



Σχολή Ναυτικών Δοκίμων Τομέας Μαθηματικών

*Μοντέλα προσομοίωσης
θαλάσσιου κυματισμού*



Θαλάσσιος Κυματισμός Δημιουργία και Εξέλιξη

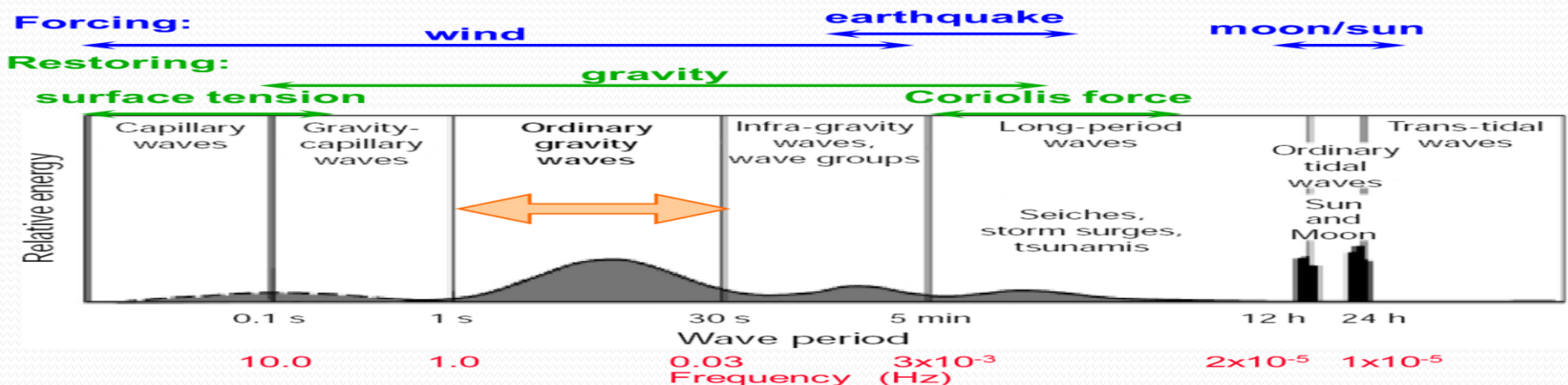
- Κύρια αιτία δημιουργίας του κύματος → άνεμος
- Τελική μορφή κύματος έχει ορισμένο ύψος, μήκος και περίοδο
- Κύριες κατηγορίες κυματικών φαινομένων:
 - Επιφανειακά κύματα (surface waves)
 - Εσωτερικά κύματα (internal waves)
 - Γυροσκοπικά κύματα (inertial or gyroscopic waves)
 - Πλανητικά κύματα (planetary or Rossby waves)
 - Παλίρροιες (Tides)
 - Ακουστικά κύματα (hydroacoustic waves)



Θαλάσσιος Κυματισμός Δημιουργία και Εξέλιξη

➤ Κατηγοριοποίηση θαλάσσιων κυμάτων με κριτήριο την περίοδο:

- Τριχοειδή κύματα ($T < 0,1$ sec)
- Τριχοειδή βαρυτικά κύματα ($0,1 < T < 1$ sec)
- Κύματα βαρύτητας ($1 < T < 30$ sec)
- Κύματα βαρύτητας-αδράνειας ($30 \text{ sec} < T < 5 \text{ min}$)
- Παλιρροιακά κύματα
- Υπέρ-παλιρροιακά κύματα ($T > 24 \text{ h}$)





Θαλάσσιος Κυματισμός Δημιουργία και Εξέλιξη

- Ανεμογενή κύματα → μικρά βαρυτικά κύματα υπό την επίδραση του τοπικού ανέμου στην περιοχή γένεσής τους
- Μεταφερόμενα κύματα (swells) → θαλάσσια κύματα που διαδίδονται μακριά από την περιοχή δημιουργίας τους
- Κατηγορίες θαλάσσιων κυμάτων με κριτήριο το βάθος:

Κύματα βαθέων νερών

$$\text{Βάθος} > L/2$$

Ταχύτερη κίνηση των κυμάτων

Διασπορά κυμάτων
διαφορετικών μηκών

Αποθαλασσιά

Μεσαία κύματα

$$\text{Βάθος} \sim L/2$$

Κύματα ρηχών νερών

$$\text{Βάθος} < L/2$$

Οι κινήσεις του νερού φτάνουν
μέχρι τον πυθμένα

Τα κύματα επιβραδύνονται
όσο φτάνουν στο βυθό

Οι κορυφές συγκλίνουν στις κοιλίες

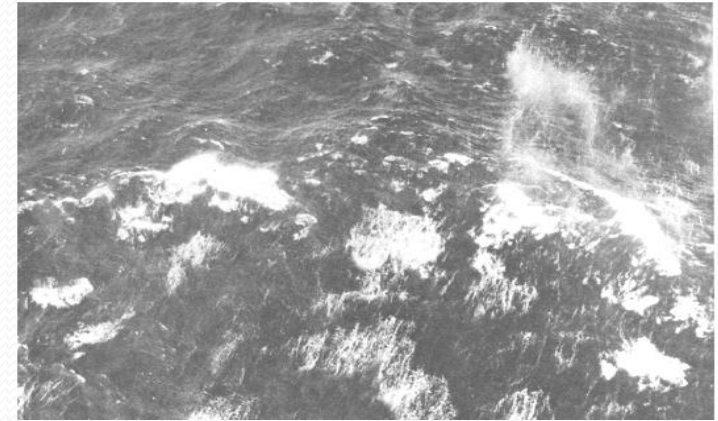
Τα κύματα σπάζουν



Θαλάσσιος Κυματισμός Παράγοντες που επηρεάζουν

Τοπικός άνεμος:

Δημιουργεί κύματα βαρύτητας (gravity waves) που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Έχουν χαοτική εμφάνιση, με απότομες κορυφές, διαφορετικά ύψη, και αποτελούνται από σύνθεση μικρότερων κυμάτων



Μεταφερόμενα κύματα (Swell):

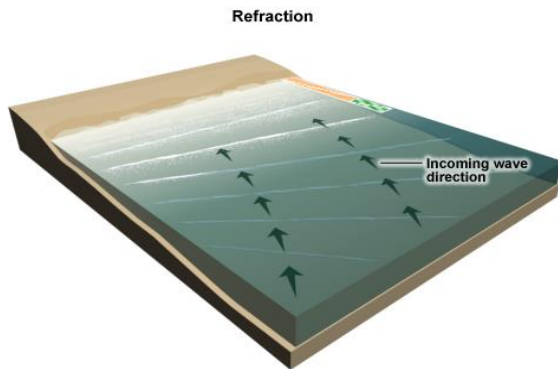
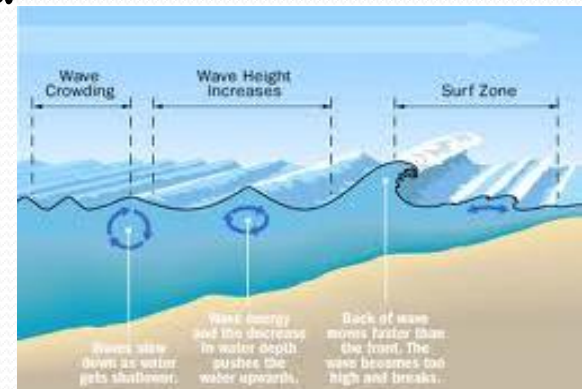
Διαδίδονται μακριά από την περιοχή παραγωγής τους και διακρίνονται από τακτικά χωρισμένες ομαλές κορυφές, παρόμοιου ύψους, κινούνται σε μια κοινή κατεύθυνση και μπορούν να συνεχίσουν με αυτό τον τρόπο για μεγάλες χρονικές περιόδους



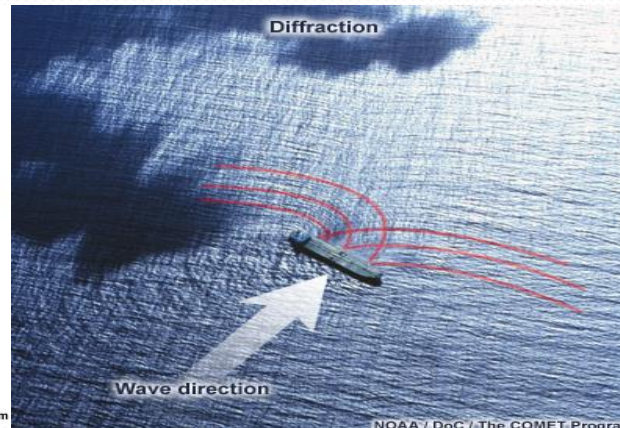


Θαλάσσιος Κυματισμός Παράγοντες που επηρεάζουν

- Μορφολογία του βυθού
- Θαλάσσια ρεύματα ή ωκεάνια κυκλοφορία
- Φαινόμενα που δημιουργούνται:
 - Διάθλαση (refraction)
 - Εμποδισμός ή περίθλαση (diffraction)
 - Σπάσιμο ή λευκοκάλυψη (white-capping)



©The COMET Program



NOAA / DoC / The COMET Program





Σχολή Ναυτικών Δοκίμων – Τομέας Μαθηματικών

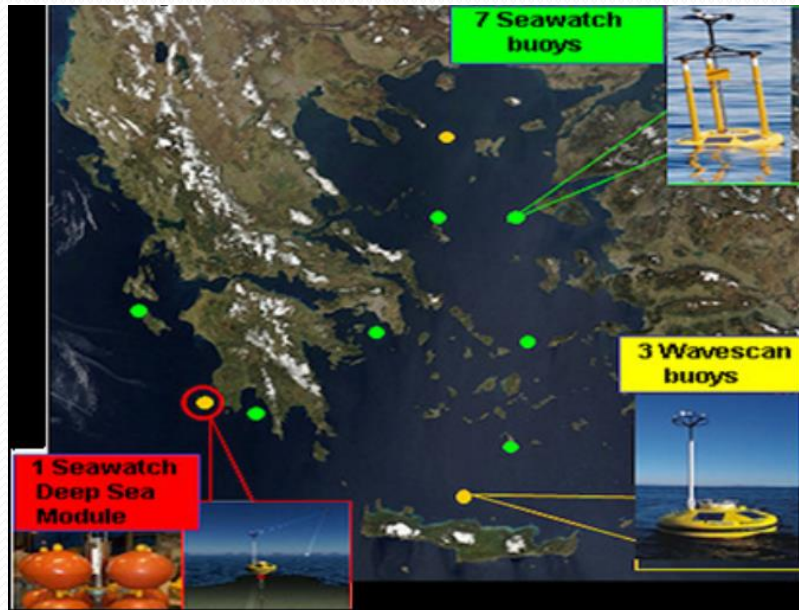
Εργαστήριο Μαθηματικής Μοντελοποίησης και Εφαρμογών



