλ. επίσης Longuet-Higgins (1952), Pierson (1952), Kinsman (1965), Massel (1996).

## Στατιστική και στοχαστική θεώρηση των ανεμογενών θαλάσσιων κυματισμών

Η ουσιαστική επανάσταση στην μελέτη των επιφανειακών θαλάσσιων κυματισμών ξεκίνησε με τις πρώτες προσπάθειες συσχέτισης του βασικού αιτίου (άνεμος) με το αποτέλεσμα (κύμα). Οι προσπάθειες αυτές χρονολογούνται από το 1805 με τον Beaufort (λίγο πριν ο Airy διατυπώσει τη δική του θεώρηση), το 1850 με τον Stevenson κ.λπ.. Ένα πρώτο σημαντικό αποτέλεσμα που προέκυψε είναι ότι τα ίδια ανεμολογικά πεδία δημιουργούν στην ίδια περιοχή κυματισμούς «στατιστικά παρόμοιους». Ξεκινώντας από ανεμολογικές παρατηρήσεις, διαπιστώθηκε ότι οι καταγραφές της οριζόντιας ταχύτητας και της κατεύθυνσης παρουσιάζουν τη μορφολογία μιας διακύμανσης γύρω από μια σχεδόν σταθερή μέση τιμή. Στη συνέχεια, με τη συσχέτιση των μέσων τιμών των ανεμολογικών χαρακτηριστικών με αντίστοιχα στατιστικά κυματικά χαρακτηριστικά, και στην κατάλληλη χρονική κλίμακα, επιβεβαιώθηκε η «στατιστική ομοιότητα» της συμπεριφοράς των κυματισμών όταν βρίσκονται υπό την επίδραση ίδιων ανεμολογικών πεδίων. Δηλαδή, οι στατιστικά οριζόμενες κυματικές παράμετροι παρουσιάζουν αξιοσημείωτη σταθερότητα όταν οι μέσες τιμές των χαρακτηριστικών του ανέμου που διεγείρει τους κυματισμούς παραμένουν περίπου σταθερές. Η θεώρηση αυτή συστηματοποιήθηκε προς το τέλος του Β Παγκοσμίου πολέμου από τους Sverdrup, Munk και Bretschneider. Σημαντικότερη συνεισφορά αυτών των επιστημόνων αποτελεί η έννοια της εισαγωγής του σημαντικού ύψους κύματος  $H_s$  και η διατύπωση σχέσεων μεταξύ του σημαντικού ύψους κύματος και της ταχύτητας ανέμου  $U_w$ , καθώς και άλλων μεγεθών, όπως το μήκος και η διάρκεια πνοής του ανέμου. Αναφέρουμε ως παράδειγμα δύο χαρακτηριστικές και κλασικές σχέσεις που συνδέουν την ταχύτητα ανέμου με το σημαντικό ύψος και την περίοδο κορυφής φάσματος  $T_p$  για πλήρως ανεπτυγμένη κατάσταση θάλασσας, βλ. Pierson- Moskowitz (1964):

$$H_s = 0.2092 \frac{U_w^2}{g} \quad \text{και} \quad T_p = 7.1628 \frac{U_w^2}{g},$$

Το μεγάλο ενδιαφέρον και η χρησιμότητα της στατιστικής θεώρησης την καθιέρωσαν ως μια αυτοτελή θεματική ενότητα στη μελέτη των ανεμογενών θαλάσσιων επιφανειακών κυματισμών. Μέσω της στατιστικής θεώρησης εισήχθη η σημαντική έννοια της «κατάστασης θάλασσας» (sea-state), σύμφωνα με την οποία, για πρώτη φορά, η ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας δεν μελετάται αυτή καθαυτή, αλλά ως ένα σύνολο ορισμένων στατιστικών (ή φασματικών) παραμέτρων της (π.χ., σημαντικό ύψος κύματος, μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης κ.ο.κ.). Μέσα στην ίδια κατάσταση θάλασσας τα φασματικά χαρακτηριστικά θεωρούνται σταθερά, σε αντίθεση με τα φαινόμενα χαρακτηριστικά, τα οποία μεταβάλλονται με τυχαίο τρόπο. Κατά συνέπεια, στη στατιστική θεώρηση των κυματισμών, το δομικό συστατικό δεν είναι πια το «ένα κύμα» ή «η ανύψωση της επιφάνειας της θάλασσας», αλλά οι στατιστικές παράμετροι των «πολλών διαδοχικών κυματισμών». Έτσι, η κατάσταση θάλασσας καθορίζεται αυτοτελώς, χωρίς να χρειάζεται απαραίτητα η αναφορά στα χαρακτηριστικά του διεγείροντος ανέμου. Ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό της έννοιας της κατάστασης θάλασσας είναι η διάρκεια της,  $\Delta_t$ , η οποία αποτελεί στην πραγματικότητα μια τυχαία μεταβλητή, βλ. Athanassoulis et al. (1992), Soukissian Theohari (2001), Soukissian, Samalekos (2006).

Αν στη δεκαετία 1949-1950 η μελέτη των ανεμογενών κυματισμών πέρασε από την αταξία στη «στατιστική σταθερότητα», τότε θα μπορούσαμε να πούμε ότι στη δεκαετία 1950-1960 η «στατιστική σταθερότητα» έδωσε τη θέση της στη στοχαστική θεώρηση. Η έννοια της στοχαστικής θεώρησης εισήχθη για πρώτη φορά από τον ωκεανογράφο Willard Pierson το 1952 και προκάλεσε ιδιαίτερη αίσθηση στους τότε επιστημονικούς κύκλους. Για την εποχή εκείνη, η στοχαστική θεώρηση των ανεμογενών κυματισμών αποτέλεσε και εξακολουθεί και σήμερα να αποτελεί, το πιο εμπειριστατωμένο εννοιολογικό υπόβαθρο για την κατανόηση και περιγραφή της πολυπλοκότητας των φαινομένων που σχετίζονται με αυτούς. Αυτό που κάνει τη στοχαστική θεώρηση τόσο ξεχωριστή σε σχέση με τις υπόλοιπες είναι η διαφορετική σκοπιά από την οποία εξετάζεται το φαινόμενο των ανεμογενών κυματισμών. Η καταγραφή της ανύψωσης της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας θεωρείται ως μία από τις πολλές καταγραφές (συναρτήσεις) που θα μπορούσαν να παρατηρηθούν στο ίδιο σημείο και κάτω από τις ίδιες συνθήκες, αποτελεί δηλαδή μία από τις άπειρες δυνατές πραγματοποιήσεις μια στοχαστικής διαδικασίας.

Το 1952 ο Longuet- Higgins, υποθέτοντας ότι η ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας μπορεί να θεωρηθεί ως μια στάσιμη (stationary), εργοδική (ergodic) και κανονική (Gaussian) στοχαστική διαδικασία στενής λωρίδας, απέδειξε ότι το ύψος κύματος κατανέμεται σύμφωνα με τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας Rayleigh, βλ. σχετικά Pierson (1952), Longuet- Higgins (1952), Kinsman (1965), Phillips (1967), Borgman (1978), Ochi (1990, 1998). Το στοχαστικό μοντέλο που προτάθηκε το 1952 από τους Pierson και Longuet-Higgins σκόπευε σε δύο στόχους.

- Την περιγραφή του ακανόνιστου σχήματος των κυματισμών, και
- Την εισαγωγή, με ορθολογικό και μαθηματικά «βολικό» τρόπο, της τυχειότητας στη συνάρτηση που περιγραφεί την ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας.

Ο πρώτος στόχος επετεύχθη σχετικά εύκολα, καθώς το ακανόνιστο της κυματομορφής αποδόθηκε μέσω μιας γραμμικής υπέρθεσης συνημιτονοειδών συναρτήσεων με διαφορετικά πλάτη, φάσεις και συχνότητες, οπότε η ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας θα μπορούσε πλέον να αναπαριστάται από μία συνήθη ντετερμινιστική συνάρτηση του χρόνου. Επιπλέον, η αναπαράσταση αυτή ήταν απολύτως συμβατή με τα βασικά αποτελέσματα της θεωρίας των απλών αρμονικών κυματισμών, δηλαδή με τη βασική φυσική του φαινομένου, βλ. Dean, Dalrymple (1991). Η επίτευξη του δεύτερου στόχου επέβαλε μια a priori υπόθεση: οι φάσεις στη γραμμική υπέρθεση είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες τυχαίες μεταβλητές.

## **Μελέτη των θαλάσσιων ανεμογενών κυματισμών στην αργή κλίμακα χρόνου.**

### **Γενικά**

Αν υποθέσουμε ότι η καταγραφή της ανύψωσης της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας εκτείνεται σε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα της τάξης, π.χ., ορισμένων ωρών ή ακόμα και λίγων ημερών, παρατηρείται ότι το κυρίαρχο χαρακτηριστικό στοιχείο της καταγραφής είναι μια γενική τάση (trend) ή/και κάποια ημερήσια περιοδικότητα. Τα φαινόμενα μεγέθη και η διακύμανση της ελεύθερης επιφάνειας,

που ήταν «ορατά» στη γρήγορη κλίμακα χρόνου, τώρα απλά αποτελούν τις συνιστώσες μιας γενικότερης συμπεριφοράς της καταγραφής. Ως εκ τούτου, στην αργή κλίμακα χρόνου εξετάζονται συνήθως μόνο τα στατιστικά ή (φασματικά) χαρακτηριστικά των κυματισμών, τα οποία φαίνονται ως αργά μεταβαλλόμενες συναρτήσεις του χρόνου τα, χωρίς όμως αυτό να αποκλείει τη μελέτη των φαινομένων χαρακτηριστικών με χρήση κατάλληλων μακροχρόνιων στοχαστικών μοντέλων, βλ., π.χ., Athanasoulis et. Al. (1992), Athanasoulis, Soukissian (1993).

Η εισαγωγή της αργής κλίμακας χρόνου προτάθηκε από τους Borgman (1973) και Battjes (1977). Η έννοια αυτή αναπτύχθηκε περαιτέρω στις εργασίες Athanasoulis et al. (1992), Athanasoulis, Soukissian (1993), όπου εισάγεται για πρώτη φορά η στοχαστική θεώρηση της συνάρτησης  $S_{\eta\eta}(\omega, \tau)$  ως προς το χρόνο  $\tau$ .

Δεδομένου ότι το ανεμολογικό και κυματικό κλίμα μιας περιοχής συνδέεται άμεσα με τη στατιστική συμπεριφορά των φασματικών χαρακτηριστικών των ανεμογενών κυματισμών σε ένα μεγάλο σχετικά βάθος χρόνου ( και τουλάχιστον μεγαλύτερο των 5 ετών), θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια αναλυτικά τους ορισμούς των φασματικών κυματικών παραμέτρων.

## Φασματικά και στατιστικά χαρακτηριστικά της κατάστασης θάλασσας

Η πλέον σημαντική φασματική παράμετρος, δεδομένου ότι είναι η προγνωστική παράμετρος που παρέχεται από όλα τα φασματικά κυματικά μοντέλα, είναι το σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$  και εκτιμάται από τη σχέση

$$H_s = 4\sqrt{m_0} ,$$

Όπου  $m_0$  είναι η φασματική ροπή μηδενικής τάξης. Σε μια κατάσταση θάλασσας με σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$ , το μέγιστο αναμενόμενο ύψος κύματος κορυφής-κοιλιάδας υπολογίζεται από την προσεγγιστική σχέση

$$H_{CT, \max} = (1.6 \sim 2.0)H_s \quad (4)$$

Η φασματική μέση τιμή τετραγώνων του ύψους κύματος δίνεται από τη σχέση

$$\overline{H^2} = 8m_0 ,$$

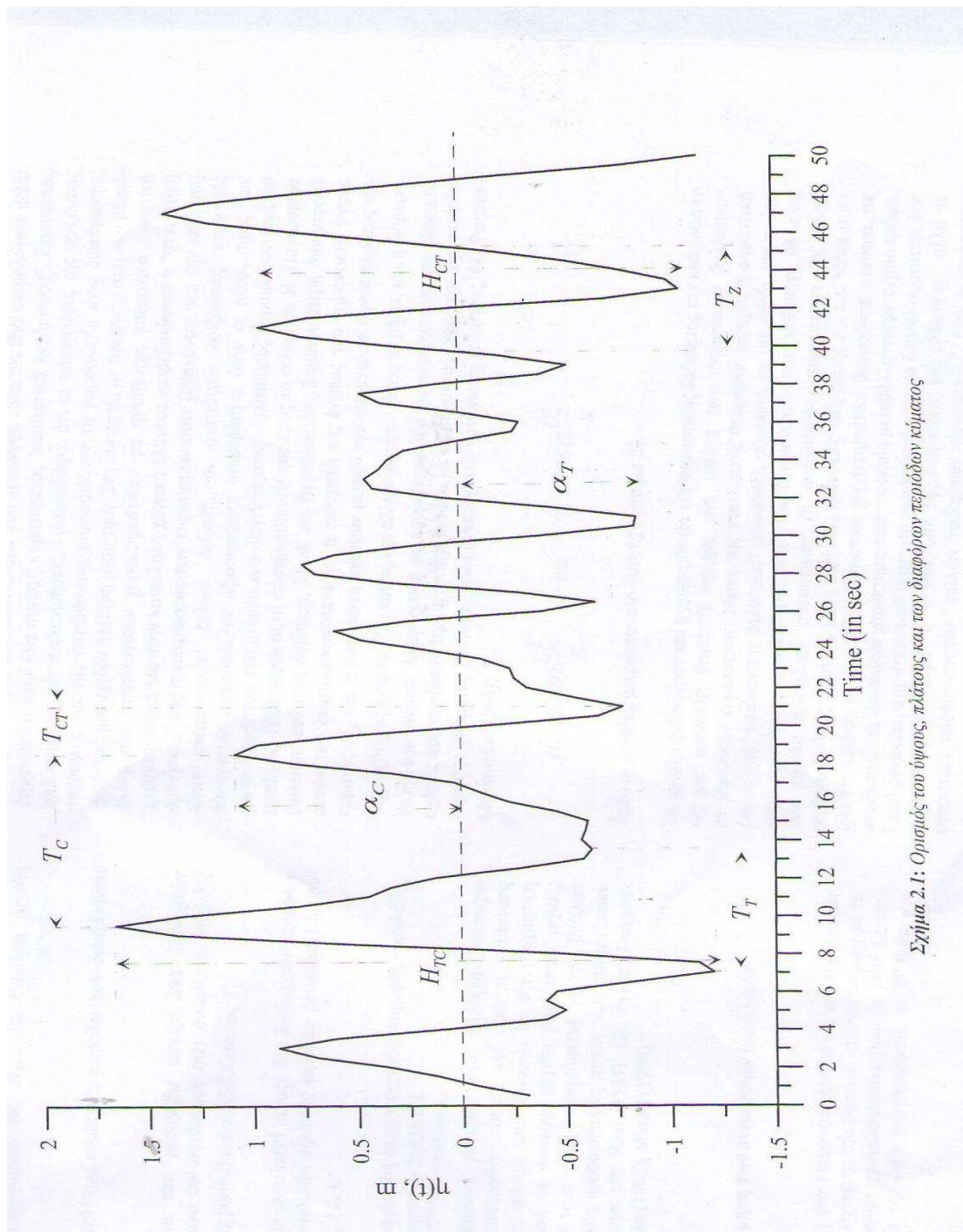
Η μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης  $\overline{T_z}$  υπολογίζεται από την σχέση

$$\overline{T_z} = 2\pi\sqrt{m_0 / m_2} ,$$

Όπου  $m_0, m_2$  είναι οι φασματικές ροπές μηδενικής και δεύτερης τάξης αντίστοιχα..

Η μέση κυματική περίοδος

$$\overline{T} = 2\pi m_0 / m_2$$



Σχήμα 2.1: Ορισμός του ύψους, πλάτους και των διαφόρων περιόδων κύματος

### Συμπεράσματα,

Στην εξέλιξη του συνολικού φαινομένου των θαλάσσιων επιφανειακών κυματισμών, διακρίνουμε τα στάδια της γένεσης, ανάπτυξης, διάδοσης, και απόσβεσης. Το θέμα της μελέτης και πρόβλεψης των ανεμογενών θαλάσσιων κυματισμών αποτελεί ένα ιδιαίτερα σύνθετο όσο και περίπλοκο φυσικομαθηματικό πρόβλημα. Για τη μελέτη των ανεμογενών κυματισμών στο πεδίο του χρόνου θεωρούμε δυο ειδών κλίμακες: τις «γρήγορες κλίμακες χρόνου» και τις «αργές κλίμακες χρόνου».



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

#### *Εισαγωγή*

Οι τεχνικές που σχετίζονται με τη μέτρηση των ανεμογενών κυματισμών αποτελούν ένα εκτεταμένο και έντονο αναπτυσσόμενο πεδίο, καθώς την τελευταία μόνο δεκαετία έχουν υλοποιηθεί πολλά διαφορετικά συστήματα μέτρησης. Χαρακτηριστικές εργασίες για περιγραφή των θεωρητικών και πρακτικών βάσεων των μεθόδων κυματικής μέτρησης είναι η μονογραφία του Tucker, Pitt (2001) και η έκθεση επισκόπησης Hauser et al (2003). Στο κεφάλαιο αυτό λοιπόν αναφέρουμε τις τεχνολογίες με τις οποίες παίρνουμε μετρήσεις.

#### *Μετρήσεις κυματικών χαρακτηριστικών*

Οι πρώτες γνωστές κυματικές μετρήσεις με όργανα πραγματοποιήθηκαν πριν 120 χρόνια από τον Robert Fort στον κόλπο της Βρέστης. Η ανάλυση των δεδομένων μέτρησης αρχικά γινόταν χειρωνακτικά ή με την χρήση μηχανικών συσκευών, ενώ αργότερα για την ανάλυση των καταγραφών χρησιμοποιήθηκαν αναλογικοί υπολογιστές. Σήμερα, οι κυματισμοί μετρώνται με χρήση πολλών, διαφορετικών ως προς την αρχή τους, μεθόδων και η ανάλυση των μετρημένων δεδομένων γίνεται με τη βοήθεια ψηφιακών συστημάτων. Οι διαθέσιμες τεχνολογίες διαιρούνται στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

- 1.) τα υποεπιφανειακά όργανα κυματικής μέτρησης,
- 2.) τα επιφανειακά όργανα μέτρησης,
- 3.) τα επίγεια συστήματα κυματικής μέτρησης, και
- 4.) τα δορυφορικά συστήματα μέτρησης θαλάσσιων κυματισμών.

