

ΦΥΣΙΚΗ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ

ΜΑΘΗΜΑ 5

ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΦΩΤΕΙΝΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΩΚΕΑΝΟ

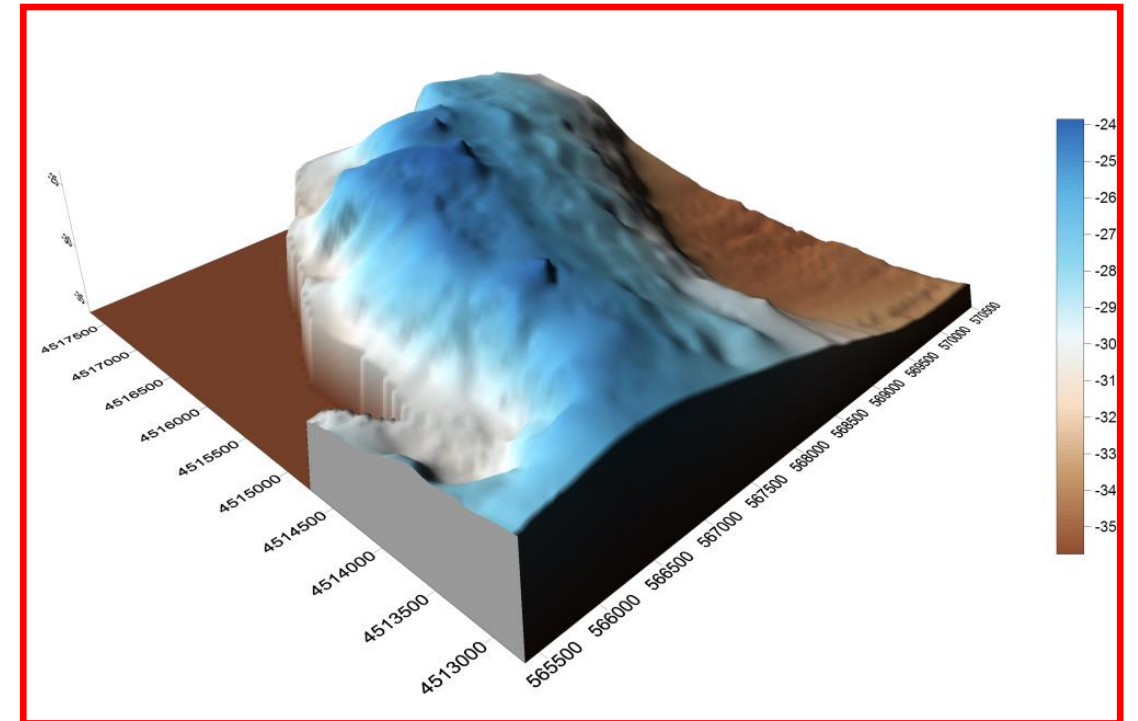
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ. Συλαίος

Συμπεριφορά Ήχου στη θάλασσα

Ο ήχος είναι μορφή μηχανικής ενέργειας και αποτελεί το πλέον εύκολο τρόπο μεταφοράς μίας πληροφορίας σε μεγάλη απόσταση στην θάλασσα.

Ο ήχος χρησιμοποιείται ευρέως από τον άνθρωπο για να προσδιοριστούν:

- οι ιδιότητες του ωκεάνιου πυθμένα,
- να μετρηθεί το βάθος του ωκεανού,
- να αποτυπωθούν οι εσωτερικές δομές που υπάρχουν στο εσωτερικό του πυθμένα (στρώματα, ρήγματα),
- να μετρηθούν φυσικές παράμετροι, όπως τα ρεύματα και η θερμοκρασία.

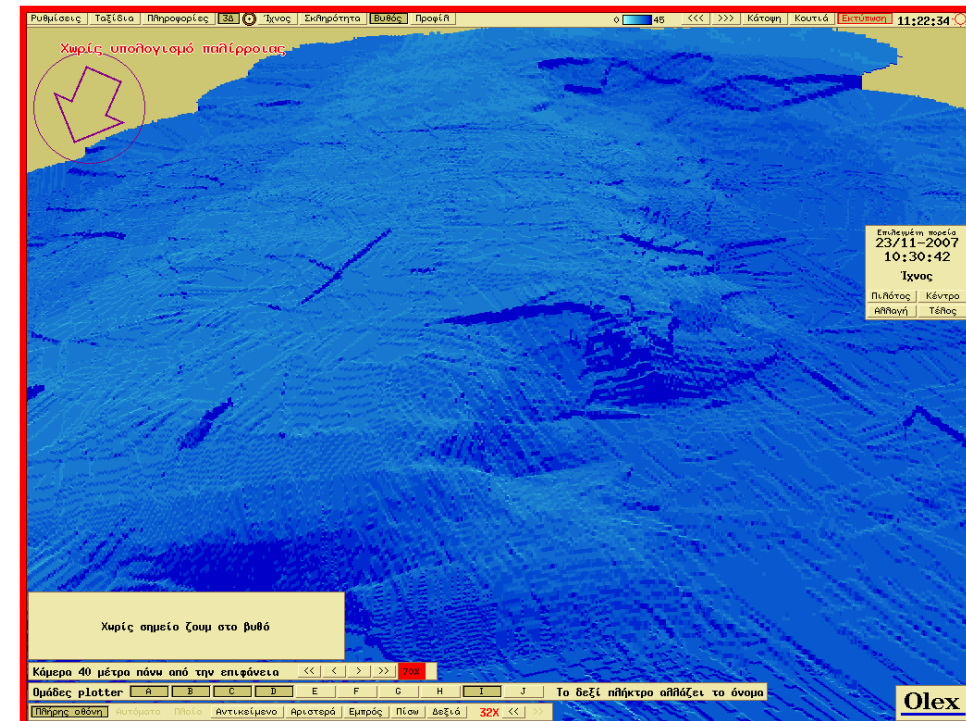


Συμπεριφορά Ήχου στη θάλασσα

Πολλά επιστημονικά όργανα, όπως:

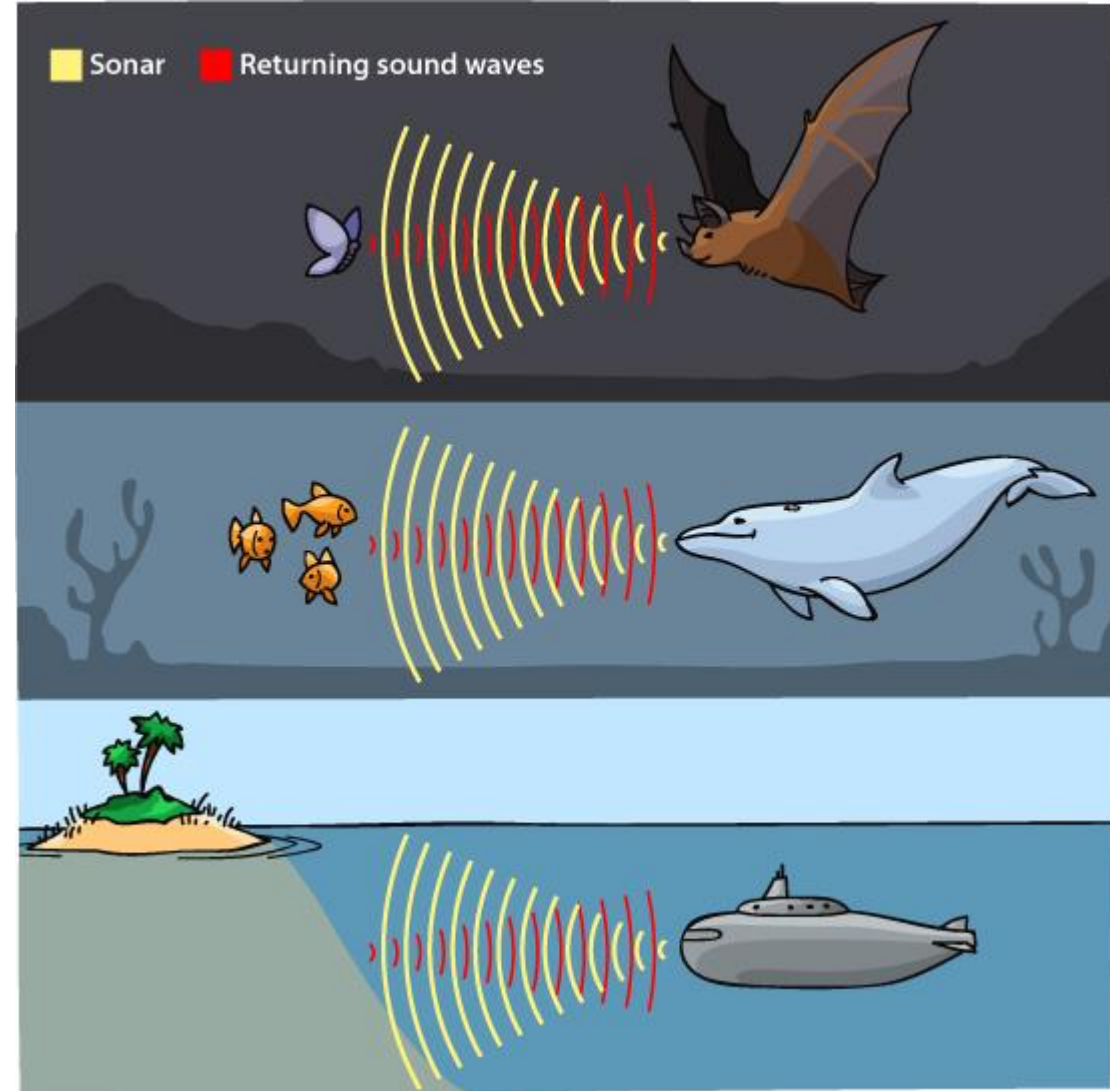
- οι ηχοβολιστές (echosounders),
- τα SONARS (vertical and side scan), και
- οι ακουστικοί τομογράφοι (acoustic tomographers)

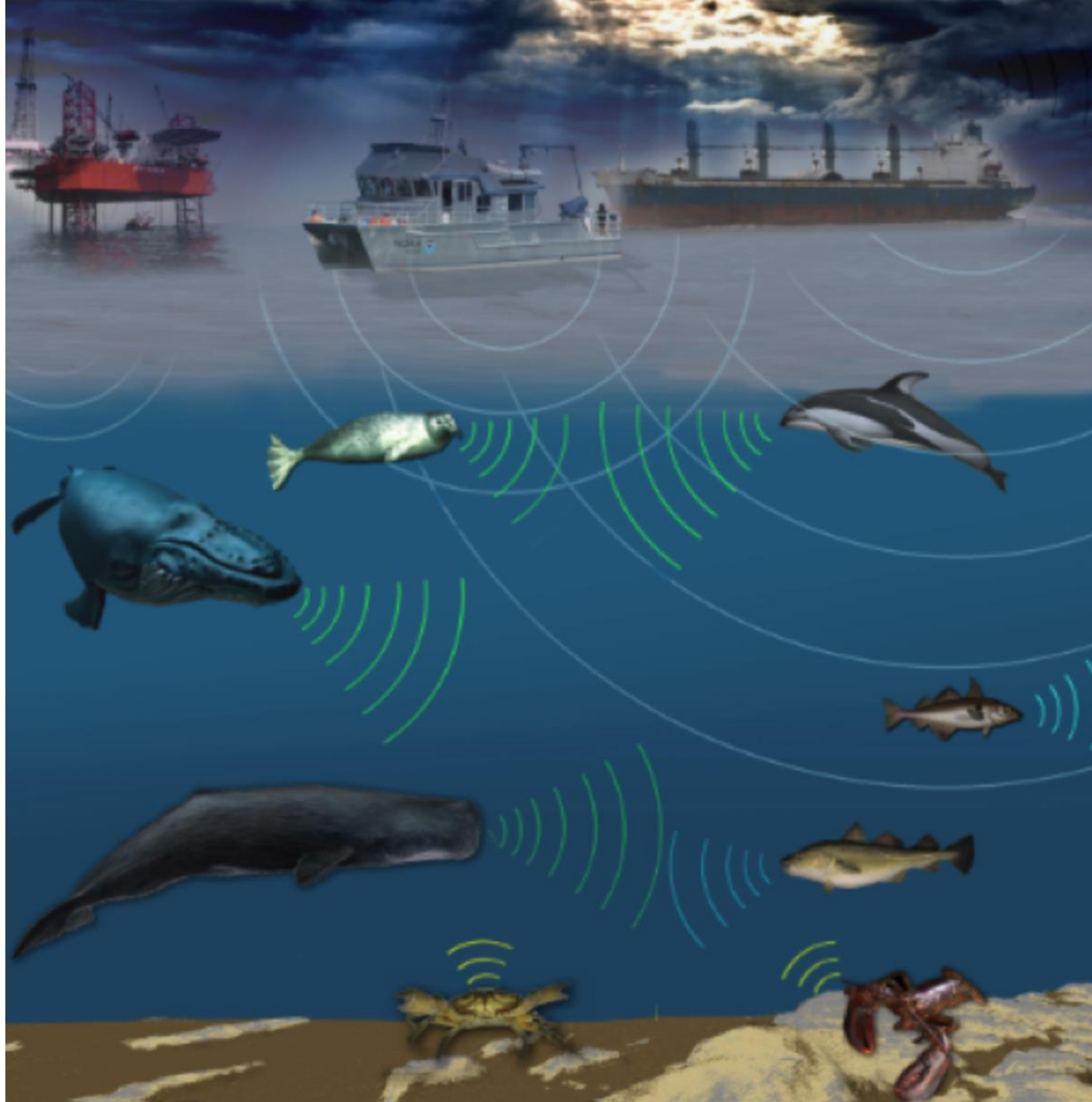
Τα όργανα αυτά χρησιμοποιούν τις ιδιότητες του ήχου εκπέμποντας και λαμβάνοντας ηχητικά σήματα τα οποία διαδίδονται στο νερό των ωκεανών.



Συμπεριφορά Ήχου στη θάλασσα

- Τις ιδιότητες του ήχου στην θάλασσα εκμεταλλεύονται πολλά θαλάσσια θηλαστικά, όπως φάλαινες και δελφίνια για να επικοινωνήσουν, να κινηθούν στο νερό προς μια καθορισμένη κατεύθυνση και να βρουν την τροφή τους.