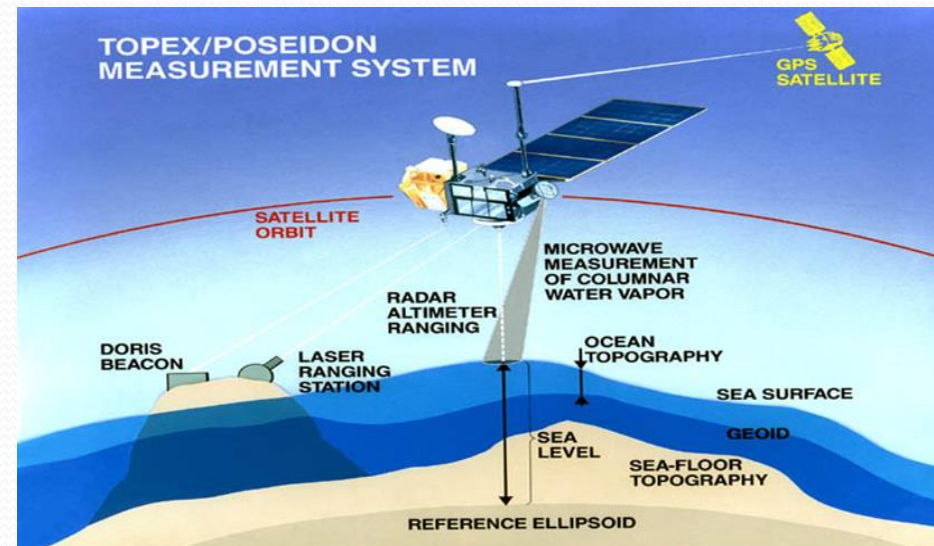
ΤΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ

Μετεωρολογικοί - Πλωτοί
Σταθμοί



Τηλεπικοινωνιακά συστήματα
μεταφοράς δεδομένων





Προσομοίωση θαλάσσιου κυματισμού Μοντέλα προσομοίωσης

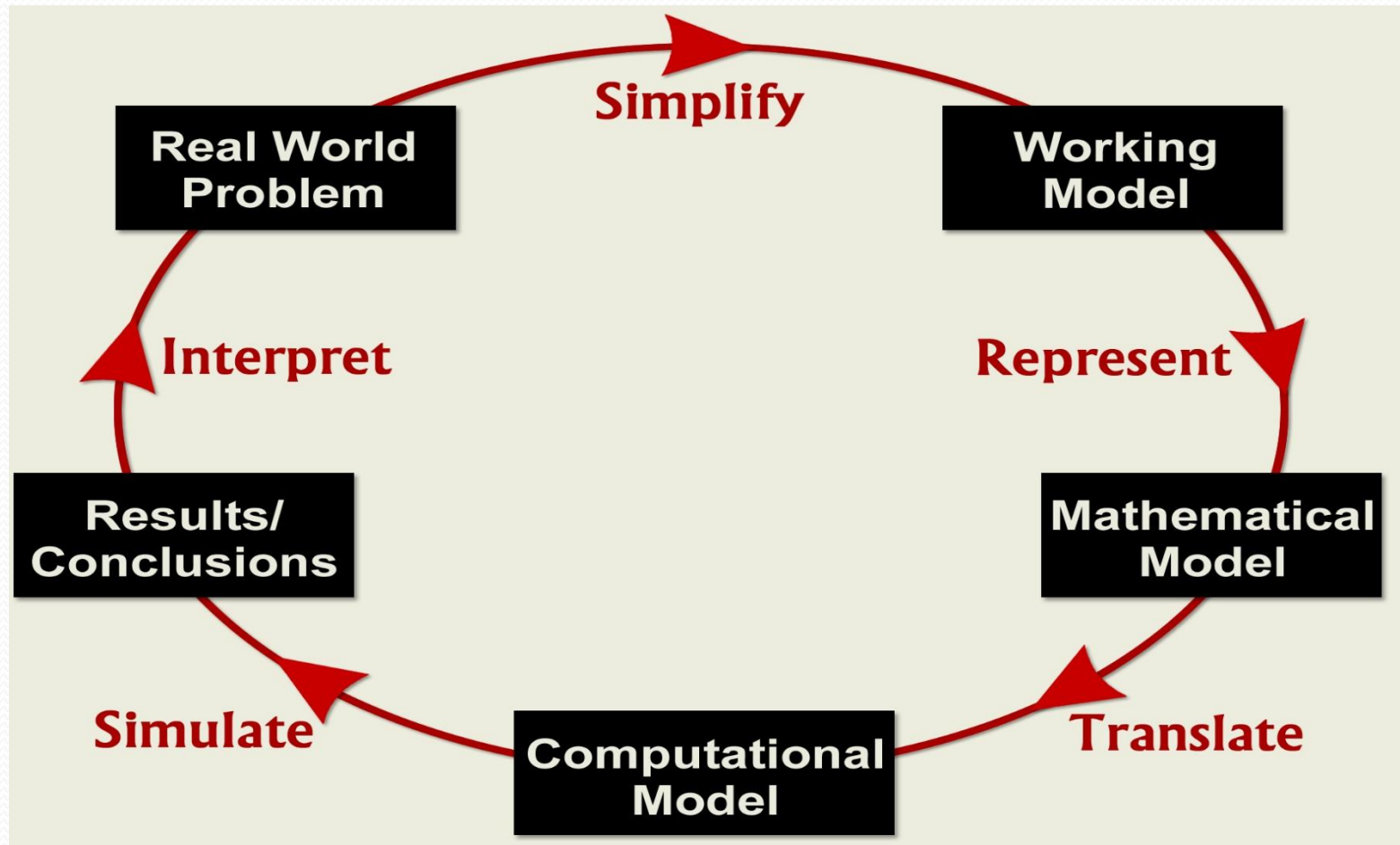
➤ Τα αριθμητικά μοντέλα περιλαμβάνουν:

- Εξισώσεις που περιγράφουν την εξέλιξη στον χώρο και το χρόνο των κυματικών φαινομένων
- Περιορισμούς που εξασφαλίζουν την ευστάθεια των λύσεων
- Υπολογιστικό κώδικα για τις αριθμητικές λύσεις
- Πολλαπλούς πειραματισμούς με διαφορετικά δεδομένα εισαγωγής

➤ Βασικές κατηγορίες:

- Μοντέλα παγκόσμιας κλίμακας (Global models)
- Μοντέλα μέσης κλίμακας (Limited-area models)
- Μοντέλα ρευστομηχανικής (Computational fluid-dynamics-CFD models)

Ο κύκλος της Μοντελοποίησης



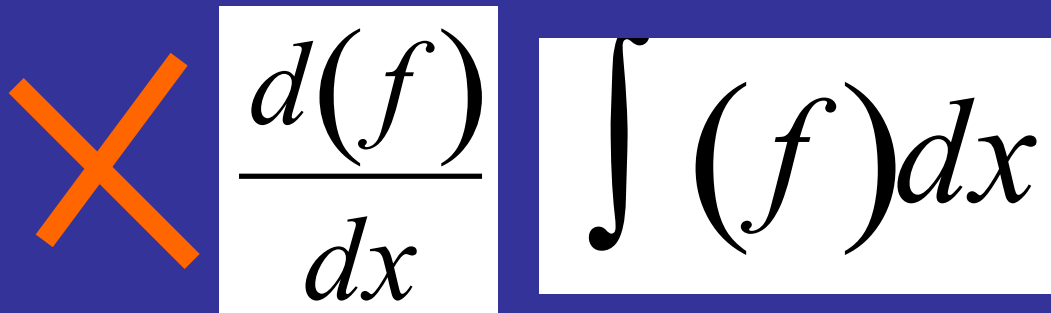
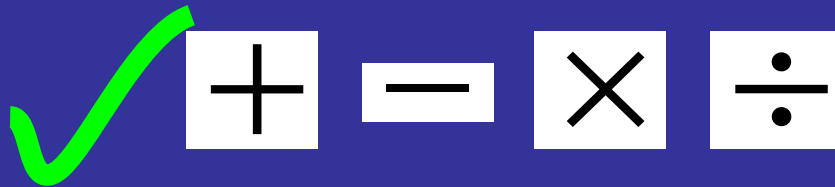


Προσομοίωση θαλάσσιου κυματισμού Μοντέλα προσομοίωσης

Διαδικασία προσομοίωσης:

1. Καθορισμός του προβλήματος και του σκοπού της προσομοίωσης
2. Καθορισμός συστήματος
3. Θεωρητικός σχεδιασμός και δημιουργία
4. Συλλογή δεδομένων και επεξεργασία
5. Δημιουργία του κώδικα
6. Επαλήθευση του κώδικα
7. Σχεδιασμός δοκιμών
8. Επιβεβαίωση του μοντέλου
9. Αποτελέσματα και ερμηνεία

- The problem: computers can perform arithmetic but not calculus



- The solution: numerical methods



Προσομοίωση θαλάσσιου κυματισμού Μοντέλα προσομοίωσης

Κύρια προβλήματα:

