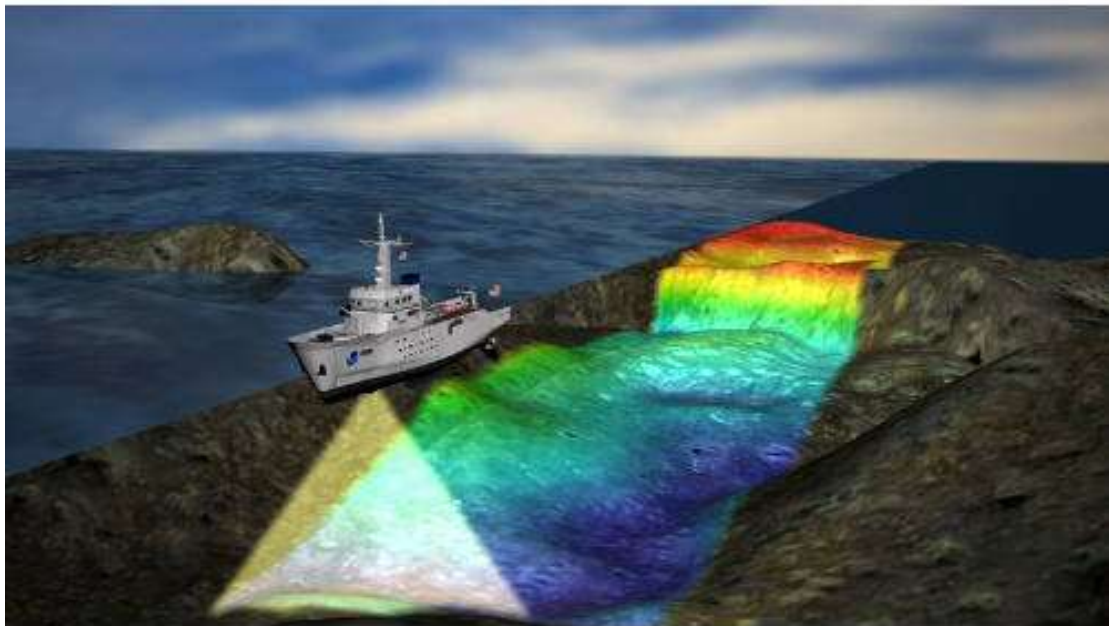




Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Μηχανικών
Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής

Διπλωματική Εργασία

«Υδρογραφική αποτύπωση του λιμένος Κατάκολου ν. Ηλείας με χρήση πολυδεσμικού ηχοβολιστικού και τεχνικών επεξεργασίας νεφών δεδομένων»



Αιγάλεω , Φεβρουάριος 2023

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Υδρογραφική αποτύπωση του λιμένος Κατάκολου του
ν. Ηλείας με χρήση πολυδεσμικού ηχοβολιστικού και
τεχνικών επεξεργασίας νεφών δεδομένων»

Κιούση Δήμητρα

A.M.: tg17019

Επιβλέπων: Εμμανουήλ Οικονόμου

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΑΝΔΡΙΤΣΑΝΟΣ.	ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ	ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΠΑΓΟΥΝΗΣ
---------------------------	------------------------	--------------------

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Κιούση Δήμητρα του Αναστασίου, με αριθμό μητρώου tg17019 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η δηλούσα

Δήμητρα Κιούση

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας το ταξίδι, με το πέρας της διπλωματικής μου εργασίας, στην Τριτοβάθμια εκπαίδευση, θα ήθελα να εκφράσω την βαθύτατη και ειλικρινή εκτίμηση και ευχαριστία μου στον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Εμμανουήλ Οικονόμου, αναπληρωτή καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής του ΠΑ.Δ.Α, για τη διατύπωση και ανάθεση ενός τόσο απαιτητικού, πρωτότυπου, πολύπλευρου και ενδιαφέροντος θέματος, καθώς και για την αφιέρωση του προσωπικού του χρόνου κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας, προκειμένου να επιλύσει απορίες και να με διαφωτίσει με τις γνώσεις του επί του αντικειμένου.

Επιπλέον ευχαριστώ πολύ τον κ. Παναγιώτη Σαρταμπάκο, ιδιοκτήτη της Τεχνικής & Συμβουλευτικής εταιρείας ‘*NIREAS Engineering*’, για τη συμβολή του στην υλοποίηση των μετρήσεων στο πεδίο, αξιοποιώντας τον εξοπλισμό του, καθώς και για τις πολύτιμες γνώσεις του στην Υδρογραφία.

Στην συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Ωκεανογραφίας και Φυσικής Γεωγραφίας του Ε.Κ.Π.Α, κύριο Σεραφείμ Πούλο, για την εξίσου πολύτιμή του βοήθεια στην εύρεση και υπολογισμό δεδομένων, απαραίτητων για την διεκπεραίωση της εργασίας μου.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να τους ευχαριστήσω για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν, την καθοδήγηση, αλλά και την συνεχή βοήθεια τους τόσο στις εργασίες πεδίου, όσο και σε όλη τη σύνταξη της εργασίας μα και στην επίλυση αποριών καθ’ όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Ιωάννη Κουρλιάφτη, για την παραχώρηση του ταχύπλοου σκάφους του, για την διεξαγωγή των μετρήσεων και τον χρόνο του σαν καπετάνιος αυτού καθόλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας στο πεδίο.

Φυσικά, δεν θα μπορούσα να παραλείψω την απεριόριστη αγάπη και στήριξη της οικογένειας μου, που απλόχερα προθυμοποιήθηκαν να πραγματοποιήσουν ό,τι ήταν απαραίτητο για να ολοκληρώσω τις σπουδές μου, ανεχόμενοι επίσης όλους τους προβληματισμούς και τα άγχη μου, με μεγάλη υπομονή και κατανόηση.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, που ήταν πάντα παρόντες, επίσης πρόθυμοι να ακροαστούν τις ανησυχίες μου και να βρούμε μαζί λύση στο εκάστοτε πρόβλημα.

Περίληψη

“Hydrography is the science that measures and describes the physical features of bodies of water and the land areas adjacent to those bodies of water” (NOAA,02/26/2021)

Οι υδρογραφικές αποτυπώσεις και η χαρτογράφηση του θαλάσσιου πυθμένα, ιδίως σε παράκτιες περιοχές, αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικούς κλάδους που συμβάλλουν στην εξασφάλιση της ασφαλούς ναυσιπλοΐας και την προστασία του περιβάλλοντος, ενώ συνεισφέρουν παράλληλα και σε θαλάσσιες δραστηριότητες, όπως η οικονομική ανάπτυξη -λιμενικά έργα-, η εύρεση υδρογονανθράκων, οι ποντίσεις καλωδίων, η διαχείριση της παράκτιας ζώνης, καθώς και η θαλάσσια έρευνα, άμυνα και ασφάλεια.

Η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο Κυπαρισσιακός Κόλπος Δυτικής Πελοποννήσου (ν. Ηλείας) και πιο συγκεκριμένα ο λιμένας Κατάκολου, όπου και πραγματοποιήθηκε αποτύπωση ακριβείας και αναπαραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου θαλάσσιου πυθμένα, με την χρήση πολυδευσμικού ηχοβολιστικού (multibeam sonar) και η εφαρμογή εξειδικευμένου λογισμικού υδρογραφίας, για την επεξεργασία νεφών δεδομένων και διορθώσεων.

Λέξεις κλειδιά: Υδρογραφία, βαθυμετρία, πολυδευσμικό ηχοβολιστικό (multibeam), Rockmarks, Κατάκολο

Abstract

“Hydrography is the science that measures and describes the physical features of bodies of water and the land areas adjacent to those bodies of water” (NOAA,02/26/21)

Hydrographic survey and seabed mapping, especially in coastal areas, are Hydrographic sectors of great importance. They contribute in the reassurance of the navigation safety and the environmental protection, while playing a primary role in marine activities, such as economic development – marine construction -, hydrocarbon detection, cable impregnations and marine research, defense and safety.

The study area of the diploma thesis is the Kyparissiakos Gulf of West Peloponnesus (Ileia Prefecture) and more specifically the port of Katakolo, where a precise surveying and the recreation of a 3D model was made, with the use of a multibeam sonar and the application of specialized hydrographic software, in order to process and correct point cloud data.

Keywords: Hydrography, bathymetry, Multibeam echosounder, Pockmarks, Katakolo

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	6
Περίληψη	7
Abstract.....	8
Κατάλογος Εικόνων	11
Κατάλογος Πινάκων	14
Κατάλογος Εξισώσεων	14
Συντομογραφίες.....	15
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	16
1.1 Γενική ανασκόπηση	16
1.2 Στόχος της εργασίας	20
1.3 Διάρθρωση της εργασίας	25
Κεφάλαιο 2: Περιοχή μελέτης – Ιστορική αναδρομή.....	27
2.1. Πληροφορίες και ιστορική αναδρομή της περιοχής	27
Κεφάλαιο 3: Ηχοβολιστική μέθοδος εκτίμησης βαθών, υπολογισμός παλίρροιας και προδιαγραφές βυθομετρικής αποτύπωσης.....	31
3.1 Εισαγωγή	31
3.2 Αρχή λειτουργίας ηχοβολιστικών	31
3.3 Κατηγορίες ηχοβολιστικών συσκευών	33
3.4 Προσδιορισμός παλίρροιας με την χρήση RTK	39
3.5 Διεθνείς και εθνικές τεχνικές προδιαγραφές	43
Κεφάλαιο 4: Φυσικοχημικές και χημικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού	48
4.1 Εισαγωγή	48
4.2 Ιδιότητες και παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο νερό	48
4.3 Ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο θαλασσινό νερό	50
Κεφάλαιο 5: Όργανα και Μέθοδοι Μετρήσεων.....	53
5.1 Εισαγωγή	53
5.2 Όργανα Μετρήσεων	53
5.2.1. Ηχοβολιστικό πολλαπλής δέσμης	53
5.2.2 Δέκτης D-GPS	56
5.2.3 IMU motion sensor (αισθητήρας κίνησης)	59
5.2.4 Μετασχηματιστής (inverter)	60
5.2.5 Καλώδιο γείωσης	60
5.2.6 Φορητός Η/Υ	60

5.2.7 Ταχύπλοο σκάφος & Τρέιλερ	61
	62
5.2.8 Θερμοσαλινόμετρο	62
5.2.9 Μπαταρία	63
5.2.10 Σκαντάγιο Βυθομέτρησης	63
5.3 Μέθοδοι μετρήσεων	64
Κεφάλαιο 6: Διαδικασία Συλλογής Δεδομένων.....	65
6.1 Εισαγωγή	65
6.2 Συλλογή Δεδομένων	65
Κεφάλαιο 7: Ανάλυση Δεδομένων	71
7.1 Εισαγωγή	71
7.2 Υπολογισμός Ταχυτήτων Διάδοσης του Ήχου στο Θαλασσινό Νερό	71
7.3 Ανάλυση και Επεξεργασία Δεδομένων σε κατάλληλο λογισμικό	74
7.4 Αποτελέσματα	103
Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα – Προτάσεις	104
8.1 Συμπεράσματα	104
Κεφάλαιο 9: Παράρτημα.....	106
Κεφάλαιο 10: Βιβλιογραφία.....	108
Βιβλιογραφία	108

Κατάλογος Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1.1: ΕΠΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΒΥΘΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ. ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.FIG.NET/RESOURCES/PROCEEDINGS/FIG_PROCEEDINGS/KOREA/FULL-PAPERS/PDF/SESSION2/BEHRENS.PDF	17
ΕΙΚΟΝΑ 1.2: ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΟΛΙΔΑΣ. ΠΗΓΗ: ΜΑΥΡΑΕΙΔΟΠΟΥΛΟΣ	18
ΕΙΚΟΝΑ 1.3: ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ SBES. ΠΗΓΗ: ΜΑΥΡΑΕΙΔΟΠΟΥΛΟΣ	18
ΕΙΚΟΝΑ 1.4: ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ MBES. ΠΗΓΗ: ΜΑΥΡΑΕΙΔΟΠΟΥΛΟΣ	19
ΕΙΚΟΝΑ 1.5: ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΑΛΤΙΜΕΤΡΙΑΣ. ΠΗΓΗ: ΜΑΥΡΑΕΙΔΟΠΟΥΛΟΣ	19
ΕΙΚΟΝΑ 1.6: ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΟΠΤΙΚΗΣ ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑΣ LIDAR. ΠΗΓΗ: ΜΑΥΡΑΕΙΔΟΠΟΥΛΟΣ	20
ΕΙΚΟΝΑ 1.7: ROCKMARK LOCATIONS. ΠΗΓΗ: HTTPS://PUBS.GEOSCIENCEWORLD.ORG/AAPGBULL/ARTICLE-ABSTRACT/90/5/701/132749/METHANE-AND-HYDROGEN-SULFIDE-SEEPAGE-IN-THE	21
ΕΙΚΟΝΑ 1.8: LOCATIONS OF GAS SEEPAGES. ΠΗΓΗ: HTTPS://PUBS.GEOSCIENCEWORLD.ORG/AAPGBULL/ARTICLE-ABSTRACT/90/5/701/132749/METHANE-AND-HYDROGEN-SULFIDE-SEEPAGE-IN-THE	22
ΕΙΚΟΝΑ 1.9: BUBBLES AND BACTERIAL MAT AT THE OFFSHORE ΚΑΤΑΚΟΛΟ SEEPS. ΠΗΓΗ: HTTPS://PUBS.GEOSCIENCEWORLD.ORG/AAPGBULL/ARTICLE-ABSTRACT/90/5/701/132749/METHANE-AND-HYDROGEN-SULFIDE-SEEPAGE-IN-THE	22
ΕΙΚΟΝΑ 1.10: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ROCKMARK. ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S0264817209001718	23
ΕΙΚΟΝΑ 1.11: ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΜΙΝΑΔΑΣ ΑΕΡΙΟΥ, ΜΕ ROCKMARK ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ ΤΗΣ. ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S0264817209001718	24
ΕΙΚΟΝΑ 1.12: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ROCKMARK ΚΑΙ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΑΕΡΙΟΥ. ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S0264817209001718	25
ΕΙΚΟΝΑ 2.1: ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΤΑΚΟΛΟΥ. ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.TRAVEL-GREECE.ORG/GREECE.PHP?LOC1=PELOPONEESE&LOC2=ILIA&LOC3=ΚΑΤΑΚΟΛΟ&PAGETYPE=MAP	27
ΕΙΚΟΝΑ 2.2: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΑ ΚΑΤΑΚΟΛΟΥ ΣΤΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ 20ΟΥ ΑΙΩΝΑ. ΠΗΓΗ: HTTP://WWW.NEWSGF.NET/2018/11/BLOG-POST_182.HTML	28
ΕΙΚΟΝΑ 2.3: ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ ΤΗΣ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΠΥΡΓΟΥ, ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΟΥΝ ΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΗΤΑΣ. ΠΗΓΗ: HTTP://WWW.NEWSGF.NET/2018/11/BLOG-POST_182.HTML	28
ΕΙΚΟΝΑ 2.4: ΤΟ ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ ΠΟΥ ΕΦΤΙΑΧΝΕ ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΚΡΗΠΙΔΩΜΑ. ΠΗΓΗ: :HTTP://WWW.NEWSGF.NET/2018/11/BLOG-POST_182.HTML	29
ΕΙΚΟΝΑ 2.5: ΛΙΜΑΝΙ ΚΑΤΑΚΟΛΟΥ	29
ΕΙΚΟΝΑ 2.6: ΛΙΜΑΝΙ ΚΑΤΑΚΟΛΟΥ (2)	29
ΕΙΚΟΝΑ 2.7: ΛΙΜΑΝΙ ΚΑΤΑΚΟΛΟΥ (3)	30
ΕΙΚΟΝΑ 3.1: ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ. ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/324828690_ECHOBOLISTIKES_SYSKES	32
ΕΙΚΟΝΑ 3.2: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΘΟΥΣ ΜΕ ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ. ΠΗΓΗ: USAGE 2002	33
ΕΙΚΟΝΑ 3.3: ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΔΕΣΜΗΣ. ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/324828690_ECHOBOLISTIKES_SYSKES	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.4: ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΚΑΙ SBES.	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.5: ΠΥΚΝΩΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΠΛΕΥΣΗΣ, ΓΙΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΣΤΕΡΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ. ..	35
ΕΙΚΟΝΑ 3.6: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΠΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ (RECORD LINES)	35