Συμπεριφορά Ήχου στη θάλασσα

- Ηχητικά κύματα: δεν διασπείρονται \Rightarrow κινούνται με σταθερή ταχύτητα ανεξαρτήτου μήκους κύματος.

- Υπολογισμός βάθους με ηχοβολιστή: $D = \frac{1}{2} \times \text{Χρόνος κίνησης} \times C$
(Ταχύτητα Ήχου)

- $C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ E: αδιαβατική συμπιεστότητα και ρ η πυκνότητα νερού

$$C = 1449 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.0003T^3 (1.39 - 0.012T)(S - 35) + 0.017z$$

- Στα ρηχά νερά η ταχύτητα ήχου εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία
- Στα βαθιά νερά η ταχύτητα ήχου εξαρτάται κυρίως από τη πίεση
- Η ταχύτητα ήχου αυξάνει με την αύξηση T, S, ρ – η επίδραση του S είναι πολύ μικρή

Συμπεριφορά Ήχου στη θάλασσα

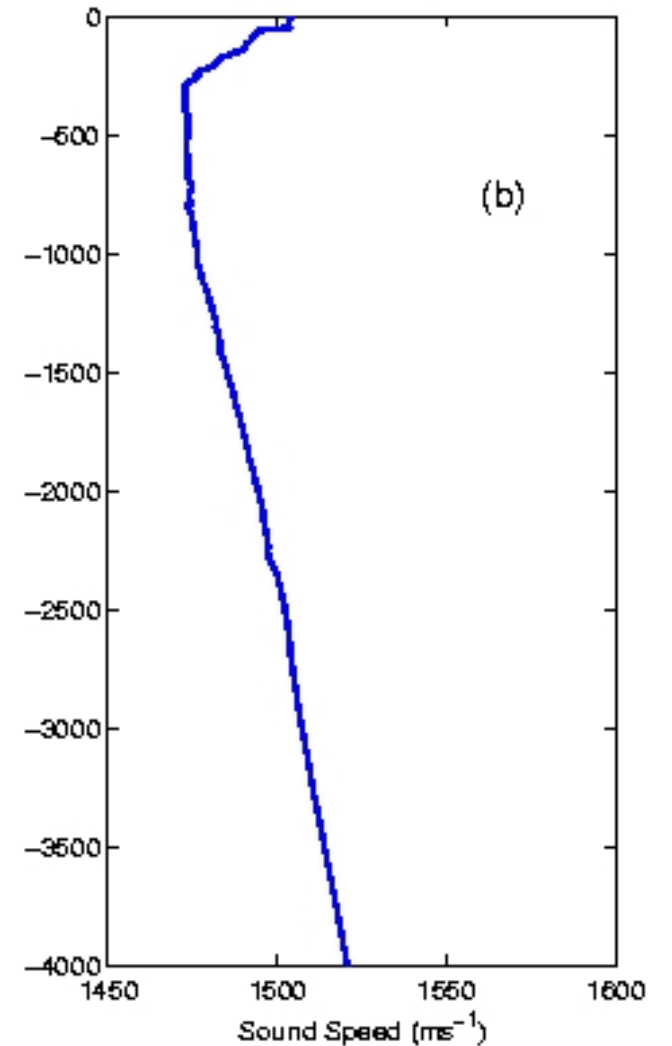
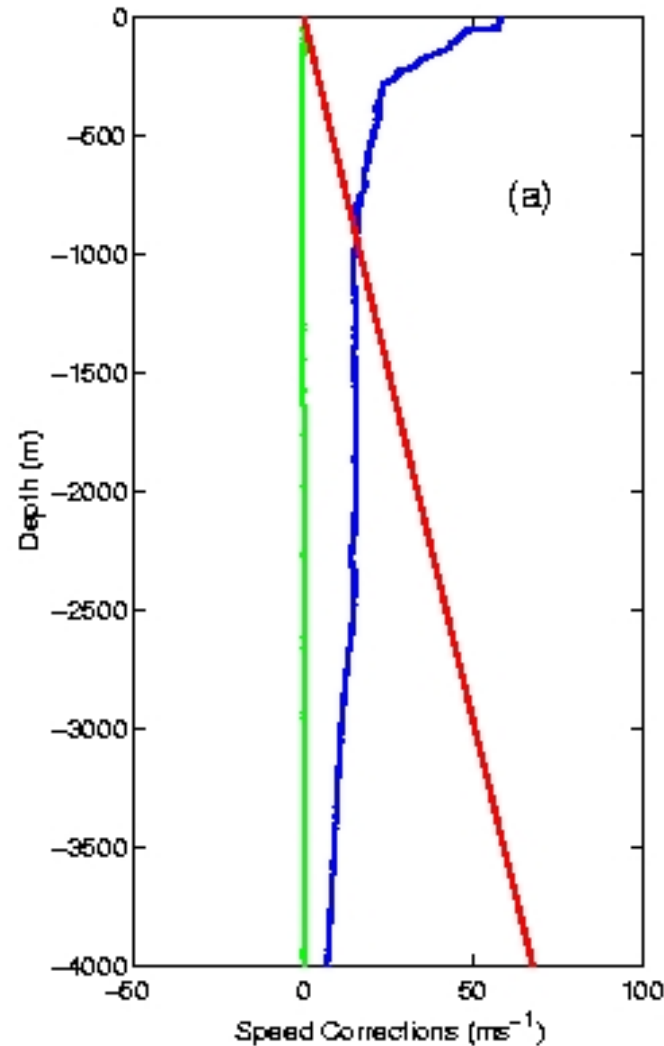
Η ταχύτητα του ήχου $C(T=0, S=34,85)$ είναι 1445 m/sec και αυξάνει:

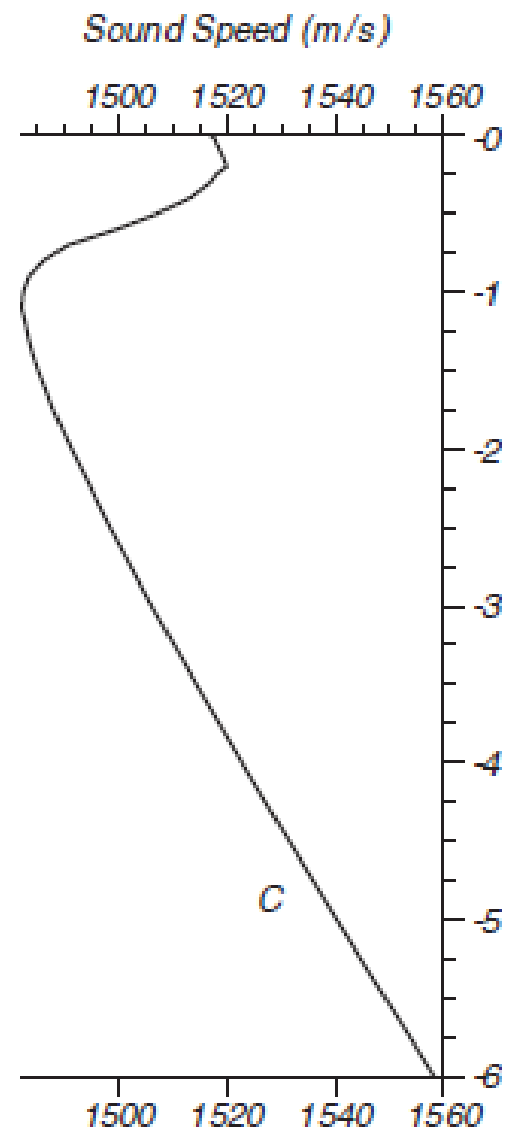
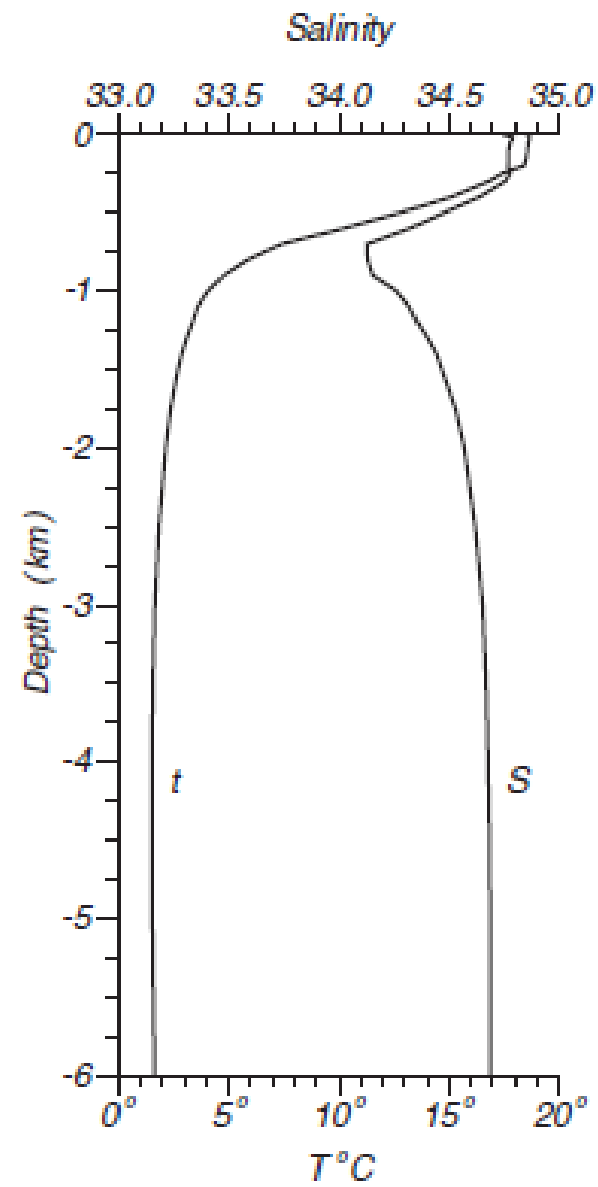
- κατά περίπου 4 m/sec για αύξηση ενός βαθμού θερμοκρασίας,
- κατά 1,5 m/sec για κάθε μία μονάδα αύξηση της αλατότητας, και
- κατά 18 m/sec για αύξηση 1000 μ βάθους.

Συνεπώς, η επίδραση της αλατότητας στην αλλαγή της ταχύτητας του ήχου είναι πολύ μικρή.

Συμπεριφορά Ήχου στη θάλασσα

- Στους ωκεανούς ο ήχος οφείλεται στη θραύση κυμάτων, στη κίνηση ρευμάτων, στη βροχόπτωση, στη τριβή πυθμένα, στους οργανισμούς.
- Ο ήχος αυτός δεν γίνεται αντιληπτός στην ατμόσφαιρα λόγω του υψηλού δείκτη διάθλασης $C_w/C_a = 4.5$.

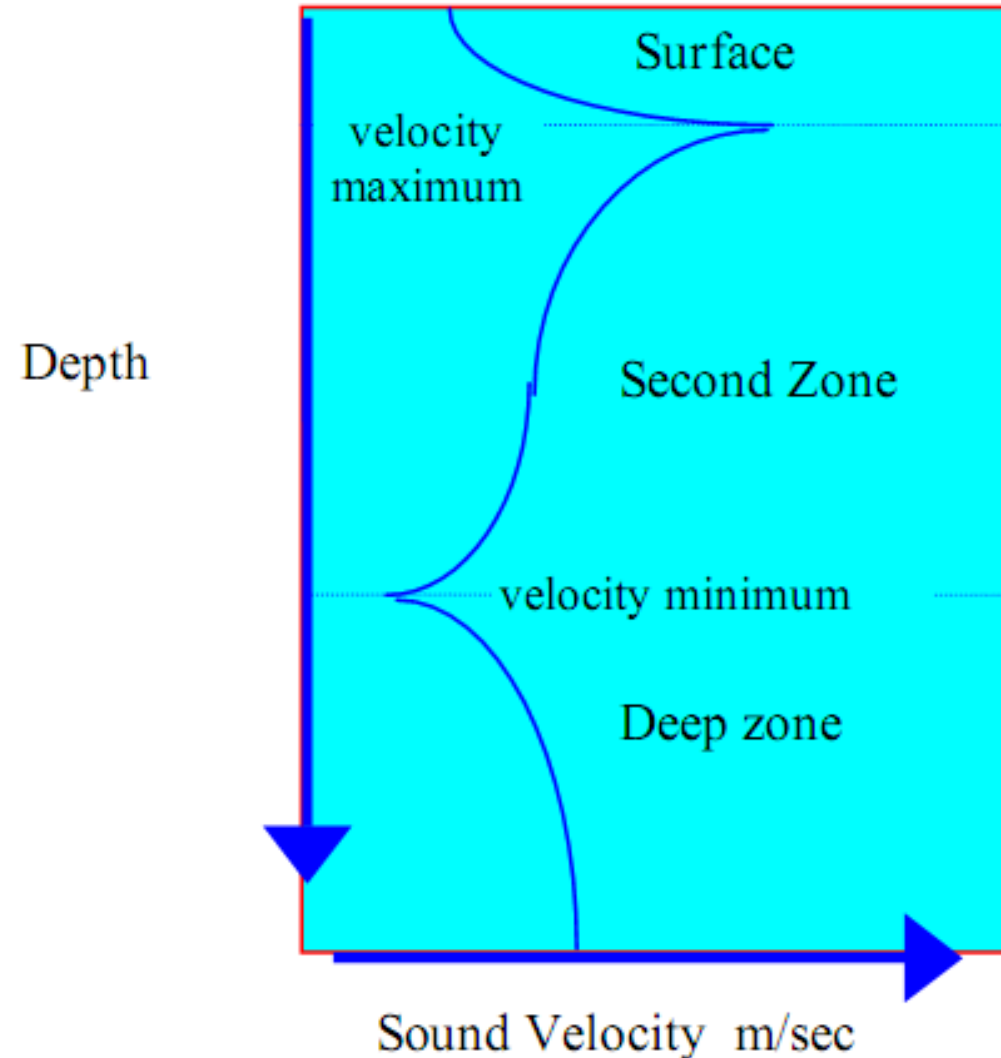




Συμπεριφορά Ήχου στη θάλασσα

Διακρίνουμε τρεις ζώνες στο κατακόρυφο προφίλ ταχύτητας ήχου:

- Ζώνη 1. 0 – 150 μ βάθος – καλά αναμεμειγμένη ως προς τη θερμοκρασία και την αλατότητα – η ταχύτητα ήχου αυξάνει ελαφρά με το βάθος λόγω πίεσης
- Ζώνη 2. από 150 – 1500 μ βάθος – η ταχύτητα ήχου μειώνεται λόγω απότομης μείωσης T & S.
- Ζώνη 3. από 1500 έως το πυθμένα – αύξηση ταχύτητας ήχου λόγω πίεσης, καθώς T & S είναι σχεδόν σταθερά.