- Παραμετροποίηση των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών και παράγοντες που τα επηρεάζουν (όπως βαθυμετρία, περιοχές που υπάρχει πάγος, θαλάσσια ρεύματα και κατανομή ξηράς-θάλασσας)
- Γνώση των αρχικών συνθηκών και συστηματικά ή μη σφάλματα που υπεισέρχονται σε περιοχές αυξημένου ενδιαφέροντος
- Μη ύπαρξη αρκετών δεδομένων για την εκκίνηση των αριθμητικών μοντέλων
- Έλλειψη παρατηρήσεων υψηλής ποιότητας → εμφάνιση δορυφόρων
- Μικρός αριθμός παρατηρήσεων σε σχέση με την τεράστια έκταση των ωκεανών
- Διαθέσιμη υπολογιστική ισχύς



Το κυματικό μοντέλο WAM

- Ένα από τα αρτιότερα και πιο διαδεδομένα κυματικά μοντέλα στον κόσμο.
- Χρησιμοποιείται σήμερα από μεγάλο αριθμό ερευνητικών ομάδων και επιχειρησιακών κέντρων (ECMWF, UK Met Office, US Navy, NOAA, NCEP) για εφαρμογές σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο.
- Επιλύει την χωροχρονική εξέλιξη του 2-διάστατου κυματικού φάσματος $N(f, \theta, \varphi, \lambda, t)$ ως προς την συχνότητα f , τη διεύθυνση θ , το γεωγραφικό πλάτος φ και το γεωγραφικό μήκος λ , λαμβάνοντας υπόψη:
 - τη δράση του *ανέμου* (S_{in}),
 - την *κυματική απόσβεση* (S_{ds}),
 - και τις μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις των *κυμάτων* (S_{nl})



Το κυματικό μοντέλο WAM

Η εξίσωση μεταφοράς που επιλύεται:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{\cos\varphi} \frac{\partial}{\partial\varphi} (N\dot{\varphi} \cos\varphi) + \frac{\partial}{\partial\lambda} (\dot{\lambda} N) + \frac{\partial}{\partial\theta} (\dot{\theta} N) = S$$

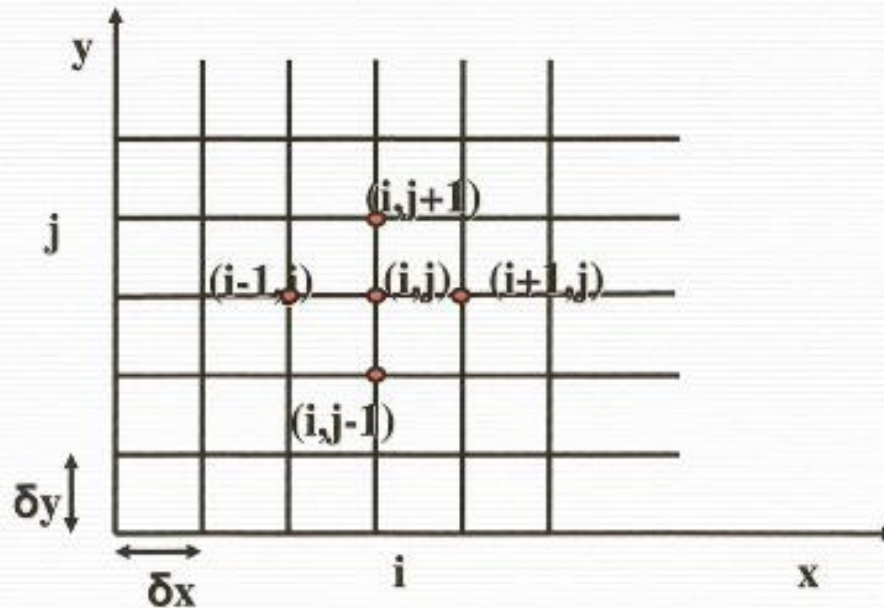
- $N \rightarrow$ 2-διάστατο κυματικό φάσμα
- $S \rightarrow$ το άθροισμα των πηγών της κυματικής ενέργειας

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds}$$

- $f \rightarrow$ συχνότητα
- $\theta \rightarrow$ διεύθυνση
- $\varphi \rightarrow$ γεωγραφικό πλάτος
- $\lambda \rightarrow$ γεωγραφικό μήκος

Διακριτοποίηση του χώρου

- Η περιοχή του προβλήματος διαιρείται με τη βοήθεια ενός ορθογωνικού πλέγματος



Διακριτοποίηση εξισώσεων

Οι διαφορικές εξισώσεις μετατρέπονται σε εξισώσεις διαφορών με χρήση του αναπτύγματος Taylor

$$\phi_{i-1,j} = \phi_{i,j} - \delta x \left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_{(i,j)} + \frac{\delta x^2}{2!} \left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right|_{(i,j)} - \frac{\delta x^3}{3!} \left. \frac{\partial^3 \phi}{\partial x^3} \right|_{(i,j)} + \dots$$

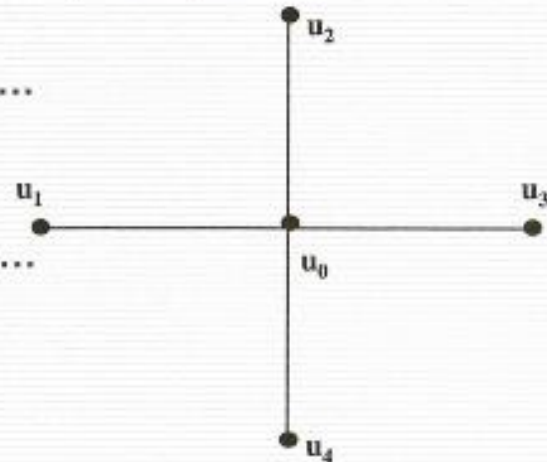
$$\phi_{i+1,j} = \phi_{i,j} + \delta x \left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_{(i,j)} + \frac{\delta x^2}{2!} \left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right|_{(i,j)} + \frac{\delta x^3}{3!} \left. \frac{\partial^3 \phi}{\partial x^3} \right|_{(i,j)} + \dots$$



$$\phi_{i+1,j} + \phi_{i-1,j} = 2\phi_{i,j} + \delta x^2 \left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right|_{(i,j)} + O(\delta x^4)$$



$$\left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right|_{(i,j)} = \frac{\phi_{i+1,j} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i-1,j}}{\delta x^2}$$



Διακριτοποίηση εξισώσεων

Σφάλμα προσέγγισης

$$\phi_{i+1,j} + \phi_{i-1,j} = 2\phi_{ij} + \delta x^2 \left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right|_{(i,j)} + O(\delta x^4)$$

Για την εξαγωγή της παραπάνω εξίσωσης από τα αναπτύγματα Taylor, αφαιρέθηκαν οι όροι από 4^{ης} τάξης και επάνω

$$\phi_{i-1,j} = \phi_{i,j} - \delta x \left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_{(i,j)} + \frac{\delta x^2}{2!} \left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right|_{(i,j)} - \frac{\delta x^3}{3!} \left. \frac{\partial^3 \phi}{\partial x^3} \right|_{(i,j)} + \dots$$

Η προσέγγιση αυτή εισάγει σφάλμα ανάλογο με τη δύναμη του όρου δx . Η προσέγγιση αυτή δηλώνεται με την αντικατάσταση των όρων από τη δύναμη n και πέρα από τον όρο $O(\delta x^n)$, όπου το γράμμα O είναι το αρχικό της λέξης order (τάξη).

■ Ισχύει $O(\delta x^n)/\delta x^m = O(\delta x^{n-m})$

Έτσι η εξίσωση

$$\left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right|_{(i,j)} = \frac{\phi_{i+1,j} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i-1,j}}{\delta x^2}$$

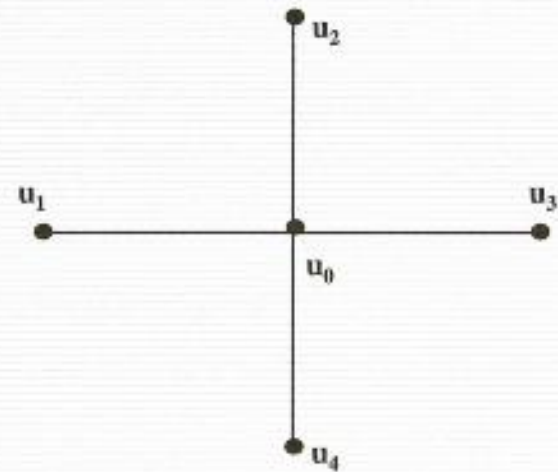
έχει ακρίβεια 2^{ης} τάξης

Διακριτοποίηση εξισώσεων

Οι διαφορικές εξισώσεις μετατρέπονται σε εξισώσεις διαφορών με χρήση του αναπτύγματος Taylor

ΟΜΟΙΩΣ
$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \Big|_{(i,j)} = \frac{\phi_{i,j+1} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i,j-1}}{\delta y^2}$$

ενώ ανάλογα υπολογίζονται
και οι παράγωγοι πρώτης τάξης



Διακριτοποίηση εξισώσεων

Παράδειγμα: Εξίσωση Laplace

$$\nabla^2 \phi(x, y) = \frac{\partial^2 \phi(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi(x, y)}{\partial y^2} = 0$$



$$\left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right|_{(i,j)} + \left. \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right|_{(i,j)} = \frac{\phi_{i+1,j} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i-1,j}}{\delta x^2} + \frac{\phi_{i,j+1} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i,j-1}}{\delta y^2} = 0$$



$$\delta x = \delta y = h$$

$$\phi_{i+1,j} + \phi_{i-1,j} + \phi_{i,j+1} + \phi_{i,j-1} - 4\phi_{i,j} = 0$$

Επίλυση συστήματος εξισώσεων

Το σύνολο των εξισώσεων που προκύπτουν από κάθε κόμβο του πλέγματος με την εφαρμογή και των οριακών συνθηκών σχηματίζουν ένα σύστημα εξισώσεων.