ΕΙΚΟΝΑ 3.7: ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΠΛΗΣ ΔΕΣΜΗΣ. ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/324828690_ECHOVOLISTIKES_SYSKES	36
ΕΙΚΟΝΑ 3.8: ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΔΕΣΜΗΣ. ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/324828690_ECHOVOLISTIKES_SYSKES	36
ΕΙΚΟΝΑ 3.9: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΑΡΩΣΗΣ ΒΟΥΣΤΡΟΦΗΔΟΝ.....	37
ΕΙΚΟΝΑ 3.10: ΠΛΕΥΡΙΚΟ ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΟ. ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/324828690_ECHOVOLISTIKES_SYSKES	38
ΕΙΚΟΝΑ 3.11: ΣΤΙΓΜΑ ΜΕΘΟΔΩΝ ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑΣ. ΠΗΓΗ: ΝΟΑΑ.....	38
ΕΙΚΟΝΑ 3.12: ΧΑΡΤΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΤΑΘΜΗΓΡΑΦΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ. ΠΗΓΗ: Υ.Υ.Π.Ν.....	40
ΕΙΚΟΝΑ 3.13: ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΠΑΛΙΡΡΟΙΟΓΡΑΦΟΣ. ΠΗΓΗ: ΠΑΛΛΗΚΑΡΗΣ Α., 1993).....	41
ΕΙΚΟΝΑ 3.14: ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ.....	41
ΕΙΚΟΝΑ 3.15: ΜΗΚΟΣ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗΣ ΛΩΡΙΔΑΣ, ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΚΑΤΑ LINZ. ΠΗΓΗ: HTTP://WWW.PINGDSP.COM/PDF/HYDRO_LINZ-CONTRACT-SPECIFICATIONS-FOR-HYDROGRAPHIC-SURVEYS_20160607_0.PDF	47
ΕΙΚΟΝΑ 3.16: ΑΛΛΗΛΟΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΣΑΡΩΣΕΩΝ ΜΒΕΣ. ΠΗΓΗ: HTTP://WWW.PINGDSP.COM/PDF/HYDRO_LINZ-CONTRACT-SPECIFICATIONS-FOR-HYDROGRAPHIC-SURVEYS_20160607_0.PDF	47
ΕΙΚΟΝΑ 5.1: ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 5.3: ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΗ ΜΠΑΡΑ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΟ ΣΤΟ ΕΝΑ ΑΚΡΟ ΤΟΝ ΜΟΡΦΟΤΡΟΠΕΑ (ΜΑΤΙ) ΤΟΥ ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΟΥ.	54
ΕΙΚΟΝΑ 5.4: ΔΕΚΤΗΣ D-GPS.....	57
ΕΙΚΟΝΑ 5.5: ΔΕΚΤΗΣ GNSS ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΟΣ ΣΤΗΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΜΠΑΡΑ.....	57
ΕΙΚΟΝΑ 5.6: ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟΣ ΣΕ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΗ ΜΠΑΡΑ.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 5.7: ΜΟΤΙΟΝ SENSOR IMU.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 5.8: ΈΝΩΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΜΕ ΤΟ ΚΑΛΩΔΙΟ ΓΕΙΩΣΗΣ.....	60
ΕΙΚΟΝΑ 5.9: ΠΡΟΒΟΛΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΤΟΝ Η/Υ.....	61
ΕΙΚΟΝΑ 5.10: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΣΤΟ ΣΚΑΦΟΣ.....	61
ΕΙΚΟΝΑ 5.11: ΤΑΧΥΠΛΟΟ ΣΚΑΦΟΣ.....	61
ΕΙΚΟΝΑ 5.13: ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΣΑΛΙΝΟΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΒΑΡΙΔΙΟ.....	62
ΕΙΚΟΝΑ 5.14: ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΣΑΛΙΝΟΜΕΤΡΟΥ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΝΕΡΟ.....	63
ΕΙΚΟΝΑ 5.15: ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΣΗ ΒΑΡΙΔΙΟΥ ΣΕ ΜΕΤΡΟΤΑΙΝΙΑ, ΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΣΚΑΝΤΑΓΙΟΥ.....	64
ΕΙΚΟΝΑ 6.1: ΑΝΕΛΚΥΣΗ ΣΚΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΓΛΙΣΤΡΑ ΤΟ ΑΠΟΓΕΥΜΑ ΤΗΣ 19 ^{ΗΣ} ΙΟΥΛΙΟΥ.....	65
ΕΙΚΟΝΑ 6.2: ΓΛΙΣΤΡΑ ΚΑΘΕΛΚΥΣΗΣ ΣΚΑΦΟΥΣ ΣΤΟΝ ΛΙΜΕΝΑ ΚΑΤΑΚΟΛΟΥ.....	66
ΕΙΚΟΝΑ 6.3: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΗΣ ΜΠΑΡΑΣ ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ.....	67
ΕΙΚΟΝΑ 6.4: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΗΣ ΜΠΑΡΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΕΣΗ ΜΕ ΣΚΟΙΝΙΑ.....	67
ΕΙΚΟΝΑ 6.5: ΜΟΡΦΟΤΡΟΠΕΑΣ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΝΕΡΟ.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 6.6: ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΣΗ ΜΠΑΡΑΣ.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 6.7: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΛΩΔΙΑΚΩΝ ΑΠΟΛΗΞΕΩΝ ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΟΥ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΘΥΡΕΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	69
ΕΙΚΟΝΑ 6.8: ΠΡΟΒΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΤΟΝ Η/Υ.....	70
ΕΙΚΟΝΑ 7.1: ΘΕΡΜΟΣΑΛΙΝΟΜΕΤΡΟ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΝΕΡΟ.....	72
ΕΙΚΟΝΑ 7.2: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΟΝΟΜΑΤΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ, ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΝΑΒΟΥ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	74
ΕΙΚΟΝΑ 7.3: ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΕΛΙΟΥ ΚΑΝΑΒΟΥ 0,20.....	75
ΕΙΚΟΝΑ 7.4: ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΕΛΙΟΥ ΚΑΝΑΒΟΥ 0,50.....	75
ΕΙΚΟΝΑ 7.5: ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΕΛΙΟΥ ΚΑΝΑΒΟΥ 2.....	76
ΕΙΚΟΝΑ 7.6: ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΕΛΙΟΥ ΚΑΝΑΒΟΥ 25.....	76
ΕΙΚΟΝΑ 7.7: ΕΙΣΑΓΩΓΗ RAW ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	77
ΕΙΚΟΝΑ 7.8: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ CONFIGURATION FILE.....	78
ΕΙΚΟΝΑ 7.9: ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ CONFIGURATION FILE.....	79

ΕΙΚΟΝΑ 7.10: ΠΡΟΦΙΛ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ.....	80
ΕΙΚΟΝΑ 7.11: ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ 3 ΑΞΟΝΕΣ ΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ.....	81
ΕΙΚΟΝΑ 7.12: ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ 3 ΑΞΟΝΕΣ ΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ.....	81
ΕΙΚΟΝΑ 7.13: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΣΚΑΦΟΥΣ.....	82
ΕΙΚΟΝΑ 7.14: ΡΥΘΜΙΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΟΥ.....	83
ΕΙΚΟΝΑ 7.15: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΚΑΦΟΥΣ.....	84
ΕΙΚΟΝΑ 7.16: ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΚΑΦΟΥΣ, ΘΕΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΠΟΡΕΙΑΣ.....	84
ΕΙΚΟΝΑ 7.17: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΧΡΟΝΟΜΕΤΡΩΝ.....	85
ΕΙΚΟΝΑ 7.18: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	86
ΕΙΚΟΝΑ 7.19: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ.....	86
ΕΙΚΟΝΑ 7.20: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΟΥ.....	87
ΕΙΚΟΝΑ 7.21: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	88
ΕΙΚΟΝΑ 7.22: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ.....	88
ΕΙΚΟΝΑ 7.23: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ CONFIGURATION FILE ΚΑΙ ΠΡΟΦΙΛ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ.....	89
ΕΙΚΟΝΑ 7.24: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	90
ΕΙΚΟΝΑ 7.25: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ, ΠΛΗΘΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	90
ΕΙΚΟΝΑ 7.26: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	91
ΕΙΚΟΝΑ 7.27: RECORDING LINES.....	91
ΕΙΚΟΝΑ 7.28: DIRECTION OF RECORDING LINE.....	92
ΕΙΚΟΝΑ 7.29: DIRECTION NO2 OF RECORDING LINE.....	92
ΕΙΚΟΝΑ 7.30: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΟΜΗ ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑΣ.....	93
ΕΙΚΟΝΑ 7.31: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΟΜΗ ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑΣ ΜΕ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ROCKMARKS.....	94
ΕΙΚΟΝΑ 7.32: 3D VIEW CHART.....	94
ΕΙΚΟΝΑ 7.33: 3D VIEW CHART.....	95
ΕΙΚΟΝΑ 7.34: ΥΠΟΔΕΙΞΗ ΚΡΑΤΗΡΩΝ.....	95
ΕΙΚΟΝΑ 7.35: ΥΠΟΔΕΙΞΗ ΚΡΑΤΗΡΩΝ.....	96
ΕΙΚΟΝΑ 7.36: ΘΟΡΥΒΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	96
ΕΙΚΟΝΑ 7.37: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ.....	97
ΕΙΚΟΝΑ 7.38: ΤΑ ΑΠΟΡΡΙΦΘΕΝΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΜΑΝΤΖΕΝΤΑ ΧΡΩΜΑ.....	97
ΕΙΚΟΝΑ 7.39: ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΜΕ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ.....	98
ΕΙΚΟΝΑ 7.40: ΚΕΝΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΑΝ ΕΞ ΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΑΠΟΥΣΙΑΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΥΤΗ.....	99
ΕΙΚΟΝΑ 7.41: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ.....	99
ΕΙΚΟΝΑ 7.42: ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΚΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ INVERTED AREA.....	100
ΕΙΚΟΝΑ 7.43: ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΑ ΑΚΡΑ.....	100
ΕΙΚΟΝΑ 7.44: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ 'AREA TRIANGULATION'.....	101
ΕΙΚΟΝΑ 7.45: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ 'AREA TRIANGULATION'.....	101
ΕΙΚΟΝΑ 7.46: ΑΚΡΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΩΝ ΑΚΜΩΝ.....	102
ΕΙΚΟΝΑ 7.47: ΑΚΡΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΩΝ ΑΚΜΩΝ.....	102
ΕΙΚΟΝΑ 7.48: ΤΕΛΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	103
ΕΙΚΟΝΑ 7.49: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ INSPECTION AREA ΣΤΟ 3D VIEW.....	103

Κατάλογος Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ 5 ΟΔΗΓΙΩΝ (ΙΗΟ,2022)	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΜΒΕΣ ΚΑΤΑ L1N2	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΕΚΤΗ D-GPS	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΤΙΜΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΠΟΥ ΜΕΤΡΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΗΧΟΥ ΜΕ ΤΗΝ 1Η ΕΚΔΟΧΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ MACKENZIE 1981	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΗΧΟΥ ΜΕ ΤΗΝ 2Η ΕΚΔΟΧΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ MACKENZIE 1981	73

Κατάλογος Εξιιώσεων

Συντομογραφίες

D-GPS → Differential Global Positioning System

MBES → Multibeam Echosounder

SBES → Singlebeam Echosounder

SSS → Side Scan Sonars

GNSS → Global Navigation Satellite System

IHO → International Hydrographic Survey

LINZ → Land Information New Zealand

UKC → Underkeel clearance

TVU → Total Vertical Uncertainty

THU → Total Horizontal Uncertainty

Υ.Υ.Π.Ν. → Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού

RTK → Real Time Kinematic

ROV → Remotely Operated Underwater Vehicle

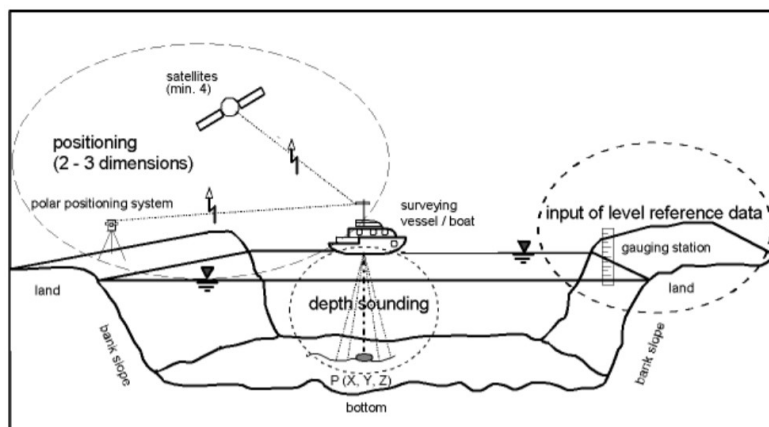
AUV → Autonomous Underwater Vehicle

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Γενική ανασκόπηση

Σύμφωνα με τον Διεθνή Υδρογραφικό Οργανισμό (IHO) “Υδρογραφία είναι ο κλάδος των εφαρμοσμένων Γεωεπιστημών, που ασχολείται με την μέτρηση και περιγραφή των φυσικών χαρακτηριστικών των ωκεανών, θαλασσών, παράκτιων περιοχών, λιμνών και ποταμών, καθώς και με την εκτίμηση της αλλαγής τους σε βάθος χρόνου, με κύριο σκοπό την εξασφάλιση της ασφαλούς ναυσιπλοΐας και την υποστήριξη θαλάσσιων δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένου της οικονομικής ανάπτυξης, ασφάλειας και άμυνας, επιστημονικής έρευνας και την προστασία του περιβάλλοντος”. Επίσης συμβάλει στην διεξαγωγή δραστηριοτήτων, όπως η έρευνα υδρογονανθράκων, οι τεχνικές δραστηριότητες που αφορούν λιμενικά έργα, ποντίσεις καλωδίων, σωλήνων (pipelines), θαλάσσιων ανεμογεννητριών, καθώς και διαχείριση της παράκτιας ζώνης.