Σήμερα, οι πιο διαδεδομένες μετρητικές συσκευές είναι οι αγκυρωμένοι πλωτήρες (buoys) που μετρούν την ανύψωση της επιφάνειας της θάλασσας, την κλίση ή/και την οριζόντια μετατόπιση. Οι επιτόπιες μετρήσεις των αγκυρωμένων πλωτήρων θεωρούνται μετρήσεις αναφοράς, και όλες οι άλλου τύπου μετρήσεις (δορυφορικές, με λέιζερ, κ.λπ.) ρυθμίζονται βάσει αυτών. Το πείραμα Wave Direction Measurement Calibration Project (WADIC experiment), που έγινε στη Βόρεια Θάλασσα, Allender et al. (1989), διευκόλυνε σημαντικά την ανάπτυξη τεχνικών ανίχνευσης (μέτρησης) εξ αποστάσεως, συμπεριλαμβανομένων των ραντάρ υψηλών συχνοτήτων και των μικροκυματικών ραντάρ, η χρήση των οποίων εξαπλώνεται συνεχώς, κυρίως για πρακτικές κυματικές μετρήσεις. Την τελευταία εικοσαετία οι κυματικές μετρήσεις έχουν περάσει σε μια νέα φάση ανάπτυξης με την συνδρομή των δορυφόρων, οι οποίοι με χρήση υψομετρικών ραντάρ και του Synthetic Radar (SAR) μετρούν το σημαντικό ύψος κύματος, την ταχύτητα του ανέμου και το κατευθυντικό φάσμα των κυματισμών.

## ***Υποεπιφανειακά όργανα***

Το απλούστερο υποεπιφανειακό όργανο είναι ο αισθητήρας πίεσης, ο οποίος μετρά τις διακυμάνσεις της πίεσης που δημιουργούνται από τη μεταβολή του ύψους της στήλης του νερού λόγω της διάδοσης των επιφανειακών κυματισμών. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι πρώτες σύγχρονες μετρήσεις με όργανα έγιναν με εγκατάσταση πιεσόμετρων στον πυθμένα της θάλασσας σε ρηγά νερά.

Τα σύγχρονα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του κατευθυντικού φάσματος των κυματισμών συνίστανται ουσιαστικά σε συνδυασμό πολλών αισθητήρων πίεσης. Τα όργανα και οι μέθοδοι ανάλυσης δεν έχουν υποστεί ουσιαστικές αλλαγές στα τελευταία 10 με 15 χρόνια, εκτός από τη μείωση των διαστάσεων των πρώτων, γεγονός που τα καθιστά πιο ευέλικτα και διευκολύνει την κατευθυντική ανάλυση των μετρήσεων. Σε αυτή την κατηγορία οργάνων ανήκουν τα λεγόμενα “Short Baseline Pressure Arrays (SBPA)”, με διαστάσεις μικρότερες από τα συνήθη μήκη κύματος. Μια άλλη διαμόρφωση αποτελείται από τριάδες οργάνων για την μέτρηση της πίεσης και της ταχύτητας-κατεύθυνσης των ρευμάτων συστήματα τέτοιου τύπου υπάρχουν στην αγορά από τα μέσα της δεκαετίας του '70 και σήμερα η ακρίβεια τους είναι συγκρίσιμη με την ακρίβεια του SBPA, ενώ τα περισσότερα από αυτά διαθέτουν λογισμικό για την επιτόπια ανάλυση των κυματικών μετρήσεων.

## ***Επιφανειακά όργανα***

### Πλωτήρες

Η μέτρηση των κυρίων στατιστικών κυματικών χαρακτηριστικών (σημαντικό ύψος, μέση περίοδος και κατεύθυνση κύματος), καθώς και του μονοδιάστατου (σημειακού) ή επιτόπιας μέτρησης (πλωτήρων), αποτελεί σήμερα μια εργασία “ρουτίνας”. Εν τούτοις, το κόστος αυτών των μετρήσεων, ιδιαίτερα σε μακροχρόνια βάση, παραμένει υψηλό, κυρίως λόγω της απαιτούμενης συντήρησης των ενεργειακών συστημάτων των μετρητικών οργάνων, δεδομένου ότι αυτά λειτουργούν σε άμεση επαφή με ένα δυσμενές περιβάλλον.

Οι πρώτες αναφορές χρήσης πλωτήρων για την μέτρηση κατευθυντικών κυματισμών έγιναν από τον Barber (1946) για λογαριασμό του Admiralty Research Laboratory στην Αγγλία. Οι αγκυρωμένοι πλωτήρες ήταν τοποθετημένοι κοντά στις θαλάσσιες διαδρομές των υπερπόντιων πλοίων, συγκεντρώνοντας επιτόπια στοιχεία για τους επικρατούντες κυματισμούς με σκοπό την διευκόλυνση και ασφάλεια της ναυσιπλοΐας. Από τους πλέον επιτυχημένους πλωτήρες θεωρείται ο πλωτήρας Waverider, ο οποίος μετρά την κάθετη επιτάχυνση σε μια σταθεροποιημένη πλατφόρμα και στη συνέχεια υπολογίζει την κατακόρυφη ταλάντωση. Ο σχετικός αισθητήρας (Hippy 40) τελειοποιήθηκε ώστε να συμπεριλαμβάνει και τις μετρήσεις κλίσεως μαζί με την κάθετη επιτάχυνση, κα τελικά ενσωματώθηκε στον πρωτότυπο πλωτήρα Wavec με σχήμα δίσκου και αργότερα στο σφαιρικό πλωτήρα Directional Waverider. Ο αισθητήρας Hippy 40 χρησιμοποιείται ακόμα σε πολλούς πλωτήρες ανά τον κόσμο, όπως π.χ., στους πλωτήρες του NOAA των ΗΠΑ. Παρά το γεγονός ότι οι αισθητήρες αυτοί έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα ανθεκτικοί, η μηχανική κατασκευή με εγκατάσταση επιταχυνσιομέτρων στη σφαιρική πλατφόρμα συχνά

δημιουργεί προβλήματα κατά την μεταφορά και την αποθήκευση, καθώς και πλωτήρες που μπορούν να ριχτούν ακόμα και από αεροσκάφος.

Σχετικά πρόσφατα εμφανίστηκαν νέοι τρόποι προσέγγισης των κυματικών μετρήσεων. Οι τρόποι αυτοί βασίζονται στην χρήση του μαγνητικού διανυσματικού πεδίου για το αζιμούθιο.

Μία εναλλακτική προσέγγιση στο πρόβλημα είναι οι αισθητήρες που αποτελούνται από μη κινούμενα τμήματα και μετρούν τις κινήσεις και των έξι βαθμών ελευθερίας ενός σώματος, όπως π.χ., η μονάδα Motion Reference Unit (MRU). Η MRU μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κατευθυντικές μετρήσεις κυματισμών σε ένα πλωτήρα σχήματος δίσκου ή σφαίρας. Ο αισθητήρας έχει μικρό μέγεθος και βάρος και παρουσιάζει ανοχή σε απότομες περιστροφές κατά τη μεταφορά του σε χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας. Παρόμοιας λογικής είναι και ο κατευθυντικός αισθητήρας κυματικής μέτρησης AXYS. Ο αισθητήρας χρησιμοποιείται σε πλωτήρες με σύστημα ανάλυσης δεδομένων, που αναπτύχθηκε με τη συμβολή του Hydraulics Centre του National Research Council του Καναδά.

Τέλος, μια εντελώς διαφορετική αντιμετώπιση του προβλήματος της κυματικής μέτρησης υλοποιείται με χρήση του δορυφορικού GPS, όπως π.χ., στον πλωτήρα Smart-800. Ο πλωτήρας ένα δείκτη GPS που δίνει την ακριβή θέση του πλωτήρα με ρυθμό δειγματοληψίας 1 Hz, απαλλαγμένη από τυχόν σφάλματα που προέρχονται από το δορυφόρο.

#### Όργανα μέτρησης από πλατφόρμας

Οι κυματικές μετρήσεις με την βοήθεια οργάνων που είναι τοποθετημένα πάνω σε αγκυρωμένες πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου ή άλλων ορυκτών, φαρόπλοια. Κ.λπ., γνώρισαν μεγάλη άνθιση στη δεκαετία του '70. Τα όργανα αυτά έχουν παρεμφερή χαρακτηριστικά με τα συστήματα και χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα, αν και εν μέρει έχουν αντικατασταθεί από υψομετρικά ραντάρ ή λέιζερ. Τα τελευταία χρησιμοποιούνται για να παρακολουθούν την κατακόρυφη ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας για μεγάλες χρονικές περιόδους. Ορισμένα προβλήματα των υψομετρικών λέιζερ σχετίζονται με την αλλοίωση των καταγραφών λόγω της εμφάνισης αφρού και της επακόλουθης απώλειας του στίγματος.

#### ***Επίγεια συστήματα***

#### Επίγειες τεχνικές τηλεανίχνευσης (remote sensing)

Η μεγαλύτερη πρόοδος στη μέτρηση των κυματισμών τα τελευταία χρόνια έχει επιτευχθεί χάρη στην τηλεανίχνευση μέσω μικροκυμάτων. Επειδή τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, ανάλογα με το μήκος κύματος, διασπείρονται με ποικίλους μηχανισμούς στην επιφάνεια του ωκεανού, οι λειτουργικές αρχές των ραντάρ διαφέρουν. Στη συνέχεια αναφερόμαστε σε αισθητήρες για την παρακολούθηση των κυματισμών σε πραγματικό χρόνο, τοποθετώντας είτε στη ξηρά, είτε πάνω σε πλατφόρμα ή σε πλοίο που κινείται.

## Οπτικές μέθοδοι

Η μέτρηση των κυματισμών μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας χρονολογείται από τις αρχές της δεκαετίας του '60 . Μετρήσεις αυτού του είδους επηρεάζονται από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Μια πρώτη προσπάθεια για τη μέτρηση κυματισμών μέσω στερεοφωτογραφίας αποτέλεσε το πρόγραμμα Stereo Wave Observation Program (SWOP), Pierson (1976). Οι οπτικές μέθοδοι είναι οι πλέον κατάλληλες για χρήση σε εργαστήρια μέτρηση κυματισμών, λιμενικών έργων, ναυπηγικών πειραματικών δεξαμενών κ.λπ., αλλά και στο φυσικό περιβάλλον όταν υπάρχει καλή ορατότητα.

## Ραντάρ υψηλής συχνότητας (High Frequency radars)

Τα ωκεανογραφικά ραντάρ υψηλών συχνοτήτων αποτελούν κυρίως συστήματα για τη μέτρηση των επιφανειακών ρευμάτων. Το πρώτο παράκτιο ραντάρ με την ονομασία CODAR αναπτύχθηκε κατά τη δεκαετία του '70, ενώ στη συνέχεια αναδείχθηκαν παράλληλα και οι δυνατότητες μέτρησης των κυματισμών. Το CODAR μπορεί να χρησιμοποιηθεί πάνω σε μια κινούμενη (από τους κυματισμούς) πλατφόρμα με κατάλληλη αντιστάθμισης της κίνησης. Ο σημερινός διάδοχος του CODAR είναι το σύστημα SeaSonde, μέσω του οποίου παράγεται το μέσο κατευθυντικό φάσμα του κύματος σε μια ακτίνα περίπου 3km γύρω από τον αισθητήρα. Η ανάλυση είναι παρόμοια με αυτή που προέρχεται από έναν επιφανειακό πλωτήρα.

Τα ραντάρ Over-The-Horizon (OTH radar) είχαν αρχικά σχεδιαστεί για την ανίχνευση στρατιωτικών στόχων. Για τη λειτουργία τους χρησιμοποιούν τυπικά ραδιοκύματα 5-30 MHz που αντανακλώνται στην ιονόσφαιρα. Οι κυματικές “υπογραφές” σχετίζονται με την πρώτη και δεύτερης τάξης ανάκλαση που έχουμε στην επιφάνεια της θάλασσας από το φάσμα του φαινομένου Doppler, αλλά οι πληροφορίες για τον κυματισμό που μπορούν να ανακτηθούν από ένα τέτοιο ραντάρ είναι πολύχονδρικές και αναφέρονται στο μέσο ύψους κύματος, την περίοδο και την κατεύθυνση.

## Μικροκυματικά ραντάρ

Τα συστήματα με χρήση μικροκυματικών ραντάρ αναλύουν την πρωτογενή πληροφορία που παρέχει ένα απλό ραντάρ ναυσιπλοΐας τύπου X-Band (10 Hz), και με κατάλληλη επεξεργασία παράγουν τις φασματικές κυματικές παραμέτρους, όπως το σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$ , τη σημαντική περίοδο κύματος  $T_s$  και τη μέση διεύθυνση κύματος  $\theta_{wave}$ . Οι μετρήσεις βασίζονται κυρίως στην ανάκλαση του παλμού που εκπέμπει το ραντάρ από την επιφάνεια της θάλασσας. Τα συστήματα αυτά μπορούν να εγκατασταθούν σε πλατφόρμες, σε πλοία, ή ακόμα και σε παράκτιες περιοχές.

## ***Δορυφορικές μετρήσεις κυματισμών***

### Γενικά

Σε έντονη ανάπτυξη βρίσκονται οι μέθοδοι παρακολούθησης του θαλάσσιου περιβάλλοντος που βασίζεται στην δορυφορική τηλεπισκόπηση (satellite remote sensing), Allen, Carter (1998). Η χρήση δορυφόρων για την συλλογή κυματικών χαρακτηριστικών έχει αρχίσει πριν αρκετά χρόνια, κυρίως στις ΗΠΑ και τη Σοβιετική Ένωση. Ο πρώτος δορυφόρος που χρησιμοποιήθηκε συστηματικά για την συλλογή κυματικών δεδομένων είναι ο GEOSAT του Αμερικανικού Ναυτικού, ο οποίος τέθηκε σε τροχιά τον Μάρτιο του 1985, Saltzman. Οι δορυφόροι που καλύπτουν ευρείες γεωγραφικές εκτάσεις και χρησιμοποιούνται για σκοπούς μελέτης και προβλέψεις του κυματικού κλίματος είναι ο Γαλλοαμερικανικός TOPEX/Poseidon (τέθηκε σε τροχιά το 1992, αποσύρθηκε το 2003), ο διάδοχος του JASON και οι Ευρωπαϊκοί ERS-1 και ERS-2. Κύριο χαρακτηριστικό των δεδομένων που συλλέγονται από δορυφόρους αποτελεί η ευρεία χωρική διασπορά και η μεγάλη περίοδος δειγματοληψίας.

Οι δορυφορικές μετρήσεις ακολουθούν γενικά την κίνηση του δορυφόρου και ως προς τούτο διαφέρουν από τις επιτόπιες κυματικές μετρήσεις, οι οποίες τυπικά προέρχονται από τρίωρα διαστήματα σε ένα σταθερό σημείο μιας περιοχής Krogstad, Barstow (1999). Τα μεγέθη που είναι δυνατόν να εκτιμηθούν ε αρκετή αξιοπιστία από δορυφόρους είναι το σημαντικό ύψος κύματος, η ταχύτητα ανέμου και η κύρια κατεύθυνση των κυματισμών, ενώ σήμερα δίδονται αρκετά αξιόπιστες εκτιμήσεις κατευθυντικών φασμάτων των θαλάσσιων κυματισμών μέσω αντίστροφων τεχνικών και χρήση SAR (Synthetic Aperture Radar). Στην συνέχεια γίνεται περιγραφή των δύο βασικών οργάνων των δορυφόρων, του ραντάρ αλτίμετρου και του SAR.

### Ραντάρ αλτίμετρο

Οι εκτοξεύσεις των δορυφόρων GEOS3 (1975) και η μικρής διάρκειας αποστολής του SEASAT (1978) και τα δυο από τη NASA – έδωσαν τη δυνατότητα μίας χονδρικής μέτρησης του ύψους των θαλάσσιων κυματισμών και της ταχύτητας του ανέμου από το διάστημα. Από τότε, οι σχετικοί αλγόριθμοι και η αξιοπιστία των μετρήσεων σε σχέσεις με τις επιτόπιες μετρήσεις έχουν βελτιωθεί σημαντικά. Η διαθεσιμότητα και η μεγάλη κάλυψη που προσφέρει το ραντάρ αλτίμετρο έδωσαν νέα ώθηση και ενδιαφέρον για την ανάκτηση κυματικών πληροφοριών από τις δορυφορικές μετρήσεις. Νωρίτερα είχε διαπιστωθεί ότι η ταχύτητα του ανέμου σχετίζεται με την δύναμη του σήματος επανασκέδασης και, εφόσον αυτό σχετίζεται με το ενεργό ύψος του κύματος, ήταν τελικά εφικτό από τα δεδομένα του αλτίμετρου να υπολογισθεί το ύψος και η περίοδος του κύματος. Σήμερα η μέτρηση του κύματος γίνεται αρκετά αξιόπιστα, εν τούτοις, η μέση περίοδος του κύματος υπολογίζεται ακόμη χονδρικά.

Δεδομένου ότι το βασικότερο μειονέκτημα του δορυφορικού αλτίμετρου για επιχειρησιακές εφαρμογές αποτελεί η ασυνέχεια στη δειγματοληψία από μια συγκεκριμένη περιοχή, η αγγλική εταιρεία Satellite Observing Systems (SOS) σχεδίασε έναν συνδυασμό φθηνών αλτίμετρων ραντάρ και μικρών δορυφόρων που κάνουν χαρτογράφηση. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε ένα δίκτυο δορυφόρων

που συνίστανται σε ένα απλό και οικονομικό σύστημα με 12- 16 δορυφόρους σαν αυτόν του ESA Envisat mission.