$$a_{11}\phi_1 + a_{12}\phi_2 + \dots + a_{1m}\phi_m = \beta_1$$

$$a_{21}\phi_1 + a_{22}\phi_2 + \dots + a_{2m}\phi_m = \beta_2$$

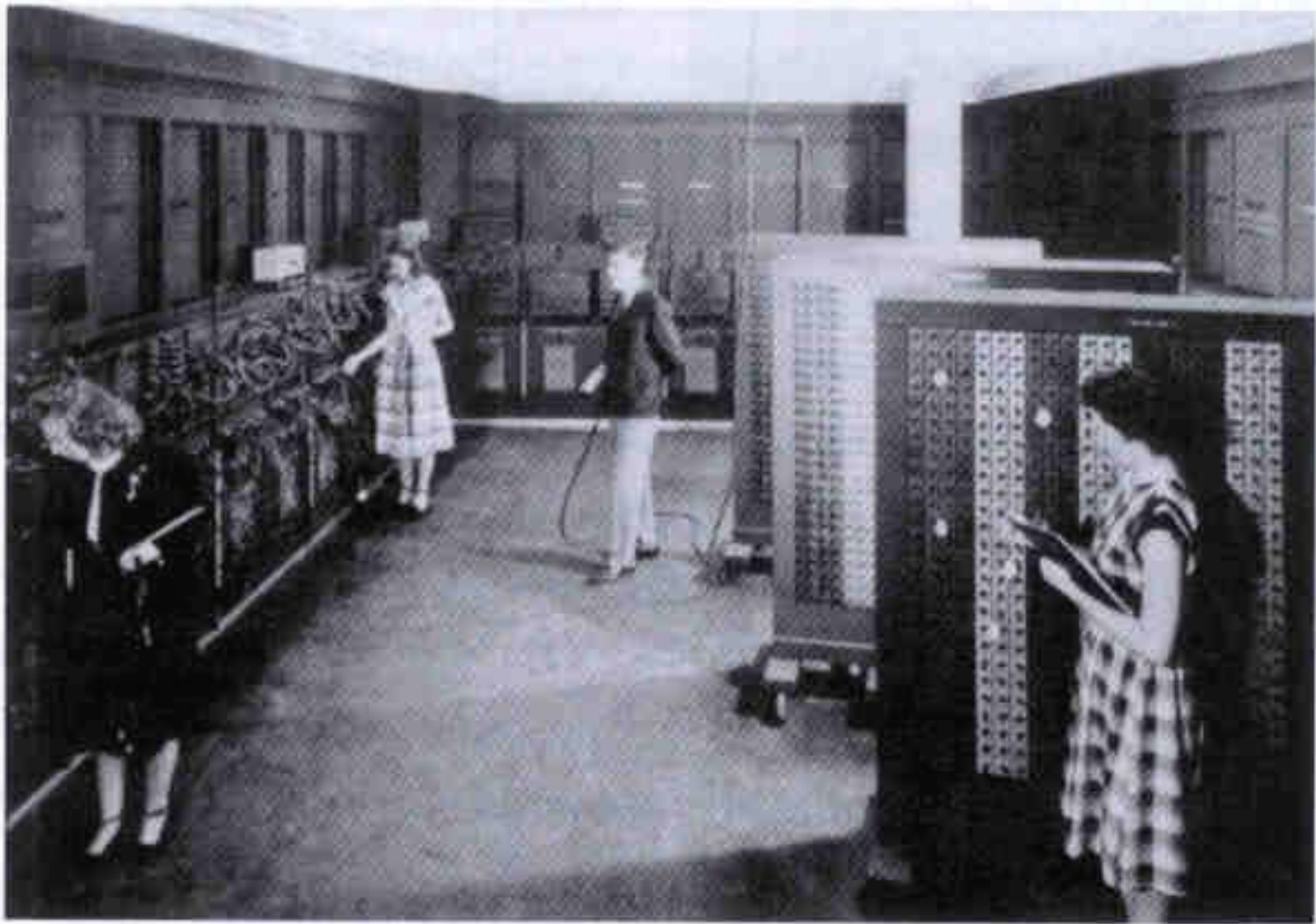
.....

$$a_{m1}\phi_1 + a_{m2}\phi_2 + \dots + a_{mm}\phi_m = \beta_m$$



$$[A] [\phi] = [B]$$

Η λύση του δίνει τις τιμές του αγνώστου μεγέθους στους κόμβους και άρα τη ΛΥΣΗ.



Electronic Numerical Integrator and Computer

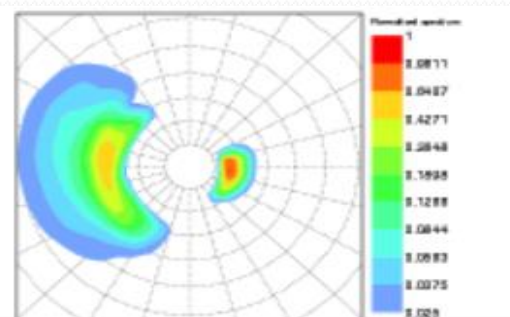
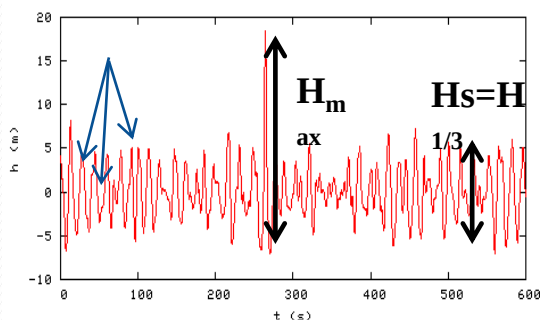
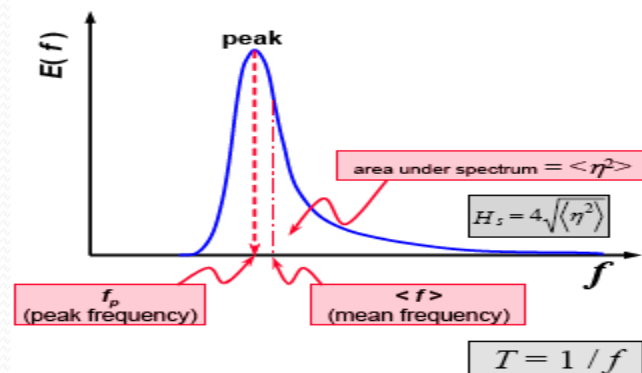
Figure 3: The ENIAC computer in 1948. The operators are changing the plug-in wiring. (PLATZMAN, 1979).



Το κυματικό μοντέλο WAM

Κύρια αποτελέσματα:

- Το ύψος και η διεύθυνση του κύματος
- Η μέση και η μέγιστη περίοδος του κυματισμού
- Το μέγιστο αναμενόμενο ύψος κύματος
- Το ύψος και τη διεύθυνση της ανεμογενούς συνιστώσας του κύματος
- Το ύψος και η διεύθυνση του μεταφερόμενου κύματος (Swell)



- Το πλήρες φάσμα της ενέργειας του θαλάσσιου κυματισμού ανά συχνότητα και διεύθυνση



Το κυματικό μοντέλο WAM

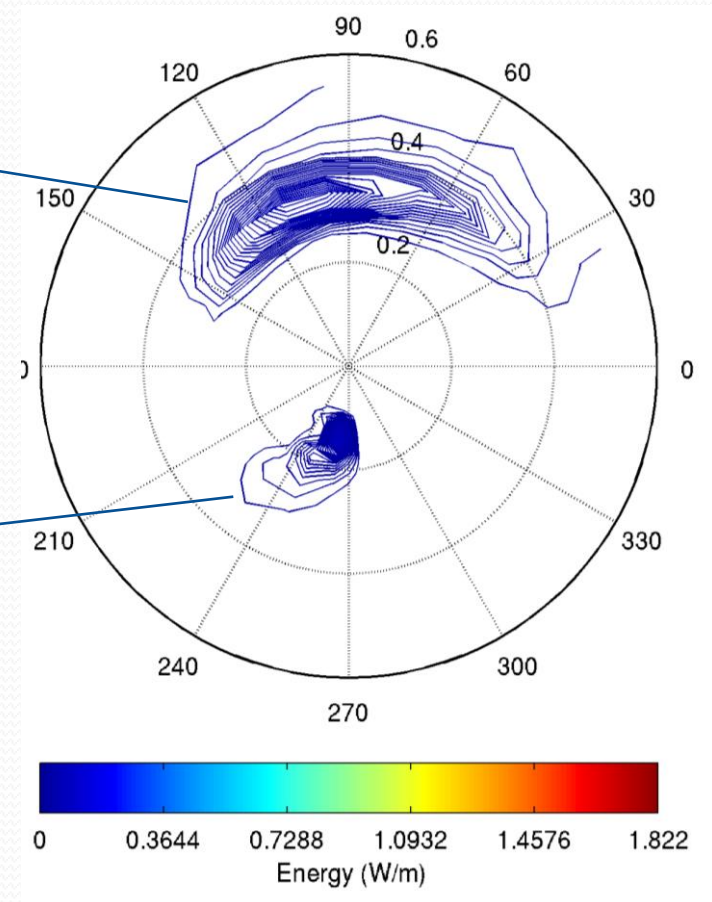
Το πλήρες φάσμα σε επιλεγμένα σημεία

Ανεμογενή κύματα

- Σε υψηλότερες συχνότητες – μικρότερες περιόδους
- Απλώνονται σε μεγάλο φάσμα συχνοτήτων και διευθύνσεων

Μεταφερόμενα κύματα (swells)

- Χαμηλές συχνότητες – μεγάλη μέση περίοδος
- Μικρότερη διασπορά ως προς τις συχνότητες-διευθύνσεις





Το κυματικό μοντέλο WAM

Το σύστημα προσομοίωσης θαλάσσιου κυματισμού στη
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ – ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ

- Ολοκληρωμένο σύστημα υψηλής ακρίβειας πρόγνωσης θαλάσσιου κυματισμού και ατμοσφαιρικών παραμέτρων
- Εγκατεστημένο σε server της ΣΝΔ με αυξημένες υπολογιστικές δυνατότητες
- Τροφοδοτείται με τα ανεμολογικά πεδία που προκύπτουν από το μοντέλο ατμοσφαιρικής πρόγνωσης ΣΚΙΡΩΝ (Πανεπιστήμιο Αθηνών)

Η συνεργασία ΣΝΔ -ΥΥ αποσκοπεί:

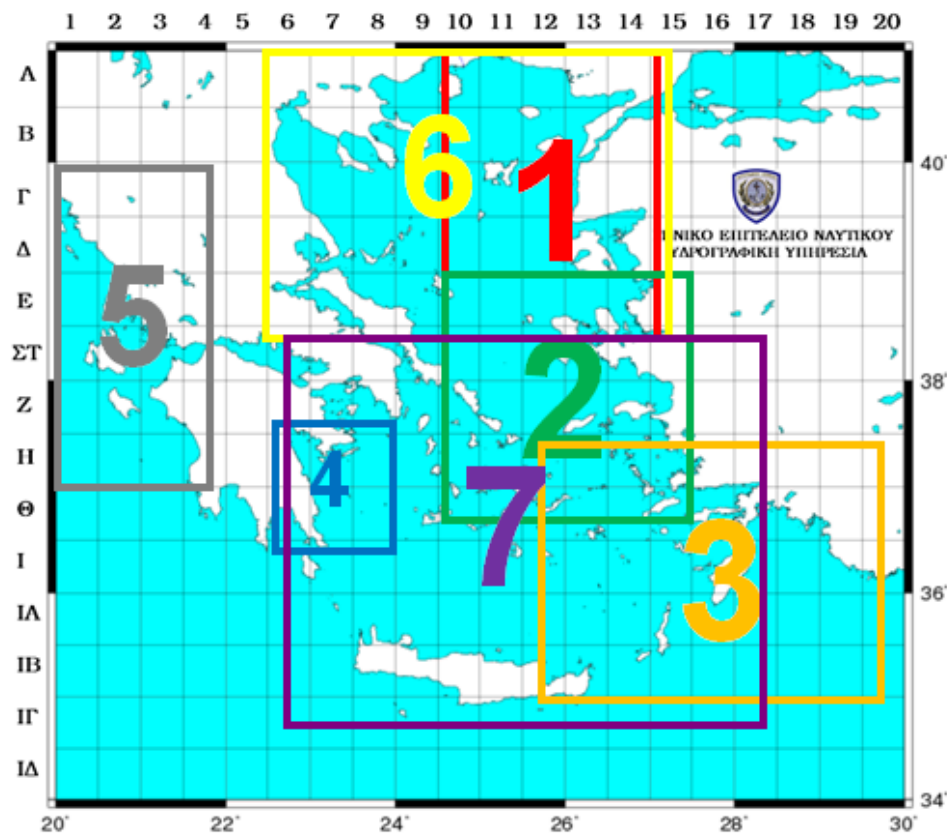
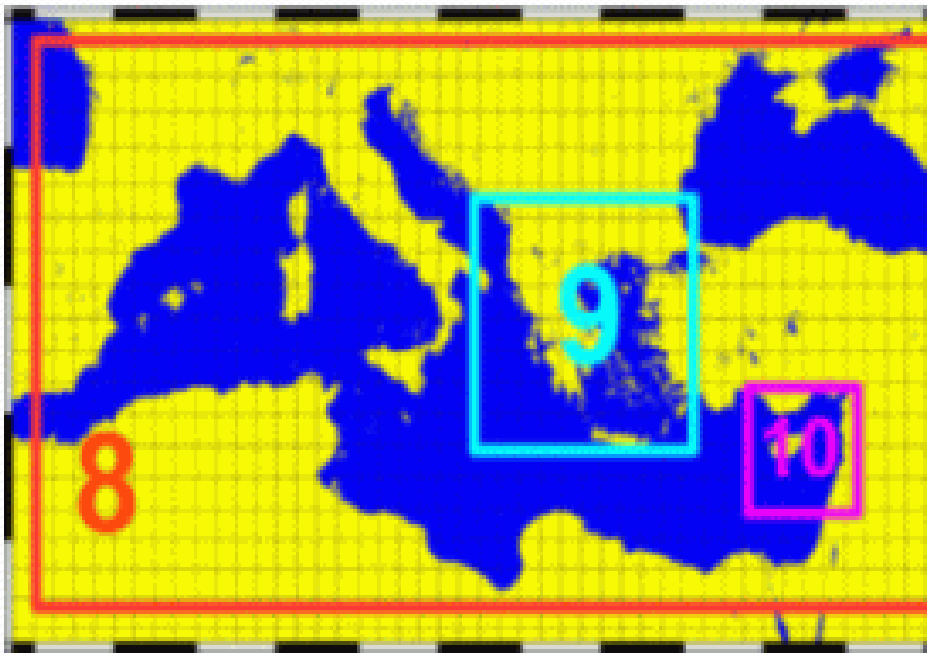
- στη χρήση των κυματικών και ατμοσφαιρικών μοντέλων από την ΥΥ και το ΠΝ χωρίς την εξάρτηση από άλλα υπολογιστικά συστήματα και κανονισμούς άλλων ιδρυμάτων
- στη δυνατότητα μεταβολής και προσαρμογής του συστήματος στις απαιτήσεις της περιοχής ενδιαφέροντος ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες



Το κυματικό μοντέλο WAM

Καθημερινή πρόγνωση ανέμου και θαλάσσιου κυματισμού για περιοχές:

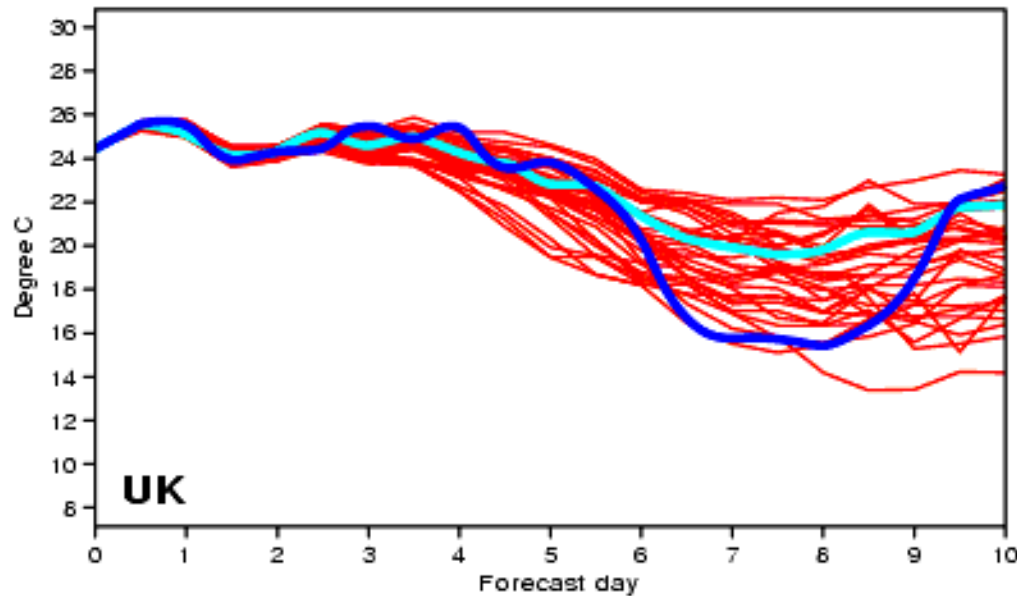
- του ευρύτερου Ελλαδικού χώρου και
- της Μεσογείου Θάλασσας



ECMWF ensemble forecast - Air temperature

Date: 26/06/1995 London Lat: 51.5 Long: 0

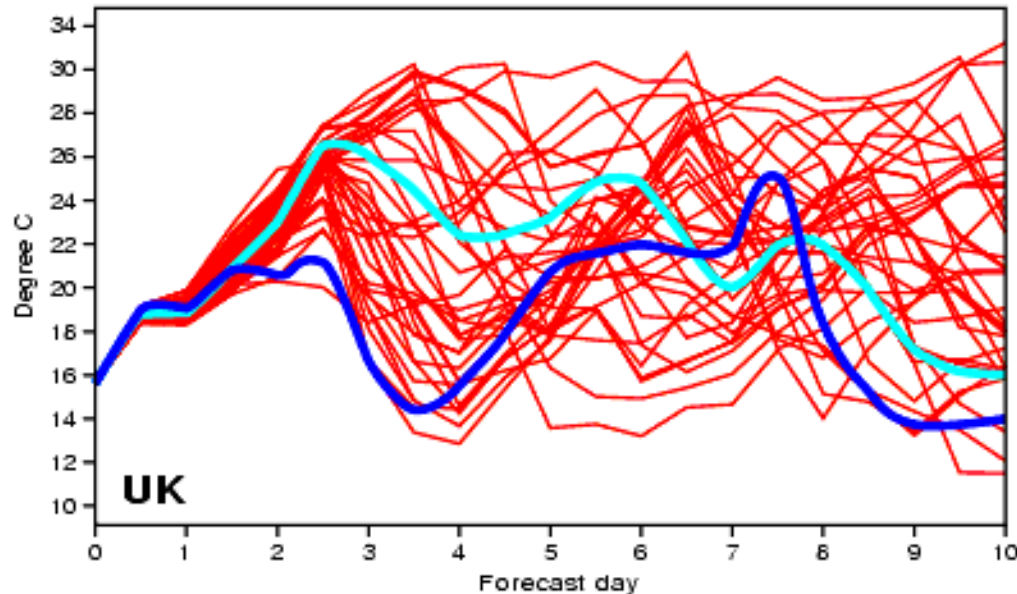
Control Analysis Ensemble



ECMWF ensemble forecast - Air temperature

Date: 26/06/1994 London Lat: 51.5 Long: 0

Control Analysis Ensemble



Example of
error
growth



Το κυματικό μοντέλο WAM

Τα παραγόμενα αποτελέσματά του χρησιμοποιούνται:

- για ημερήσιες τακτικές ενημερώσεις του ΑΣ στο ΑΣ/ΚΕΠΙΧ
- κατά τη διάρκεια εκπαιδευτικών ασκήσεων
- αλλά και για άλλες δραστηριότητες:
 - Την εκτίμηση της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από το θαλάσσιο κυματισμό
 - Την έγκαιρη πρόγνωση των ακραίων θαλάσσιων καιρικών φαινομένων
 - Τη θαλάσσια ρύπανση
 - Την ασφάλεια και την εξοικονόμηση πόρων/καυσίμων στη ναυσιπλοΐα
 - Τη μελέτη του θαλάσσιου κλίματος ή μικροκλίματος
 - Την υποστήριξη των τουριστικών δραστηριοτήτων
 - Την κάλυψη ναυτικών-ναυτιλιακών δραστηριοτήτων/επιχειρήσεων