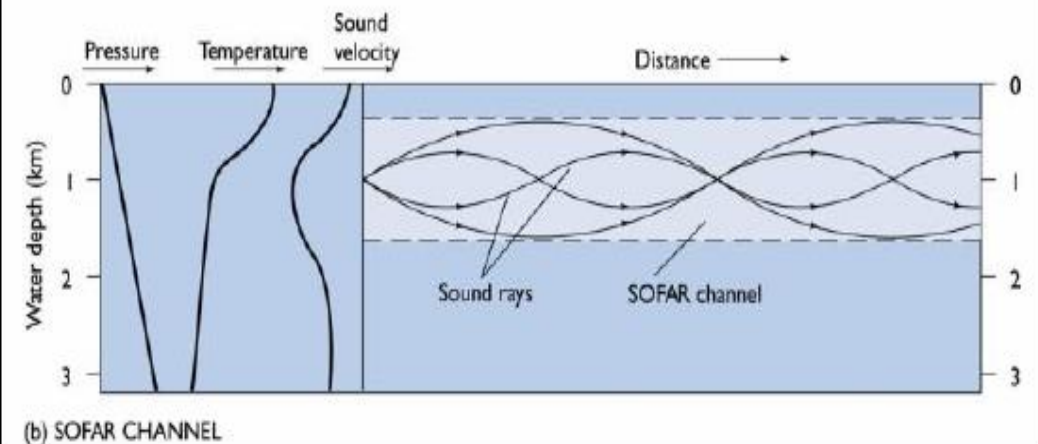


Συμπεριφορά Ήχου στη θάλασσα

- SOFAR (Sound Fixing And Ranging) ⇒ περιοχές χαμηλού C περικλειόμενες από περιοχές υψηλού C ⇒ εγκλωβισμός ηχητικής ενέργειας και κίνησή της για εκατοντάδες χλμ.

SOFAR Channel

- SOFAR Channel is located where sound speed is at a minimum. Refraction of sound waves within the channel prevents dispersion of the sound energy and sound waves travel for 1000s of kilometers within the channel.



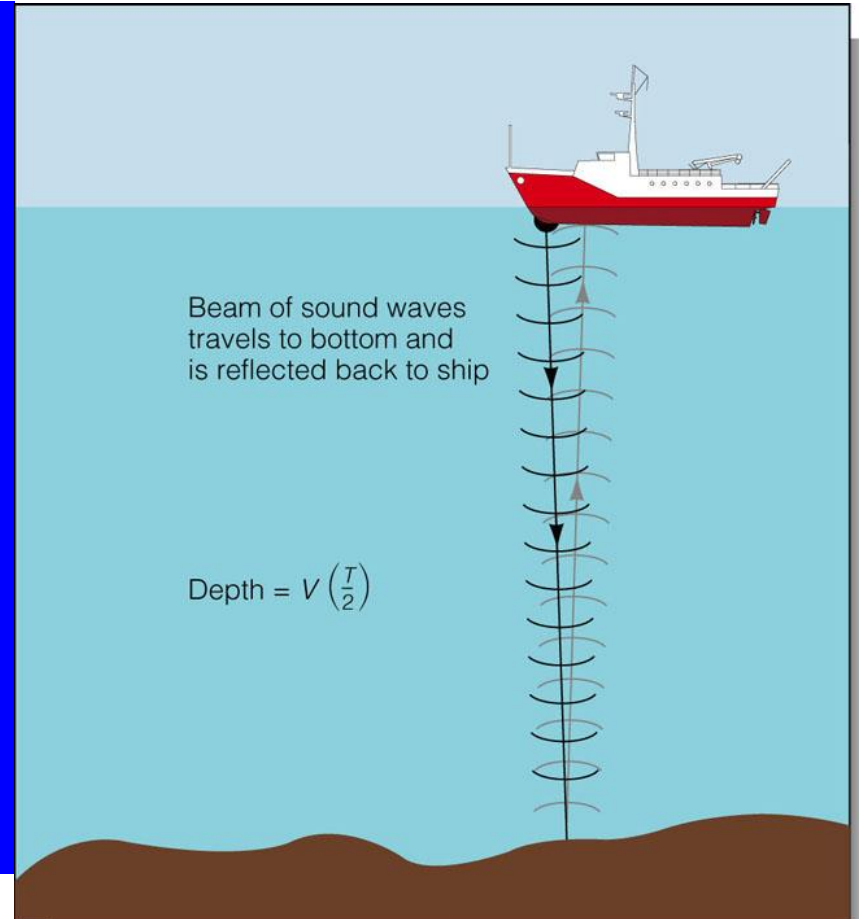
- Θερμοκρασιακή αναστροφή και διάδοση ήχου κατά μήκος του SOFAR axis.

Προσδιορισμός Βάθους με τη χρήση ηχοβολιστικού βυθομέτρου

- Οι ηχοβολιστές αντιλαμβάνονται τη βαθυμετρία του πυθμένα με την εκπομπή ηχητικών κυμάτων από το σκάφος και μετρώντας το χρόνο που απαιτείται για να επιστρέψουν τα κύματα αυτά.
- Αν η ταχύτητα διάδοσης του ήχου είναι γνωστή, και ο χρόνος επαναφοράς μετρηθεί, τότε η απόσταση από το σκάφος ως το πυθμένα γίνεται επίσης γνωστή. Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε αρχικά από το Γερμανικό ωκεανογραφικό σκάφος Meteor το 1920.

$$d = \frac{1}{2} C \Delta t$$

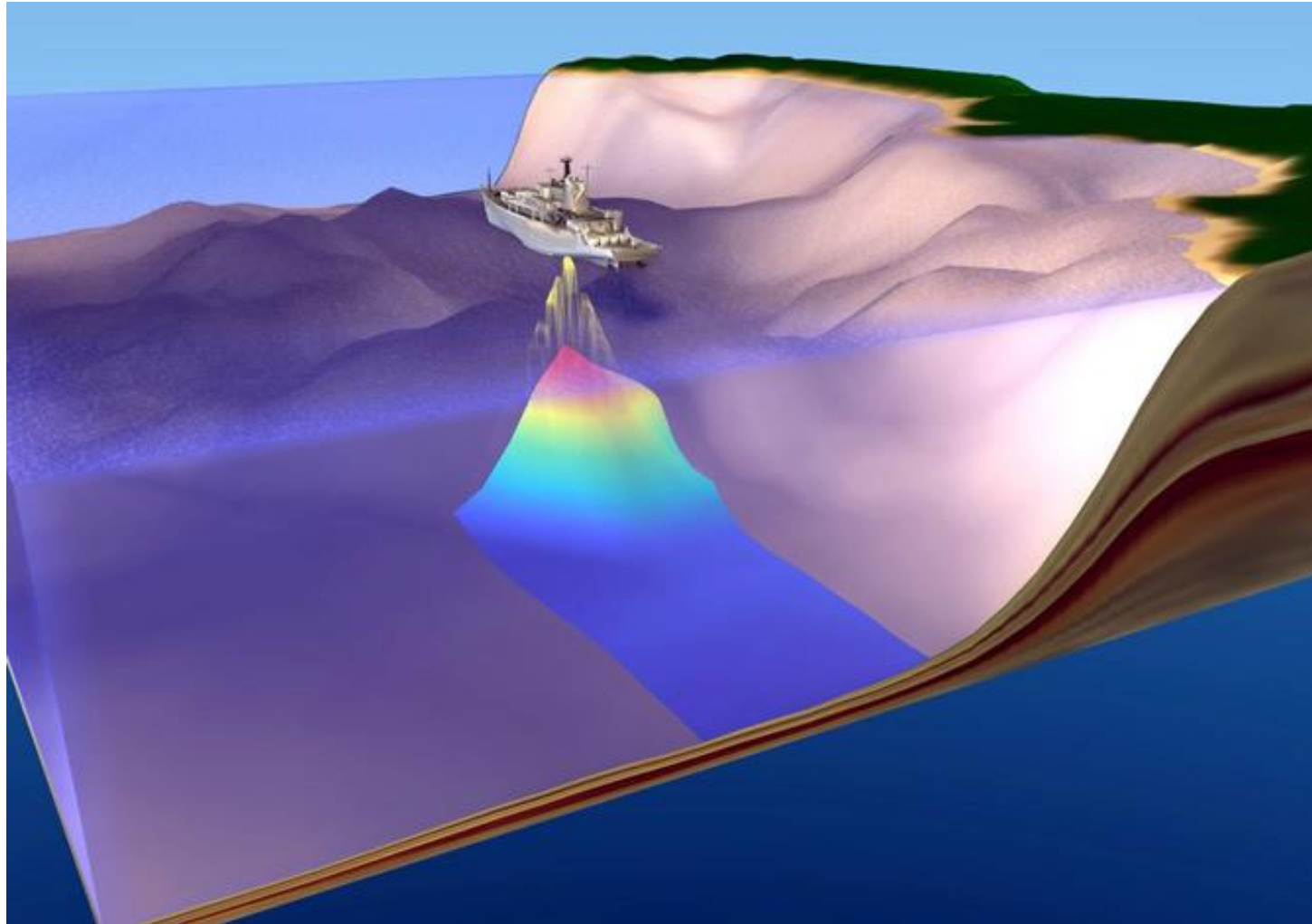
$$C = 1449,22 \text{ m/s}$$

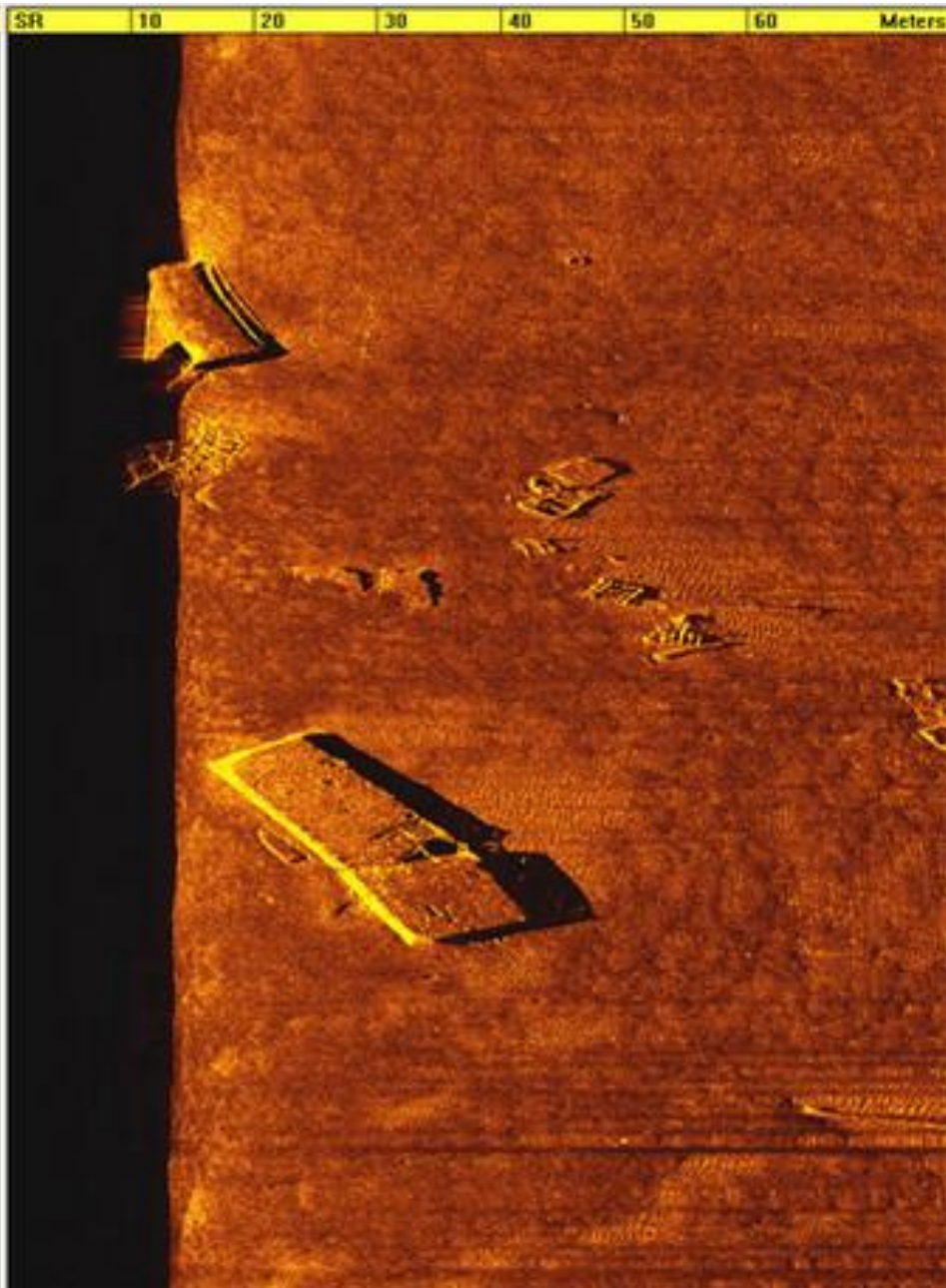
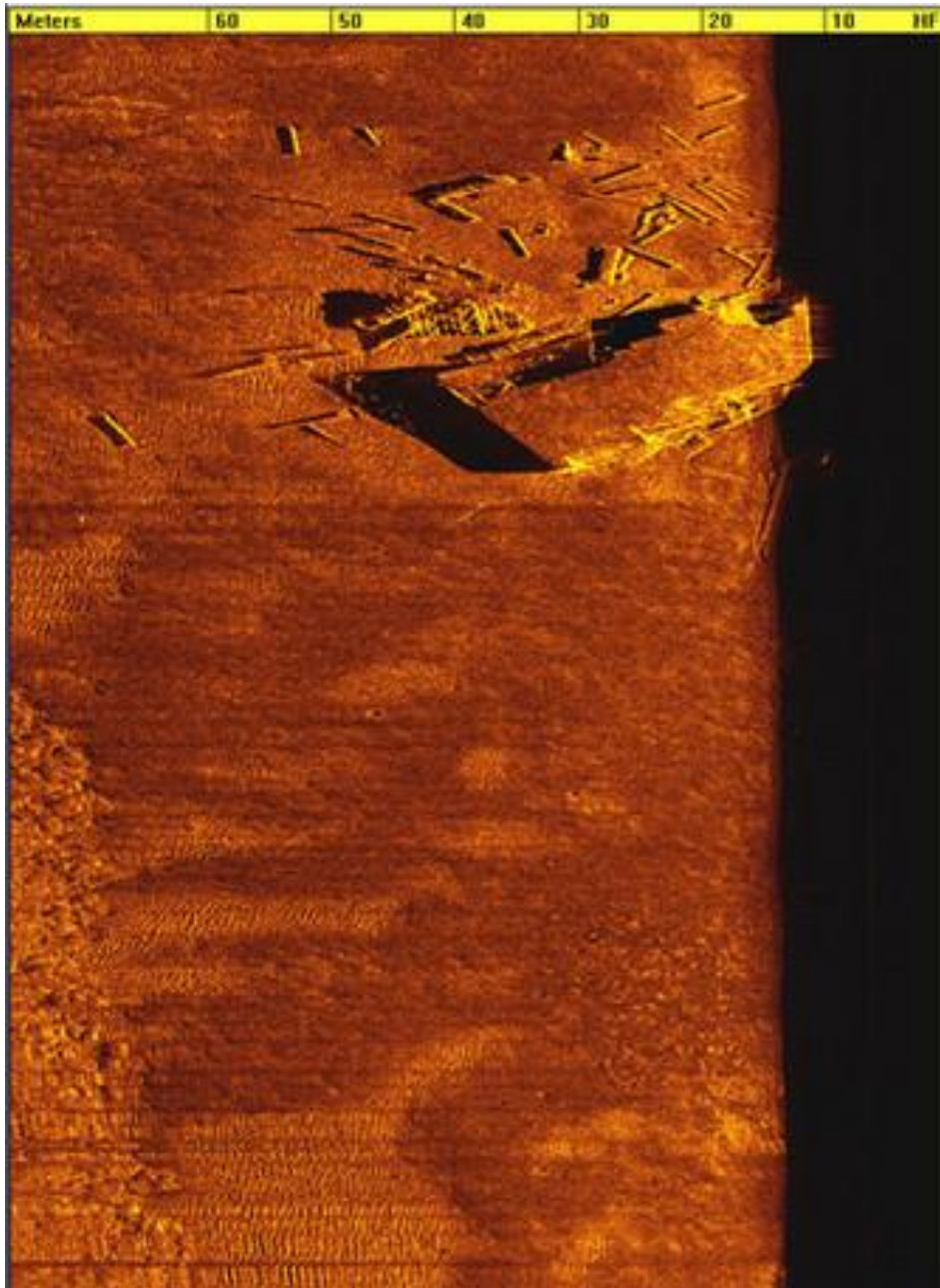