### Synthetic Aperture Radar (SAR)

Το SAR παράγει μια εικόνα της επιφάνειας της θάλασσας αλλά η εικόνα του φάσματος του ραντάρ απέχει αρκετά από το πραγματικό κυματικό φάσμα. Ως εκ τούτου, για την παραγωγή των κυματικών χαρακτηριστικών απαιτείται μια πολύπλοκη αριθμητική επεξεργασία σε ένα δεύτερο στάδιο. Αρκετές λειτουργικές εκδόσεις των σχετικών αλγορίθμων παράγουν το κατευθυντικό φάσμα κυματισμού από την εικόνα που παράγει το SAR, αλλά η ακρίβεια παραμένει ακόμα σε μέτρια επίπεδα. Κύρια αιτία αποτελεί το γεγονός ότι ο μηχανισμός επανασκέδασης του SAR δεν είναι επαρκώς κατανοητός και εξαρτάται σημαντικά από το μέγεθος των τοπικών κυματισμών (καταιγίδων).

Μια εγγενής αδυναμία στο σύνολο των εικόνων φάσματος του SAR είναι η μείωση της ευαισθησίας της μέτρησης στην κατεύθυνση που είναι παράλληλη στη διασπορά του ραντάρ. Η μείωση αυτή είναι κυρίως αισθητή σε καταστάσεις έντονου κυματισμού. Επίσης λόγω άλλων φαινομένων, συχνά δημιουργείται αρκετός θόρυβος που παραμορφώνει ορισμένες περιοχές του φάσματος. Ο θόρυβος αυτός μπορεί να αποτραπεί εφαρμόζοντας τεχνικές συνδυασμού φάσματος στην εικόνα του SAR. Αξιοσημείωτο γεγονός αποτελεί ακόμα το ότι οι εικόνες με υψηλή ανάλυση είναι συνήθως λειτουργικά περιορισμένες. Αντιθέτως, οι εικόνες από SAR που συλλέγονται κατά μήκος μιας διαδρομής αποκτούν μεγάλη χρησιμότητα, κυρίως όταν ενσωματώνονται σε παγκόσμια ή μεγάλης κλίμακας αριθμητικά κυματικά μοντέλα πρόγνωσης.

Κλείνοντας το κεφάλαιο αυτό, αναφέρουμε ότι καμία από τις υπάρχουσες μεθόδους δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι υπερσχύει των υπολοίπων σε ολόκληρο το εύρος των περιβαλλοντολογικών, γεωγραφικών και οικονομικών συνθηκών που ενδιαφέρουν. Έτσι, η επιλογή μιας συγκεκριμένης μεθόδου μέτρησης απαιτεί συστηματική μελέτη των υπαρχουσών εναλλακτικών δυνατοτήτων και βασίζεται περισσότερο στην αρχή της ελαχιστοποίησης των μειονεκτημάτων, παρά στην αρχή της κλασικής βελτιστοποίησης.

### ***Οπτικές παρατηρήσεις κυματικών χαρακτηριστικών***

Όταν μετράμε και καταγράφουμε την συνάρτηση της ανύψωσης της επιφάνειας της θάλασσας, τα φαινόμενα μεγέθη ορίζονται με σαφήνεια και η στατιστική τους είναι εύκολο να εξαχθεί. Προκειμένου όμως να συλλέγουν δεδομένα για τις καταστάσεις θάλασσας σε παγκόσμια βάση, και με δεδομένο ότι είναι πρακτικά αδύνατη η εγκατάσταση ενός πυκνού δικτύου μετρητικών οργάνων ώστε να καλύπτεται όλη η θαλάσσια επιφάνεια της υδρογείου, συχνά καταφεύγουμε σε δεδομένα που προέρχονται από οπτικές εκτιμήσεις της τιμής των φαινομένων μεγεθών. Οι παρατηρητές δίνουν συνήθως ένα ύψος κύματος, μια περίοδο κύματος, μια κύρια κατεύθυνση των κυματισμών, κ.λπ. Η εκτίμηση των μεγεθών αυτών γίνεται με βάση ορισμένους κανόνες αλλά, προφανώς, υπεισέρχονται και υποκειμενικοί παράγοντες. Η ποσοτική συσχέτιση μεταξύ φαινομένων και παρατηρούμενων μεγεθών είναι

γενικά αβέβαιη και απαιτεί συγκριτική στατιστική ανάλυση των εξαγομένων μετρήσεων και παρατηρήσεων ανά περιοχή μελέτης.

Παρατηρήσεις ωκεανολογικών χαρακτηριστικών από πλοία άρχισαν να συλλέγονται από το 1854 και να αρχειοθετούνται από το Meteorological Office της Αγγλίας. Η κύρια πηγή των δεδομένων ήταν οι αναφορές σχετικά με τις επικρατούσες συνθήκες ανέμου και κυματισμών, αλλά και άλλων κλιματολογικών χαρακτηριστικών, οι οποίες στέλνονται στο Meteorological Office από τα πλοία. Το 1960 περίπου ο διεθνής οργανισμός World Meteorological Organization (WMO) καθόρισε εννέα χώρες υπεύθυνες για την συλλογή και αρχειοθέτηση των παρατηρήσεων των ωκεανολογικών δεδομένων στις διάφορες θαλάσσιες περιοχές τις υδρογείου. Ο WMO συνεχίζει μέχρι σήμερα να αναπτύσσει έντονη δραστηριότητα προς την κατεύθυνση της καλύτερης οργάνωσης της εκτέλεσης, συλλογής και επεξεργασίας των παρατηρήσεων από πλοία έγκειται κυρίως στο γεγονός ότι αυτές αποτελούν σήμερα μόνη πηγή δεδομένων πεδίου ικανή να καλύψει τις ανάγκες της τοπικής / εποχιακής στατιστικής των κυματικών χαρακτηριστικών σε όλες σχεδόν τις θαλάσσιες περιοχές της Υδρογείου, κυρίως πάνω σε θαλάσσιες διαδρομές με μεγάλη συχνότητα πλοίων.

Τα γενικά χαρακτηριστικά των παρατηρήσεων από τα πλοία συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Τα δεδομένα που προέρχονται από πλοία είναι επισφαλής για την ανάλυση σταθερών κατασκευών, ενώ είναι κατάλληλα και μάλιστα προτιμότερα, για την ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς πλοίων. Τούτο οφείλεται στο ότι τα πλοία συχνά αποφεύγουν τις ιδιαίτερα κακές θάλασσες, γεγονός που έχει ως συνέπεια να μην καταγράφονται ικανοποιητικά τα μεγάλα ύψη κύματος, και άρα η εκτίμηση της στατιστικής των κυματικών χαρακτηριστικών να είναι ελαφρά μεροληπτική.
- Οι παρατηρήσεις από πλοία έχουν μέγιστη πυκνότητα γύρω από τις κύριες θαλάσσιες ρότες που χρησιμοποιούνται στη διεθνή ναυσιπλοΐα
- Οι μέσες τιμές των δεδομένων που προέρχονται από παρατηρήσεις από πλοία είναι ιδιαίτερα αξιόπιστες. Τούτο οφείλεται στο ότι οι παρατηρήσεις γίνονται από μεγάλο πλήθος διαφορετικών ατόμων και κάτω από διαφορετικές συνθήκες, ώστε είναι λογικό να θεωρηθεί ότι τα υπεισερχόμενα λάθη δεν είναι συστηματικά, αλλά τυχαία, και άρα αλληλοαναιρούνται σε μεγάλο βαθμό κατά τη λήψη της μέσης τιμής.

Τα κύρια ποιοτικά συμπεράσματα αναφέρονται στο ότι οι παρατηρήσεις που αφορούν την κύρια κατεύθυνση των κυματισμών θεωρούνται ιδιαίτερα αξιόπιστες, οι παρατηρήσεις που αφορούν τα ύψη κύματος θεωρούνται ικανοποιητικές, ενώ οι παρατηρήσεις που αφορούν τις περιόδους κύματος είναι λιγότερο αξιόπιστες.

### **Συμπεράσματα,**

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες διαιρούνται στις τέσσερις κατηγορίες:

Επιφανειακά όργανα, Υποεπιφανειακά όργανα, Επίγεια συστήματα, και τέλος Δορυφορικά συστήματα. Η μέτρηση των κυρίων στατιστικών κυματικών χαρακτηριστικών γίνεται με επιφανειακά όργανα. Μεγάλη πρόοδο στις μετρήσεις έχουν τα επίγεια συστήματα, ενώ τα δορυφορικά αναπτύσσονται ακόμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### 4.1 Πηγές κυματικών και ανεμολογικών δεδομένων στην Ελλάδα

#### Εισαγωγή

Κυματικά δεδομένα στην Ελλάδα παρέρχονται από ελάχιστες πηγές και, με εξαίρεση τα δεδομένα του ΕΛΚΕΘΕ, αναφέρονται σε μικρά χρονικά διαστήματα κάλυψης. Κυματικές μετρήσεις σε συστηματική βάση παρέχει μόνον το ΕΛΚΕΘΕ από το 1999 σε διάφορα σημεία του Αιγαίου. Από το 2008, στα πλαίσια του προγράμματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ, αναμένεται να συμπεριληφθούν στις περιοχές κυματικών μετρήσεων και ορισμένα σημεία του Ιονίου Πελάγους. Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε κάποιες από αυτές τις πηγές.

#### Πηγές κυματικών δεδομένων στην Ελλάδα. Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ

Τα κυματικά δεδομένα – κυρίως ύψος, περίοδος και κατεύθυνση κυματισμών – εκτός από τις μετρήσεις του δικτύου ΠΟΣΕΙΔΩΝ, προέρχονται από τις ακόλουθες πηγές:

- Προγνώσεις πραγματικού χρόνου φασματικών παραμέτρων. Τα δεδομένα αυτά παρέρχονται σε καθημερινή/επιχειρησιακή βάση από το ΕΛΚΕΘΕ μέσω του συστήματος ΝΗΡΕΑΣ. Οι κυματικές προγνώσεις χρησιμοποιούνται για την κάλυψη (επιχειρησιακών) δραστηριοτήτων που σχετίζονται με θαλάσσιο περιβάλλον. Προγνώσεις με πολύ απλά φασματικά μοντέλα παράγονται επίσης στην Υδρογραφική Υπηρεσία του Γενικού Επιτελείου Ναυτικού. Σχετική κατηγορία δεδομένων με τις προγνώσεις πραγματικού χρόνου αποτελούν και οι μεταγενέστερες εκτιμήσεις, δηλαδή προσομοιώσεις κυματικών χαρακτηριστικών που λαμβάνονται μέσω μεθόδων ανασύνθεσης του κυματικού κλίματος με την βοήθεια ιστορικών μετεωρολογικών δεδομένων. Τέτοιου είδους δεδομένα βρίσκονται είτε σε ακατέργαστη μορφή, είτε στη μορφή Ατλάντων και παρέχονται από το ΕΛΚΕΘΕ και διάφορους οργανισμούς του εξωτερικού. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για τη μελέτη του κυματικού κλίματος θαλάσσιων περιοχών, με σκοπό κυρίως το σχεδιασμό και κατασκευή παράκτιων και λιμενικών έργων.
- Δορυφορικά δεδομένα από τους δορυφόρους TOPEX/POSEIDON (μέχρι το 2002), ERS-1, ERS-2 και JASON από το 2003 μέχρι σήμερα). Τα αδεδομένα του TOPEX/POSEIDON και του JASON παρέχονται από τη EMY, ενώ και άλλοι φορείς στα πλαίσια ερευνητικών δραστηριοτήτων τους κατέχουν και χρησιμοποιούν δορυφορικά δεδομένα. Σε ότι αφορά τις ελληνικές θάλασσες, η χωρική και χρονική κάλυψη των δορυφορικών δεδομένων είναι περιορισμένη. Τα διαθέσιμα δεδομένα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστηματικά για την μελέτη του κυματικού κλίματος των ελληνικών θαλασσών και, ως εκ τούτου, δε θα γίνει παιρετέρω αναφορά σε αυτά.
- Οπτικές παρατηρήσεις από διερχόμενα πλοία.



- Σημειακές κυματικές μετρήσεις με την βοήθεια διαφόρων οργάνων, όπως π.χ., πιεσόμετρα βυθού, στερεοφωτογραφίες, κ.λπ. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται συνήθως σε πλαίσια ερευνητικών προγραμμάτων.

## **Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ**

Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ έχει σκοπό την παρακολούθηση, πρόγνωση και πληροφόρησης της κατάστασης των Ελληνικών θαλασσών. Το πρόγραμμα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αποτελεί τη σημαντικότερη μέχρι στιγμής προσπάθεια στο χώρο της Ανατολικής Μεσογείου για εγκατάσταση και ολοκληρωμένη λειτουργία δικτύου ωκεανογραφικών σταθμών. Η υλοποίηση του συστήματος ξεκίνησε το Μάιο του 1997 και ολοκληρώθηκε το 2001. Σήμερα έχει ξεκινήσει η δεύτερη φάση επέκτασης και αναβάθμισης του συστήματος, το οποίο θα καλύψει και ορισμένα σημεία στη θαλάσσια περιοχή του Ιονίου Πελάγους.

Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά μέρη :

- Δίκτυο Πλωτών Ωκεανογραφικών Μετρήσεων Σταθμών (ΠΩΜΣ)
- Τηλεπικοινωνιακά συστήματα μεταφοράς δεδομένων σε πραγματικό χρόνο
- Επιχειρησιακό κέντρο

Το δίκτυο των ΠΩΜΣ αποτελείται από 10 (και έναν εφεδρικό) μετρητικούς σταθμούς τύπου Sea-Watch και 10 κυματογράφους τύπου Smart-820. Οι μετρητικοί σταθμοί είναι εξοπλισμένη με αισθητήρες για την μέτρηση των ακόλουθων χαρακτηριστικών:

- Μετεωρολογικά χαρακτηριστικά (ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία, ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου)
- Φυσικές παράμετροι (ταχύτητα και κατεύθυνση ρευμάτων σε βάθος 3 μέτρων, θερμοκρασία και αγωγιμότητα θαλασσινού νερού σε βάθη από 0 μέχρι 50 μέτρα)
- Κυματικές παράμετροι (ύψος κύματος, διεύθυνση κύματος και άλλες φασματικές παραμέτρους)
- Περιβαλλοντικές παράμετροι (διαλυμένο οξυγόνο, χλωροφύλλη-α απορρόφηση φωτεινότητας, θρεπτικά άλατα και ραδιενέργεια)

Όλοι οι μετρητικοί σταθμοί φέρουν αυτοτελή μονάδα ελέγχου και επεξεργασίας των δεδομένων και σύστημα αποθήκευσης/φύλαξης. Τα δεδομένα, αφού υποστούν επιτόπου κατάλληλη προ-επεξεργασία, μεταδίδονται δορυφορικά από το δίκτυο των σταθμών στο Επιχειρησιακό Κέντρο του ΕΛΚΕΘΕ. Το Επιχειρησιακό Κέντρο περιλαμβάνει, εκτός από την κατάλληλη υλικοτεχνική υποδομή για την επιχειρησιακή του λειτουργία, το απαραίτητο λογισμικό για την αυτόματη επεξεργασία, διόρθωση, καταχώρηση, διάχυση και παρουσίαση των δεδομένων που προέρχονται από το δίκτυο των μετρητικών σταθμών προς τους ενδιαφερόμενους χρήστες. Τέλος, σημαντικό τμήμα της δραστηριότητας Επιχειρησιακού Κέντρου αποτελούν τα αριθμητικά μοντέλα προσομοίωσης/πρόγνωση της κατάστασης των

ελληνικών θαλασσών. Τα αριθμητικά μοντέλα, που είναι εγκατεστημένα και λειτουργούν στο Επιχειρησιακό Κέντρο από το Νοέμβριο του 1999, είναι τα εξής:

- **Αριθμητικό μοντέλο μετεωρολογικής πρόγνωσης.** Το μοντέλο αυτό έχει, εκτός των άλλων, τη δυνατότητα πρόβλεψης της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας, καθώς και της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας.
- **Αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης κυματισμών ανοιχτής θάλασσας.** Το μοντέλο αυτό, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του μοντέλου της μετεωρολογικής πρόγνωσης, παράγει κυματική πρόγνωση με τη μορφή κατευθυντικών ενεργειακών φασμάτων.
- **Αριθμητικό υδροδυναμικό μοντέλο.** Έχει τη δυνατότητα πρόβλεψης των υδροδυναμικών συνθηκών (κυκλοφορίας) στην επιφάνεια της θάλασσας.
- **Αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης κυματισμών ρηχού νερού.** Το μοντέλο είναι τοπικού χαρακτήρα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε επιχειρησιακή βάση, όσο και για ειδικές παράκτιες μελέτες, αφού πρόκειται για τρισδιάστατο μοντέλο διάδοσης κυματισμών σε περιοχές με ενδιαμέσο ή μικρό βάθος.
- **Αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης διασποράς επιπλεόντων ρυπαντών.** Το μοντέλο αυτό έχει σκοπό την προσομοίωση της πορείας μετακίνησης των επιφανειακών ρυπαντών σε περίπτωση ατυχημάτων.

## Κυματικές μετρήσεις

Από το 1999 διεξάγονται συστηματικά κυματικές μετρήσεις σε διάφορα σημεία το Αιγαίου Πελάγους από το ΕΛΚΕΘΕ, στα πλαίσια του προγράμματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ. Ακολούθως παρατίθεται ο πίνακας με τις θέσεις στις οποίες υπάρχουν μετρήσεις.

Περιοχή	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
ΑΘΩ	39.96°	24.73°
ΛΕΣΒΟΣ	39.15°	25.81°
ΑΙΓΙΝΑ	37.83°	23.47°
ΜΥΚΟΝΟΣ	37.51°	25.46°
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	36.25°	25.46°
ΑΥΓΟ (Β. ΚΡΗΤΗΣ)	35.62°	25.64°
ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ Α	37.90°	23.65°
ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ Β	37.88°	23.70°
ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ Γ	37.82°	23.70°
ΔΙΑ (Β. ΚΡΗΤΗΣ)	35.44°	25.15°
ΚΑΦΗΡΕΑΣ	37.85°	24.53°
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	36.96°	22.10°
ΚΑΤΕΡΙΝΗ	40.25°	22.72°
ΡΟΔΟΣ	36.45°	28.15°
ΣΚΙΑΘΟΣ	39.22°	23.42°
ΣΥΡΟΣ	37.35°	24.79°

Υπάρχουν, επίσης περιορισμένα κυματικά δεδομένα που ανήκουν σε ακαδημαϊκούς φορείς (Πανεπιστήμια, Ερευνητικά Κέντρα) ή/και εταιρίες και αποκτήθηκαν στα πλαίσια ερευνητικών προγραμμάτων, είτε μέσω πιλοτικής λειτουργίας κατευθυντικών κυματογράφων ή άλλων σχετικών οργάνων μέτρησης. Στην Ελλάδα, εκτός από το ΕΛΚΕΘΕ, δεν υπάρχει αυτή τη στιγμή ιδιωτικός ή δημόσιος φορέας που να διαθέτει συστηματικές σειρές μετρημένων κυματικών δεδομένων σε διάφορα σημεία του ελληνικού θαλάσσιου χώρου.