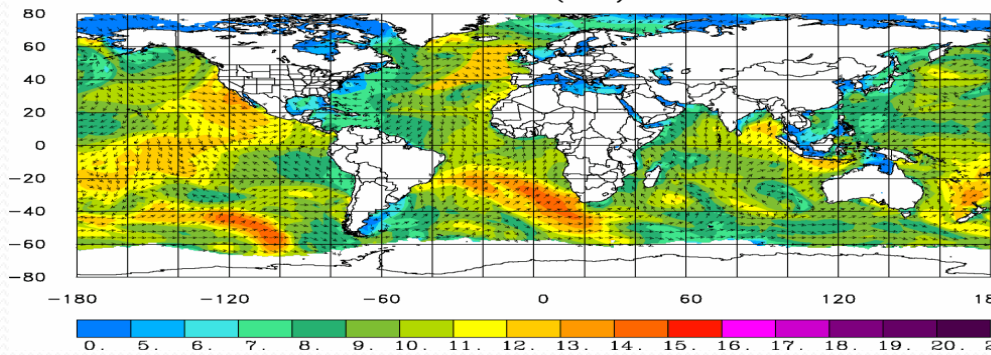
Το κυματικό μοντέλο WAM

Παγκόσμια κλίμακα-Μεσόγειος Θάλασσα

UOA(AM&WFG)

8/ 4/2014 at 00 UTC

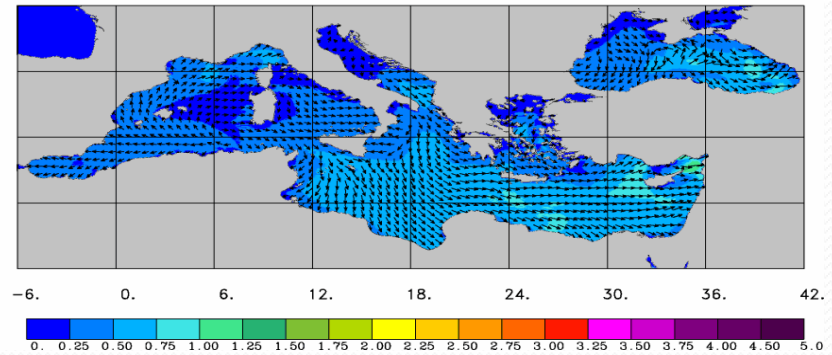
Mean Wave Period (sec) and direction



University of Athens (AM&WFG)

8/ 4/2014 at 12 UTC

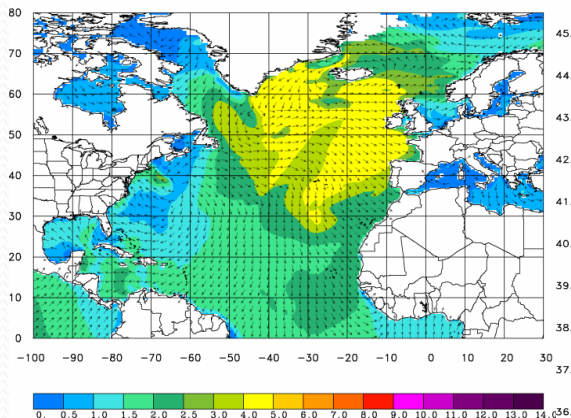
Swell height (m) and direction



UOA(AM&WFG)

8/ 4/2014 at 12 UTC

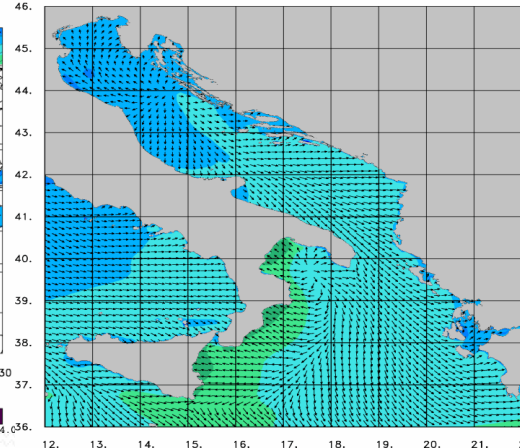
Swell height(m) and direction



University of Athens (AM&WFG)

8/ 4/2014 at 12 UTC

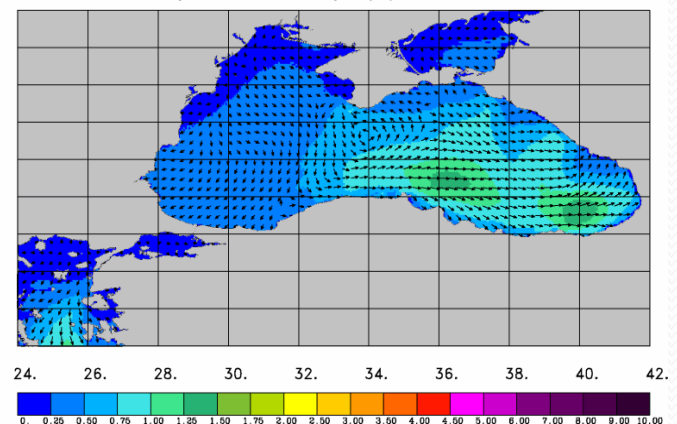
Mean Wave Period (sec) and direction



University of Athens (AM&WFG)

8/ 4/2014 at 12 UTC

Significant wave height (m) and direction

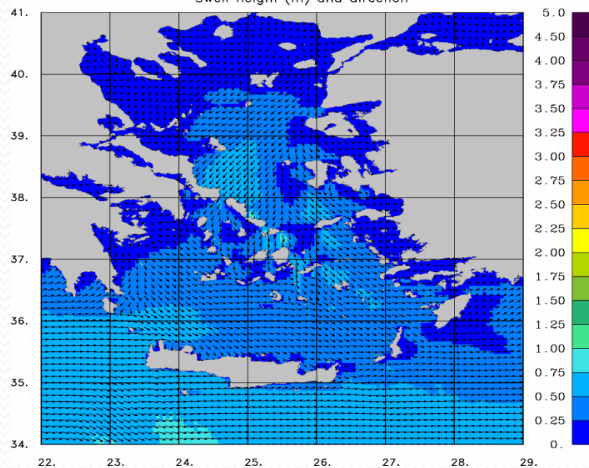




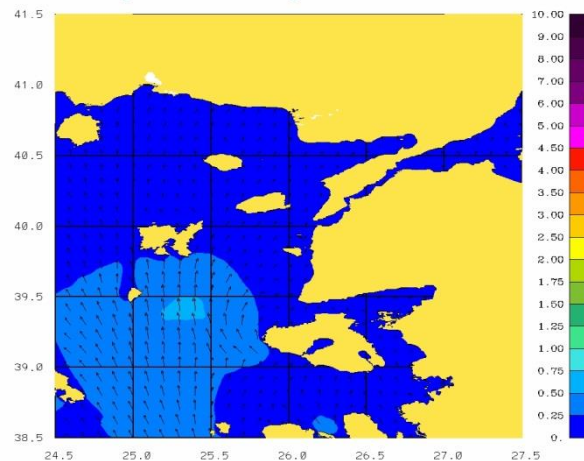
Το κυματικό μοντέλο WAM

Ελλαδικός χώρος

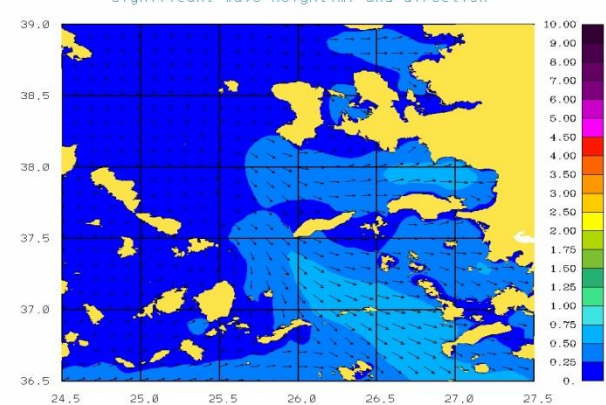
University of Athens (AM&WFG) 8/ 4/2014 at 12 UTC
Swell height (m) and direction



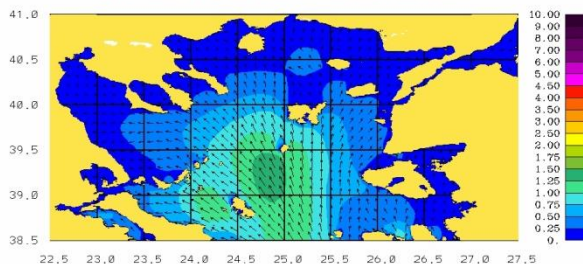
Hellenic Naval Academy & University of Athens 4/ 4/2014 at 04 UTC
Significant wave height(m) and direction



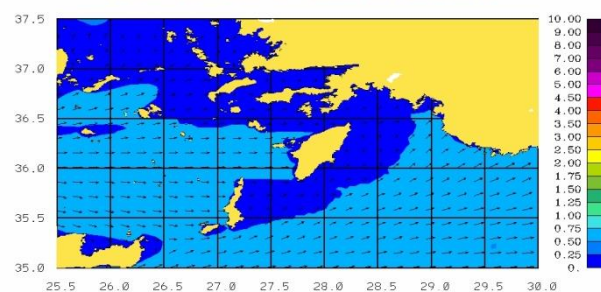
Hellenic Naval Academy & University of Athens 2/ 4/2014 at 16 UTC
Significant wave height(m) and direction



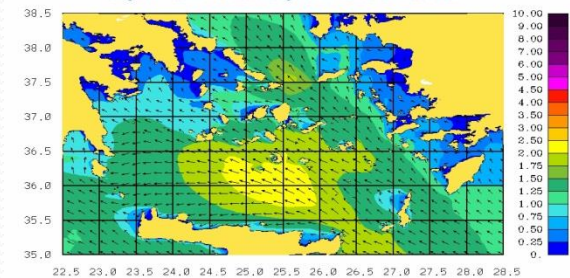
Hellenic Naval Academy & University of Athens 4/ 4/2014 at 20 UTC
Significant wave height(m) and direction