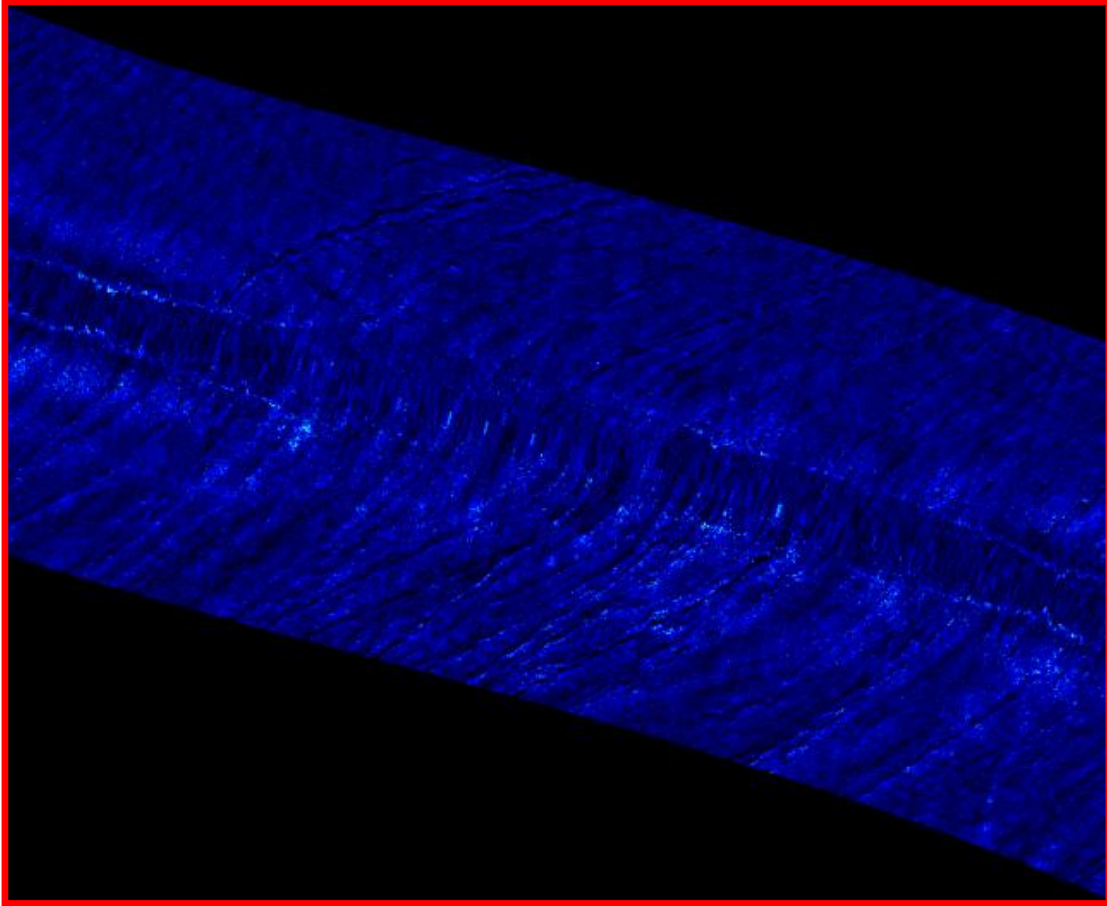
Ο Ηχοβολιστής Πλευρικής Σάρωσης (ΗΠΣ) - Side Scan Sonar CMAX-CM2



Ο Ηχοβολιστής Πλευρικής Σάρωσης (ΗΠΣ) - Side Scan Sonar CMAX-CM2



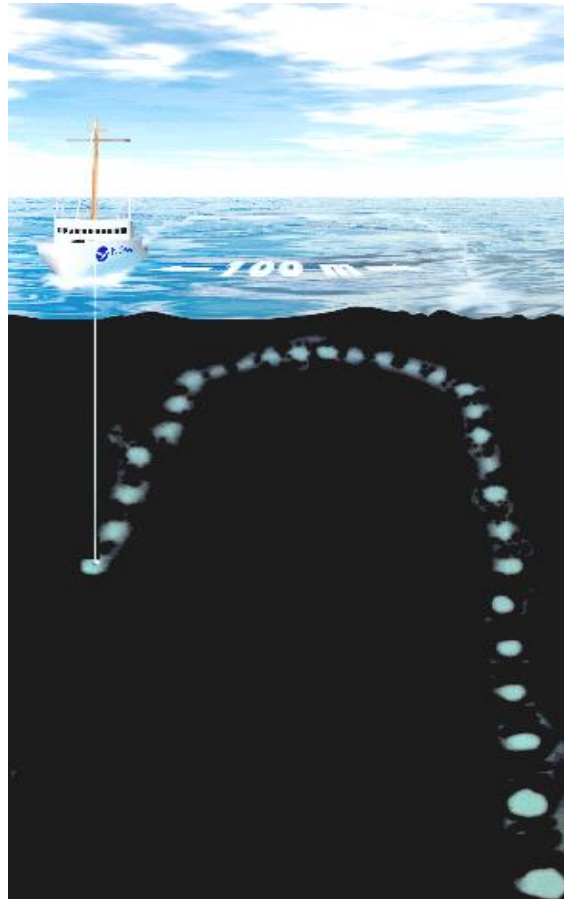




Καταγραφή από side scan sonar (αριστερά) από μεσόκοκκη άμμο και δείγμα ιζήματος από την περιοχή έτοιμο για κοκκομετρική ανάλυση (δεξιά)

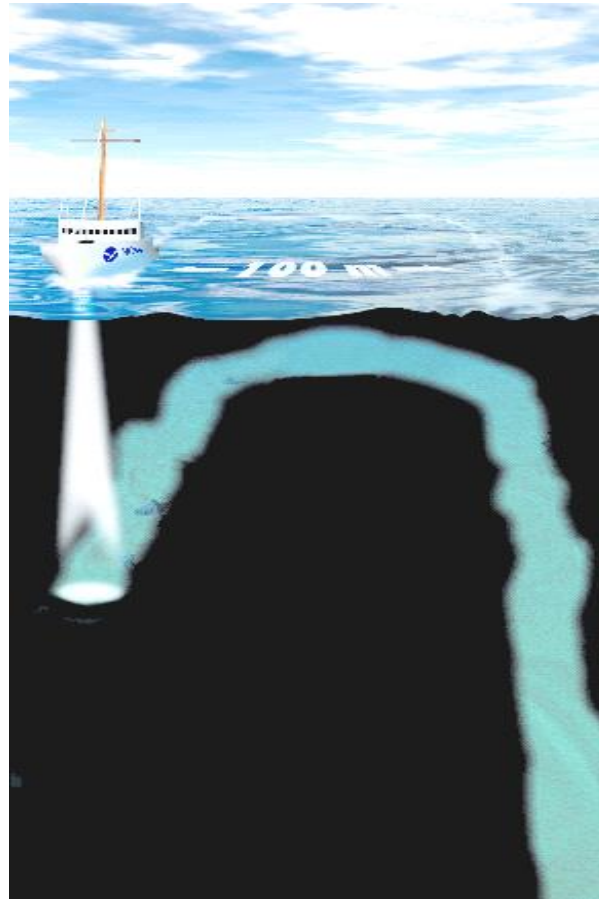
Bottom Coverage & Data Density by Survey Method