Θεμέλιο της Υδρογραφίας είναι η βαθυμετρία, δηλαδή η διαδικασία προσδιορισμού του βάθους, που αποτελεί την τρίτη διάσταση της γήινης επιφάνειας, όπου καλύπτεται από το υδάτινο στοιχείο, με την χρήση ειδικών οργάνων (ηχοβολιστικών) ή εργαλείων και την εξαγωγή βαθυμετρικών χαρτών. Ωστόσο ως βυθομετρική αποτύπωση νοείται η αποτύπωση της τρισδιάστατης μορφολογίας του πυθμένα, στην οποία περιλαμβάνεται και η αποτύπωση του σχήματος και της τοπογραφίας της ακτογραμμής. Βέβαια, σε πολλές περιπτώσεις εκτός από τον προσδιορισμό του βάθους, από την αποτύπωση επιδιώκεται και ο προσδιορισμός της σύστασης του πυθμένα, δηλαδή τα υλικά που τον συνθέτουν, ιδίως σε εφαρμογές που αφορούν αγκυροβόλια, εγκατάσταση Υ/Β καλωδίων ή αγωγών, κατασκευές, παράκτια μηχανική και ενάλια πανίδα. Η οριζοντιογραφική θέση (X,Y) των μετρούμενων σημείων, επιτυγχάνεται με την χρήση συστημάτων ακριβείας για τον απόλυτο εντοπισμό της θέσης, τον ακριβή προσανατολισμό και τον προσδιορισμό της τροχιάς της ηχητικής δέσμης κατά τη διάρκεια κάθε ηχοβολισμού, ενώ η τρίτη διάσταση (βάθος Z) από άλλα όργανα που αναφέροντα παρακάτω. Για να δημιουργηθεί η διατεταγμένη τριάδα των συντεταγμένων που απαιτείται για την χωρική απεικόνιση του κάθε σημείου του φυσικού πυθμένα, αντιστοιχίζονται τα στοιχεία της οριζοντιογραφικής θέσης με την μέτρηση του βάθους για το εκάστοτε σημείο.



Εικόνα 1.1: Εποπτική παράσταση βυθομετρικής αποτύπωσης.

Πηγή: https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/korea/full-papers/pdf/session2/behrens.pdf

Η βαθυμετρία, αποτελεί πεδίο εργασίας του Τοπογράφου Μηχανικού, καθώς οι βαθυμετρικοί χάρτες είναι οι αντίστοιχοι τοπογραφικοί χάρτες, οι οποίοι περιέχουν πληροφορίες για την τοπογραφία μιας περιοχής και συγκεκριμένα την υψομετρία, μέσω ισοϋψών καμπύλων, αναφερόμενοι πλέον όμως, στην τοπογραφία του πυθμένα και τα βάθη αυτού (ισοβαθείς).

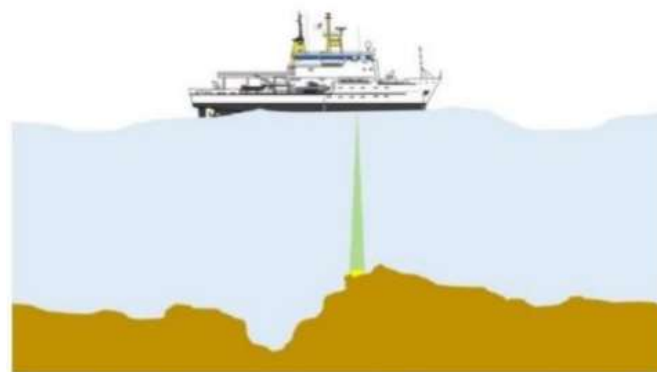
Ο υπολογισμός των βαθών πραγματοποιούνταν στο παρελθόν με πολλούς τρόπους όπως, με την χρήση βολίδας βυθομέτρησης «σκαντάγιο». Αυτή αποτελείται από μια λεπτή αλυσίδα μήκους 22 περίπου μέτρων που στο άκρο της υπάρχει βάρος κωνικού σχήματος, περίπου 3 κιλών, ενώ η αλυσίδα υποδιαιρείται σε τμήματα 20 περίπου εκατοστών, που επισημαίνονται με ευδιάκριτο χρωματισμό. Με αυτή μετρούνται βάθη συνήθως έως 20m κοντά στην ακτή. Επόμενη μέθοδο βαθυμετρίας ήταν η χρήση βολιστικού κόντου, που απαρτίζεται από μια ξύλινη ράβδο διαμέτρου 6 περίπου εκατοστών και μήκους 4 μέτρων, με υποδιαρέσεις ανά 20 εκατοστά, των οποίων οι ακέραιες τιμές έχουν διαφορετικό χρωματισμό. Στην βάση του βολιστικού κόντου, είναι τοποθετημένο ένα μεταλλικό συνήθως δισκίο, διαμέτρου 30 εκατοστών, προκειμένου να αποφευχθεί η βύθιση του σε λασπώδη πυθμένα. (Αθ. Η. Παλλικάρη, 1988).



**Υδρογραφική Βολίδα
(Leadline)**

Εικόνα 1.2: Βαθυμετρία με χρήση βολίδας. Πηγή: Μαυραιδόπουλος

Ωστόσο, η πλέον σύγχρονη και πιο διαδεδομένη μέθοδος βαθυμετρίας είναι η ηχοβόλιση μονής (SBES) ή πολλαπλής δέσμης (MSBES), κατά την οποία πραγματοποιούνται μετρήσεις από ειδικές ηχοβολιστικές συσκευές, κατά μήκος σχεδιασμένων γραμμών πλεύσης που ονομάζονται ηχοβολιστικές γραμμές, όπου ο υπολογισμός των βαθών προκύπτει από τον χρόνο μεσολάβησης του ηχητικού κύματος από την στιγμή της εκπομπής του έως την στιγμή λήψης της ανάκλασης του από τον αισθητήρα. Παράλληλα οι ηχοβολίσεις συνδυάζονται με δέκτες Παγκόσμιων Συστημάτων Προσδιορισμού Θέσης (GNSS), προκειμένου να προσδιοριστεί η οριζοντιογραφική θέση των σημείων ηχοβόλισης (X,Y).



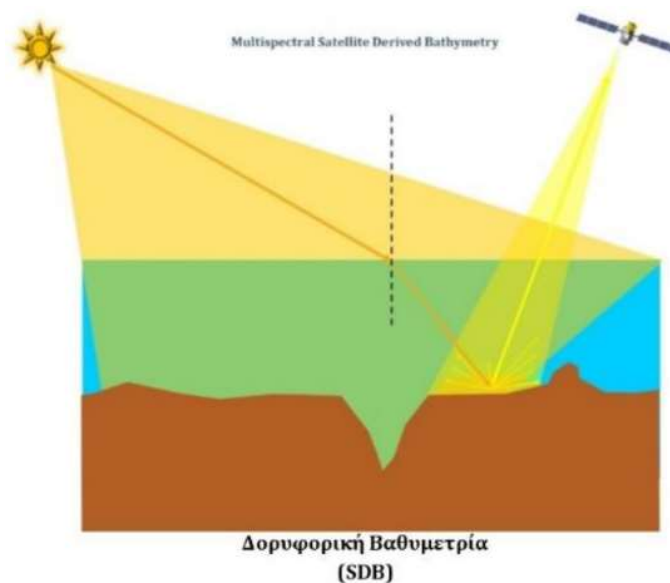
**Η/Β Μονής Δέσμης
(Singlebeam Echosounder)**

Εικόνα 1.3: Βαθυμετρία με την μέθοδο SBES. Πηγή: Μαυραιδόπουλος



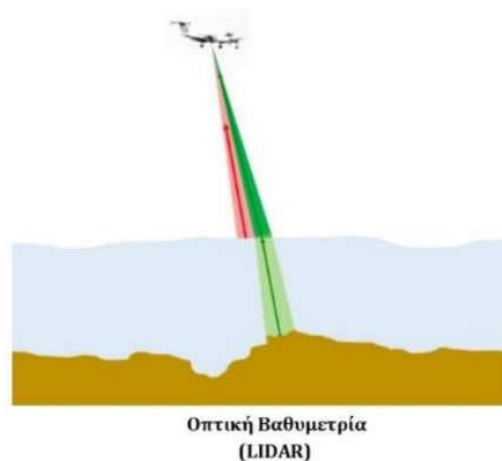
Εικόνα 1.4: Βαθυμετρία με τη μέθοδο MBES. Πηγή: Μαυραειδόπουλος

Επιπλέον, η Αλτιμετρία εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό του βάθους χρησιμοποιώντας υψόμετρα της επιφάνειας της θάλασσας από δορυφορικά δεδομένα. Η μέθοδος βασίζεται κυρίως στον υπολογισμό των βαθών από συνιστώσες του πεδίου βαρύτητας της Γης, όπως είναι οι ανωμαλίες και οι βαθμίδες της βαρύτητας και οι αποκλίσεις της κατακορύφου, μέσω κατάλληλων αλγορίθμων αντιστροφής, οι οποίοι με την σειρά τους χρησιμοποιούν φασματικές τεχνικές και ειδικότερα των μετασχηματισμών Fourier (FFT). Τα αλτιμετρικά δεδομένα χρησιμοποιούνται κυρίως για την βαθυμετρική κάλυψη ωκεάνιων εκτάσεων και την δημιουργία ψηφιακών μοντέλων βάθους.



Εικόνα 1.5: Βαθυμετρία με τη μέθοδο δορυφορικής αλτιμετρίας. Πηγή: Μαυραειδόπουλος

Η μέθοδος βαθυμετρίας Laser – Lidar (Light detection And Ranging), κατά την οποία οι μετρήσεις πραγματοποιούνται εναέρια (από ελικόπτερο ή αεροπλάνο) με την χρήση διπλής ακτινοβολίας laser. Τα εκπεμπόμενα σήματα του laser ανακλώνται από την επιφάνεια της θάλασσας και τον θαλάσσιο βυθό και μέσω κατάλληλης επεξεργασίας προκύπτουν οι τιμές των βαθών, ενώ παράλληλα δίνει την δυνατότητα υπολογισμού βαθών μεγάλων εκτάσεων. Η μέθοδος είναι αξιόπιστη για βάθη έως 30-40 m, με ακρίβεια προσδιορισμού της τάξης 1-2%, με μειονέκτημα όμως το υψηλό κόστος των μετρήσεων. Τελευταία μέθοδος αποτελεί η πολυφασματική βαθυμετρία, κατά την οποία χρησιμοποιούνται εικόνες δορυφόρων, όπως LANDSAT, Sentinel-2 ή SPOT, για την εξαγωγή δεδομένων βαθυμετρίας στην παράκτια ζώνη, δηλαδή για βάθη έως περίπου 20-30m, μέσω φασματικής ανάλυσης και της εφαρμογής χωρικών φίλτρων χαμηλής διέλευσης και αντίστοιχων φίλτρων Fourier (Ζήδρου κ.ά. 1999; Γρηγοριάδης, Τζιάβος, Βέργος, Νατσιακόπουλος 2015)



Εικόνα 1.6: Βαθυμετρία με τη μέθοδο οπτικής βαθυμετρίας LIDAR. Πηγή: Μαυραειδόπουλος

Η συγκεκριμένη μέθοδος βαθυμετρίας μέσω Τηλεπισκόπησης έχει ιδιαίτερη σημασία, ιδίως για παράκτιες χώρες όπως η Ελλάδα, η οποία με συνολικό μήκος ακτογραμμής 13.676 Km, κατατάσσεται ως η 3η χώρα στην Ευρώπη και η 13η παγκοσμίως, με την μεγαλύτερη ακτογραμμή. Η αξιοποίηση δορυφορικών δεδομένων με σκοπό την δημιουργία ασφαλών λιμένων και λεπτομερών χαρτογραφήσεων του θαλάσσιου πυθμένα, θα συμβάλει στην εξάλειψη των θαλάσσιων ατυχημάτων με τον παράλληλο έλεγχο και διατήρηση των λειτουργικών βαθών των λιμένων καθώς και την συνεχή παρακολούθηση παράκτιων υποθαλάσσιων οικοσυστημάτων και υφής πυθμένα.