Hellenic Naval Academy & University of Athens 4/ 4/2014 at 05 UTC
Significant wave height(m) and direction



Hellenic Naval Academy & University of Athens 5/ 4/2014 at 20 UTC
Significant wave height(m) and direction



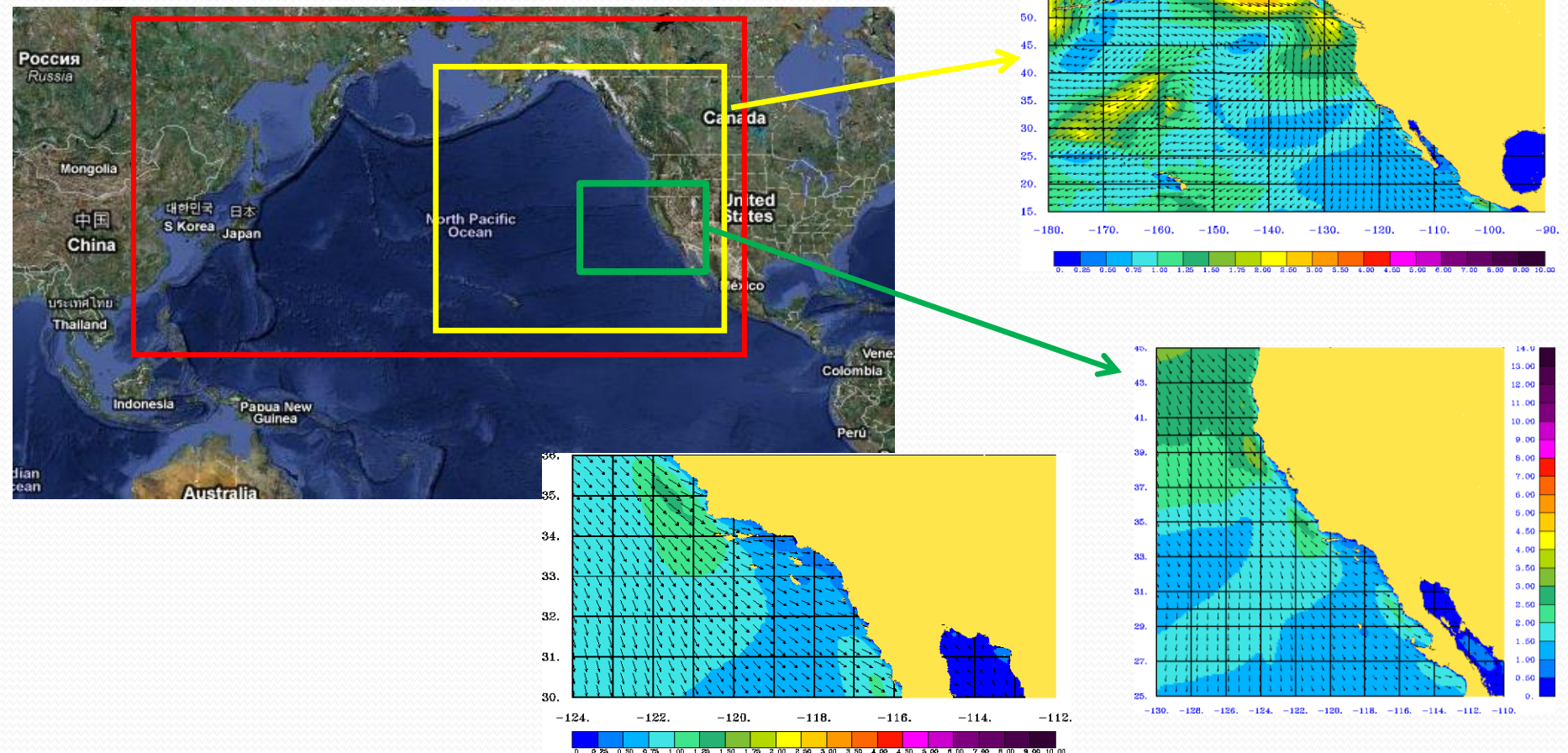
The wave model for the Naval Ocean Analysis and Prediction Laboratory

US Naval Postgraduate School

North Pacific Ocean – South West US coastline

Resolution used (0.2 – 0.1 degrees)

Areas covered



Κυματική ενέργεια

Η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από τον **θαλάσσιο κυματισμό** είναι μία εναλλακτική μορφή ανανεώσιμης ενέργειας με συγκριτικά πλεονεκτήματα:

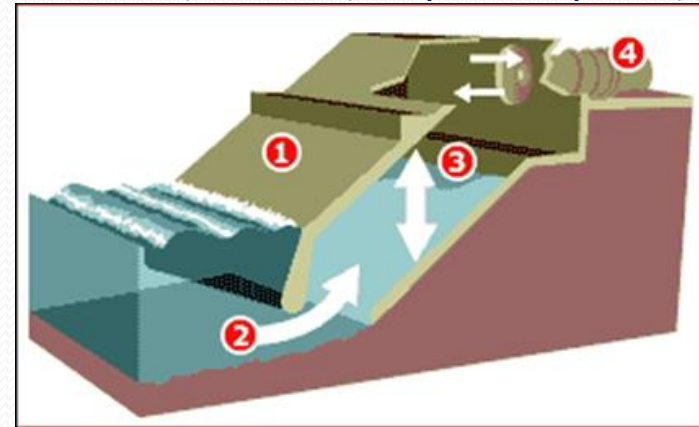
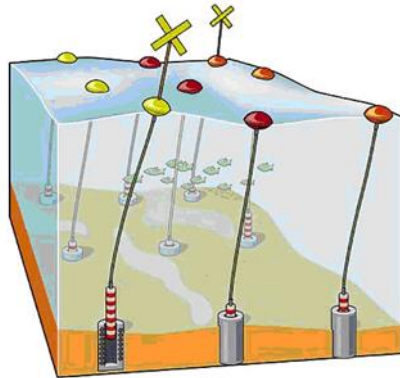
- ✓ σημαντικά **μικρότερο βαθμό αβεβαιότητας** και **μεταβλητότητας** από άλλες πηγές «πράσινης» ενέργειας
- ✓ Δυνατότητα παραγωγής ακόμη και σε περιόδους άπνοιας (από μεταφερόμενα κύματα)
- ✓ οι **επιπτώσεις στο τοπικό περιβάλλον** από πλατφόρμες εκμετάλλευσής της είναι **περιορισμένες**
- ✓ νέες δυνατότητες **συνδυασμένης ανάπτυξης υποδομών** (λιμενοβραχίονες, μονάδες αφαλάτωσης)

Κυματική Ενέργεια

Η κυματική ενέργεια εξαρτάται από την κατανομή του ύψους (H_s) και της περιόδου (T_e) κυματισμού:

$$P_w = \rho g \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} f^{-1} E(f, \theta) df d\theta = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_e$$

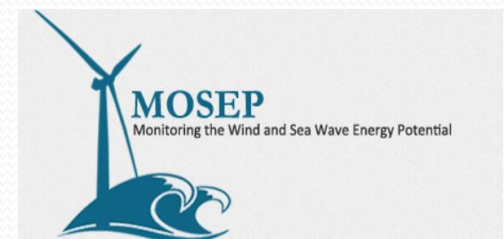
Ο τύπος τεχνολογίας που χρειάζεται εξαρτάται από την τοπική κλιματολογία της περιοχής



Integrated High Resolution System for Monitoring and Quantifying the Wave Energy Potential in the EEZ of Cyprus