Τα κυματικά δεδομένα των μετρητικών σταθμών είναι ουσιαστικά φασματικές παράμετροι που υπολογίζονται με την βοήθεια των φασματικών ροπών. Το κατευθυντικό φάσμα των κυματισμών υπολογίζεται επιτόπου στον πλωτό σταθμό από τις χρονοσειρές των κινήσεων του πλωτήρα (εξαιτίας της ταλάντωσης της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας), με την βοήθεια του λογισμικού που είναι εγκατεστημένο στο υπολογιστικό σύστημα του σταθμού.

Στην πράξη, τα όρια ολοκλήρωσης της φασματικής συνάρτησης για την παραγωγή των φασματικών ροπών είναι  $\omega_0 = 0.003\text{Hz}$  και  $\omega_1 = 0.49\text{Hz}$  (που αντιστοιχεί σε φασματικές εκτιμήσεις με 32 βαθμούς ελευθερίας). Οι κυματικές μετρήσεις λαμβάνουν χώρα ανά 3 ώρες (διάστημα παύσης μετρήσεων) σε ένα χρονικό διάστημα 1024 sec (διάστημα καταγραφής). Οι ώρες στις οποίες λαμβάνονται ημερησίως οι μετρήσεις είναι οι 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00, και 21:00 UTC. Οι βασικότερες φασματικές παράμετροι που υπολογίζονται επιτόπου στους σταθμούς είναι:

- Το σημαντικό ύψος κύματος  $H_s$
- Η μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης  $T_z$
- Η περίοδος κορυφής φάσματος  $T_p$
- Η μέση κατεύθυνση διάδοσης των κυματισμών
- Η κατεύθυνση διάδοσης των κυματισμών που αντιστοιχεί στην κορυφή του φάσματος.
- Το σημαντικό ύψος κύματος  $H_{s,h}$  που αντιστοιχεί στο υψηλόσυχο τμήμα του φάσματος. Το μέγεθος  $H_{s,h}$  μπορεί να θεωρηθεί ότι αναπαριστά το σημαντικό ύψος κύματος των τοπικών ανεμογενών κυματισμών (αντιστοιχεί σε εύρος συχνότητας από 0.4 έως 0.44Hz).
- Το σημαντικό ύψος κύματος  $H_{s,l}$  που αντιστοιχεί στο χαμηλόσυχο τμήμα του φάσματος. Το μέγεθος  $H_{s,l}$  μπορεί να θεωρηθεί ότι αναπαριστά το σημαντικό ύψος κύματος της αποθάλασσας στη συγκεκριμένη περιοχή (αντιστοιχεί σε εύρος συχνότητας από 0.05 έως 0.07Hz)
- Η μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης  $T_{z,h}$  που αντιστοιχεί στο υψηλόσυχο τμήμα του φάσματος. Το μέγεθος  $T_{z,h}$  μπορεί να θεωρηθεί ότι αναπαριστά την μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης των τοπικών ανεμογενών κυματισμών.
- Η μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης  $T_{z,l}$  που αντιστοιχεί στο χαμηλόσυχο τμήμα του φάσματος. Το μέγεθος  $T_{z,l}$  μπορεί να θεωρηθεί ότι αναπαριστά την μέση περίοδος μηδενικής υπέρβασης της αποθάλασσας στη συγκεκριμένη περιοχή.

Αντίστοιχα παράγονται:

- Η μέση κατεύθυνση διάδοσης  $\Theta_{WAVE, H}$ , που μπορεί να θεωρείται ως η μέση κατεύθυνση διάδοσης των τοπικών ανεμογενών κυματισμών.
- Η μέση κατεύθυνση διάδοσης  $\Theta_{WAVE, L}$ , που μπορεί να θεωρείται ως η μέση κατεύθυνση διάδοσης της αποθάλασσας..
- Η παράμετρος διασποράς στη φασματική περίοδο κορυφής  $T_p$ . Η παράμετρος αυτή μετριέται σε μοίρες.
- Ο δείκτης μονοκατευθυντικότητας.

## Πηγές ανεμολογικών δεδομένων στην Ελλάδα

### Ανεμολογικές μετρήσεις

Τα διαθέσιμα ανεμολογικά δεδομένα για τον Ελληνικό χώρο είναι επαρκή και καλύπτουν τις περισσότερες πρακτικές ανάγκες. Τα δεδομένα αυτά παρέχονται από την ΕΜΥ και προέρχονται από επίγειους μετεωρολογικούς σταθμούς που είναι εγκατεστημένα σε πολλά σημεία ανά την επικράτεια και κυρίως σε αεροδρόμια.. Το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου διαθέτει ανεμόμετρα ή ανεμογράφους, οι αισθητήρες των οποίων είναι τοποθετημένοι σε ύψη που κυμαίνονται από 6 έως 10 μέτρα. Μικρός αριθμός σταθμών διαθέτει μόνο ανεμοδείκτη και η ένταση του ανέμου εκτιμάται από τον μετεωρολόγο παρατηρητή. Οι μετρήσεις του ανέμου πραγματοποιούνται ανά τρίωρο και σπάνια ανά εξάωρο.

Σε ότι αφορά τις ανεμολογικές παραμέτρους που μετρώνται από τους μετρητικούς σταθμούς του δικτύου ΠΟΣΕΙΔΩΝ, αυτές είναι οι εξής:

- Μέση ταχύτητα ανέμου  $U_w$  (m/sec). Είναι η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου που καταγράφεται στη διάρκεια 600 sec.
- Ριπή ανέμου  $u_{Gust}$  (m/sec). Είναι η μέγιστη τιμή της ταχύτητας ανέμου στη διάρκεια των 600 sec της καταγραφής.
- Κατεύθυνση ανέμου  $\theta_{WIND}$  (deg). Είναι η κύρια κατεύθυνση του ανέμου κατά τη διάρκεια των 600 sec. Υποδηλώνει την κατεύθυνση **από** την οποία ο άνεμος πνέει.

Το ανεμόμετρο που είναι τοποθετημένο στους πλωτούς ωκεανογραφικούς μετρητικούς σταθμούς βρίσκεται σε ύψος περίπου 3 m από το επίπεδο ηρεμίας της επιφάνειας της θάλασσας και λειτουργία με περίοδο δειγματοληψίας 1 Hz.

Τέλος, σποραδικές μετρήσεις ανεμολογικών χαρακτηριστικών γίνονται και από άλλους δημόσιους και ερευνητικούς φορείς (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, κ.λπ.), κυρίως στα πλαίσια ερευνητικών προγραμμάτων. Οι μετρήσεις αυτές είναι τοπικού χαρακτήρα και, ως εκ τούτου, ανεμολογικού καθεστώ.

**Δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ που μετρούν άνεμο**

Περιοχή	Γεωγρ. πλάτος	Γεωγρ. μήκος	Υψόμετρο (m)
ΑΓΡΙΝΙΟ	38.6 <sup>0</sup>	21.35 <sup>0</sup>	24.5
ΑΓΧΙΛΛΟΣ	39.21 <sup>0</sup>	22.78 <sup>0</sup>	15.3
ΑΚΤΙΟ	38.91 <sup>0</sup>	20.76 <sup>0</sup>	4
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	40.85 <sup>0</sup>	25.95 <sup>0</sup>	3.5
ΑΝΔΡΑΒΙΔΑ	37.91 <sup>0</sup>	21.28 <sup>0</sup>	15.1
ΑΡΑΕΟΣ	38.15 <sup>0</sup>	21.41 <sup>0</sup>	11.7
ΑΡΙΟΣ	37.63 <sup>0</sup>	22.75 <sup>0</sup>	11.2
ΑΡΙΟΣΤΟΛΙ	38.11 <sup>0</sup>	20.50 <sup>0</sup>	22
ΑΡΤΑ	39.16 <sup>0</sup>	21.00 <sup>0</sup>	10.5
ΒΕΛΟ	37.96 <sup>0</sup>	22.76 <sup>0</sup>	20
ΔΕΣΦΙΝΑ	38.41 <sup>0</sup>	22.53 <sup>0</sup>	590
ΔΡΑΜΑ	41.15 <sup>0</sup>	24.15 <sup>0</sup>	104.2
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	38.06 <sup>0</sup>	23.55 <sup>0</sup>	31
ΕΛΛΗΝΙΚΟ	37.9 <sup>0</sup>	23.73 <sup>0</sup>	15
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	37.75 <sup>0</sup>	20.88 <sup>0</sup>	7.9
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	35.33 <sup>0</sup>	25.18 <sup>0</sup>	39.3
ΘΗΡΑ	36.41 <sup>0</sup>	25.41 <sup>0</sup>	33.6
ΙΚΑΡΙΑ	37.68 <sup>0</sup>	26.35 <sup>0</sup>	20
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	39.70 <sup>0</sup>	20.81 <sup>0</sup>	484
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	37.06 <sup>0</sup>	22.01 <sup>0</sup>	11.1
ΚΑΡΙΑΘΟΣ	35.41 <sup>0</sup>	27.15 <sup>0</sup>	9
ΚΑΣΟΣ	35.41 <sup>0</sup>	26.91 <sup>0</sup>	8
ΚΑΣΤΕΛΛΙ	35.18 <sup>0</sup>	25.33 <sup>0</sup>	335.6
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	40.45 <sup>0</sup>	21.26 <sup>0</sup>	660.9
ΚΕΡΚΥΡΑ	39.61 <sup>0</sup>	19.91 <sup>0</sup>	4
ΚΟΖΑΝΗ	40.28 <sup>0</sup>	21.83 <sup>0</sup>	626.2
ΚΟΝΙΤΣΑ	40.05 <sup>0</sup>	20.73 <sup>0</sup>	542
ΚΥΘΗΡΑ	36.15 <sup>0</sup>	22.98 <sup>0</sup>	166.8
ΛΑΜΙΑ	38.86 <sup>0</sup>	22.43 <sup>0</sup>	17.4
ΛΑΡΙΣΑ	39.65 <sup>0</sup>	22.45 <sup>0</sup>	73.6
ΛΕΡΟΣ	37.18 <sup>0</sup>	26.80 <sup>0</sup>	11.8
ΛΗΜΝΟΣ	39.91 <sup>0</sup>	25.23 <sup>0</sup>	3.3
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	40.51 <sup>0</sup>	22.96 <sup>0</sup>	4.8
ΜΕΘΩΝΗ	36.81 <sup>0</sup>	21.70 <sup>0</sup>	52.4
ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙ	38.36 <sup>0</sup>	21.41 <sup>0</sup>	1
ΜΗΛΟΣ	36.73 <sup>0</sup>	24.43 <sup>0</sup>	165.4
ΜΥΚΟΝΟΣ	37.43 <sup>0</sup>	25.35 <sup>0</sup>	127.3
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	39.05 <sup>0</sup>	26.60 <sup>0</sup>	4.8
ΝΑΞΟΣ	37.10 <sup>0</sup>	25.36 <sup>0</sup>	9.8
ΝΑΥΠΑΚΤΟΣ	38.40 <sup>0</sup>	21.83 <sup>0</sup>	15
Ν. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	38.05 <sup>0</sup>	23.73 <sup>0</sup>	138
ΠΑΡΟΣ	37.01 <sup>0</sup>	25.13 <sup>0</sup>	33.5
ΠΕΙΡΑΙΑΣ	37.95 <sup>0</sup>	23.63 <sup>0</sup>	5
ΠΟΤΑΙΑ	40.23 <sup>0</sup>	23.35 <sup>0</sup>	6
ΠΥΡΓΟΣ	37.66 <sup>0</sup>	21.41 <sup>0</sup>	12
ΡΟΔΟΣ	36.40 <sup>0</sup>	28.08 <sup>0</sup>	11.5
ΣΑΜΟΣ	37.68 <sup>0</sup>	26.91 <sup>0</sup>	7.3
ΣΗΤΕΙΑ	35.21 <sup>0</sup>	26.10 <sup>0</sup>	115.5
ΣΚΙΑΘΟΣ	39.16 <sup>0</sup>	23.50 <sup>0</sup>	9.5
ΣΚΥΡΟΣ	38.96 <sup>0</sup>	24.48 <sup>0</sup>	17.9
ΣΟΥΔΑ	35.55 <sup>0</sup>	24.11 <sup>0</sup>	151.6
ΣΠΑΤΑ	37.95 <sup>0</sup>	23.95 <sup>0</sup>	68
ΣΥΡΟΣ	37.41 <sup>0</sup>	24.95 <sup>0</sup>	72.6
ΤΑΝΑΓΡΑ	38.33 <sup>0</sup>	23.56 <sup>0</sup>	140.1
ΤΑΤΟΙ	38.10 <sup>0</sup>	23.78 <sup>0</sup>	234.7
ΤΡΙΚΑΛΑ	39.51 <sup>0</sup>	21.76 <sup>0</sup>	110.2
ΤΡΙΚΑΛΑ ΗΜΑΘΙΑΣ	40.60 <sup>0</sup>	22.55 <sup>0</sup>	0.8
ΤΡΙΠΟΛΗ	37.51 <sup>0</sup>	22.40 <sup>0</sup>	651.9
ΤΥΜΠΑΚΙ	35.06 <sup>0</sup>	24.76 <sup>0</sup>	6.7
ΦΛΩΡΙΝΑ	40.78 <sup>0</sup>	21.40 <sup>0</sup>	695
ΧΙΟΣ	38.35 <sup>0</sup>	26.13 <sup>0</sup>	4.3
ΧΡΥΣΟΥΠΟΛΗ	40.91 <sup>0</sup>	24.61 <sup>0</sup>	5.4

## Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αναλυτικότερα

Στην Ελλάδα η καθημερινή ζωή και η επιχειρηματική δραστηριότητα είναι άρρηκτα δεμένες με τη θάλασσα. Η έγκαιρη και αξιόπιστη πληροφόρηση για την κατάσταση του υγρού στοιχείου είναι ζωτικής σημασίας. Την τελευταία δεκαετία, το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ καλύπτει αυτήν ακριβώς την ανάγκη.

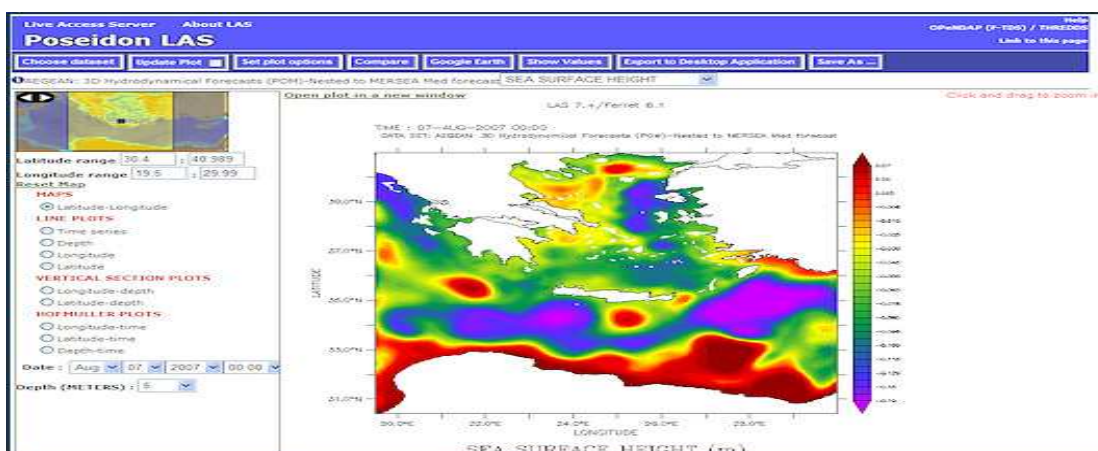
Με την εγκατάσταση ενός δικτύου πλωτών ωκεανογραφικών μετρητικών σταθμών και τη δημιουργία ενός ειδικού επιχειρησιακού κέντρου για την πρόγνωση και επεξεργασία των δεδομένων, ο ΠΟΣΕΙΔΩΝ αποτελεί μια πρωτοποριακή υποδομή για τα Ευρωπαϊκά δεδομένα.

Το δίκτυο πλωτών μετρητικών σταθμών καταγράφει τις φυσικές, βιολογικές και χημικές παραμέτρους των Ελληνικών θαλασσών. Στη συνέχεια τα δεδομένα μεταδίδονται στο Επιχειρησιακό Κέντρο όπου τροφοδοτούν μοντέλα πρόγνωσης τελευταίας γενιάς.

Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ είναι ένα μοναδικό εργαλείο για τον εθνικό σχεδιασμό με στόχο τη διαχείριση και προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος της χώρας. Παράλληλα αποτελεί ένα ανεκτίμητο πλεονέκτημα για την ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων, την πρόληψη καταστροφικών περιστατικών, και τη διασφάλιση της ανθρώπινης ζωής. Στα πλαίσια της παγκόσμιας στρατηγικής για την ανάπτυξη της Επιχειρησιακής Ωκεανογραφίας ο ΠΟΣΕΙΔΩΝ, αναπτύσσοντας τεχνολογία αιχμής, τοποθετεί την Ελλάδα σε ισχυρή θέση στο χώρο της Μεσογείου.

## LAS

Poseidon Live Access Server (LAS) είναι μια δικτυακή πύλη πρόσβασης στα αποτελέσματα των προγνωστικών μοντέλων του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ. Μέσω του LAS ο χρήστης μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση τόσο στις τρέχουσες όσο και σε παλιότερες προγνώσεις. Ορίστε την περιοχή ενδιαφέροντος και εξάγετε ή κάνετε γραφική παράσταση των δεδομένων της επιλογής σας.