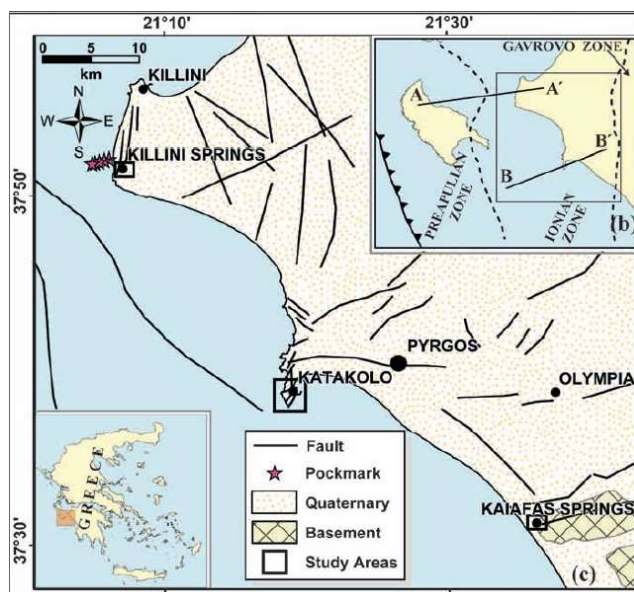
1.2 Στόχος της εργασίας

Πριν από κάθε υδρογραφική αποτύπωση είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, όπως η σεισμική δραστηριότητα και οι ιδιαιτερότητες του πυθμένα, ώστε κατά την διάρκεια της επεξεργασίας των δεδομένων τα αποτελέσματα των ηχοβολιστικών μετρήσεων να μπορούν να ερμηνευθούν και να κατανοηθούν, χωρίς να οδηγηθούμε σε παρερμηνεία ή αγνόηση σημαντικών

πληροφοριών. Διαφορετικά, αν δεν γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά της υπό μελέτη περιοχής, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων προκύπτει βάσει εμπειρίας του χρήστη.

Η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε είναι ο λιμένας Κατάκολου στον Κυπαρισσιακό Κόλπο, λόγω της ιδιαιτερότητας και του ενδιαφέροντος καθώς και εξαιτίας της διαφυγής αερίου που παρατηρείται εκεί. Το γεγονός αυτό στάθηκε πρόκληση για την εκπόνηση και σχεδιασμό της εργασίας, καθώς επιδιώχθηκε η μελέτη και σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από ένα ηχοβολιστικό βαθυμετρικό όργανο (multibeam sonar), σε μια τέτοια περίπτωση.

Κατά μήκος του Κυπαρισσιακού Κόλπου και ειδικότερα στις περιοχές Κυλλήνη, Κατάκολο και Καϊάφας, παρατηρείται διαρροή φυσικού αερίου, γεγονός που φανερώνει διαδικασία βαθιάς παραγωγής υδρογονανθράκων. Στο Κατάκολο η διαρροή αυτή παρατηρείται τόσο υπεράκτια όσο και παράλια του τοπικού τουριστικού λιμένα, ενώ οι φυσαλίδες είναι ορατές από την αποβάθρα, καλύπτοντας μεγάλη έκταση. (Giuseppe Etiope et al., 2006). Αποτέλεσμα της συστηματικής αυτής διαρροής, είναι η δημιουργία υποθαλάσσιων κρατήρων, λόγω της διάβρωσης των ιζημάτων του πυθμένα (pockmarks) (Φερεντίνος, 2022)



Εικόνα 1.7: Pockmark locations. Πηγή:

<https://pubs.geoscienceworld.org/aapgbull/article-abstract/90/5/701/132749/Methane-and-hydrogen-sulfide-seepage-in-the>

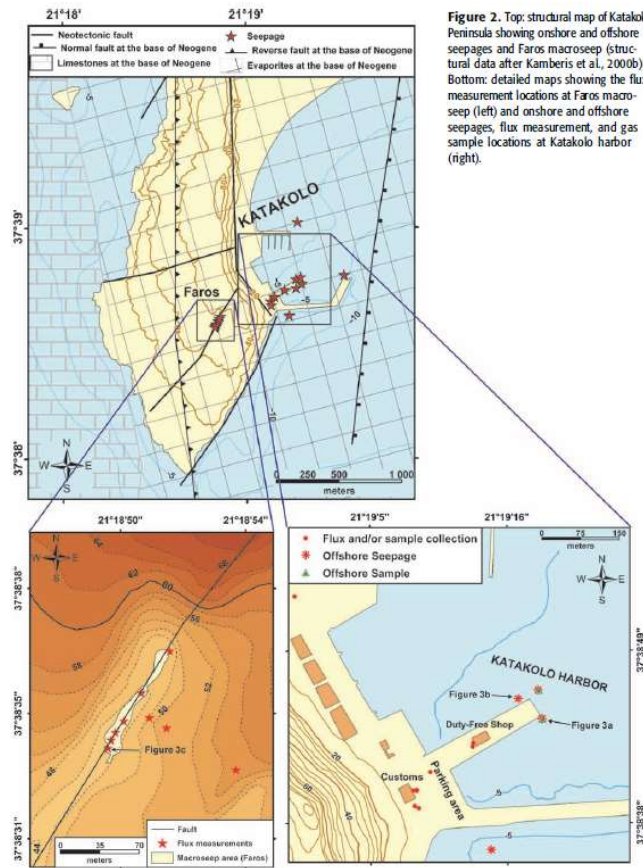
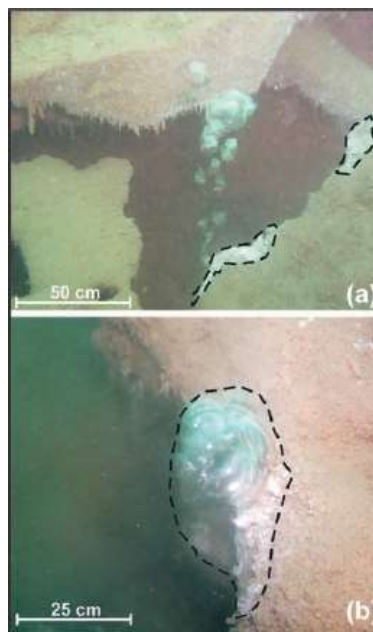


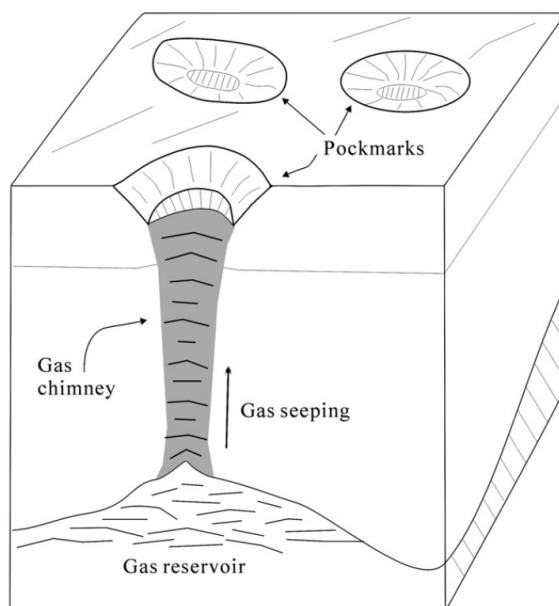
Figure 2. Top: structural map of Katakolo Peninsula showing onshore and offshore seepages and Faros macroseep (structural data after Kamberis et al., 2000b). Bottom: detailed maps showing the flux measurement locations at Faros macroseep (left) and onshore and offshore seepages, flux measurement, and gas sample locations at Katakolo harbor (right).

Εικόνα 1.8: Locations of gas seepages. Πηγή: <https://pubs.geoscienceworld.org/aapgbull/article-abstract/90/5/701/132749/Methane-and-hydrogen-sulfide-seepage-in-the>



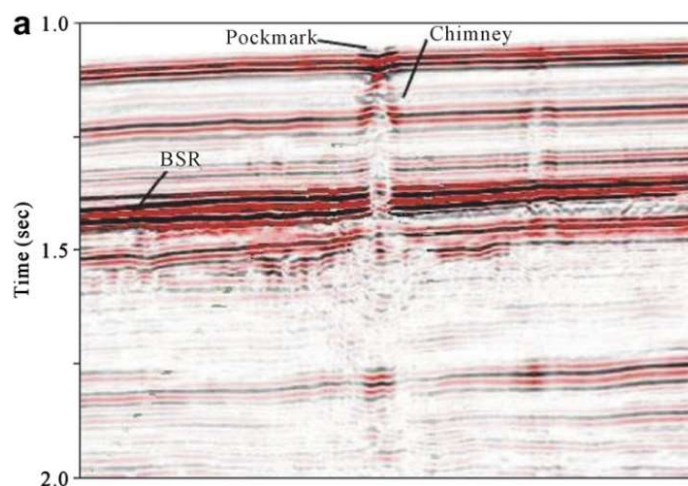
Εικόνα 1.9: Bubbles and bacterial mat at the offshore Katakolo seeps. Πηγή: <https://pubs.geoscienceworld.org/aapgbull/article-abstract/90/5/701/132749/Methane-and-hydrogen-sulfide-seepage-in-the>

Σύμφωνα με του L.M Cathles et al. (2010), τα rockmarks είναι σχεδόν κυκλικές κοιλότητες, που σχηματίζονται σε σημεία όπου διαφεύγει πχ. αέριο προς τα πάνω, μέσω των λεπτόκοκκων ιζημάτων του πυθμένα της θάλασσας. Η αναλογία μήκους προς πλάτος τους ποικίλλει γενικά από 1 (κυκλικά) έως 1,25. Τα βάθη τους κυμαίνονται από 1 έως 80 m, αλλά είναι συνήθως λιγότερο από 10m. Η διάμετρος τους ποικίλει από λίγα μέτρα έως μεγαλύτερη από 300m, άλλα μεγαλύτερα rockmark, μπορούν συχνά να θεωρηθούν ότι είναι συσσωρεύσεις μεμονωμένων κρατήρων, που έχουν διάμετρο μικρότερη από 5m και βάθος λίγων μέτρων (Hovland and Judd, 1988).



Εικόνα 1.10: Σχηματική απεικόνιση rockmark. Πηγή:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264817209001718>

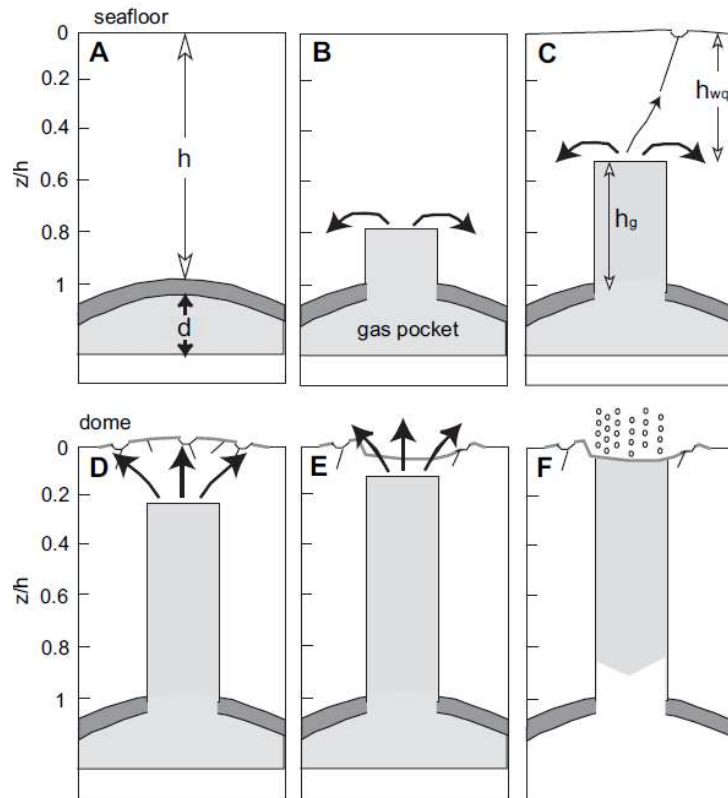
Τα rockmarks συνήθως βρίσκονται σε περιοχές όπου υπάρχει αέριο, σε ιζήματα κοντά στην επιφάνεια, όπως υποδεικνύεται από την ακουστική θολότητα. Τα rockmarks εντοπίζονται εκεί που ακουστικά διαφανείς καμινάδες αερίου, τρυπούν τον πυθμένα (ρωγμή). Παρακάτω, παρατίθεται ένα σεισμικό προφίλ καμινάδας αερίου και του κρατήρα (rockmark) στην απόληξη της.



Εικόνα 1.11: Σεισμικό προφίλ καμινάδας αερίου, με rockmark στην κορυφή της.
 Πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264817209001718>

Αποτέλεσμα αυτού, είναι η συνεχής διαρροή αερίου διαμέσου των κρατήρων επιτρέποντας την δημιουργία κοινοτήτων εξαερισμού οι οποίες προκαλούν στην συνέχεια ανθρακική τσιμέντωση, με αποτέλεσμα την δημιουργία σκληρών εδαφών που μπορούν να ανιχνευθούν και χαρτογραφηθούν από σόναρ (Hovland and Judd, 1988, Judd and Hovland, 2007, Hovland et al., 2002, 2005, Hovland, 2005, Hovland and Svensen, 2006; Gay et al., 2006a,b, 2007; Paull et al., 1995, 2008).

Στην εικόνα 1.12 παρατίθεται η διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου να δημιουργηθεί ένας κρατήρας (rockmark) και να διαφύγει αέριο. Ουσιαστικά, στην πρώτη εικόνα (Α) απεικονίζεται το αέριο το οποίο είναι παγιδευμένο κάτω από αντίκλινο λεπτόκοκκου ιζήματος, που αναπαρίσταται από σκούρο γκρι χρώμα και δημιουργεί ένα τριχοειδές σφράγισμα. Στην συνέχεια, όταν το αέριο συσσωρεύεται σε πάχος d , το τριχοειδές σφράγισμα αποτυγχάνει, δηλαδή σπάει, και το αέριο απελευθερώνεται δημιουργώντας καμινάδα, ενώ το νερό μετακινείται προς τα πάνω. Στην 3^η εικόνα, λόγω της επιμήκυνσης της καμινάδας και φτάνοντας στο ενδιάμεσο της διαδρομής μέχρι τον πυθμένα, λόγω της διαρροής αερίου, η επιφάνεια του πυθμένα αρχίζει να αλλοιώνεται και δημιουργούνται οι πρώτοι κρατήρες. Ωστόσο λόγω της συνεχούς παραμόρφωσης πάνω από την καμινάδα και του συχνότερου σχηματισμού κρατήρων, αυτοί συγχωνεύονται σε έναν μεγάλο κρατήρα, διαστάσεων παρόμοιων με αυτών της καμινάδας. Τέλος, όταν η καμινάδα φτάσει στην επιφάνεια του πυθμένα, η θήκη αερίου αποστραγγίζεται και η σφράγιση επουλώνεται. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναληφθεί εάν το αέριο συσσωρευτεί ξανά σε πάχος d .