Leadline



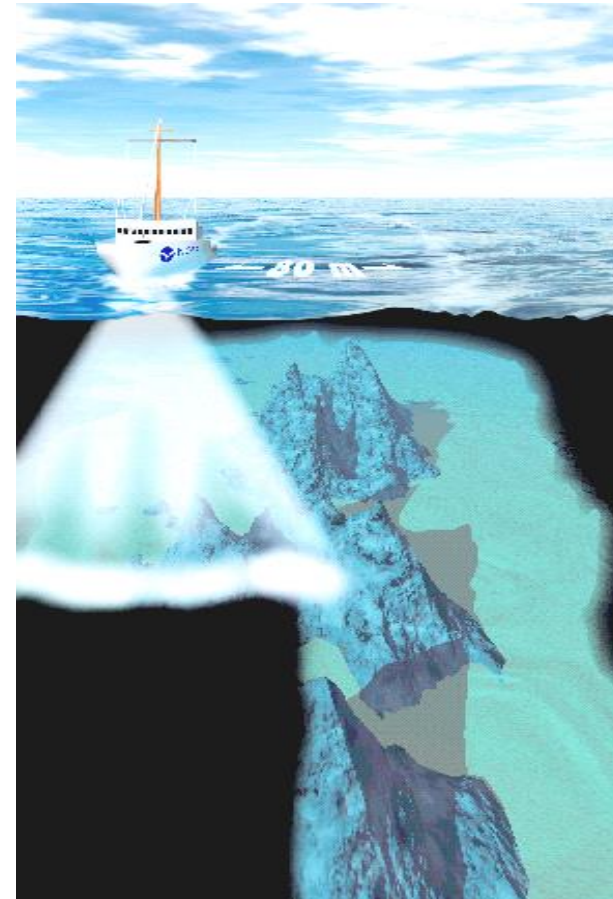
**1-2 K
soundings
per survey**

Single Beam



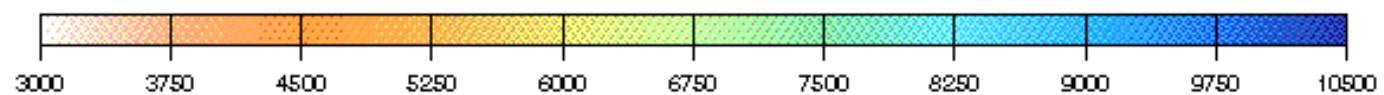
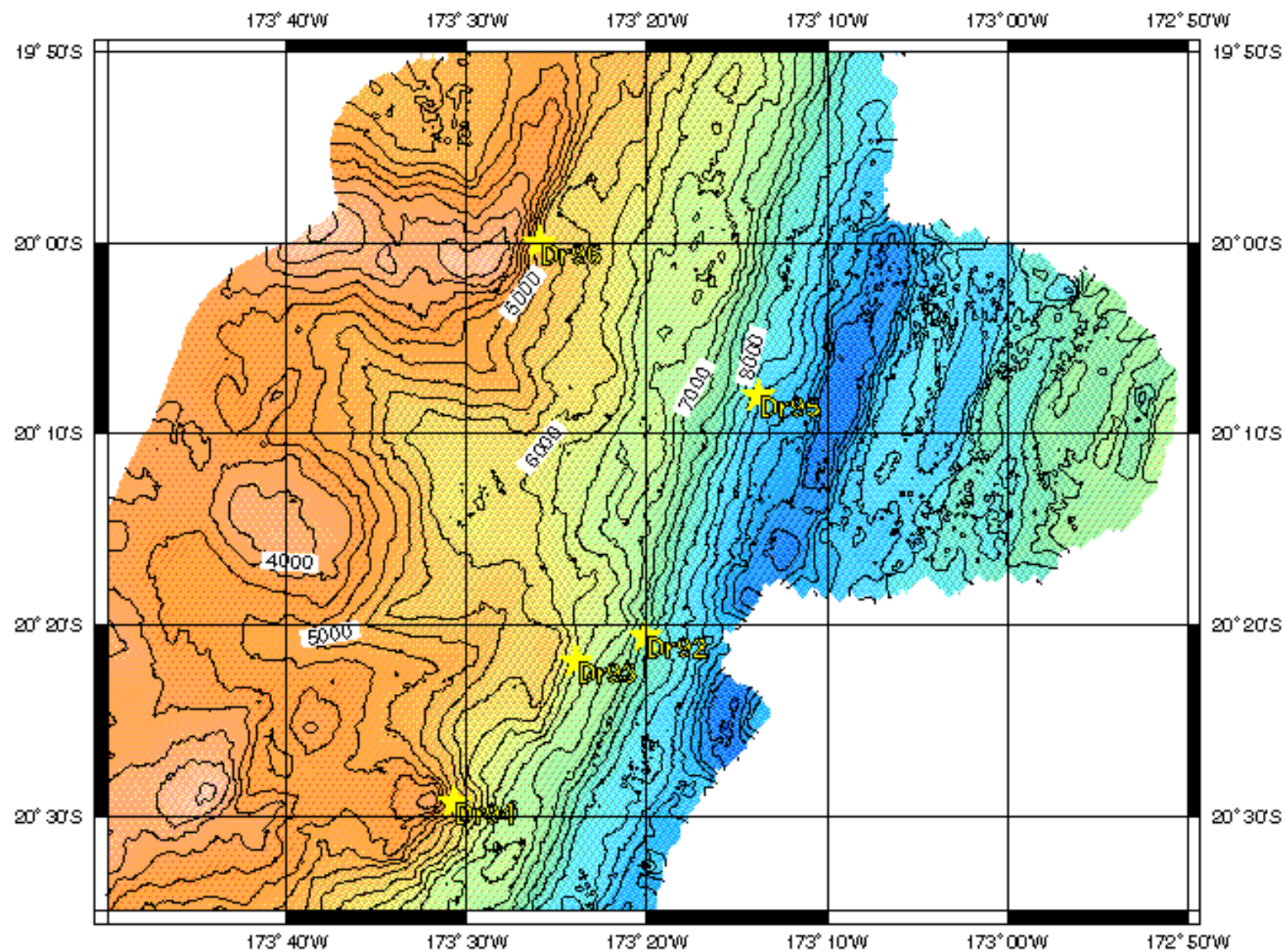
**500 - 750 K
soundings
per survey**

Multibeam

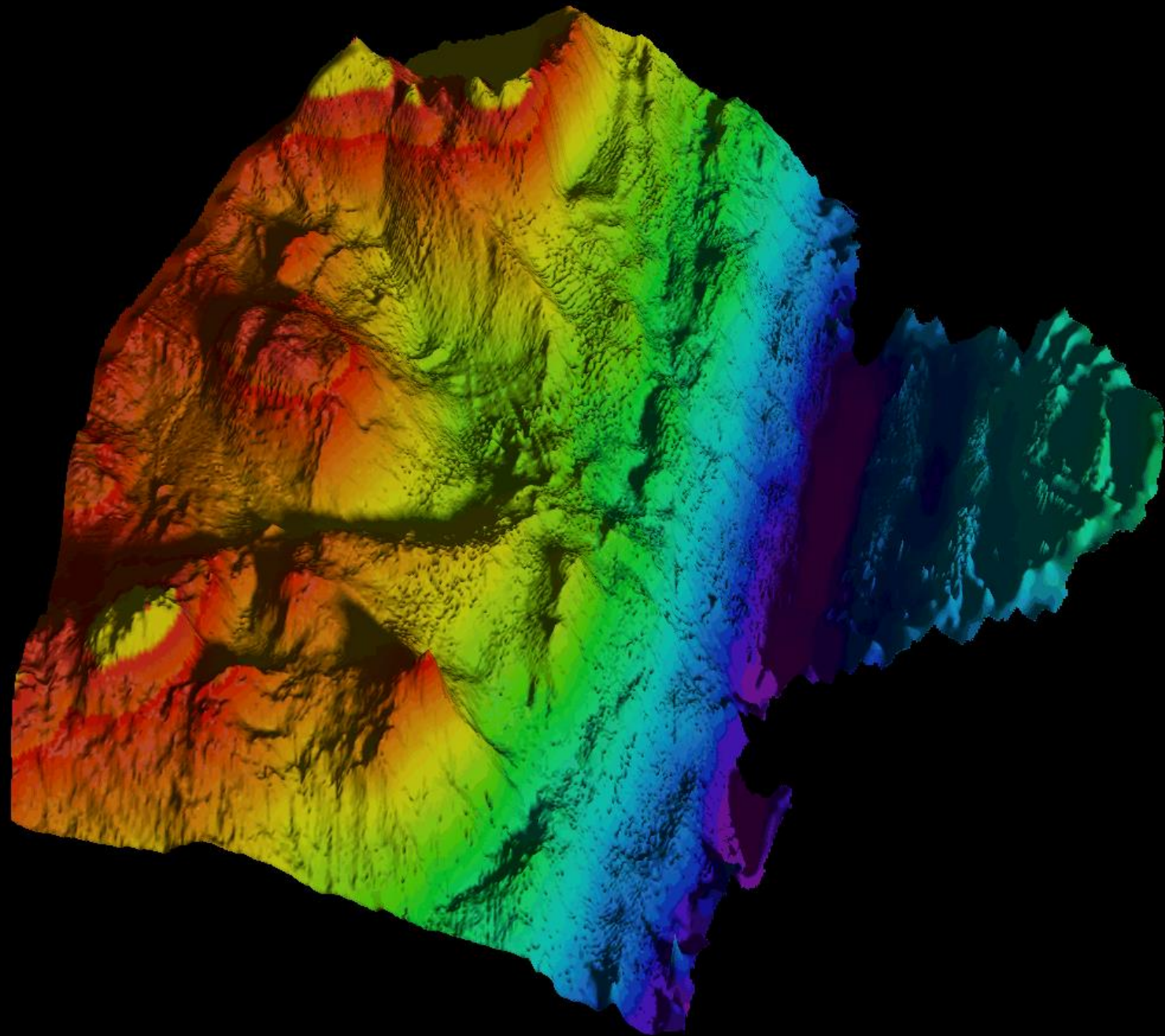


**400,000 – 1,000,000 K
soundings
per survey**

Survey at 20-20S - 250 m Contours - 200 m Bathymetry Grid



Depth (m)



Acoustic Current Doppler Profiler (ADCP)

Αρχή λειτουργίας: Η συνισταμένη ταχύτητα ενός ακουστικού σήματος είναι το διανυσματικό άθροισμα της ταχύτητας του νερού και της ταχύτητας του ήχου. Εκπομπή σήματος υψηλής συχνότητας (75 – 1200 kHz) \Rightarrow ανάκλαση σήματος σε κινούμενα σωματίδια διαφόρων βαθών \Rightarrow μεταβολή συχνότητας σήματος λόγω φαινομένου Doppler \Rightarrow υπολογισμός ταχύτητας νερού

$$V_K = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta f_k}{f} \right) c}{\cos \theta_k}$$

Όπου k : βάθος k

C : ταχύτητα ήχου (m/s)

Δf : μεταβολή συχνότητας ήχου (Hz)

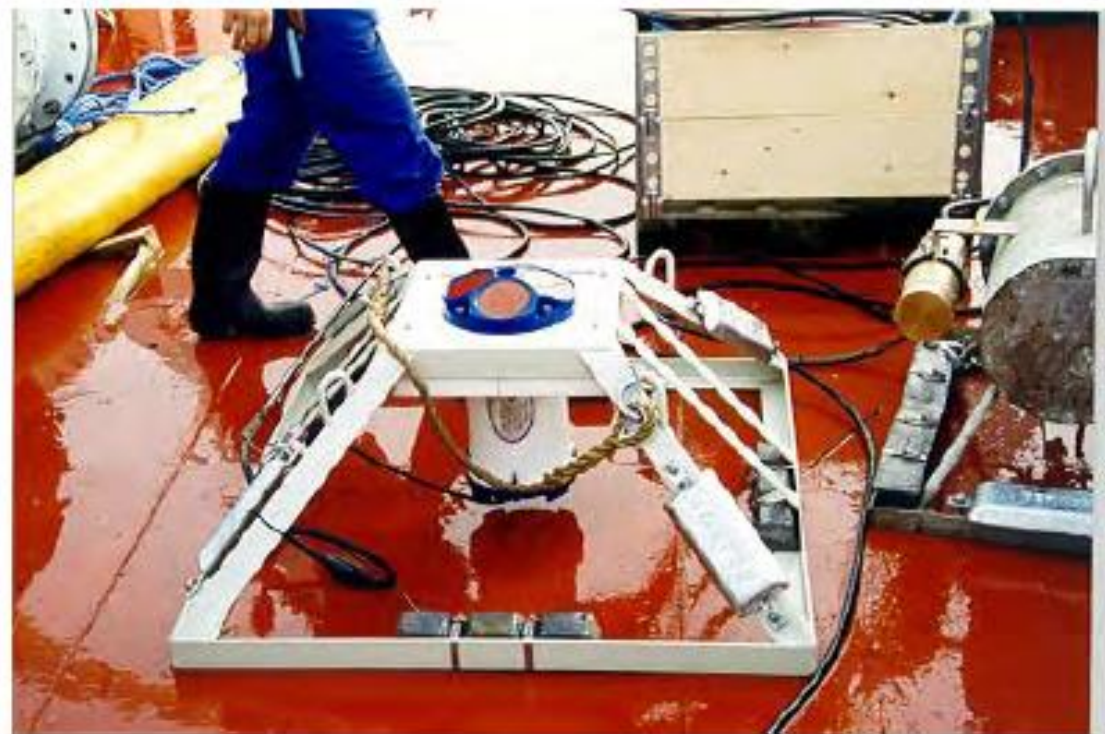
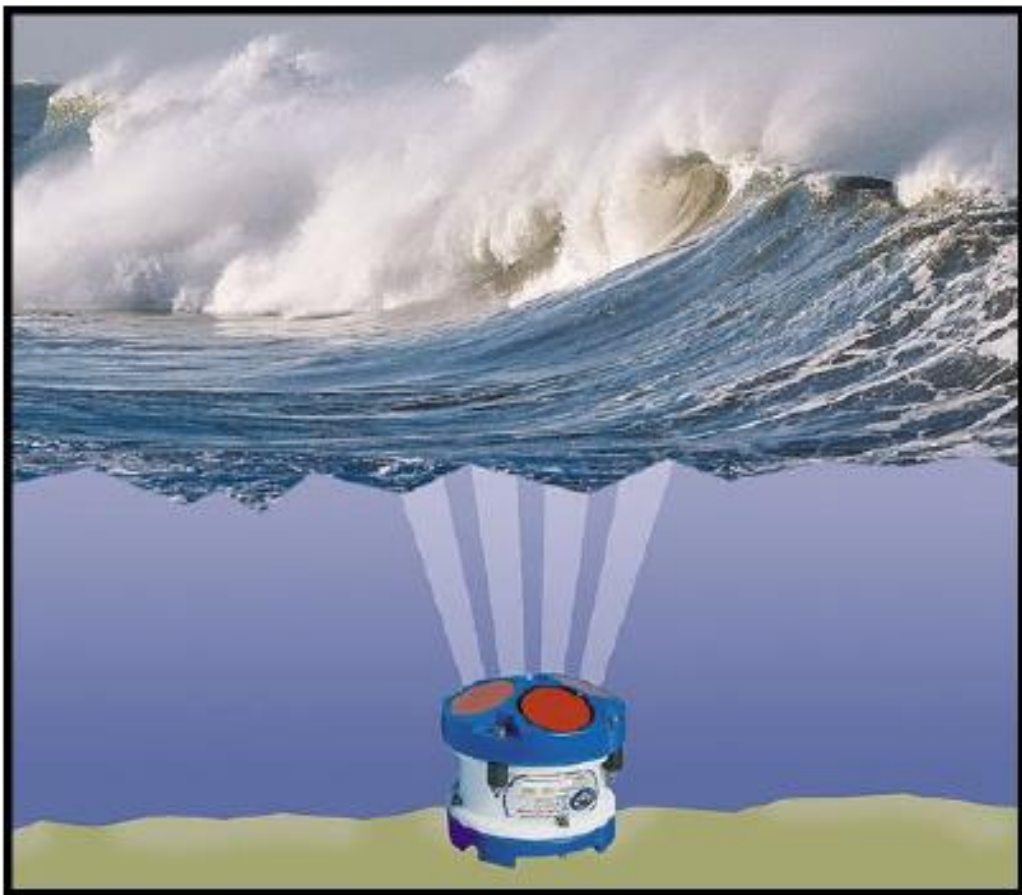
f : συχνότητα ήχου (Hz)

V_k : σχετική ταχύτητα (m/sec)