## Διασπορά Πετρελαιοκηλίδων

Το μοντέλο διασποράς πετρελαιοκηλίδων του ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ (POSEIDON OSM) παρέχει πληροφορίες σχετικά με την διασπορά του πετρελαίου χρησιμοποιώντας ατμοσφαιρικά, ωκεανογραφικά και κυματικά δεδομένα από τα προγνωστικά μοντέλα του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ που εκτελούνται σε καθημερινή βάση. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σε προγνωστική μορφή παρέχοντας εκτιμήσεις για την διασπορά του πετρελαίου τις επόμενες πέντε ημέρες είτε χρησιμοποιώντας προηγούμενα δεδομένα για χρονικό διάστημα ενός μήνα. Ο χρήστης μπορεί να υποβάλλει στο σύστημα το δικό του σενάριο προσομοίωσης, συμπληρώνοντας όλες τις απαραίτητες παραμέτρους και να λάβει τα αποτελέσματα σε χρόνο λιγότερο των δεκαπέντε λεπτών. Τα τελικό προϊόν που διατίθεται στο χρήστη αποτελείται από μια σειρά διαδοχικών εικόνων που αποτυπώνουν την εξέλιξη της πετρελαιοκηλίδας σε σχέση με το χρόνο, οι οποίες μπορούν να «κατέβουν» σε συμπιεσμένη μορφή μαζί με το πλήρες αρχείο των αποτελεσμάτων.

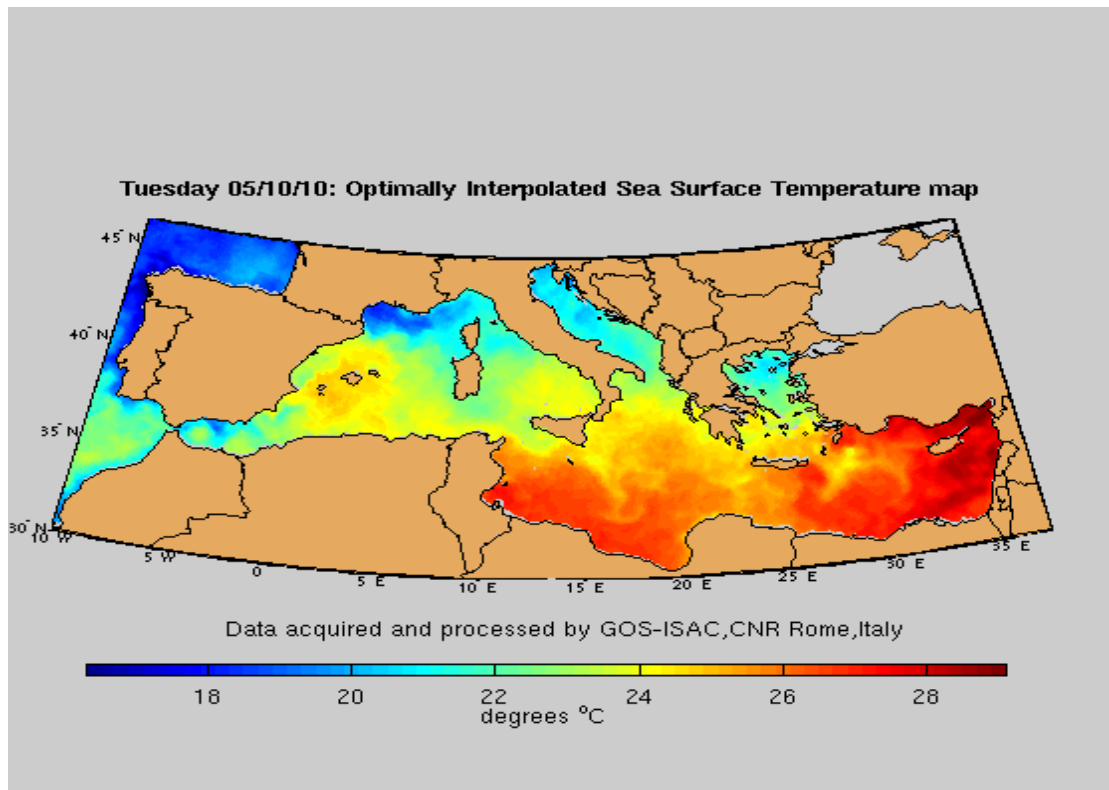
The screenshot displays the Poseidon OSM web interface. On the left, there is a map of the Mediterranean region with a legend indicating 'Point in the sea' and 'Point on the land (or outside model's domain)'. Below the map, there is a text input field labeled 'You are at point:'. The main area contains a form for inputting accident details:

- Initial point of the accident:  (E)lon  (N)lat
- Date of the accident:
- Time of the accident:  :  UTC
- Duration of integration (in Hours):
- Output graph every:  hours
- Oil volume (if you know):
- Evacuation time (in hours):
- (Please, leave this box empty if it was instant evacuation):

At the bottom, there is a 'Your e-mail:' field and 'Submit' and 'Clear' buttons. On the right, there are two vector plots showing surface current velocity and direction. The top plot is for 'Date: 15/07/09 Hour: 6:10 UTC' and the bottom plot is for 'Date: 15/07/09 Hour: 18:10 UTC'. Both plots show a blue shaded area representing the oil spill, with vectors indicating the direction and magnitude of the currents.

## Δορυφορικές Εικόνες

### Επιφανειακή θερμοκρασία



### Νεφοκάλυψη





## Υψίσυχη τηλεμετρία - Το Σύστημα CORI

Το σύστημα καταγραφής της επιφανειακής κυκλοφορίας CORI εγκαταστάθηκε στα πλαίσια του προγράμματος CORI (Prevention and Management of Sea Originated Risks to the Coastal Zone) INTEREG IIB ARCHIMED 2000-2006, σε συνεργασία με το Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Η καταγραφή γίνεται με τη χρήση του τηλεμετρικού συστήματος WERA HF (Helzel Messtechnik GmbH, Γερμανία) το οποίο μεταδίδει ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταξύ 6 - 30 MHz, ενώ έχει την δυνατότητα καταγραφής του κυματισμού και του ανέμου. Η επιφανειακή κυκλοφορία που καταγράφεται από το σύστημα WERA αντιπροσωπεύει την ολοκλήρωση της πραγματικής κυκλοφορίας στο πρώτο μέτρο (ή λιγότερο) της θαλάσσιας στήλης.

Το σύστημα CORI εγκαταστάθηκε στην ανατολική πλευρά της Λήμνου τον Ιούνιο του 2009 και καταγράφει την επιφανειακή κυκλοφορία στην περιοχή των Δαρδανελλίων κάθε 30 λεπτά. Αποτελείται από δύο ξεχωριστές μονάδες οι οποίες έχουν εγκατασταθεί σε απόσταση περίπου 23 χλμ. μεταξύ τους και παρέχουν την δυνατότητα της πλήρους καταγραφής της επιφανειακής κυκλοφορίας στην περιοχή (Εικόνα 1).

Κάθε μονάδα αποτελείται από τέσσερις κεραιές αποστολής και τέσσερις κεραιές λήψης και πραγματοποιεί ανεξάρτητες μετρήσεις των επιφανειακών ρευμάτων σε ακτινική διεύθυνση σε σχέση με το σημείο εγκατάστασης της. Η συχνότητα λειτουργίας του συστήματος είναι στα 13.544 MHz για την οποία η συχνότητα Bragg είναι στα 0.375 Hz στα βαθιά σημεία της θαλάσσιας στήλης, το οποίο αντιστοιχεί σε ένα μήκος κύματος 11.08m. Το φαινόμενο διασποράς Bragg όταν απουσιάζει η επιφανειακή κυκλοφορία οδηγεί σε δύο διακριτές φασματικές κορυφές (κορυφές Bragg) στα  $\pm 0.375$  Hz το οποίο σε περίπτωση επιφανειακής κυκλοφορίας με ακτινική συνιστώσα  $V$  είναι μετατοπισμένο από την συχνότητα Bragg κατά  $\Delta f = (2./22.16) * V$ . Το σύστημα εκπέμπει ένα συνεχές κύμα με επαναληπτική συχνότητα 3.85 Hz στο εύρος των 50 kHz το οποίο προσδίδει στο σύστημα μια διακριτική ακτινική ικανότητα 3 χιλιομέτρων.



## Τα μέρη του συστήματος

Το Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη:

- Δίκτυο πλωτών σταθμών μέτρησης
- Τηλεπικοινωνιακά συστήματα μεταφοράς δεδομένων
- Επιχειρησιακό κέντρο με αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης

## Πλωτοί σταθμοί μέτρησης

### WAVESCAN buoy

• Ο σταθμός WAVESCAN είναι μια πλατφόρμα πολλαπλών χρήσεων και εφαρμογών. Έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να παρέχει περισσότερη σταθερότητα και μεγαλύτερη άνωση, χαρακτηριστικά που την καθιστούν ιδανική για βαθιές ποντίσεις μακριά από την ακτή αλλά και για περιοχές με ισχυρά ρεύματα.



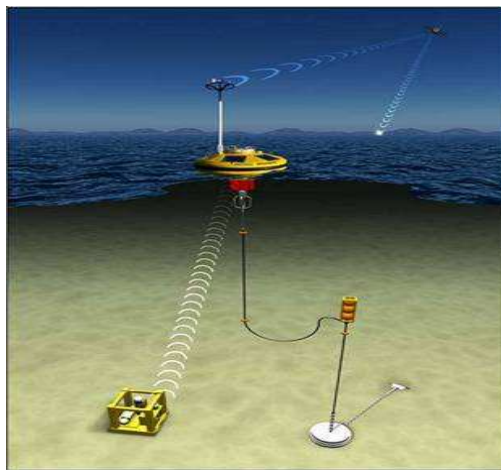
### SEAWATCH buoy

• Ο σταθμός SEAWATCH είναι μια σταθερή μετρητική πλατφόρμα με μικρότερη άνωση από την WAVESCAN. Είναι κατάλληλος για νερά μικρού και ενδιάμεσου βάθους.



## SEAWATCH Deep Sea Module

•Το SDSM είναι ένα παρατηρητήριο πυθμένα εφοδιασμένο με σύστημα ακουστικής επικοινωνίας. Το σύστημα αυτό επιτρέπει την ενσωμάτωση περισσότερων υπομονάδων μέτρησης στους υπάρχοντες πλωτούς σταθμούς.



•Οι σταθμοί είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες οι οποίοι μετρούν τις παρακάτω παραμέτρους:

- Ατμοσφαιρική πίεση
- Θερμοκρασία ανέμου
- Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου
- Σημαντικό ύψος, κατεύθυνση και περίοδος κύματος
- Επιφανειακή θερμοκρασία και αλατότητα
- Ταχύτητα και κατεύθυνση επιφανειακών ρευμάτων

•Σε δύο σταθμούς πραγματοποιούνται επιπλέον βαθιές παρατηρήσεις για φυσικές και βιοχημικές παραμέτρους:

- Αλατότητα και θερμοκρασία 20-1000m
- Χλωροφύλλη-α και εξασθένηση φωτός 20-100m
- Διαλυμένο οξυγόνο 20-100m
- Ταχύτητα και κατεύθυνση ρευμάτων 20-50 m
- Ραδιενέργεια
- Πυκνότητα ροής ακτινοβολίας

## Σκοποί και Οφέλη

Καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του, εδώ και μια δεκαετία, το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ παράγει και διανέμει σε καθημερινή βάση μια πληθώρα προϊόντων και υπηρεσιών έχοντας γίνει μοχλός ανάπτυξης αλλά και αναγκαίο εργαλείο για όσους εργάζονται και ασχολούνται με το θαλάσσιο περιβάλλον. Το εύρος των εφαρμογών του είναι πολύ μεγάλο και οι αποδέκτες τους εκτός των άλλων είναι κεντρικές και τοπικές αρχές, ναυπηγεία και ναυτιλιακές εταιρίες, ιχθυοκαλλιέργειες, θαλάσσιες δραστηριότητες, θέρετρα, ερευνητικά κέντρα κ.α. Κατά την δεύτερη φάση της ανάπτυξης του, το σύστημα αναβαθμίστηκε ενσωματώνοντας τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις γύρω από την παρατήρηση και έλεγχο των θαλάσσιων παραμέτρων, τα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης και την τηλεπισκόπιση. Ακόμα το δίκτυο των σταθμών του επεκτάθηκε και στην θαλάσσια περιοχή του Ιονίου.

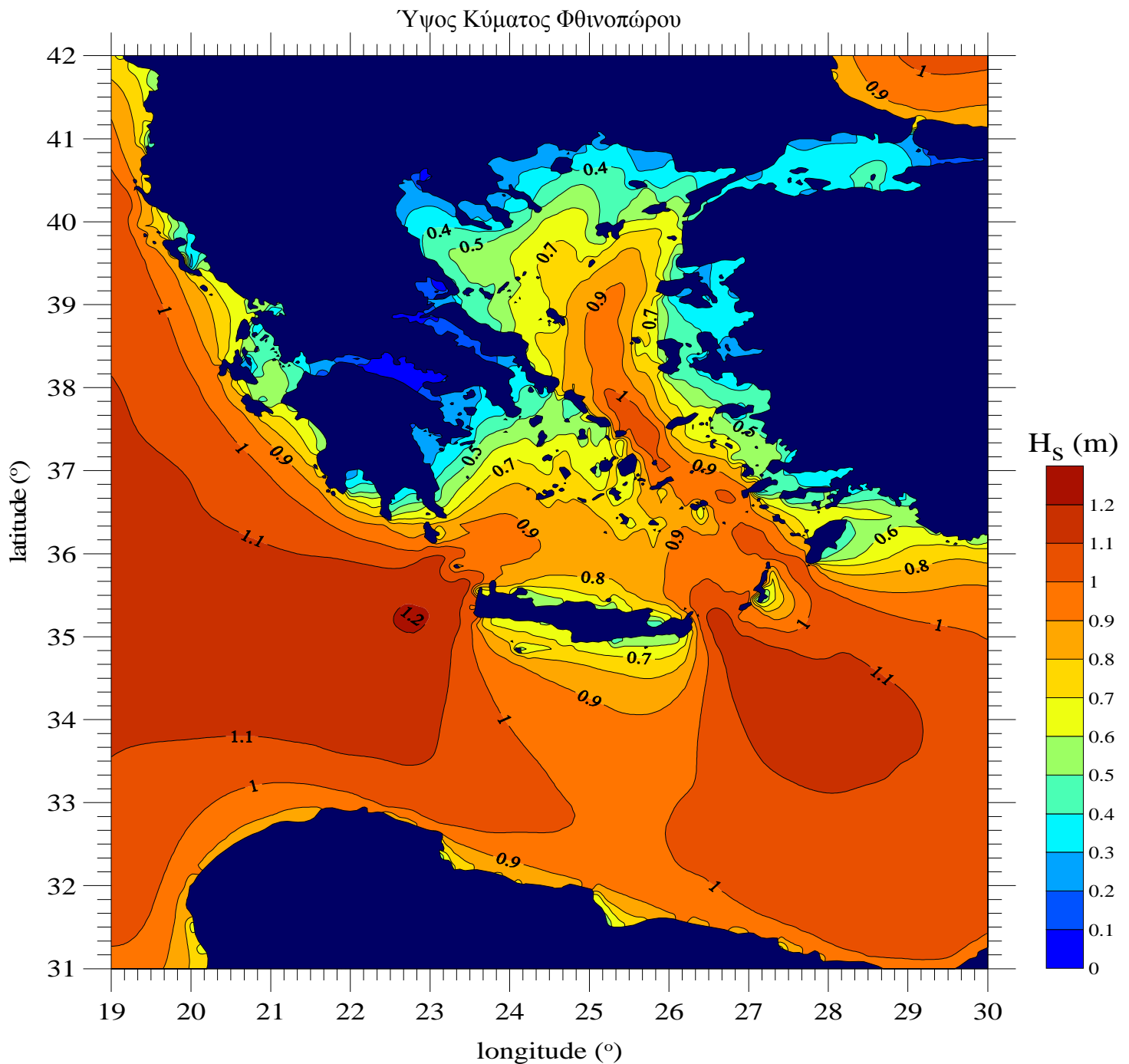
**Συμπεράσματα,** Το πρόγραμμα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αποτελεί τη σημαντικότερη μέχρι στιγμής προσπάθεια στο χώρο της Ανατολικής Μεσογείου για εγκατάσταση και ολοκληρωμένη λειτουργία δικτύου ωκεανογραφικών σταθμών. Έχει σκοπό την παρακολούθηση, πρόγνωση και πληροφόρησης της κατάστασης των Ελληνικών θαλασσών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