Εικόνα 1.12: Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας δημιουργίας rockmark και διαρροής αερίου. Πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264817209001718>

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η υλοποίηση και μελέτη όσων αναφέρθηκαν ανωτέρω σε θεωρητικό και πειραματικό επίπεδο, καθώς και η παρουσίαση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν, λόγω της διαρροής αερίου, η οποία επιδρά με την διαστρέβλωση των δεσμών του ηχοβολιστικού και άρα τον υπολογισμό λανθασμένων βαθών. Η απομάκρυνση και ο καθαρισμός των δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε χειροκίνητα είτε με αυτόματες διαδικασίες φιλτραρίσματος δεδομένων, οι οποίες πρώτα έχουν δοκιμαστεί για την αποτελεσματικότητά τους στον εντοπισμό θορύβου και είναι και η μέθοδος που προτείνεται από τον Παγκόσμιο Υδρογραφικό Οργανισμό. Η διαδικασία αυτή απαιτεί από τον Υδρογράφο κριτική ικανότητα και αξιολόγηση των δεδομένων πριν την εφαρμογή φίλτρων.

1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Στο 2^ο κεφάλαιο αναφέρονται συνοπτικά πληροφορίες για την περιοχή μελέτης, την ιστορική εξέλιξη του Κατάκολου και την κατασκευή του λιμένα.

Στο 3^ο κεφάλαιο αναπτύσσονται τα είδη και οι αρχές λειτουργίας των ηχοβολιστικών συσκευών, η αξιοποίηση μιας σύγχρονης μεθόδου προσδιορισμού της στάθμης της παλίρροιας εν αντιθέσει με τις συμβατικές μεθόδους και οι τεχνικές προδιαγραφές βάσει των οποίων πρέπει να πραγματοποιούνται οι υδρογραφικές μελέτες.

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφονται οι φυσικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού, από τι εξαρτώνται και πως μεταβάλλουν την ταχύτητα διάδοσης του ήχου. Επιπλέον, περιγράφονται οι εξισώσεις βάσει των οποίων υπολογίζεται η ταχύτητα του ήχου.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται περιγραφή των οργάνων και των μεθόδων πραγματοποίησης των μετρήσεων. Ειδικότερα, περιγράφεται το είδος του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε, τα χαρακτηριστικά καθώς και η μέθοδος εκτέλεσης και λήψης των μετρήσεων στο πεδίο.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται η διαδικασία συλλογής των δεδομένων, όπως η επάνδρωση του σκάφους με τον εξοπλισμό, η βαθμονόμηση του ηχοβολιστικού, η ρύθμιση του λογισμικού και η πορεία που ακολούθησε το σκάφος για την καταγραφή των δεδομένων. Επίσης αναφέρονται και δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων.

Στο κεφάλαιο 7 πραγματοποιείται η ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων σε κατάλληλο λογισμικό και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν, δηλαδή ο βαθυμετρικός χάρτης του λιμένα Κατάκολου.

Τέλος στο Κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την διεξαγωγή της εν λόγω εργασίας, τόσο από την εμπειρία στο πεδίο όσο και από την επεξεργασία των δεδομένων, ενώ παρατίθενται ορισμένες προτάσεις για την βελτίωση και διασφάλιση της ασφαλούς ναυσιπλοΐας και βιωσιμότητας του λιμένα.

Κεφάλαιο 2: Περιοχή μελέτης – Ιστορική αναδρομή

Στο κεφάλαιο αναφέρονται πληροφορίες που αφορούν την περιοχή μελέτης, δηλαδή τον λιμένα Κατάκολου, καθώς και γενικές πληροφορίες της ευρύτερης περιοχής και ιστορικά στοιχεία που αφορούν την κατασκευή του λιμένα.

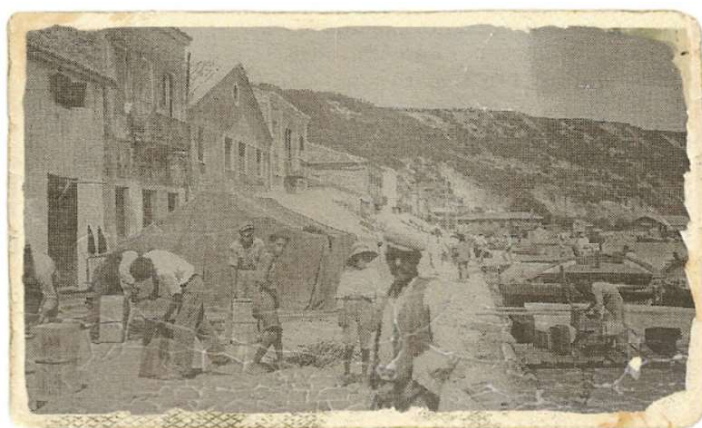
2.1. Πληροφορίες και ιστορική αναδρομή της περιοχής

Το Κατάκολο είναι μια παραλιακή κωμόπολη και εξαγωγικός λιμένας του νομού Ηλείας, εξυπηρετώντας την Πρωτεύουσα του νομού, δηλαδή τον Πύργο, ενώ βρίσκεται στο γεωγραφικό διαμέρισμα Πελοποννήσου, στην περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας. Κατά τους αρχαίους χρόνους, η περιοχή θεωρείτο η αρχαία Φεία, η οποία βρισκόταν στην παραλία του σημερινού Άγιου Ανδρέα, ενώ αποτελούσε το δεύτερο λιμάνι της Ηλείας, μετά την Κυλλήνη. Κατά τα Ομηρικά Έτη, το Κατάκολο αποτελούσε φρούριο κοντά στον ποταμό Ιάρδανο, ενώ στην διάρκεια του Πελοποννησιακού πολέμου ήταν ορμητήριο των Αθηναίων για να αλώσουν την Ηλεία και εξαιτίας ενός ισχυρού σεισμού που συνέβη τον 6^ο αιώνα, χάθηκε μέσα στη θάλασσα. Η γεωγραφική θέση του σημερινού Κατάκολου προήλθε από την μεταφορά του ύστερα από την απελευθέρωση από τον τούρκικο ζυγό και αποτέλεσε ένα από τα κυριότερα λιμάνια της Ελλάδας, λόγω της εξαγωγής σταφίδας, που ήταν από τα πιο σημαντικά εξαγωγικά προϊόντα της εποχής. Η ονομασία του προήλθε κατά παράφραση της φράσης άκρου(κόλον) όπου χτίστηκε ο οικισμός, στου πρόποδες του ακρωτηρίου Ιχθύς που βρίσκεται στο κατάντη του και είναι η αρτιότερα τεκμηριωμένη παραδοχή (*Katakolo.info, 2023*), καθώς άλλη εκδοχή υποστηρίζει πως το όνομα προήλθε από τον Ιταλό αξιωματούχο Κατάκαλο, του οποίου η οικογένεια δέσποζε στην περιοχή (*heliachamber.gr*).

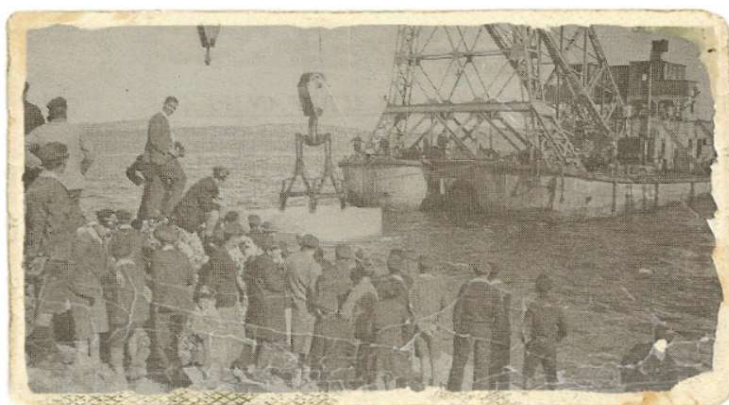


Εικόνα 2.1: Χαρτογραφική απεικόνιση Κατάκολου. Πηγή: <https://www.travel-greece.org/greece.php?loc1=peloponese&loc2=ilia&loc3=katakolo&pagetype=map>

Κατά τους θερινούς μήνες αποτελεί πόλο έλξης για πλήθος τουριστών, τόσο λόγω της γραφικότητας του, όσο και του γεγονότος ότι συνδυάζει βουνό και θάλασσα. Επιπλέον, το λιμάνι λειτουργεί λιγότερο σαν εμπορικό και περισσότερο ως τουριστικό, προσελκύοντας κάθε χρόνο τεράστιο πλήθος από κρουαζιερόπλοια και σκάφη αναψυχής. Ο φάρος του λιμανιού, ο οποίος εκτιμάται ότι χτίστηκε γύρω στο 1865, το 2001 χαρακτηρίστηκε ως ιστορικό διατηρητέο μνημείο. Βρίσκεται στον μυχό του ομώνυμου κόλπου, του λεγόμενου και Κόλπου Ιχθύος και ο λιμένας του είναι τεχνητός, ο οποίος κτίστηκε στα τέλη του 19ου αιώνα προκειμένου να λειτουργήσει σαν διαμετακομιστικός σταθμός για την εξαγωγή της σταφίδας (*Βικιπαίδεια*).



Εικόνα 2.2: Κατασκευή του λιμένα Κατάκολου στις αρχές του 20ου αιώνα. Πηγή: http://www.newsgf.net/2018/11/blog-post_182.html



Εικόνα 2.3: Σπουδαστές της Εμπορικής Σχολής Πύργου, παρακολουθούν τις εργασίες τοποθέτησης των ογκόλιθων για την κατασκευή της προβλήτας. Πηγή: http://www.newsgf.net/2018/11/blog-post_182.html

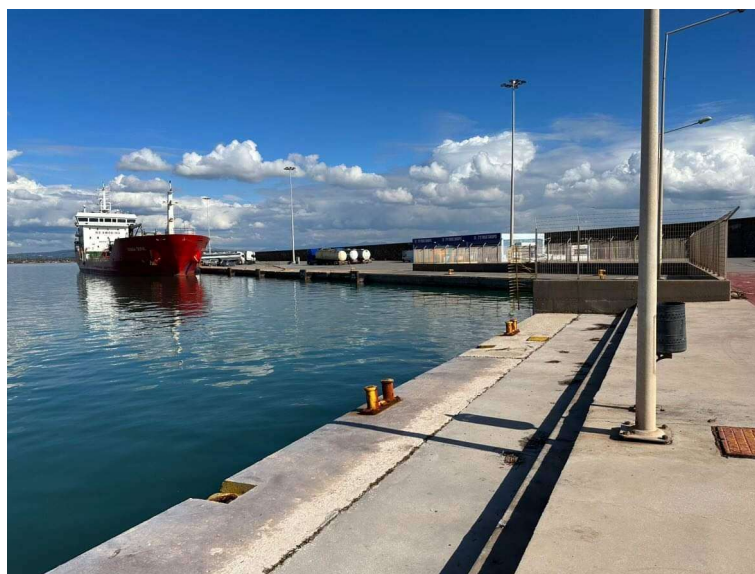


Εικόνα 2.4: Το εργοτάξιο που έφτιαχνε το εσωτερικό κρηπίδωμα. Πηγή
: http://www.newsgf.net/2018/11/blog-post_182.html

Παρακάτω παρατίθενται μερικές φωτογραφίες, από την σημερινή κατάσταση του λιμένα:



Εικόνα 2.5: Λιμάνι Κατάκολου



Εικόνα 2.6: Λιμάνι Κατάκολου (2)



Εικόνα 2.7: Λιμάνι Κατάκολου (3)

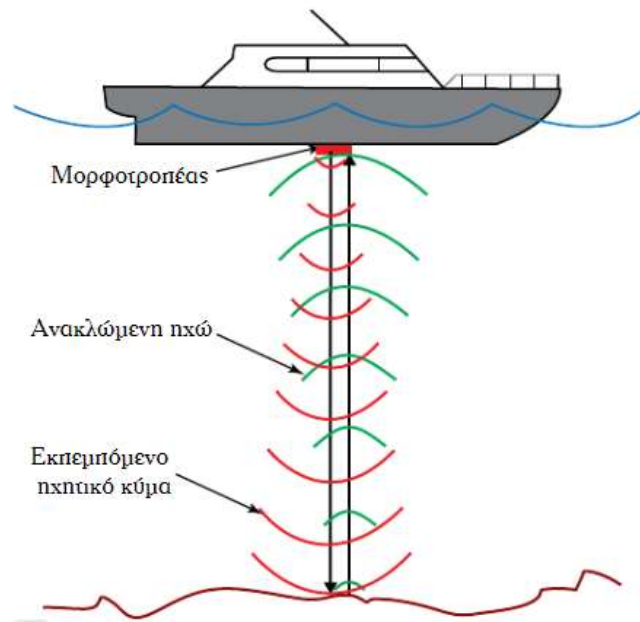
Κεφάλαιο 3: Ηχοβολιστική μέθοδος εκτίμησης βαθών, υπολογισμός παλίρροιας και προδιαγραφές βυθομετρικής αποτύπωσης

3.1 Εισαγωγή

Για τους σκοπούς της διπλωματικής εργασίας, ως μέθοδος προσδιορισμού του βάθους χρησιμοποιήθηκε η ακουστική ή ηχοβολιστική μέθοδος, η οποία αποτελεί σύγχρονη μέθοδο υπολογισμού βαθών, με την ετυμολογία της λέξης να μαρτυρά την αξιοποίηση του ήχου και των ιδιοτήτων διάδοσης του στο νερό. Αυτή μπορεί να πραγματοποιείται με ηχοβολιστικό μονής, διπλής ή πολλαπλής δέσμης, καθώς και από πλευρικά ηχοβολιστικά συστήματα. Επιπλέον, για τον υπολογισμό των σωστών βαθών, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της παλίρροιας, η οποία μεταβάλλει την στάθμη του νερού, όπου στην προκειμένη περίπτωση πραγματοποιήθηκε με την χρήση RTK (Real Time Kinetics). Ωστόσο για την πραγματοποίηση βυθομετρικής αποτύπωσης και ανάλογα την περιοχή μελέτης, ακολουθούνται διαφορετικές προδιαγραφές που ορίζονται από φορείς όπως ο Παγκόσμιος Υδρογραφικός Οργανισμός (IHO).