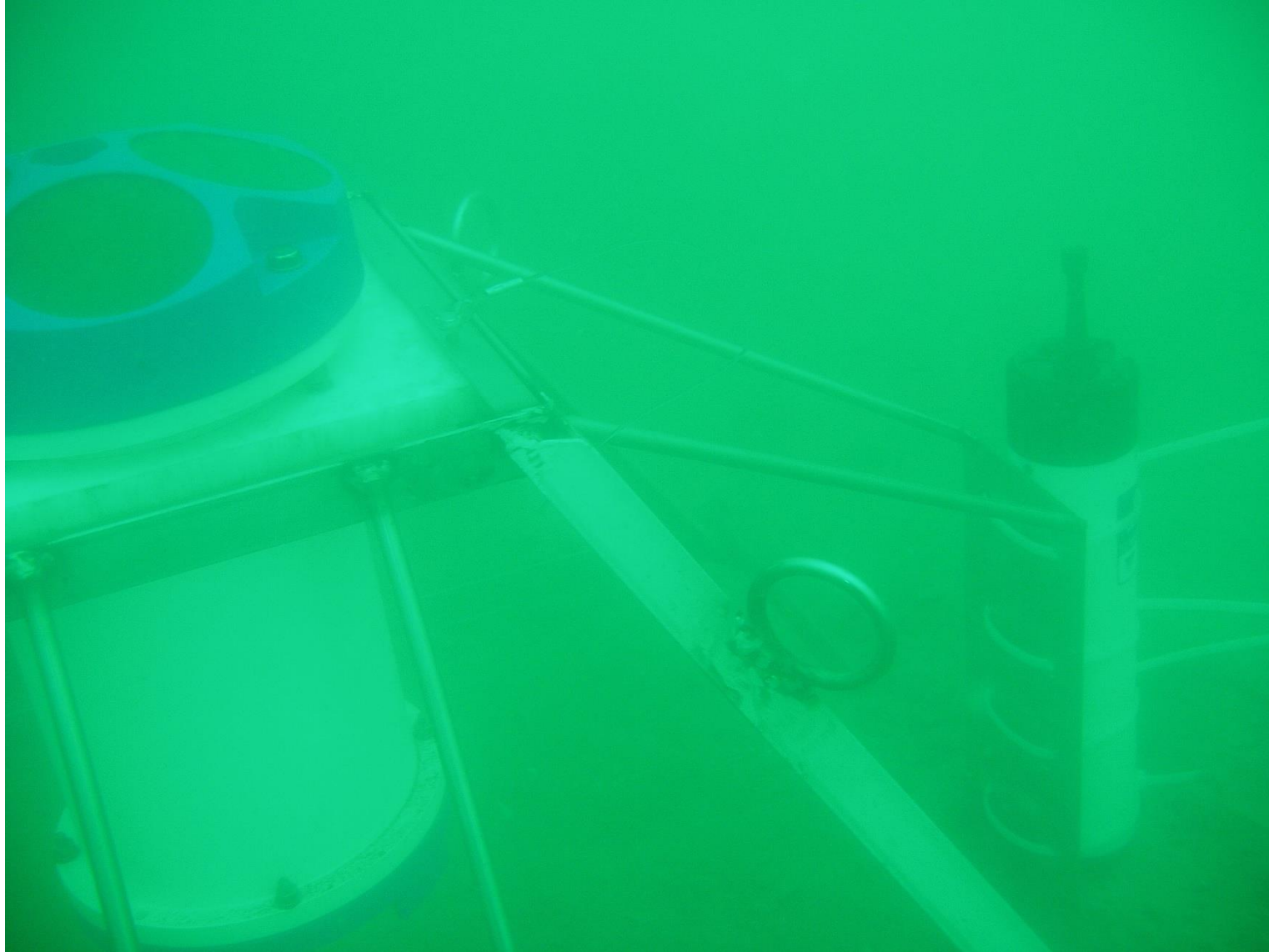
θ_k : γωνία μεταξύ ανύσματος ταχύτητας και ανύσματος ταχύτητας ήχου



Acoustic Current Doppler Profiler (ADCP)



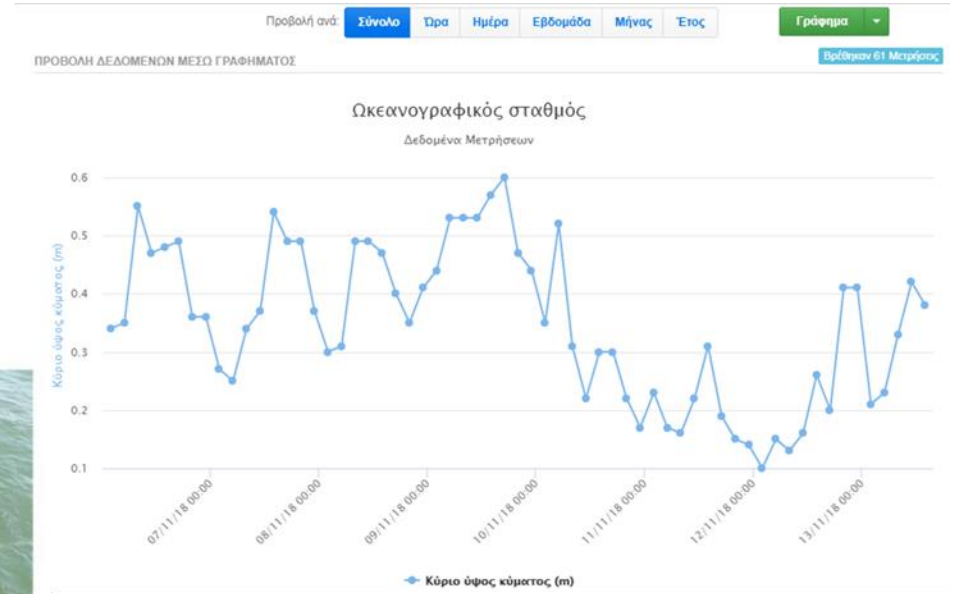
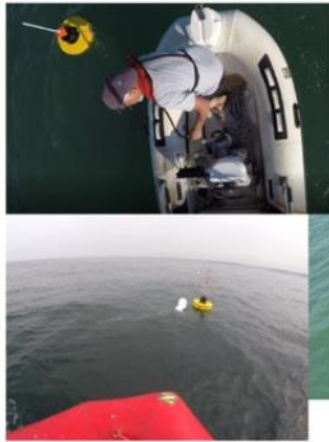
Πόντιση ADCP και θεολερόμετρου στο βυθό στις εκβολές π. Νέστου

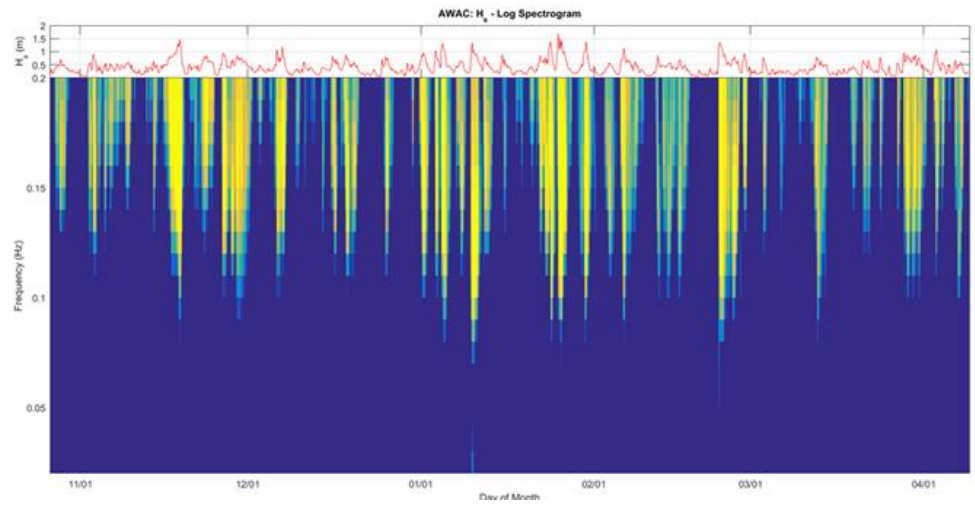
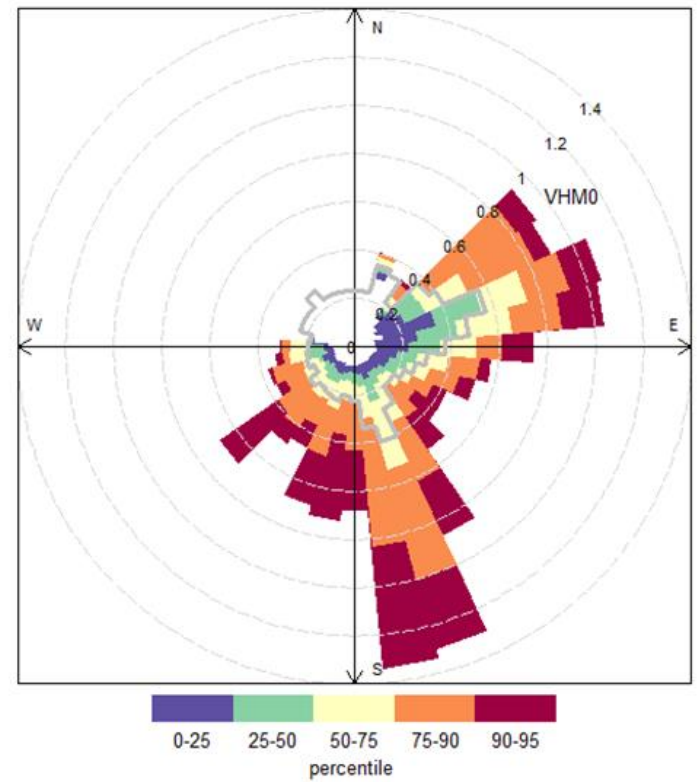
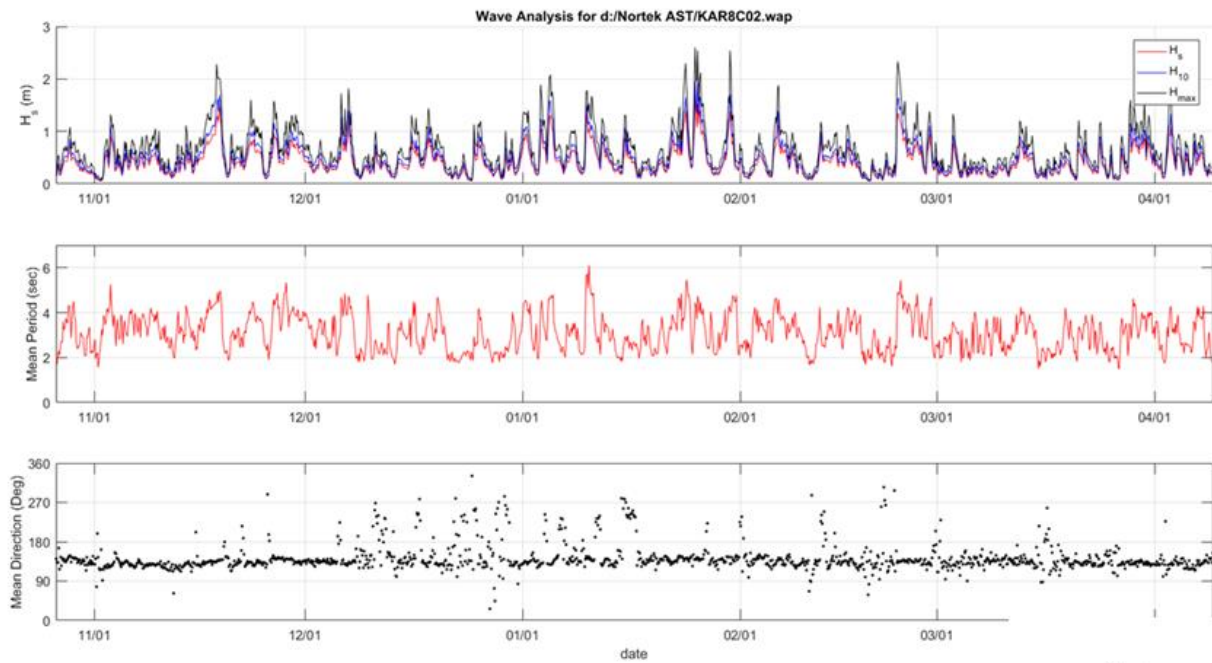




The Wave Droid Deployment Experience

- Low cost
- High mobility
- Easy deployment
- Acajutla, El Salvador, 2016, Client: Energia del Pacifico, USA
- Burgas, Bulgaria, Client: Chevron
- The White Lagoon, Bulgaria, Client: TU-Delft, The Netherlands





ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 'TRITON'



Σύστημα ADCP Sentinel 300 KHz (TRDI)

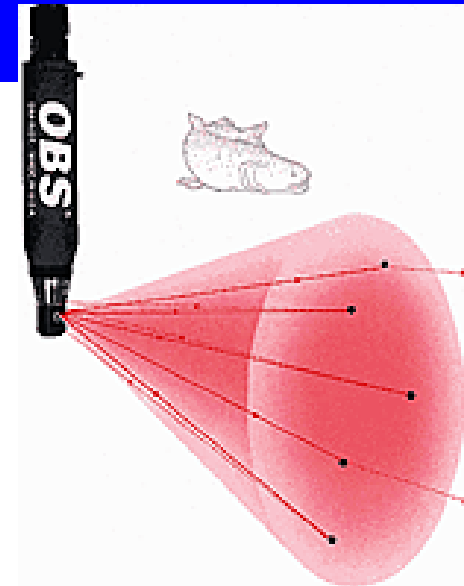
Περιλαμβάνει:

- κατευθυντικό κυματογράφο (Wave Array)
- κατευθυντικό ρευματογράφο σε ολόκληρη την υδάτινη στήλη (directional current-meter)
- παλιρροιογράφο (tide gauge)
- αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας νερού πυθμένα