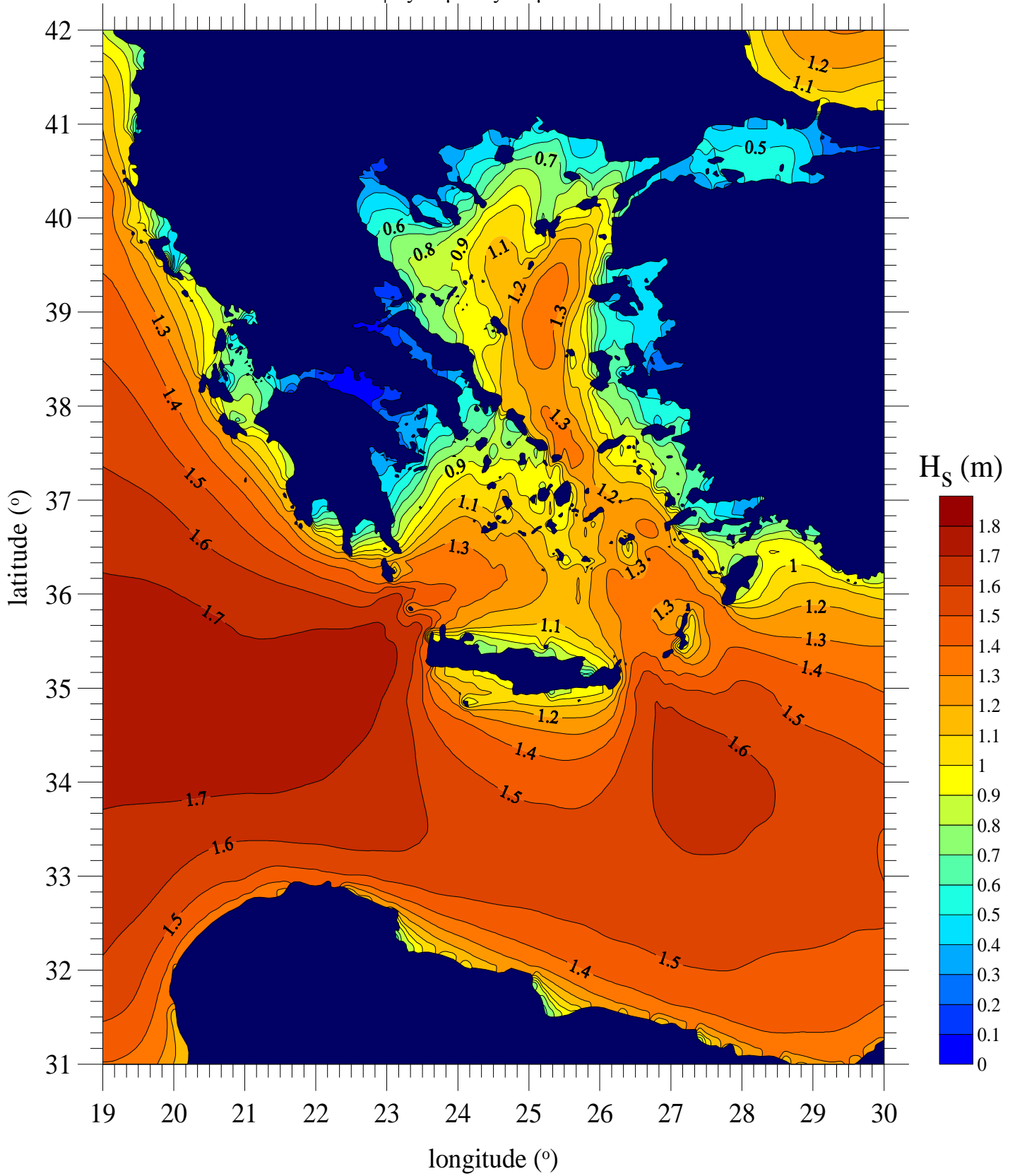
### Επεξεργασία δεδομένων

#### Εισαγωγή

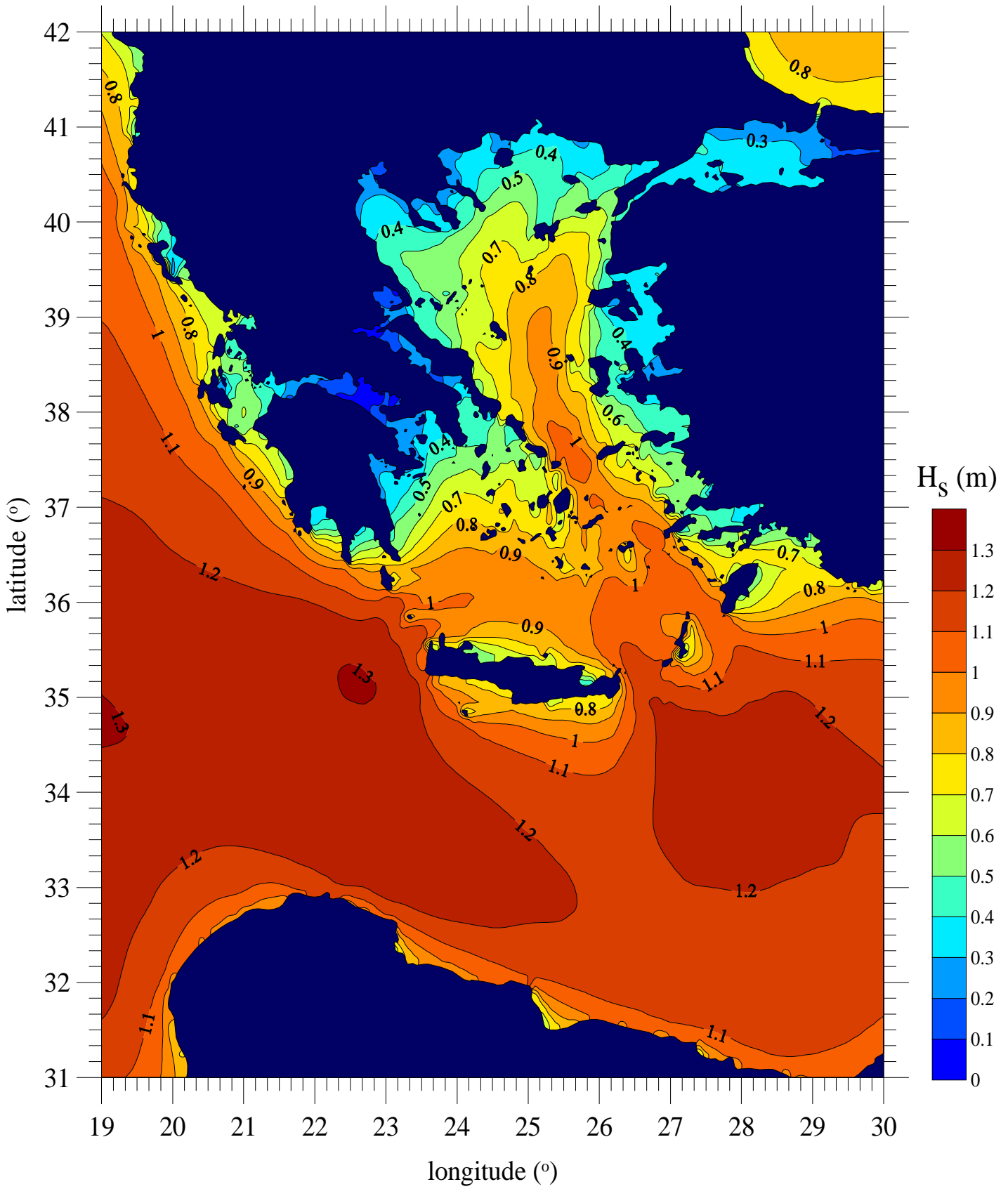
Έχουμε τους εξής παρακάτω χάρτες, όπου μας δείχνουν το σημαντικό ύψος κύματος κάθε εποχής. Βλέπουμε πως κάθε χρώμα αντιστοιχεί και σε ένα ύψος κύματος της κλίμακας μας.