3.2 Αρχή λειτουργίας ηχοβολιστικών

Ως ηχοβολιστική συσκευή, ηχοβολιστικό ή βυθόμετρο, νοείται η ηλεκτρονική συσκευή μέσω της οποίας ο χρήστης ενός σκάφους ενημερώνεται για το βάθος του πυθμένα κάτω από την τρόπιδα του σκάφους. Η λειτουργία του οργάνου βασίζεται στην εκπομπή και λήψη ηχητικών κυμάτων, κάτω από την τρόπιδα και κατακόρυφα προς τον βυθό, από έναν πομποδέκτη ηχητικών κυμάτων που ονομάζεται μορφοτροπέας (transducer). Τα εκπεμπόμενα από τον μορφοτροπέα ηχητικά κύματα ταξιδεύουν προς τον πυθμένα, προσπίπτουν σε αυτόν και ακολούθως, είτε απορροφώνται, είτε διαχέονται ή ανακλώνται προς διάφορες κατευθύνσεις. Αρκετή από την ανακλώμενη ηχητική ενέργεια θα επιστρέψει με την μορφή ηχούς προς την πηγή απ' όπου εκπέμφθηκε. Με κατάλληλο προγραμματισμένο κύκλο λειτουργίας, η ηχοβολιστική συσκευή εναλλάσσει την λειτουργία της από πομπό ηχητικών κυμάτων σε δέκτη. Το ηχοβολιστικό προσαρμόζεται πάνω σε επιφανειακά ή υποβρύχια οχήματα, όπως τηλεχειριζόμενο υποβρύχιο όχημα (ROV) ή αυτόνομο υποβρύχιο όχημα (AUV).



Εικόνα 3.1: Αρχή λειτουργίας της ηχοβολιστικής συσκευής.

Πηγή: https://www.researchgate.net/publication/324828690_Echobolistikes_Syskeues

Η απόσταση μεταξύ τρόπιδας και πυθμένα, υπολογίζεται από τον χρόνο που μεσολαβεί από την στιγμή εκπομπής του ηχητικού κύματος έως την στιγμή λήψης της ανάκλασης του, μέσω της σχέσης :

$$D = \frac{1}{2} * V * \Delta t \quad (3.1)$$

Όπου:

- $D \rightarrow$ το μετρούμενο βάθος
- $V \rightarrow$ η ταχύτητα του ήχου στο νερό
- $t \rightarrow$ ο χρόνος από την στιγμή της εκπομπής του ηχητικού κύματος μέχρι την στιγμή λήψης της ανακλώμενης ηχούς.

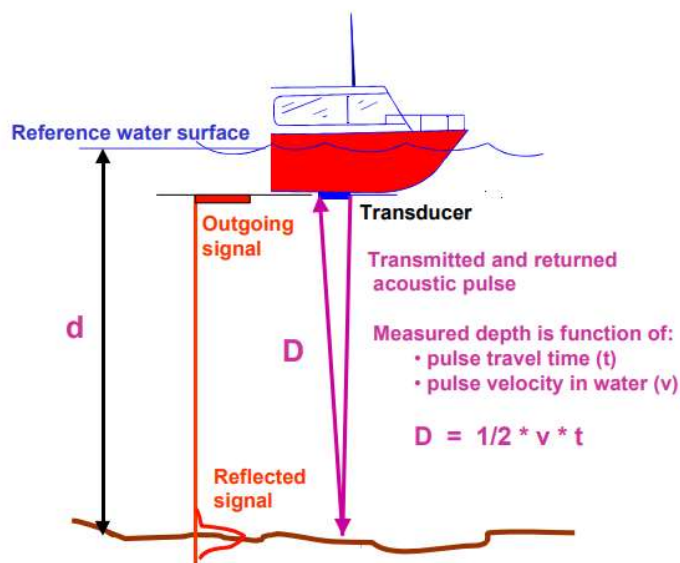
Η ηχοβολιστική συσκευή αποτελεί συσκευή μετρήσεως της απόστασης μέσω διπλής διαδρομής. Η συνήθης χρήση της ηχοβολιστικής συσκευής έγκειται στην εύρεση του βάθους της θάλασσας κάτω από την τρόπιδα (Παλληκάρης 2016).

Εναλλακτική εξίσωση υπολογισμού του βάθους με την ηχοβολιστική μέθοδο αποτελεί η εξίσωση :

$$D = \left(\frac{1}{2}\right) * (v * t) + k + dr \quad (3.2)$$

Όπου:

- $D \rightarrow$ Το διορθωμένο βάθος από την επιφάνεια αναφοράς του νερού (Μ.Σ.Θ)
- $V \rightarrow$ Η μέση τιμή της ταχύτητας διάδοσης του ήχου στην στήλη ύδατος
- $t \rightarrow$ ο χρόνος από την στιγμή της εκπομπής του ηχητικού κύματος μέχρι την στιγμή λήψης της ανακλώμενης ηχούς
- $k \rightarrow$ ενδογενές σφάλμα
- $d_r \rightarrow$ η κατακόρυφη απόσταση του μορφοτροπέα από την επιφάνεια της θάλασσας (βύθισμα) (USACE 2002)



Εικόνα 3.2: Προσδιορισμός βάθους με ηχοβολιστική μέθοδο. Πηγή: USAGE 2002

Ωστόσο μεταξύ του πυθμένα και του μορφοτροπέα μπορεί να μεσολαβήσουν και άλλοι υποβρύχιοι στόχοι, όπως για παράδειγμα θαλάσσια κήτη, κοπάδια ψαριών, σκουπίδια, φύκια, φυσαλίδες ή αιωρούμενα σωματίδια ιζήματος, με αποτέλεσμα το ανακλώμενο ηχητικό κύμα που επιστρέφει να ανταποκρίνεται στην απόσταση μεταξύ του οργάνου και των στόχων αυτών.

3.3 Κατηγορίες ηχοβολιστικών συσκευών

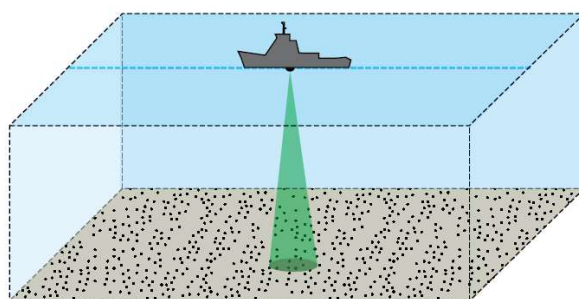
Για τους σκοπούς της εργασίας χρησιμοποιήθηκε ηχοβολιστικό πολλαπλής δέσμης (MBES-Multi Beam Echo Sounder). Ωστόσο όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, υπάρχουν οι εξής κατηγορίες ηχοβολιστικών συσκευών:

Ηχοβολιστικές συσκευές μονής δέσμης (Single Beam Echo Sounders - SBES)

Κατά την μέθοδο αυτή γίνεται εκπομπή ηχητικού κύματος σε μια μόνο συχνότητα και το ηχητικό κύμα διαδίδεται σε μορφή κωνικής ηχητικής δέσμης με εύρος που εξαρτάται από την συχνότητα εκπομπής και τις διαστάσεις του μορφοτροπέα. Ο όρος εύρος δέσμης αναφέρεται ακριβώς στην γωνία του κώνου, εντός του οποίου

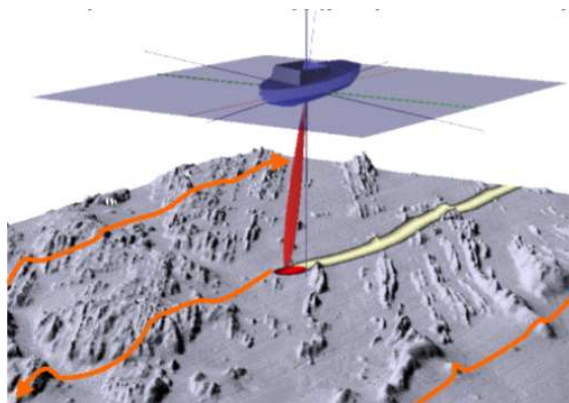
συσσωρεύεται το μεγαλύτερο μέρος της ηχητικής ενέργειας που εκπέμπεται προς τον βυθό. Η κωνική γωνία εντός της οποίας οριοθετείται η σημαντική ηχητική ενέργεια, είναι εκείνη της οποίας οι πλευρές αντιπροσωπεύουν τα σημεία όπου η ηχητική ένταση έχει μειωθεί στο ήμισυ της μέγιστης (Παλληκάρης, 1998).

Το ηχοβολιστικό μονής δέσμης μετράει το βάθος και καταγράφει την τομή του πυθμένα μόνο κάτω από την γραμμή πλεύσης του σκάφους ή οποιουδήποτε πλωτού μέσου, με αποτέλεσμα το βάθος και η μορφολογία του πυθμένα ανάμεσα στις γειτονικές γραμμές πλεύσης να μην αποτυπώνονται. Εντούτοις, χρησιμοποιούνται μέθοδοι παρεμβολής, με σκοπό την θεωρητική εκτίμηση τους. Σε περιπτώσεις αποτυπώσεων που απαιτείται υψηλή ακρίβεια και ανάλυση, ως προς τα χαρακτηριστικά και μορφολογία του πυθμένα, δημιουργούνται επιπλέον γραμμές καταγραφής, ώστε η σάρωση να γίνει πιο πυκνή και άρα να αποκτηθεί περισσότερη βυθομετρική πληροφορία.

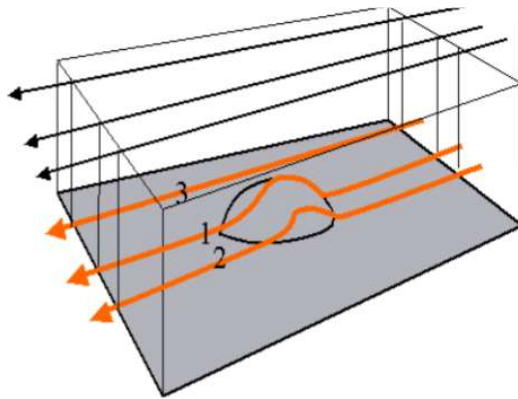


Εικόνα 3.3: Ηχοβολιστικό σύστημα μονής ηχητικής δέσμης.

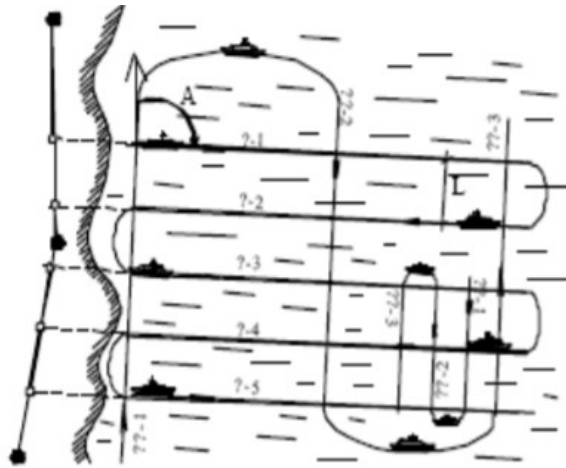
Πηγή: https://www.researchgate.net/publication/324828690_Echobolistikes_Syskeues



Εικόνα 3.4: Γραμμές καταγραφής και SBES.



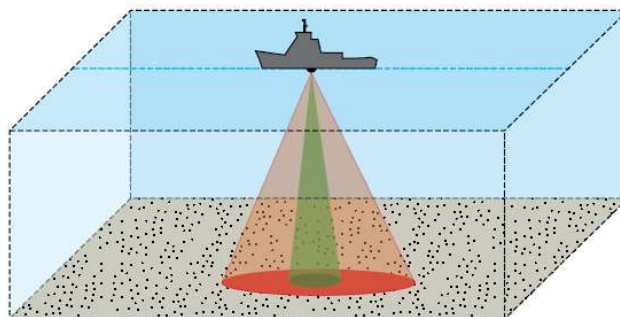
Εικόνα 3.5: Πύκνωση γραμμών πλεύσης, για λεπτομερέστερη απεικόνιση του πυθμένα.



Εικόνα 3.6: Απεικόνιση γραμμών πλεύσης και καταγραφής (record lines)

Ηχοβολιστικές συσκευές διπλής δέσμης (Dual Beam Echo Sounders)

Στις ηχοβολιστικές συσκευές διπλής δέσμης, γίνεται εκπομπή ηχητικού κύματος σε δύο διαφορετικές συχνότητες και τα αντίστοιχα ηχητικά κύματα διαδίδονται με μορφή κωνικών δεσμών διαφορετικού εύρους. Ο μορφοτροπέας παράγει ηχητική δέσμη σε σχήμα κώνου, της οποίας η κορυφή ταυτίζεται μ' αυτόν, ενώ η κυκλική βάση του κώνου αντιστοιχεί στο ίχνος επί του βυθού που σαρώνεται από την δέσμη της συσκευής.

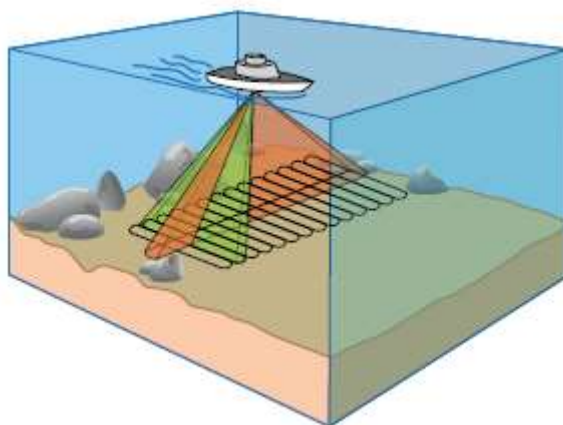


Εικόνα 3.7: Ηχοβολιστική μέθοδος διπλής δέσμης.