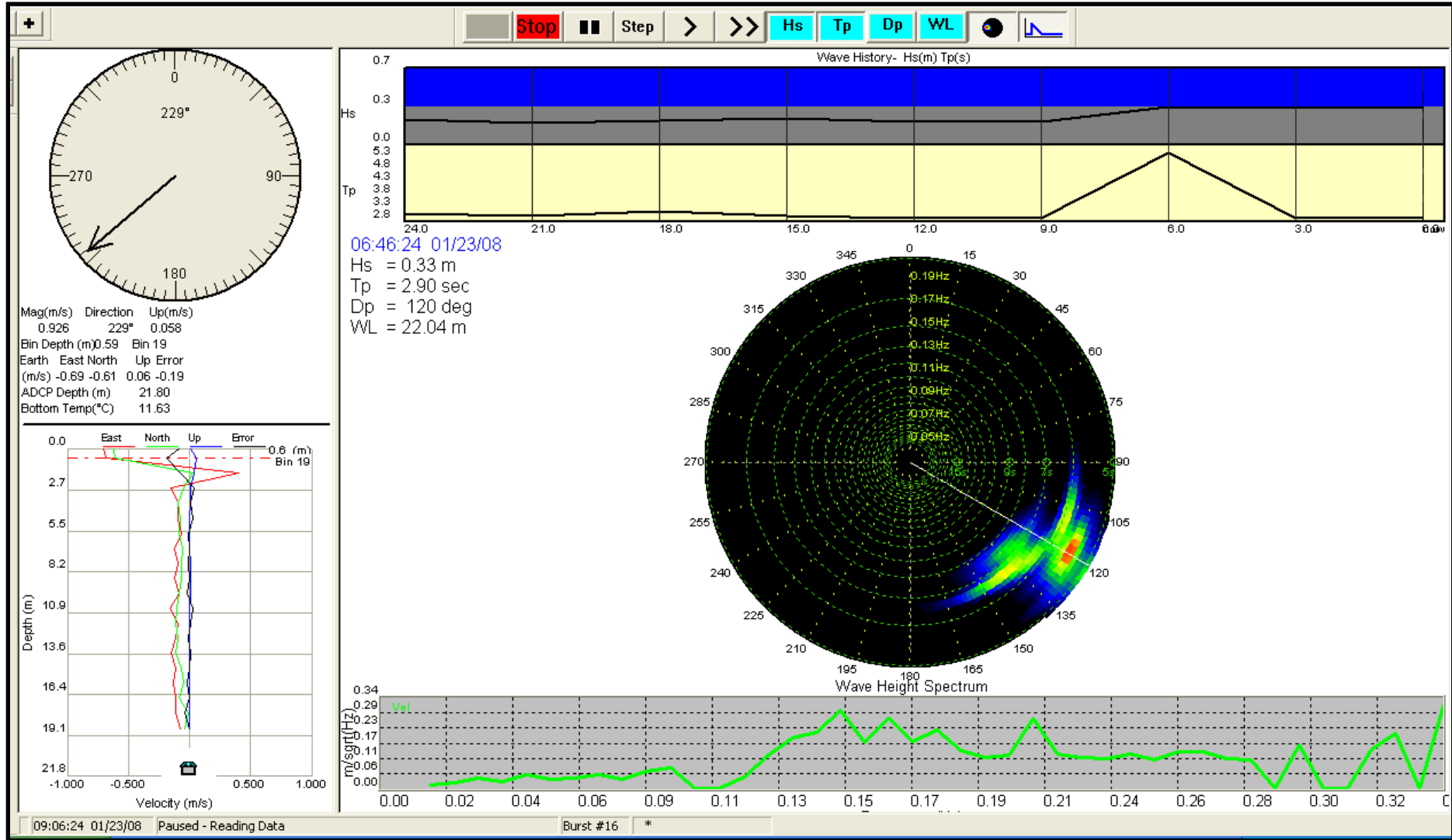
Σύστημα καταγραφής θολερότητας OBS 3A

Περιλαμβάνει:

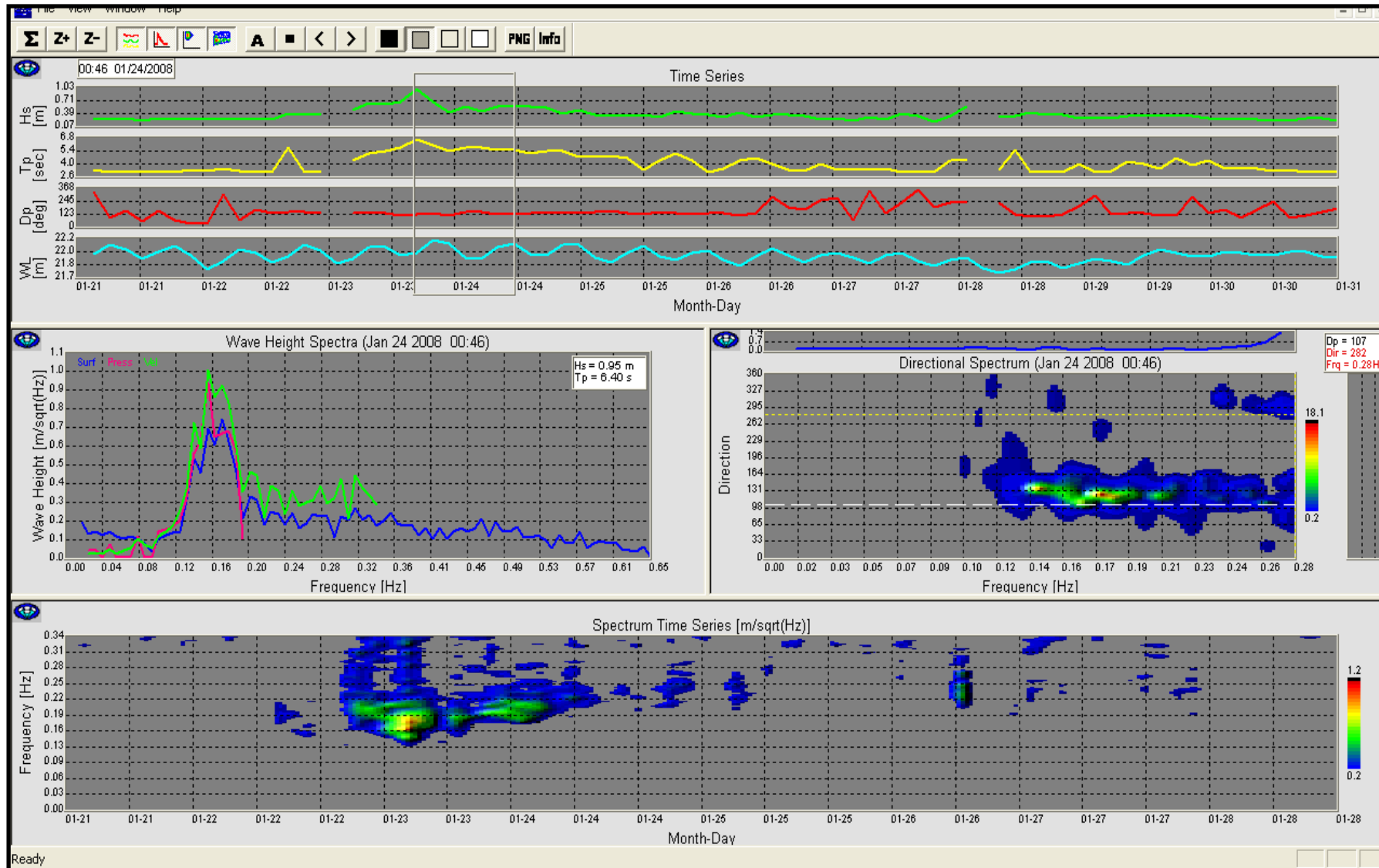
- Αισθητήρα πίεσης
- Αισθητήρα αγωγιμότητας
- Αισθητήρα θερμοκρασίας



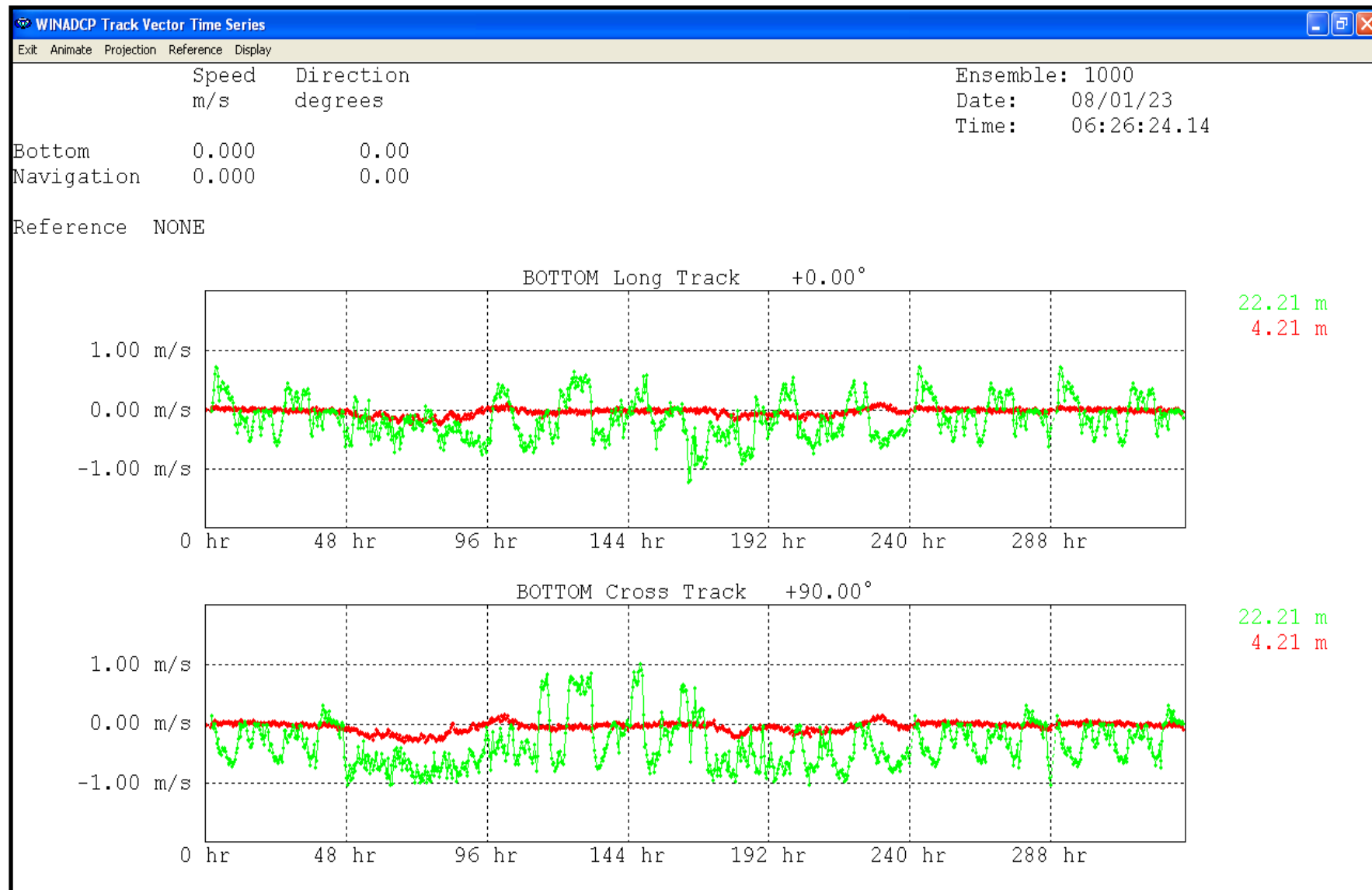
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ



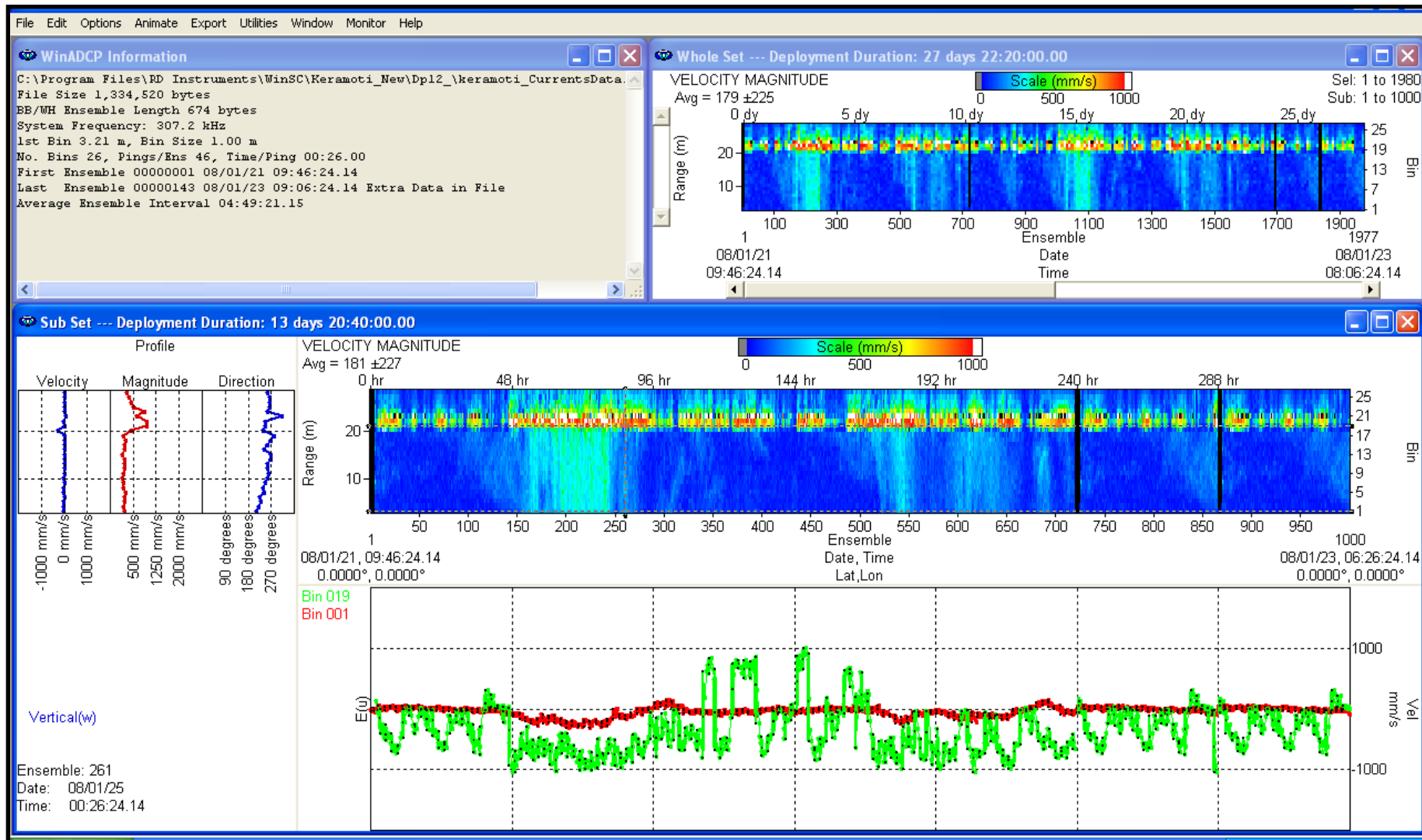
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ