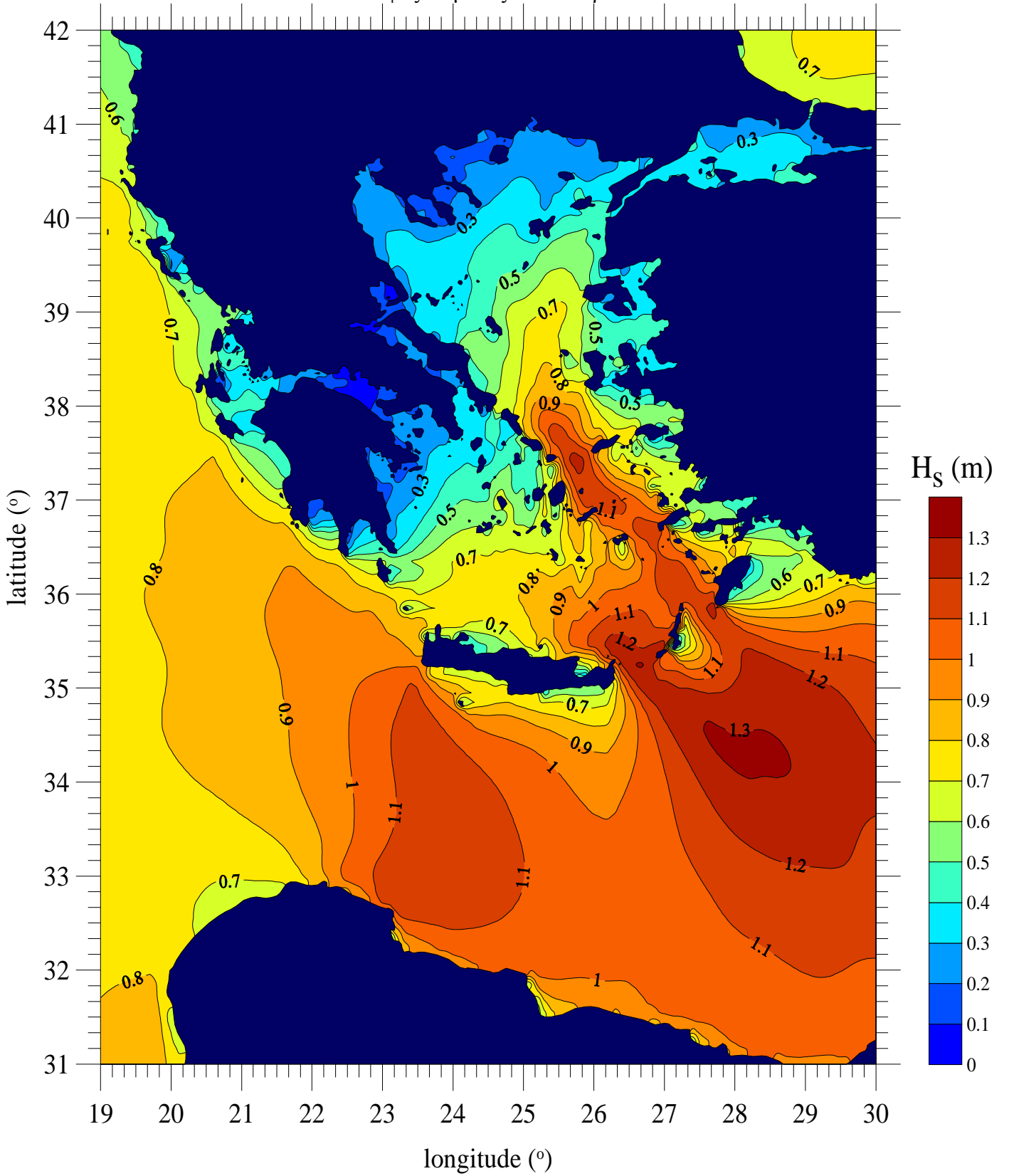
Ύψος Κύματος Χειμώνα



Ύψος Κύματος Ανοιξής

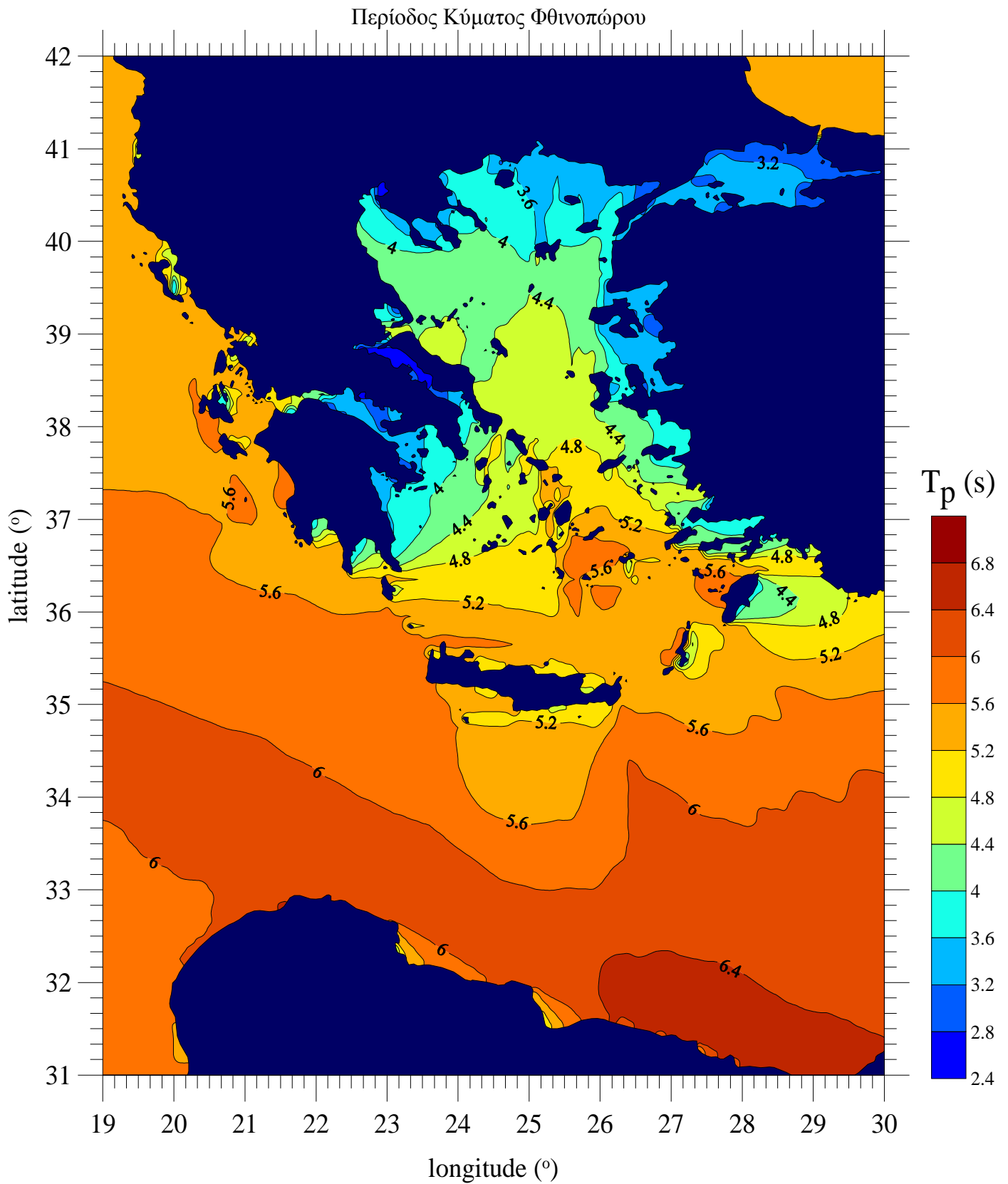


Ύψος Κύματος Καλοκαιριού

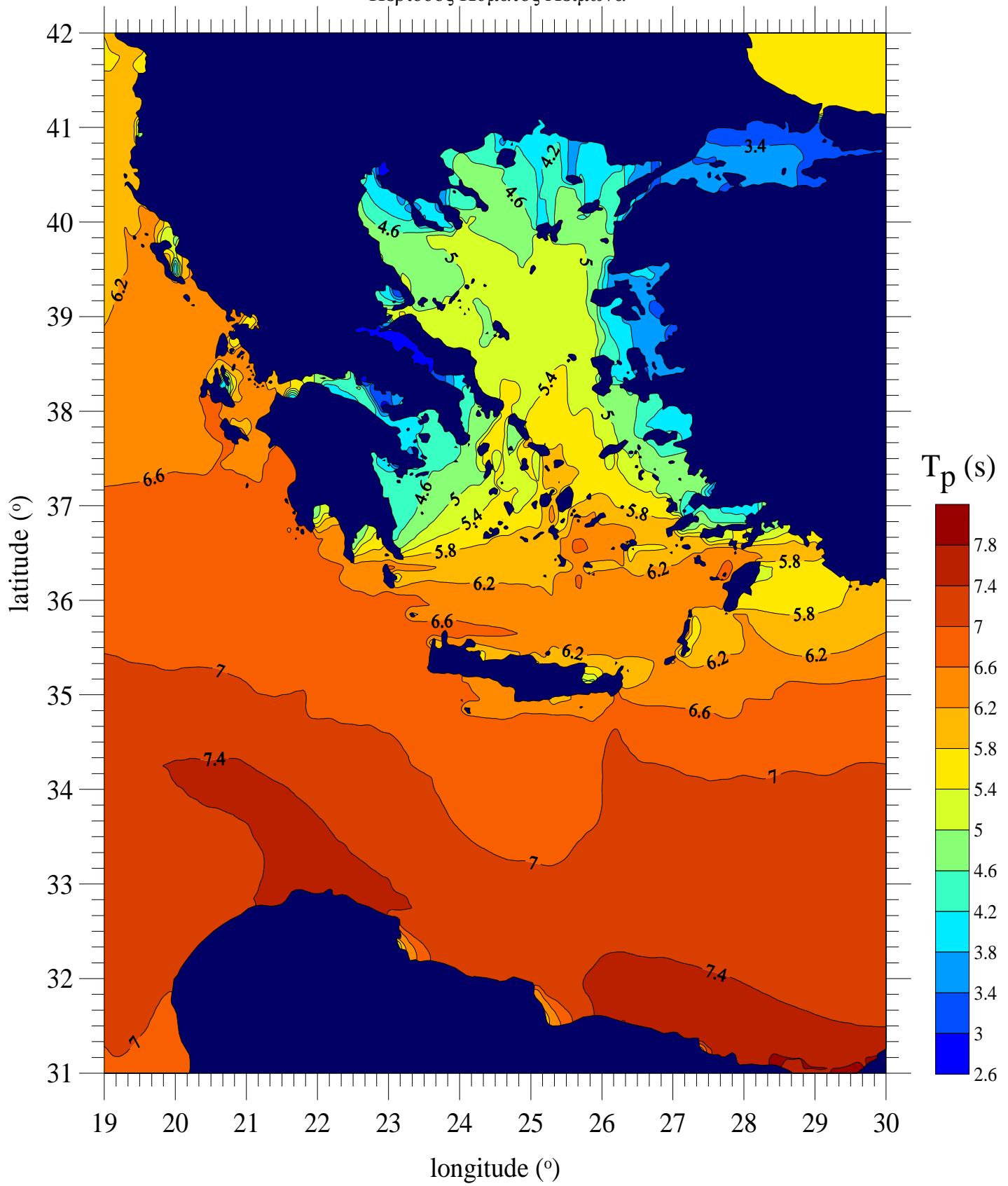




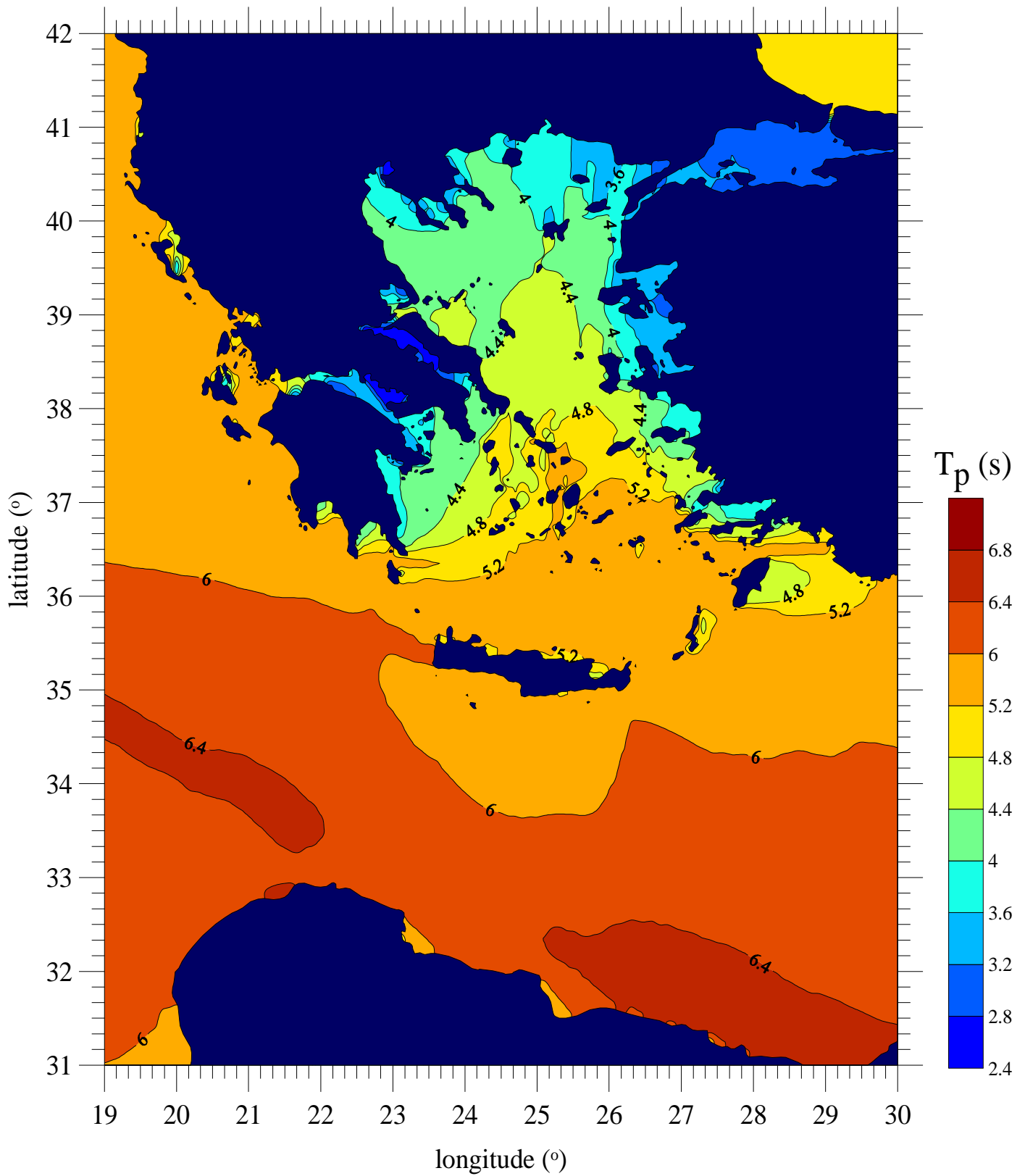
Εδώ έχουμε τους εξής παρακάτω χάρτες, όπου μας δείχνουν την περίοδο κορυφής φάσματος κάθε εποχής. Βλέπουμε πως κάθε χρώμα αντιστοιχεί και σε μια τιμή περιόδου κορυφής της κλίμακας μας.



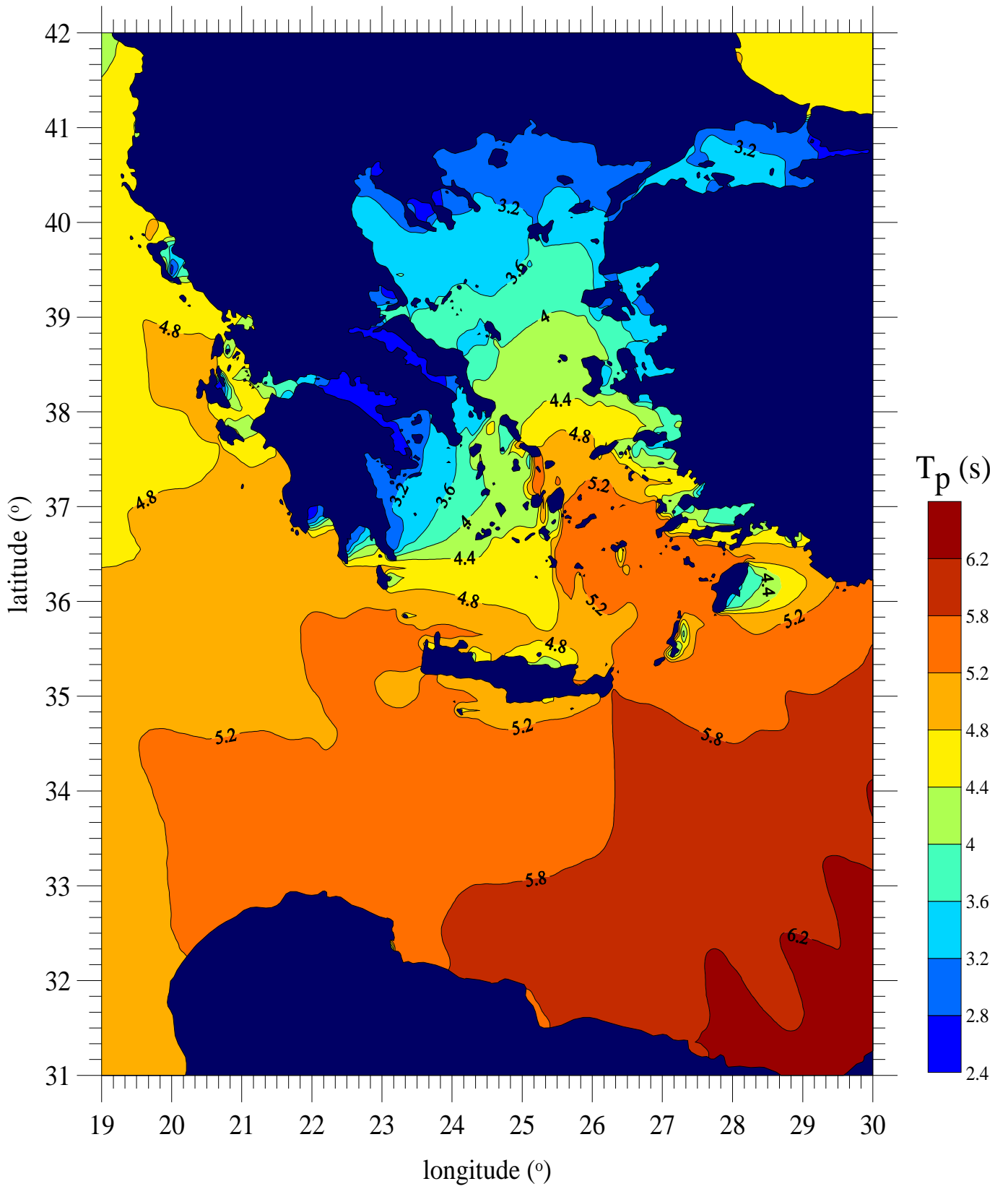
Περίοδος Κύματος Χειμώνα



Περίοδος Κύματος Άνοιξης



Περίοδος Κύματος Καλοκαιριού



Εμείς γνωρίζουμε πως η ισχύς υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση,

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} * H_s^2 * T_p \approx \left( 0.5 \frac{kW}{m^3 * s} \right) * H_s^2 * T_p$$

Οπου,

$\rho$  η πυκνότητα νερού

$g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας

$$P = 0.5 * H_s^2 * T_p$$

Οπότε κατασκευάζοντας το παρακάτω πρόγραμμα στο MATLAB μπορέσαμε να υπολογίσουμε την ισχύ. Φορτώνοντας κάθε φορά έναν χάρτη που να μας δείχνει το σημαντικό ύψος κύματος και έναν που μας δείχνει την περίοδο κορυφής φάσματος της ίδιας εποχής αντίστοιχα.

Αναλυτικότερα, θέλαμε να φορτώσουμε ξεχωριστά κάθε χάρτη και με κάποιο τρόπο να μπορούσαμε με την βοήθεια της κλίμακας του χάρτη, να των σαρώναμε pixel προς pixel και διαβάζοντας το rgb (red green blue) του pixel να μπορούσαμε να το αντιστοιχίσουμε στο ύψος κύματος (H) ή στην περίοδο φάσματος (T) που του αντιστοιχεί, με αποτέλεσμα να έχουμε των χάρτη σε μορφή πίνακα με όλες τις τιμές του.

Στη πράξη αυτό το καταφέραμε αρχικά με το GUI tool του MATLAB. Τι είναι το GUI; Το GUI είναι το ακρωνύμιο για Graphical User Interface, δηλαδή είναι ένα γραφικό περιβάλλον χειρισμού. Εμείς αποφασίζουμε από πόσα κουμπιά, γραφήματα, κελιά και τα λοιπά θα αποτελείται το GUI μας.

Αφού καταλήξαμε στο τι χρειάζεται το GUI τρέχοντας το αυτομάτως φορτώνετε στο m-file μας το πρόγραμμα του, και αυτό που μένει από μας είναι να συμπληρώσουμε το τι θέλουμε το κάθε εξάρτημα του GUI να κάνει με τις κατάλληλες εντολές.

Παρακάτω βλέπουμε το GUI που κατασκευάστηκε για αυτήν την δουλειά.

```
function varargout = ex1(varargin)
% EX1 M-file for ex1.fig
%   EX1, by itself, creates a new EX1 or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = EX1 returns the handle to a new EX1 or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   EX1('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in EX1.M with the given input
arguments.
%
%   EX1('Property','Value',...) creates a new EX1 or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value
pairs are
%   applied to the GUI before ex1_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property
application
%   stop. All inputs are passed to ex1_OpeningFcn via varargin.
```

```

%
%      *See GUI Options on GUIDE's Tools menu.  Choose "GUI allows
only one
%      instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help ex1

% Last Modified by GUIDE v2.5 22-Apr-2010 15:01:17

% Begin initialization code - DO NOT EDIT

gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @ex1_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @ex1_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before ex1 is made visible.
function ex1_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to ex1 (see VARARGIN)

% Choose default command line output for ex1
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes ex1 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = ex1_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% πατώντας το συγκεκριμένο κουμπί και επείτα πάνω στο γράφημα μας
αυτομάτως
% αποθηκεύεται το rgb μέσα σε ένα άδειο πίνακα. Τέλος σώζουμε των
πίνακα.

persistent k pinakas;
if isempty(k)
    k=0;
end
rgbdata = impixel;
red = rgbdata(1);
green = rgbdata(2);
blue = rgbdata(3);
handles.rgbdata = [red; green; blue];
k=k+1;
pinakas(k,1)=red;
pinakas(k,2)=green;
pinakas(k,3)=blue;
result = [handles.rgbdata; handles.values]';
set(handles.result, 'String', result);
save pinakas pinakas;

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1
as a double
%εδώ χειρίζουμε το κελή που χρησιμοποιείται για κείμενο και
ρυθμίζουμε
%κάθε φορά να είναι άδειο.
values = str2double(get(hObject,'String'));
handles.values = values;
guidata(hObject,handles)

```

```

persistent j dataArray;
if isempty(j)
    j=0;
end
j=j+1;
dataArray(j)=values;
save dataArray dataArray;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
%εδώ εισάγουμε το γράφημα μας. Αλλάζοντας την διαδρομή, εισάγουμε νέα
%εικόνα.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

[X] = imread('C:\Documents and Settings\User\Desktop\eikones
ptixiakis\B16.bmp');
imshow(X)

% --- Executes when entered data in editable cell(s) in uitable2.
function uitable2_CellEditCallback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to uitable2 (see GCBO)
% eventdata  structure with the following fields (see UITABLE)
%   Indices: row and column indices of the cell(s) edited
%   PreviousData: previous data for the cell(s) edited
%   EditData: string(s) entered by the user
%   NewData: EditData or its converted form set on the Data property.
Empty if Data was not changed
%   Error: error string when failed to convert EditData to
appropriate value for Data
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

Επόμενο βήμα, αφού έχουμε αντιστοίχιση το κάθε rgb με το αντίστοιχο ύψος κύματος ή της περιόδου πάντα με βάση την κλίμακα της κάθε εικόνας, έχουμε δημιουργήσει ένα καινούργιο index με το οποίο ξανά σαρώνουμε την εικόνα και έχουμε σαν αποτέλεσμα έναν καινούργιο πίνακα με τις τιμές που αντιστοιχούν στην κλίμακα μας.

Αφού έχουμε όλους τους πίνακες όλων των χαρτών, μπορούμε να κάνουμε πράξης πινάκων. Μπορούμε να εισάγουμε τους πίνακες στον τύπο που χρησιμοποιούμε για να υπολογίζουμε την ισχύ, και να δημιουργήσουμε νέο πίνακα αυτόν της ισχύος.

Τέλος για να μετατρέψουμε τον πίνακα μας σε γράφημα χρησιμοποιούμε την εντολή plot.

```

%δημιουργία νέου m-file
clear;
load dataArray;

```



```

load pinakas;
dataArray = dataArray';
[m,n] = size(pinakas);
% ρυθμίζουμε της διαστάσεις του πίνακα
%εισάγουμε την εικόνα μας
[X] = imread('C:\Documents and Settings\User\Desktop\eikones
ptixiakis\B16.bmp');
[Xind,map]=rgb2ind(X,m);
map=map*255;

%σαρώνουμε τα γραφήματα μας με το νέο index και αποθηκεύονται στους
πίνακες
pinakas1=pinakas(:,1)+pinakas(:,2)*256+pinakas(:,3)*256^2;
map1=map(:,1)+map(:,2)*256+map(:,3)*256^2;

newindex=zeros(length(pinakas1),1);

for i=1:length(pinakas1);
    newindex(i) = find(pinakas1(i)==map1);
end

sortedData=zeros(length(map1),1)*NaN;

for i=1:length(pinakas1);
    sortedData(newindex(i))=dataArray(i);
end

clear n;

Xind=Xind+1;
[Xind_X, Xind_Y] = size(Xind);
outputArray = zeros(Xind_X, Xind_Y)*NaN;

for i=1:Xind_X
    for j=1:Xind_Y
        outputArray(i,j) = sortedData(Xind(i,j));
    end
end

%εισάγουμε τους πίνακες στην παρακάτω σχέση και έχουμε νέο πίνακα
ισχύος P
Hs_Autum=outputArray;
load Tp_Autum;
Tp_Autum=Tp;
P_Autum=0.5*Hs_Autum.^2.*Tp_Autum;