Πηγή:https://www.researchgate.net/publication/324828690_Echobolistikes_Syskeues

Ηχοβολιστικές συσκευές πολλαπλής δέσμης (Multi Beam Echo Sounders – MBES)

Η μέθοδος αυτή είναι η πλέον γενικευμένη μέθοδος καταγραφής και βυθομετρικής αποτύπωσης παράκτιων περιοχών, εξαιτίας της υψηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας που απαιτείται στην απεικόνιση του πυθμένα. Ιδιαίτερη εφαρμογή έχει η μέθοδος σε περιπτώσεις αποτύπωσης λιμένων ή διαύλων ναυσιπλοΐας, λόγω της μεγάλης αύξησης του βυθίσματος των πλοίων και της ανάγκης για εξάλειψη πιθανών θαλάσσιων ατυχημάτων. Κατά τη διάρκεια καταγραφής, γίνεται ταυτόχρονη εκπομπή ηχητικών κυμάτων σε δεκάδες πολύ λεπτές γειτονικές ηχητικές δέσμες διατεταγμένες σε σχήμα βεντάλιας, τυπικού βήματος $1,5^\circ$, με εγκάρσιο άνοιγμα από 90° έως σχεδόν 180° , ώστε να επιτευχθεί ακριβής καταγραφή της βαθυμετρίας σε μια ζώνη του θαλάσσιου βυθού εκατέρωθεν του ίχνους του υδρογραφικού σκάφους.

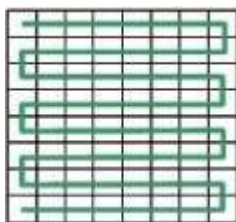


Εικόνα 3.8: Ηχοβολιστικό σύστημα πολλαπλής ηχητικής δέσμης.

Πηγή:https://www.researchgate.net/publication/324828690_Echobolistikes_Syskeues

Η τεχνολογία MBES, χρησιμοποιείται ευρέως στην θαλάσσια έρευνα μετά το 1990, καθώς αποτελεί προϊόν της σύγχρονης τεχνολογίας. Πρωτοεμφανίστηκε στο τέλος της δεκαετίας του 1950 και αναπτύχθηκε το 1970 από το Αμερικανικό Ναυτικό με σκοπό την χαρτογράφηση μεγάλων περιοχών του πυθμένα των ωκεανών για τις ανάγκες της ναυτιλίας των υποβρύχιων. Ο τρόπος λειτουργίας του, αφορά τον ηχοβολισμό του

πυθμένα μέσω της εκπομπής παλμών πολλές φορές το δευτερόλεπτο με συχνότητα που εξαρτάται από το βάθος, σε εγκάρσιες διατομές (ring) στην πορεία του σκάφους-φορέα και την καταγραφή των βαθών στο εύρος μιας ζώνης (swath) παράλληλης με την πορεία του σκάφους. Το εύρος της κάθε ζώνης (swath), είναι πολλαπλάσιο του βάθους (συνήθως 2-7 φορές) και το αποτέλεσμα είναι η κάλυψη της επιφάνειας του πυθμένα της περιοχής μελέτης από διαδοχικές ζώνες, καθώς το σκάφος κινείται σε παράλληλες και κάθετες γραμμές (track-lines). Η κατηγορία αυτού του είδους σάρωσης, ονομάζεται **βουστροφηδόν** (row prime ή boustrophedon) και προέρχεται από το αρχαίο ελληνικό επίρρημα, που σημαίνει κίνηση όμοια με εκείνη του βοδιού που σύρει το αλέτρι. Ειδικότερα, η σάρωση βουστροφηδόν πραγματοποιείται εναλλάξ από τα αριστερά προς τα δεξιά και από τα δεξιά προς τα αριστερά, ενώ φτάνοντας στο τέλος μιας γραμμής, η σάρωση συνεχίζεται από το τέλος της επόμενης. Με την τεχνική αυτή αποφεύγονται οι ασυνέχειες στην τιμή των φατνίων οι οποίες παρατηρούνται συνήθως από το «άλμα» που γίνεται στο τέλος κάθε γραμμής (Κάβουρας Μ., Δάρρα Α., Κονταζάκη Σ., Τομάη Ε., 2015). Στην εικόνα (3.9), παρατίθεται παράδειγμα της σάρωσης βουστροφηδόν.



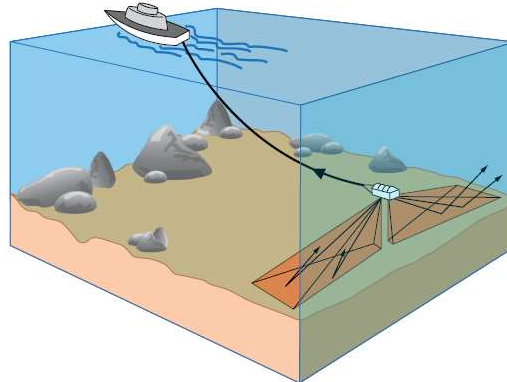
Εικόνα 3.9: Παράδειγμα σάρωσης βουστροφηδόν

Προκειμένου να αποτυπωθούν τα μετρούμενα σημεία, απαιτείται η ακριβής χωροθέτηση τους σε ένα ενιαίο οριζόντιο και κατακόρυφο σύστημα αναφοράς. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με την χρήση συστημάτων ακριβείας απόλυτου εντοπισμού θέσης, όπως επίσης και τον ακριβή προσδιορισμό του προσανατολισμού και της τροχιάς της ηχητικής δέσμης κατά την διάρκεια του κάθε ηχοβολισμού.

Πλευρικό ηχοβολιστικό (Side Scan Sonars -SSS)

Είναι ένα ειδικό ηχοβολιστικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται σε έρευνες του θαλάσσιου πυθμένα για τον εντοπισμό διαφόρων ανωμαλιών της επιφάνειάς του, όπως «περιορισμένης εκτάσεως αβαθή που προεξέχουν σημαντικά από την υπόλοιπη επιφάνεια του βυθού», «ναυάγια», «βυθισθέντα μετά από αεροπορικό ατύχημα αεροσκάφη» και άλλα αντικείμενα που βρίσκονται στον θαλάσσιο πυθμένα. Ένα πλευρικό ηχοβολιστικό συνήθως αποτελείται από την μονάδα ελέγχου και καταγραφής που βρίσκεται στο πλοίο, την ρυμουλκούμενη από το πλοίο μονάδα εκπομπής και λήψεως του ηχητικού κύματος και το καλώδιο ρυμουλκήσεως – ηλεκτρικής συνδέσεως της μονάδας ελέγχου και καταγραφής με την ρυμουλκούμενη μονάδα. Σε κάθε πλευρά της ρυμουλκούμενης μονάδας υπάρχει προβολέας εκπομπής και λήψεως ηχητικού σήματος με κλίση 10° ή 20° κάτω από την οριζόντιο.

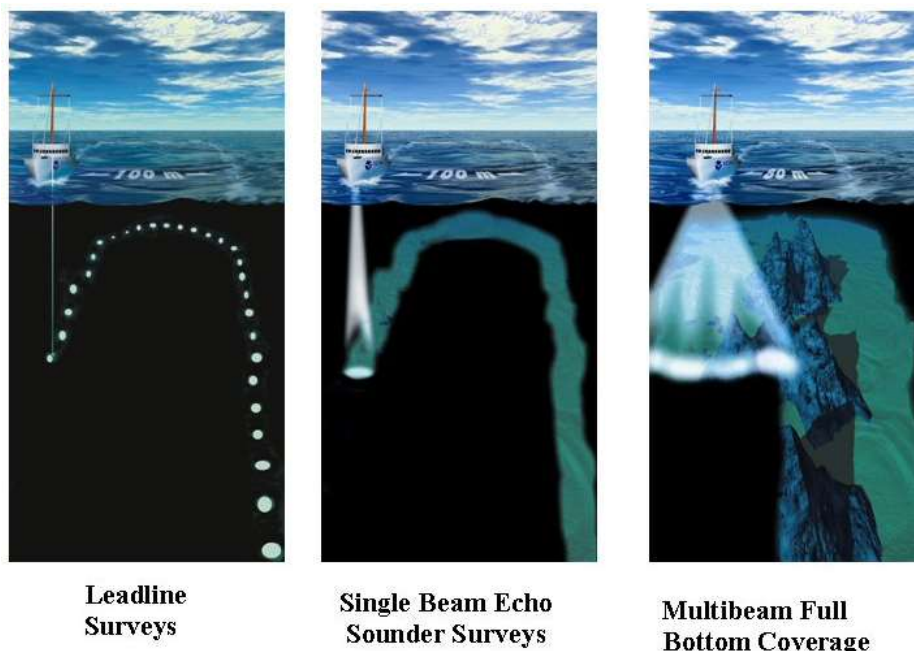
Η εκπεμπόμενη από κάθε προβολέα ηχητική δέσμη έχει εύρος 20° έως 50° , έτσι ώστε να απεικονίζεται αρκετά μεγάλη επιφάνεια του βυθού. Η απεικόνιση της επιφάνειας του βυθού που βρίσκεται κάτω από την ρυμουλκούμενη μονάδα επιτυγχάνεται με την βοήθεια των πλευρικών λοβών της εκπεμπόμενης ηχητικής δέσμης (Παλληκάρης, 1998).



Εικόνα 3.10: Πλευρικό ηχοβολιστικό.

Πηγή: https://www.researchgate.net/publication/324828690_Echobolistikes_Syskeues

Παρακάτω, παρατίθεται εικόνα, που αναπαριστά το στίγμα μερικών μεθόδων βαθυμετρίας στον πυθμένα. Συγκεκριμένα, η εικόνα 3.11.α αφορά το στίγμα της βολίδας, ενώ η 3.11.β και 3.11.γ αφορά τον ηχοβολισμό μονής και διπλής δέσμης, αντίστοιχα.



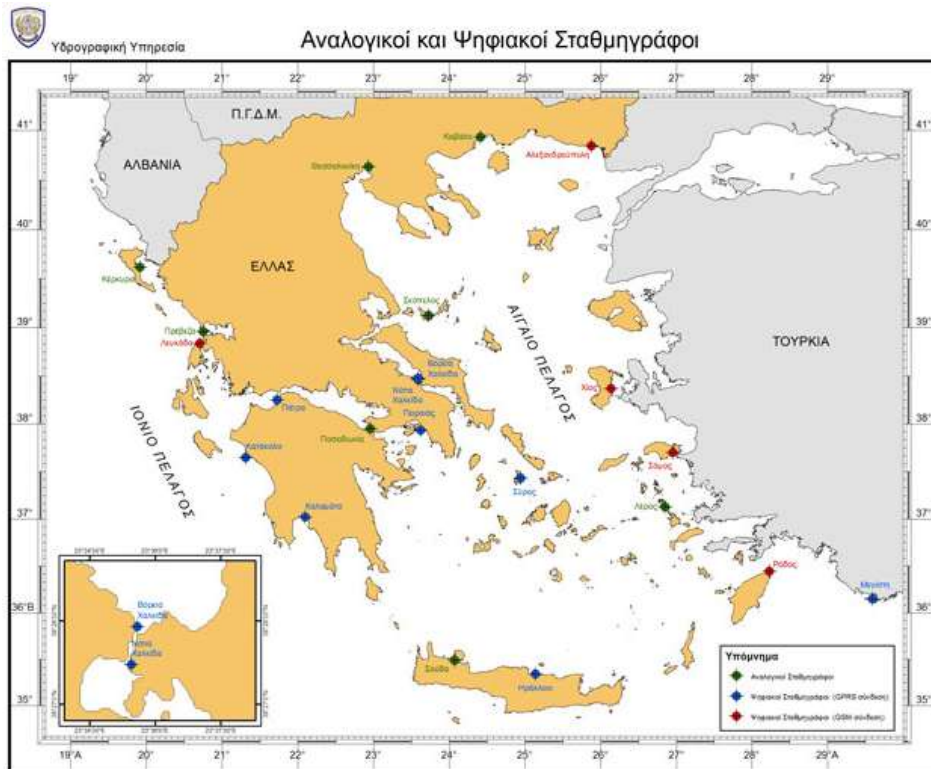
Εικόνα 3.11: Στίγμα μεθόδων βαθυμετρίας. Πηγή: NOAA

3.4 Προσδιορισμός παλίρροιας με την χρήση RTK

Προκειμένου να υπολογιστούν τα αληθή βάθη του πυθμένα, η αφετηρία των μετρήσεων, δηλαδή η θέση της ηχοβολιστικής συσκευής, πρέπει να αναχθεί σε σταθερή οριζόντια επιφάνεια αναφοράς (datum), το επίπεδο αναγωγής βολισμάτων (Sounding Datum). Ειδικότερα, στην παρούσα μελέτη, η επιφάνεια αυτή είναι η Μέση Στάθμη Θάλασσας (ΜΣΘ). Για να γίνει αυτό, το πλωτό μέσο στο οποίο θα προσαρμοστεί ο εξοπλισμός θα πρέπει να είναι θεωρητικά ακίνητο και απαλλαγμένο από τις επιδράσεις των κυμάτων του ανέμου και της παλίρροιας.

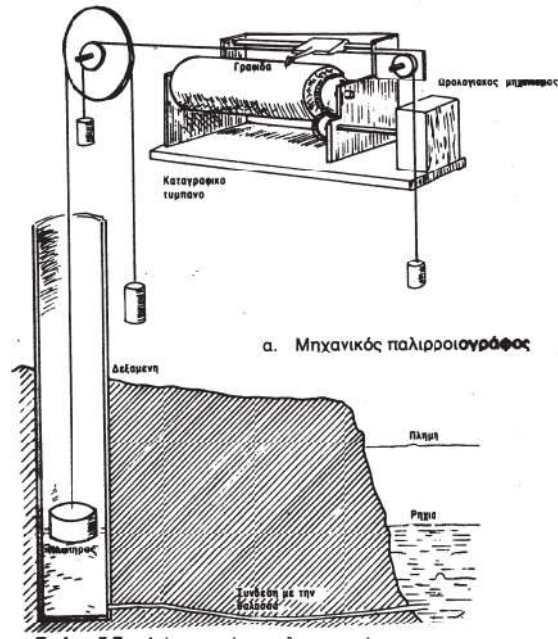
Ειδικότερα, με την έννοια παλίρροια εννοούμε το φαινόμενο της περιοδική κατακόρυφης κίνησης του νερού της θάλασσας, που οφείλεται σε διαφορές των ελκτικών δυνάμεων που ασκούν τα ουράνια σώματα. Κύρια επίδραση είναι αυτή του Ήλιου και της Σελήνης, με αποτέλεσμα την μεταβολή της στάθμης της θάλασσας σε διαφορετικές περιοχές της περιστρεφόμενης Γης. Το μέγιστο ύψος που φτάνει η θάλασσα εξαιτίας του φαινομένου της παλίρροιας ονομάζεται πλήμμη (high water) και το φαινόμενο πλημμυρίδα (rising tide), ενώ το κατώτατο σημείο ονομάζεται ρηχία (low water) και το φαινόμενο αμπωτίδα (falling water). Η συνεχής αυτή ταλάντωση της θαλάσσιας στάθμης αποτελεί το φαινόμενο της παλίρροιας και το μέγεθος αυτής εξαρτάται από την γεωγραφική θέση μιας περιοχής (Παλληκάρης, 2004).