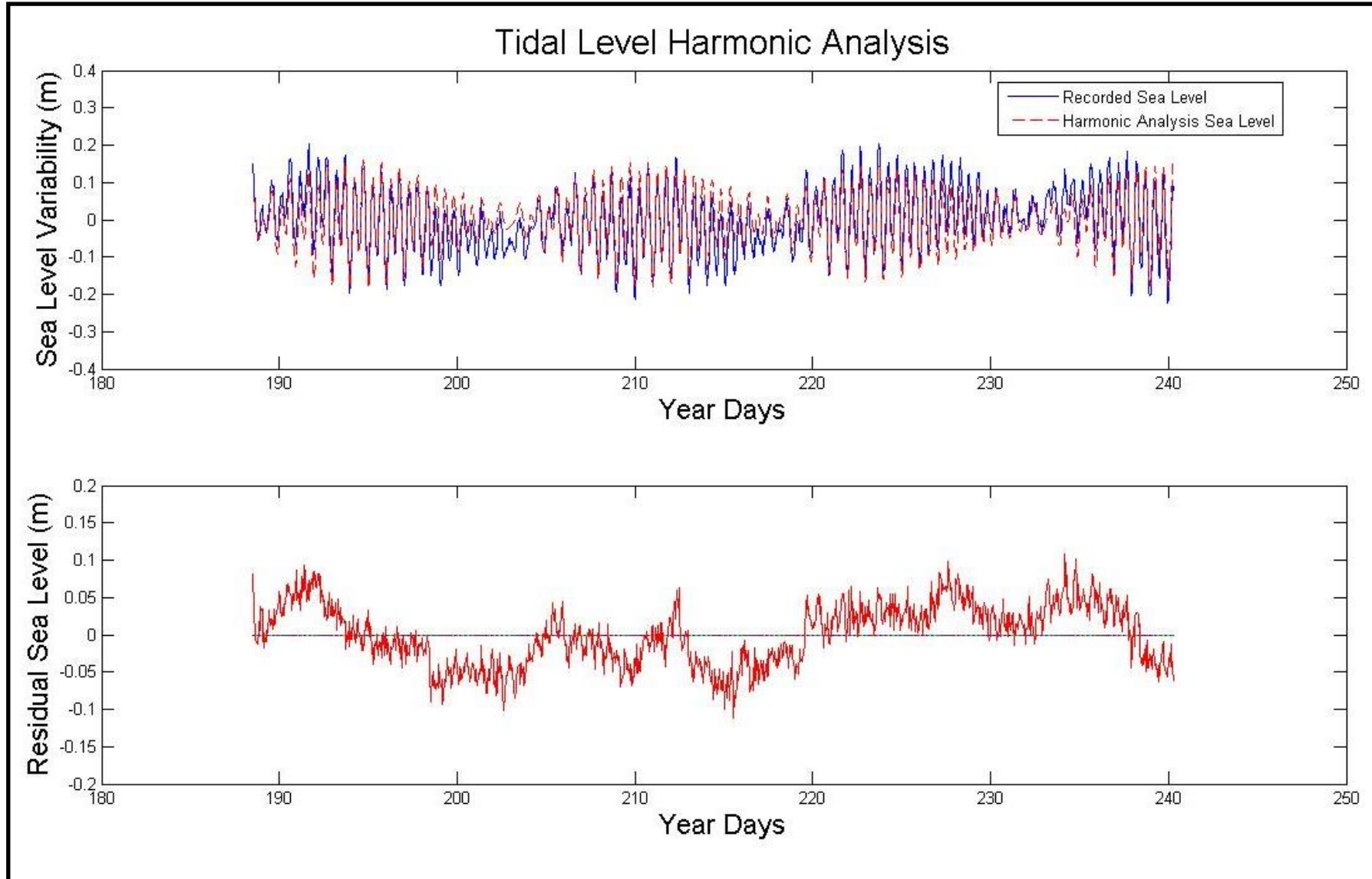
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΣΤΗΛΗΣ



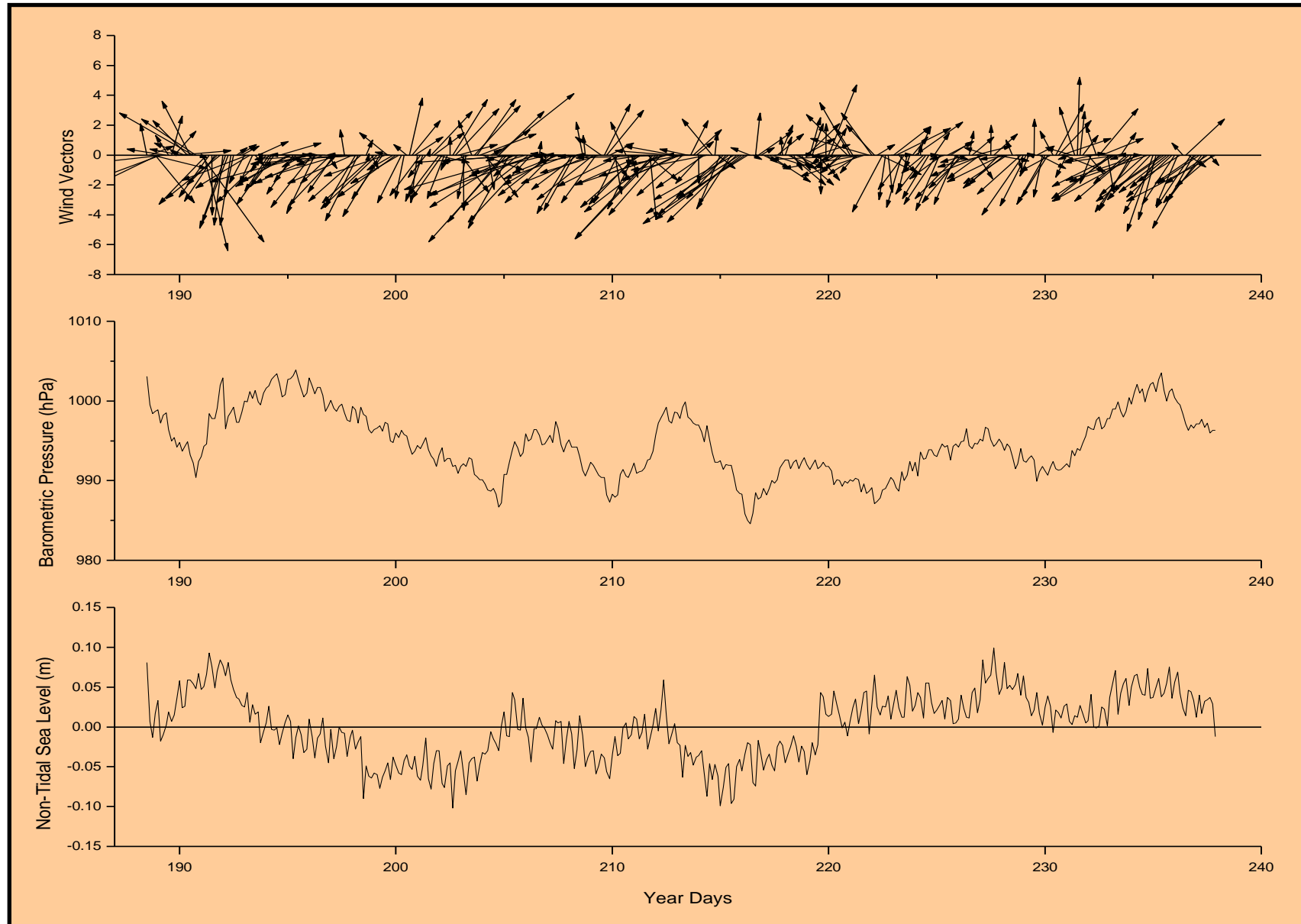
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΣΤΗΛΗΣ



Αρμονική Ανάλυση και Προσδιορισμός Μη-Παλιρροιακής Μεταβολής



ΣΧΕΣΗ ΑΝΕΜΟΥ – ΜΗ-ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ



Συμπεριφορά Φωτός στη θάλασσα

Απορρόφηση ορατού φωτός (0,4 – 0,7 μm) σε πολύ μικρότερες αποστάσεις στο νερό παρά στην ατμόσφαιρα.

Ένταση προσπίπτουσας φωτεινής ακτινοβολίας $I_z = I_0 \exp(-kz)$
όπου I_0 η ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του νερού,
 I_z η ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας σε βάθος z
 k ο συντελεστής κατακόρυφης διάχυσης φωτός (light vertical attenuation coefficient)

Ο συντελεστής k εξαρτάται από την απορροφητική ικανότητα του νερού και το μήκος κύματος του εισερχόμενου φωτός → διαύγεια νερού (βάθος Secchi disc)

$k = 0,02$ (διαυγής ωκεανός – μπλε χρώμα – υψηλή τιμή SD),

$k = 0,2-2$ (τυρβώδης ωκεανός – πράσινο με κίτρινο χρώμα - χαμηλή τιμή SD)

Πίνακας 5. Ενέργεια φωτός που διεισδύει σε δεδομένα βάθη σαν ποσοστό της επιφανειακής ενέργειας.

Βάθος (μ)	Συντελεστής κατακόρυφης διάχυσης, k (m^{-1})			Καθαρά νερά ωκεανού	Τυρβώδη νερά ωκεανού
	0,02	0,2	2		
0	$I_o = 100\%$	100%	100%	100%	100%
1	$I_z = 98$	82	14	45	18
2	96	67	2	39	8
10	82	14	0	22	0
50	37	0	0	5	0
100	14	0	0	0,5	0

Συμπεριφορά Φωτός στη θάλασσα

Η ευφωτική ζώνη (euphotic zone) συνήθως ορίζεται ως η περιοχή του ωκεανού όπου $I_z / I_0 = 0,01$.

Αισθητήρας θολερότητας (turbidity sensor): Λειτουργεί με βάση το ποσοστό της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας που φθάνει σε ένα δέκτη ακτινοβολίας τοποθετημένο σε σταθερή απόσταση από ένα πομπό.

Ο αισθητήρας επιτρέπει τον υπολογισμό του συντελεστή διάχυσης φωτός
Secchi Disk Depth

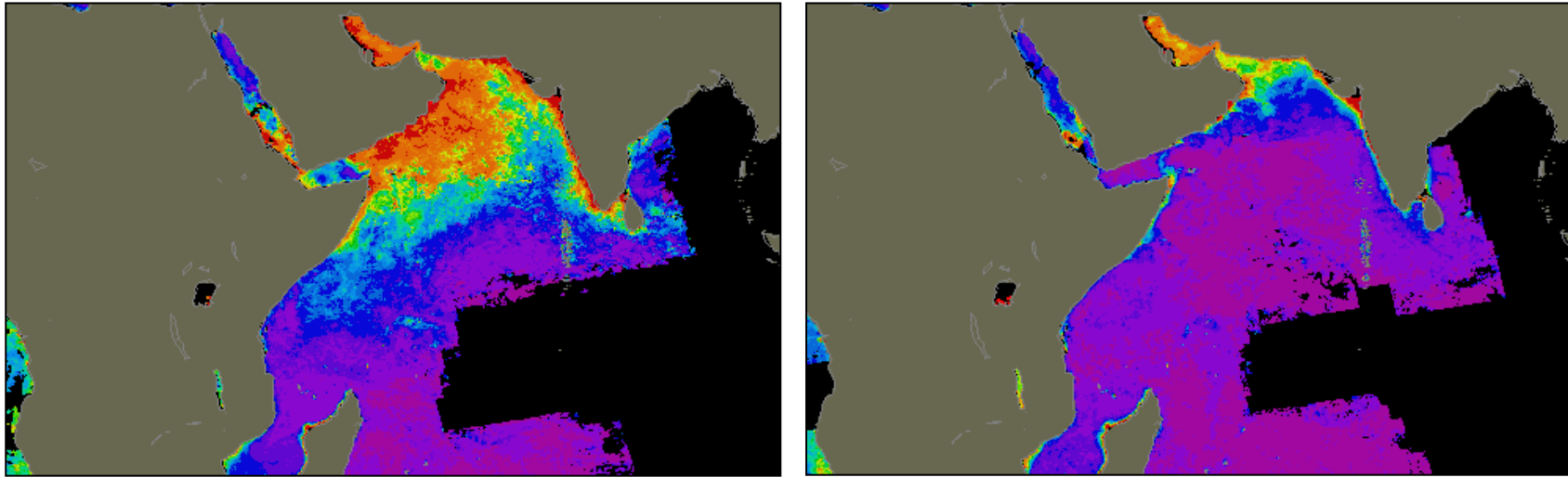
Επιτρέπει τον υπολογισμό του k μέσω της εξίσωσης :
 $k = 1,6 / SD$ (με το SD να κυμαίνεται μεταξύ 0,5 – 50 μ)



Θολερόμετρο (Turbidity meter)

Συμπεριφορά Φωτός στη θάλασσα

- Δορυφορική ωκεανογραφία → χλωροφύλλη και αιωρούμενα στερεά (SPM) απορροφούν και ανακλούν το φως σε διαφορετικά μήκη κύματος
- Μέτρηση ωκεάνιου χρώματος με αισθητήρες ορατού και υπέρυθρου φάσματος (visible and NIR sensors) → προσδιορισμός επιφανειακών συγκεντρώσεων χλωροφύλλης και αιωρούμενων στερεών.
- CZCS (Coastal Zone Color Scanner) → λειτουργεί με τέσσερα κανάλια (περιοχές φάσματος φωτός) ορατού και 1 υπέρυθρου φάσματος → καταγράφει την ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από διάφορες περιοχές του ωκεανού στα διάφορα κανάλια φάσματος.
- Συσχέτιση μεταξύ SPM και της υψηλής τιμής της έντασης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας στο φάσμα του 'κίτρινου' χρώματος.
- Συσχέτιση μεταξύ χλωροφύλλης και της υψηλής τιμής της έντασης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας στο φάσμα του 'πράσινου' χρώματος.



Προσδιορισμός επιφανειακής χλωροφύλλης-α με αισθητήρα CZCS