save outputfilename outputArray

```

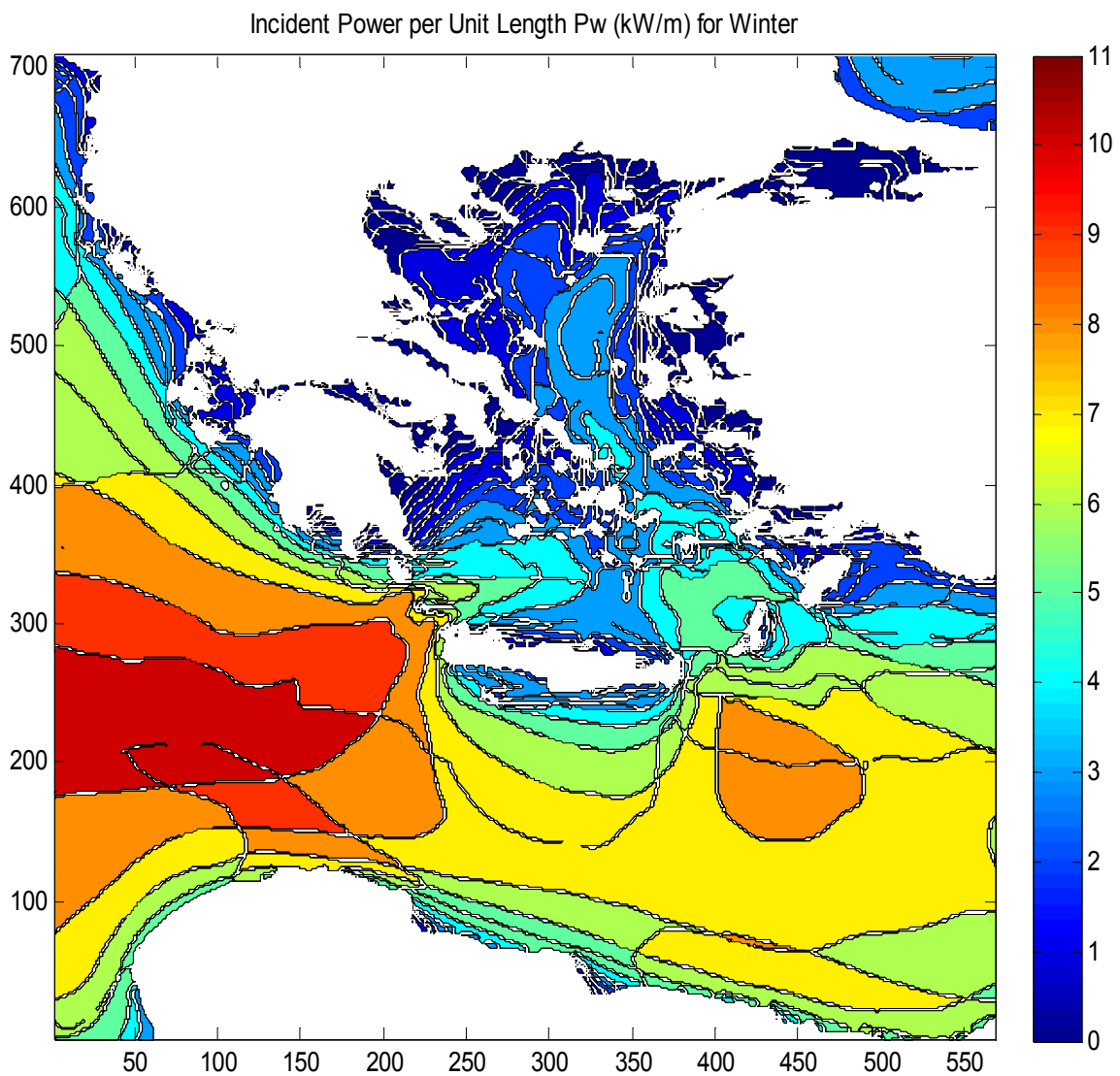
Τα αποτελέσματα μας είναι τα παρακάτω:

## Κεφάλαιο Έκτο

### Αποτελέσματα

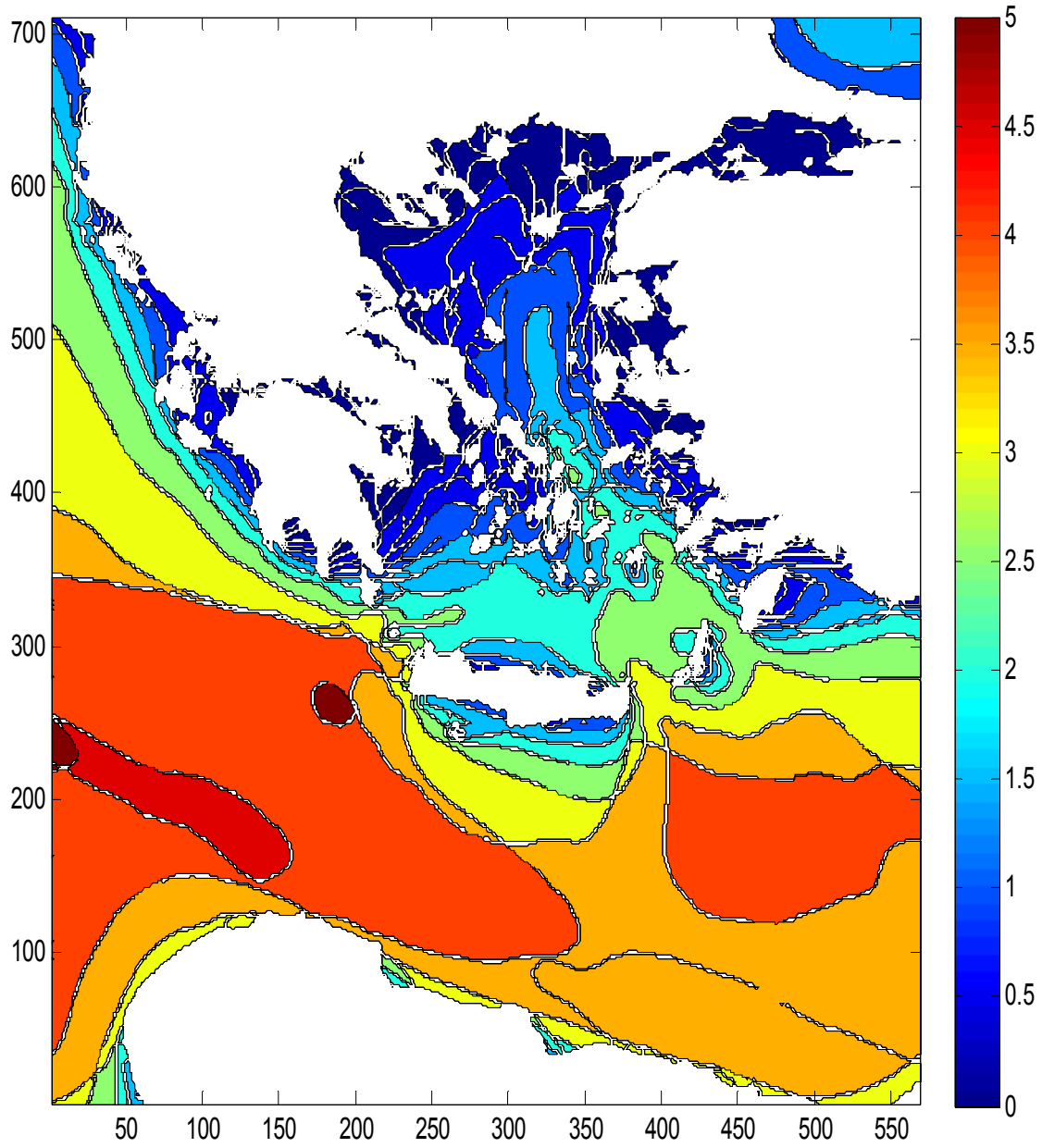
#### Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα μας τα οποία προκύψανε από των κώδικα matlab που φτιάξαμε παραπάνω.

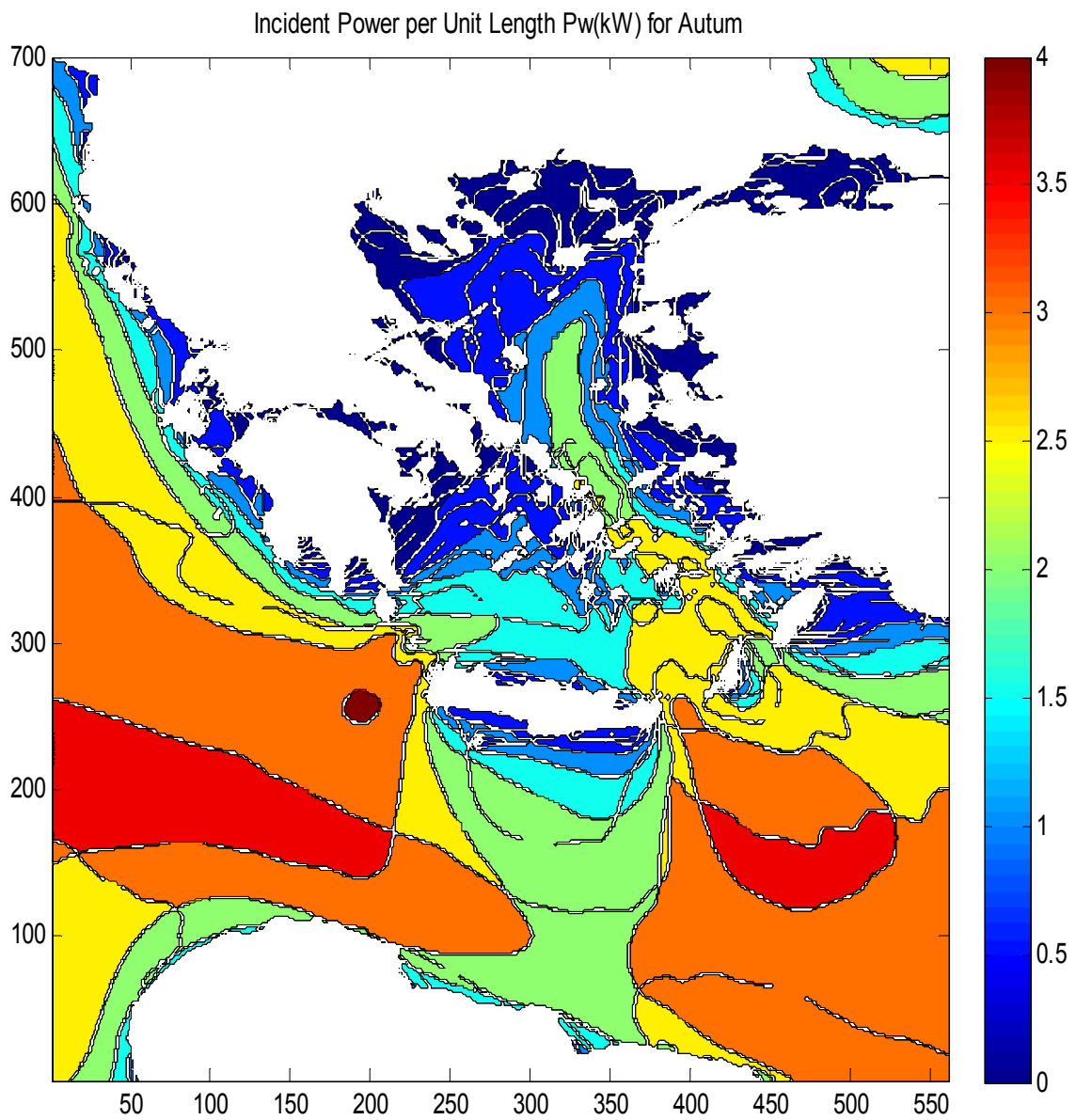


Χάρτης Ισχύος Χειμώνα

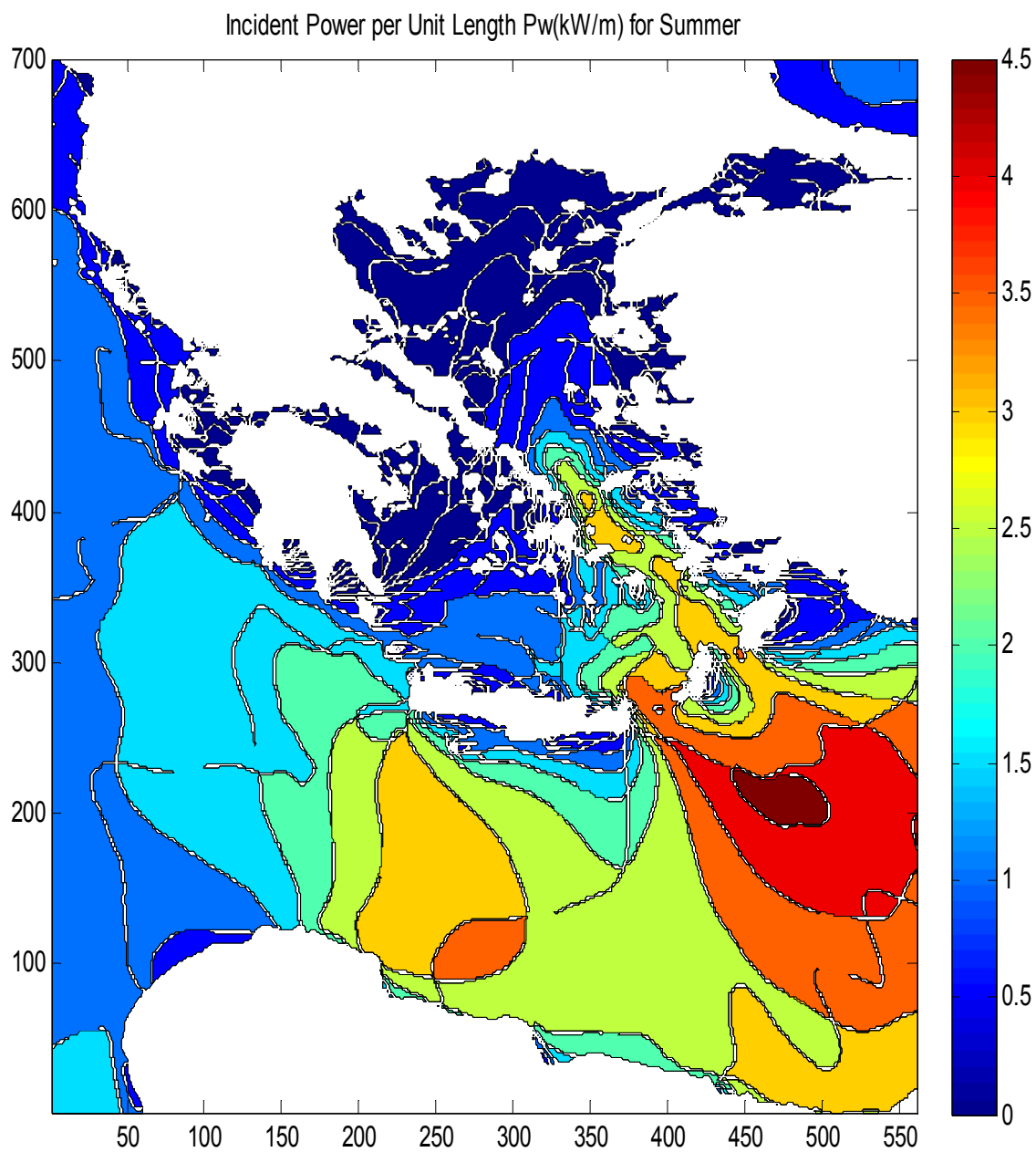
Incident Power per Unit Length  $P_w(\text{kW/m})$  for Spring



Χάρτης Ισχύος Άνοιξης



Χάρτης Ισχύος Φθινοπόρου



Χάρτης Ισχύος Καλοκαιριού

## Συμπεράσματα

Ο Άτλας Ανέμου και Κυμάτων των Ελληνικών Θαλασσών περιέχει προβλέψεις του κυματισμού της θάλασσας για κάθε εποχή, οι οποίες έχουν προκύψει από προσομοιώσεις μαθηματικών μοντέλων, χρησιμοποιώντας σημειακές μετρήσεις που ελήφθησαν από το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ. Με χρήση του κώδικα matlab που δημιουργήθηκε στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εξήχθησαν αποτελέσματα για την (θεωρητική) διαθεσιμότητα ισχύος στον κυματισμό των ελληνικών θαλασσών, για κάθε μία από τις 4 εποχές. Το υψηλότερο δυναμικό παρατηρείται την περίοδο του χειμώνα όπως ήταν και αναμενόμενο. Επίσης με βάση τα εξαχθέντα αποτελέσματα, το διαθέσιμο δυναμικό κυματικής ενέργειας στις ελληνικές θάλασσες κρίνεται καταρχήν ανεπαρκές για την εκτεταμένη ανάπτυξη συστημάτων μετατροπής και εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας. Θα πρέπει να σημειωθεί όμως ότι το μαθηματικό μοντέλο πρόβλεψης του κυματισμού που χρησιμοποιήθηκε δεν λαμβάνει υπόψη του την μορφολογία των ελληνικών θαλασσών με αποτέλεσμα να αγνοούνται φαινόμενα όπως λ.χ. η κυματική συμβολή, τα οποία δύνανται να δημιουργήσουν περιοχές με διαθέσιμη ισχύ μεγαλύτερη από αυτή που προβλέπει το μαθηματικό μοντέλο(ενεργειακά hot spot). Από την εμπειρία της ελληνικής ναυσιπλοΐας υπάρχουν ιστορικά καταγεγραμμένες περιοχές στις οποίες για μεγάλα χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια του έτους παρατηρείται έντονη κυματική δραστηριότητα. Τέτοιες περιοχές είναι το Ικάριο Πέλαγος, το Νότιο Ιόνιο Πέλαγος , η περιοχή της Φαλκονέρας και άλλες. Μια πιο συστηματική μελέτη του ενεργειακού δυναμικού των ελληνικών θαλασσών θα απαιτούσε είτε την χρήση ενός ακριβέστερου μαθηματικού μοντέλου, είτε την ανάπτυξη ενός πολυπληθέστερου δικτύου μέτρησης κυματικών δεδομένων, είτε συνδυασμό των παραπάνω.

## Κεφάλαιο Έβδομο

### Συμπεράσματα

Οι περισσότερες τεχνολογίες μετατροπείς που είδαμε στο πρώτο κεφάλαιο σχεδόν βασίζονται στην ίδια ιδέα , να εκμεταλλευτούν την κίνηση των κυμάτων και με κάποιο υδραυλικό τρόπο να την οδηγήσουν σε μια γεννήτρια. Μπορούμε να πούμε πως η πιο εξελιγμένη και ανεπτυγμένη τεχνολογία είναι αυτή του Pelamis. Πλεονεκτήματα των μετατροπέων αυτών είναι το ότι παράγουν καθαρή μορφής ενέργεια, δεν έχουν συνήθως μεγάλο κόστος συντήρησης, και πολλά άλλα. Μειονέκτημα είναι πως για ορισμένα δεν υπάρχουν κονδύλια ώστε να χορηγηθούν οι έρευνες και να προχωρήσουν. Μειονέκτημα επίσης είναι το γεγονός ότι η εγκατάσταση τέτοιων τεχνολογιών απαιτούν μεγάλο κεφάλαιο και πάντα υπάρχει ο κίνδυνος να βρεθούν κάτω από αντίξοες συνθήκες με αποτέλεσμα να φέρει και την καταστροφή του.

Το θέμα της μελέτης και πρόβλεψης των ανεμογενών θαλάσσιων κυματισμών που συναντήσαμε στο δεύτερο κεφάλαιο, αποτελεί ένα ιδιαίτερα σύνθετο όσο και περίπλοκο φυσικομαθηματικό πρόβλημα.

Η μέτρηση των κυρίων στατιστικών κυματικών χαρακτηριστικών γίνεται με επιφανειακά όργανα. Μεγάλη πρόοδο στις μετρήσεις έχουν τα επίγεια συστήματα, ενώ τα δορυφορικά αναπτύσσονται ακόμα.

Το πρόγραμμα ΠΟΣΕΙΔΩΝ αποτελεί τη σημαντικότερη μέχρι στιγμής προσπάθεια στο χώρο της Ανατολικής Μεσογείου για εγκατάσταση και ολοκληρωμένη λειτουργία δικτύου ωκεανογραφικών σταθμών.

Διαβάζοντας τους χάρτες που δημιουργήσαμε, μπορούμε να πούμε πως την μεγαλύτερη ισχύς, όπως είναι και λογικό, την έχουμε την περίοδο του χειμώνα. Μπορούμε επίσης να δούμε πως την μεγαλύτερη Ισχύ, ανεξαρτήτου εποχής, την έχουμε ανατολικά και δυτικά της Κρήτης καθώς και πάνω από το Λυβικό Πέλαγος. Να σημειωθεί όμως ότι το μαθηματικό μοντέλο πρόβλεψης του κυματισμού που χρησιμοποιήθηκε δεν λαμβάνει υπόψη του την μορφολογία των ελληνικών θαλασσών.

Η ελληνικής ναυσιπλοΐας έχει καταγεγραμμένες περιοχές στις οποίες για μεγάλα χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια του έτους παρατηρείται έντονη κυματική δραστηριότητα. Τέτοιες περιοχές είναι το Ικάριο Πέλαγος, το Νότιο Ιόνιο Πέλαγος , η περιοχή της Φαλκονέρας και άλλες.

## Βιβλιογραφία-Πηγές

- [http://oceanenergy.epri.com/attachments/wave/reports/001\\_WEC\\_Power\\_Production.pdf](http://oceanenergy.epri.com/attachments/wave/reports/001_WEC_Power_Production.pdf)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Wave\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_power)
- [http://poseidon.hcmr.gr/index\\_gr.php](http://poseidon.hcmr.gr/index_gr.php)
- <http://www.hcmr.gr/>
- **Wind and Wave Atlas for the Hellenic Seas** published by the HCMR

## Ευχαριστίες

Τον Καθηγητή μου Αριστείδη Κυπράκη

Ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθεια του.

Και τους φίλους για την αμέριστη συμπαράσταση τους

Αμπαρτζάκη Γιώργο  
Καραχάλιος Ευστάθιο  
Τσακίρη Μιχάλη  
Μπαρούμα Γιώργο  
Ζαμπέτη Σταυρο