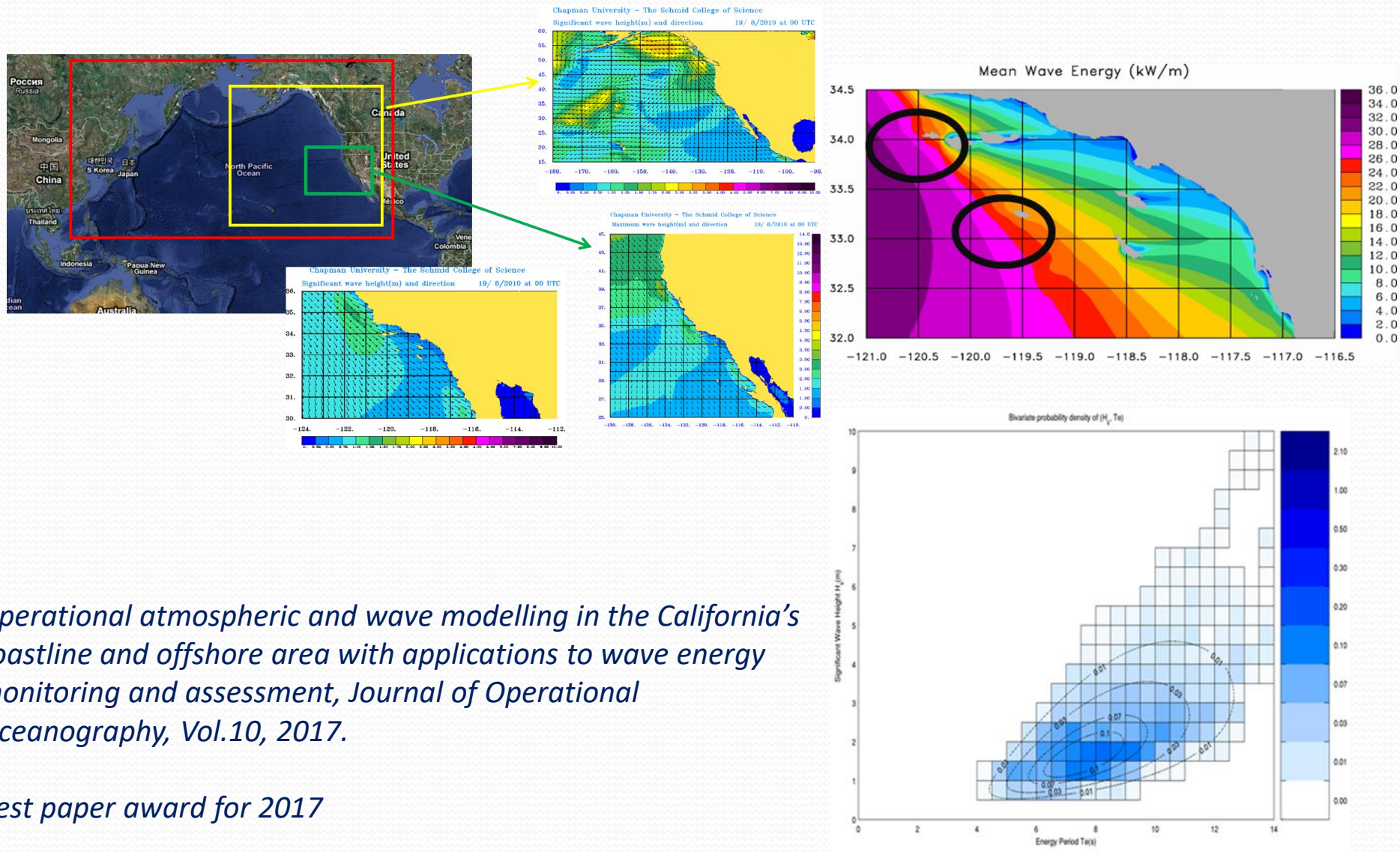


Marine Renewable Integrated Application Platform

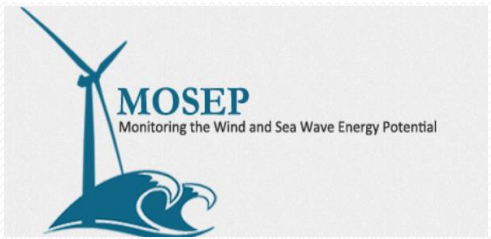
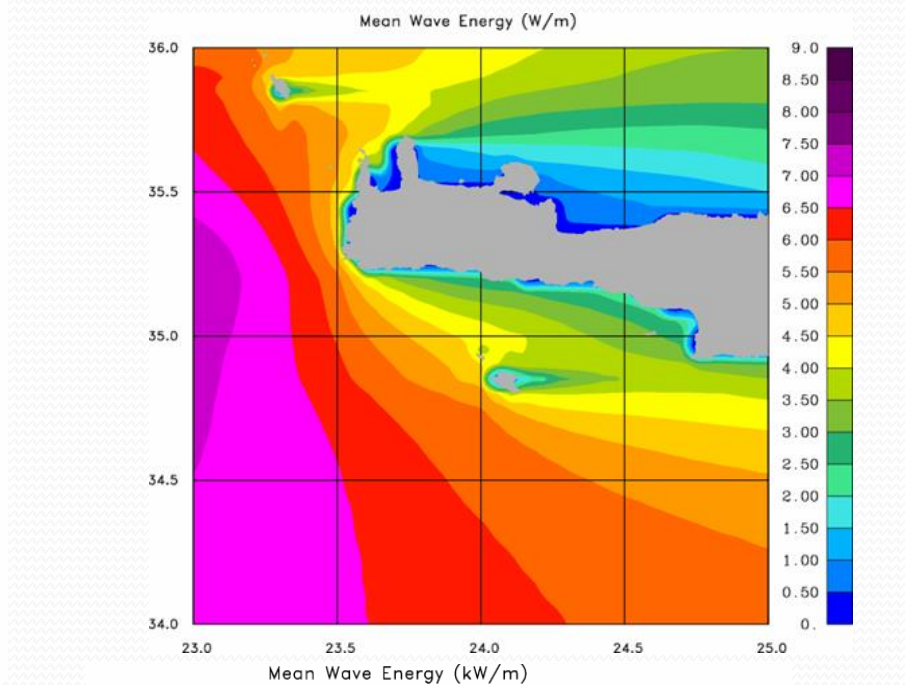
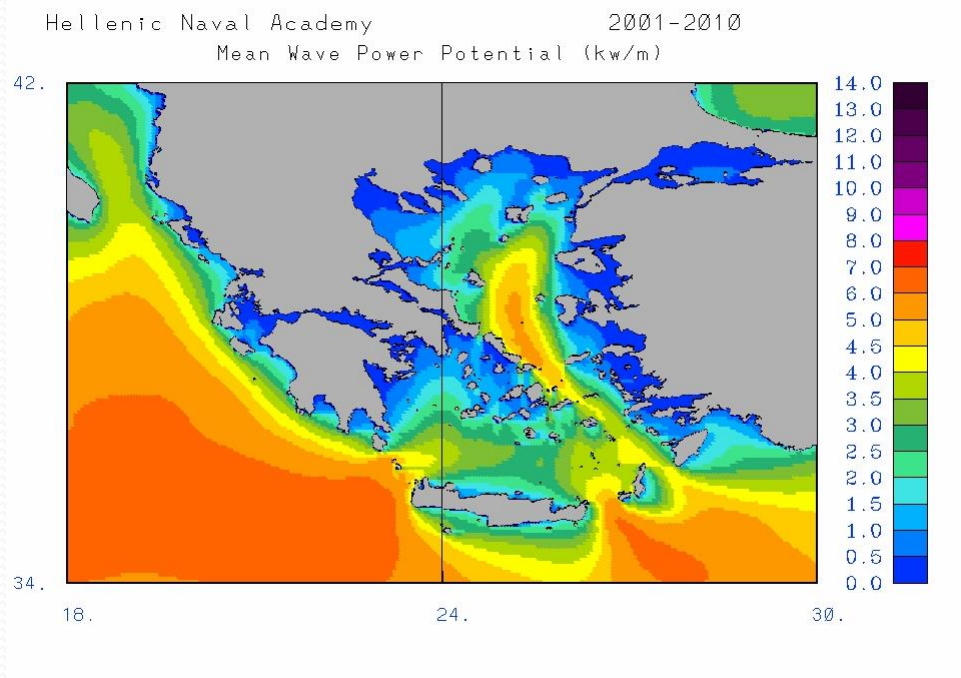


Monitoring the Wind and Sea Wave Energy Potential

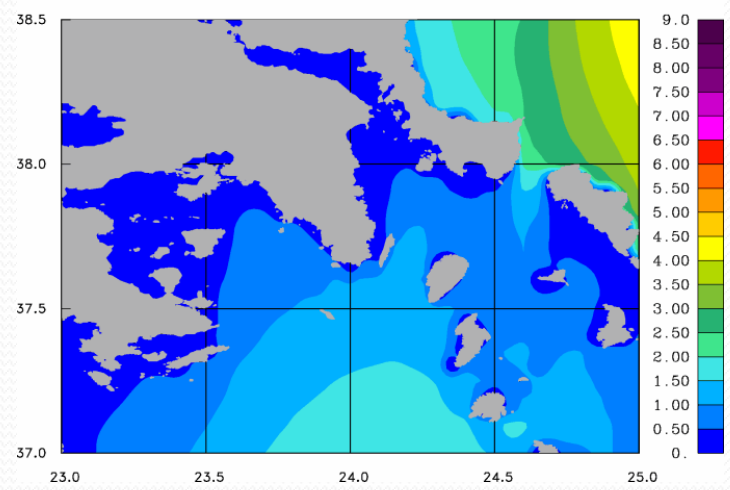
Εντοπισμός και ανάλυση περιοχών με το μεγαλύτερο διαθέσιμο ενεργειακό δυναμικό



Εντοπισμός και ανάλυση περιοχών με το μεγαλύτερο διαθέσιμο ενεργειακό δυναμικό



Monitoring the Wind and Sea
Wave Energy Potential





Σχολή Ναυτικών Δοκίμων – Τομέας Μαθηματικών

Εργαστήριο Μαθηματικής Μοντελοποίησης και Εφαρμογών



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΧΟΛΗΣ ΕΥΕΛΠΙΔΩΝ – ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

$$P_{\text{freak}} = 1 - \exp[-\beta N(1 + \delta \kappa_{40})],$$

$$\kappa_{40} = \frac{\langle \eta^4 \rangle}{m_0^2} - 3$$

T-year event:

$$U_T = \begin{cases} \xi + \left(\frac{a}{k}\right) [1 - (\lambda T)^{-k}] & , k \neq 0 \\ \xi + a \ln(\lambda T) & , k = 0 \end{cases}$$

AREA	Prob.of occurrence	QPG	Hmax/Hs		RISK
			0,3	0,35	
Parga	0,2714	5,1842	0,0415	0,0109	moderate
Kasos	0,2919	4,6421	0,1204	0,0257	high
Amorgos	0,2849	5,2696	0,0477	0,0078	moderate
Skyros	0,3357	6,7159	0,1191	0,0346	high
Kythira	0,2675	4,7880	0,0671	0,017	low
West Crete	0,2729	4,7852	0,0776	0,0126	low
Methoni	0,2746	4,8326	0,0704	0,0131	low



Freak Waves

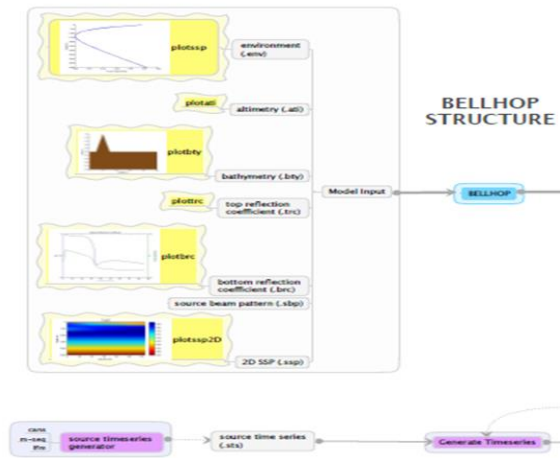


Σχολή Ναυτικών Δοκίμων – Τομέας Μαθηματικών

Εργαστήριο Μαθηματικής Μοντελοποίησης και Εφαρμογών



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ – Bellhop Model



Μοντέλο ιχνηλάτησης ηχητικών ακτίνων