Ο υπολογισμός της παλίρροιας γίνεται με συμβατικές μεθόδους και ειδικότερα από δίκτυο μόνιμα εγκατεστημένων σταθμηγράφων ή αλλιώς παλιρροιογράφων που έχουν τοποθετηθεί στα λιμάνια διάφορων περιοχών της χώρας από την Υδρογραφική Υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού. Αυτοί παρακολουθούν τις μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης, ενώ πλέον η καταγραφή των δεδομένων γίνεται και ψηφιακά, με δεκάλεπτη ή δεκαπεντάλεπτη καταγραφή, επιτρέποντας την μετάδοση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Παρακάτω παρατίθεται ένας χάρτης με το δίκτυο αναλογικών και ψηφιακών παλιρροιογράφων της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του Πολεμικού Ναυτικού.



Εικόνα 3.12: Χάρτης αναλογικών και ψηφιακών σταθμηγράφων Ελλάδας. Πηγή: Υ.Υ.Π.Ν

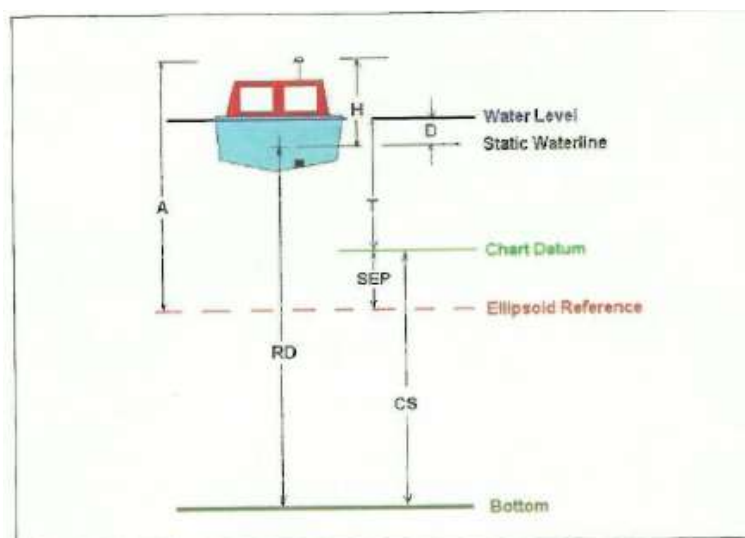
Ο σταθμηγράφος είναι όργανο σταθερής βάσης, που αποτελείται από έναν κατακόρυφο μεταλλικό ή ξύλινο κανόνα, με υποδιαιρέσεις ανά 2 cm και η αφετηρία, δηλαδή το «μηδέν» των ενδείξεων, τοποθετείται έτσι ώστε να προσεγγίζει την μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ), όσο το δυνατόν καλύτερα. Ο σταθμηγράφος παρακολουθεί την καθ' ύψος μεταβολή της στάθμης της θάλασσας και τοποθετείται μόνιμα, κυρίως σε κρηπιδώματα ή φρεάτια, ώστε η θάλασσα στο σημείο αυτό να μην επηρεάζεται από παράγοντες όπως κυματισμοί σκαφών ή την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της. Επιδιώκεται δηλαδή ένα σημείο όπου η θάλασσα βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας τον περισσότερο καιρό. Ωστόσο, πλέον δεν χρησιμοποιούνται ευρέως εξαιτίας της χαμηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας των δεδομένων που προκύπτουν. Επιπλέον, υπάρχουν οι μηχανικοί παλιρροιογράφοι, οι οποίοι λειτουργούν σαν καταγραφικά όργανα που αποτυπώνουν μέσω αναλογικής καταγραφής την κίνηση ενός πλωτήρα σε ειδική ταινία συναρτήσεως του χρόνου. Επιπρόσθετα οι ηλεκτρονικοί παλιρροιογράφοι υπολογίζουν την μεταβολή της στάθμης της θάλασσας μέσω της υδροστατικής πίεσης, καθώς είναι βυθισμένοι σε κάποιο σταθερό σημείο κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι μεταβολές αυτές, δηλαδή της υδροστατικής πίεσης, μεταδίδονται με την μορφή διαφορών ηλεκτρικής τάσης στον ηλεκτρικό καταγραφικό μηχανισμό και αποθηκεύονται στη μνήμη του.



Εικόνα 3.13: Μηχανικός παλιρροιογράφος. Πηγή: Παλληκάρης Α., 1993)

Πλέον, ο προσδιορισμός των παλιρροιακών επίπεδων προσδιορίζεται και με την μέθοδο του κινηματικού εντοπισμού θέσης για τον υπολογισμό της στάθμης της παλίρροιας RTK tides (Real Time Kinematic tides), που αποτελεί μια σύγχρονη και ικανοποιητική μέθοδο προσδιορισμού των διορθώσεων της στάθμης της θάλασσας και άρα και του προσδιορισμού της παλίρροιας, αντικαθιστώντας τις συμβατικές μεθόδους, δηλαδή την λήψη της στάθμης της παλίρροιας από τον κοντινότερο παλιρροιογράφο.

Αυτή η μέθοδος, χρησιμοποιήθηκε αρχικά από το σώμα μηχανικών του Αμερικανικού Στρατού, λαμβάνοντας υπόψιν τους ακόλουθους όρους (Pat Sanders, Coastal Oceanographics, USA).



Εικόνα 3.14: Ορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Περιγραφή	Πηγή
A	Ύψος της RTK GPS κεραίας πάνω από το Ελλειψοειδές	RTK GPS
RD	Μέτρηση βάθους από την ηχοβολιστική συσκευή με βάση της ακίνητη επιφάνεια της θάλασσας	Ηχοβολιστικό
H	Ύψος της κεραίας από τη στάθμη της ακίνητης επιφάνειας της θάλασσας	
Tc	Συμβατική τιμή της παλίρροιας	
Tk	Τιμή της παλίρροιας με χρήση RTK	
SEP	Απόσταση μεταξύ της επιφάνειας χάρτου και του Ελλειψοειδούς αναφοράς	
CS D	Βάθος ανηγμένο στη στάθμη χάρτου Βύθισμα σκάφους λόγω κίνησης (=0 σε ακινησία)	Αυτόματοι αισθητήρες, χειροκίνητες μετρήσεις ή αγνόηση

Πίνακας 1: Πίνακας παραμέτρων

Για λόγους απλότητας, αγνοούμε την ανύψωση και περιστροφή του σκάφους και υποθέτουμε πως βρίσκεται ακίνητο και σε όρθια θέση. Για τα επόμενα παραδείγματα, έχουμε ρυθμίσει το ηχοβολιστικό σε ‘static water line’ και μας δίνει μετρήσεις βαθών με βάση αυτό το επίπεδο. Από την συμβατική διαδικασία βαθυμετρίας, μπορούμε να ορίσουμε την στάθμη απλοποιημένη, από το παράδειγμα ως:

$$CS = RD + D - Tc \quad (3.3)$$

Με βάση το σχέδιο βλέπουμε ότι:

$$A + D = Tk + H + SEP \quad (3.4)$$

Λύνοντας ως προς Tk έχουμε:

$$Tk = A + D - H - SEP \quad (3.5)$$

και αντικαθιστώντας στον τύπο μας δίνει:

$$CS = RD - A + H + SEP \quad (3.6)$$

Σε αυτό το σημείο έχουμε ότι χρειαζόμαστε για να καθορίσουμε το CS σε πραγματικό χρόνο χωρίς να χρειάζεται να πάρουμε ένδειξη της παλίρροιας. Να σημειωθεί επίσης πως η μέτρηση του Dynamic Draft (βύθισμα λόγω της κίνησης του σκάφους), έχει απαλειφθεί από τον τύπο και δεν την χρειαζόμαστε για να υπολογίσουμε το CS. Το

κλειδί για να λειτουργήσει αυτή η τεχνική σωστά είναι ο ακριβής προσδιορισμός του SEP (το ύψος της στάθμης χάρτου πάνω από το ελλειψοειδές αναφοράς).

Εντούτοις, παρά την ραγδαία εξέλιξη και αξιοποίηση της μεθόδου RTK για τον προσδιορισμό των επιπέδων του νερού σε πραγματικό χρόνο και τον ακριβή και αξιόπιστο υπολογισμό ηχοβολίσεων, είτε έχει μετρηθεί το βύθισμα του σκάφους είτε όχι, οι μετρήσεις της παλίρροιας με την μέθοδο RTK tides μπορούν να συγκριθούν με αυτές των συμβατικών, μόνο αν έχει μετρηθεί το ακριβές βύθισμα του σκάφους. Επιπλέον, η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας χάρτου και του Ελλειψοειδούς αναφοράς, μπορεί να θεωρηθεί σταθερή για μια πολύ μικρή περιοχή μελέτης, ενώ πρέπει να εξοπλιστεί το πλωτό μέσο με αισθητήρες για τον προσδιορισμό των κινήσεων διατοίχισης, πρόνευσης και έκπτωσης με ενημερώσεις RTK ανά 1 δευτερόλεπτο.

3.5 Διεθνείς και εθνικές τεχνικές προδιαγραφές

Για την διεξαγωγή βυθομετρικών αποτυπώσεων, ακολουθούνται οι προδιαγραφές του Διεθνούς Υδρογραφικού Οργανισμού (ΙΗΟ), ο οποίος δημοσιεύει εγχειρίδιο με τα πρότυπα για την διεξαγωγή συμβατικών υδρογραφικών ερευνών. Επίσημες συζητήσεις για την εγκαθίδρυση προδιαγραφών στις υδρογραφικές μελέτες ξεκίνησαν το 1957, στο 7^ο παγκόσμιο συνέδριο Υδρογραφίας, ενώ η 1^η έκδοση του εγχειριδίου εκδόθηκε τον Ιανουάριο του 1968 με την ονομασία «Προτεινόμενα πρότυπα ακριβείας για Υδρογραφικές έρευνες». Έκτοτε, αυτό ανανεώνεται και επανεκδίδεται, χωρίς όμως να ακυρώνει μελέτες που έχουν βασιστεί σε προηγούμενες εκδόσεις. Συγκεκριμένα η 2^η έκδοση πραγματοποιήθηκε το 1982, η 3^η το 1987, η 4^η το 1998 και η 5^η το 2008. Τον Οκτώβριο του 2022, κυκλοφόρησε η 6^η έκδοση του εγχειριδίου και αναμένονται επιπλέον επανεκδόσεις και εξελίξεις, που στοχεύουν στην διατήρηση του παγκόσμιου πλαισίου Υδρογραφικών ερευνών.

Ο ΙΗΟ στοχεύει στην βελτίωση ασφάλειας της πλοήγησης, καθώς και την γνώση και προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Τα εγχειρίδια θέτουν τις ελάχιστες απαιτήσεις για την διεξαγωγή αποδεκτών υδρογραφικών μελετών. Οι απαιτήσεις διαφέρουν αναλόγως το βάθος και την γεωμορφολογία του πυθμένα, καθώς και τον τύπο του πλωτού μέσου, με αποτέλεσμα την δημιουργία 5 διαφορετικών εντολών διεξαγωγής βαθυμετρικής έρευνας. Ωστόσο, πολλές φορές μπορούν να χρησιμοποιηθούν παραπάνω από μια εντολές για την περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα:

- Εντολή 1^α → Η εντολή αυτή ακολουθείται σε περιοχές των οποίων τα χαρακτηριστικά του πυθμένα αποτελούν ενδιαφέρον για το είδος του σκάφους που θα τις διασχίσει. Για αυτό απαιτείται κάλυψη 100%, με σκοπό να εντοπιστούν και προσδιοριστούν διαφορετικού μεγέθους χαρακτηριστικά, όπως βράχια. Κάλυψη μικρότερη ή ίση των 100% είναι κατάλληλη, όταν τα ελάχιστα βάθη όλων των σημαντικών χαρακτηριστικών έχουν ανακτηθεί, και η βαθυμετρία παρέχει μια επαρκή αποτύπωση της φύσης της υποβρύχιας τοπογραφίας.

- Εντολή 1^β → αυτή εφαρμόζεται σε περιοχές όπου οι τύποι σκαφών επιφάνειας που αναμένεται να διασχίσουν την περιοχή είναι τέτοιοι που μια γενική επιθεώρηση του πυθμένα θεωρείται επαρκής.
- Εντολή 2 → εφαρμόζεται σε περιοχές που είναι βαθύτερες από 200 μέτρα και η απαιτούμενη βαθυμετρική κάλυψη είναι 5%.
- Special order → η εντολή αυτή απαιτείται για τις περιοχές που ο προσδιορισμός του UKC¹ είναι απαραίτητος. Ωστόσο, ο 100% προσδιορισμός των υποθαλάσσιων χαρακτηριστικών και η 100% βαθυμετρική κάλυψη είναι απαραίτητη και επίσης η περιγραφή του μεγέθους των χαρακτηριστικών. Τέτοιες περιοχές είναι οι θέσεις ελλιμενισμού, τα λιμάνια και σημαντικές περιοχές όπως πλεύσιμοι διάδρομοι και κανάλια.
- Exclusive order → αποτελεί επέκταση της ειδικής εντολής του IHO με αυστηρότερες απαιτήσεις ακρίβειας και κάλυψης δεδομένων. Η χρήση της προορίζεται να περιορίζεται σε περιοχές με ρηγά νερά (λιμάνια, θέσεις ελλιμενισμού και ιδιαίτερα σημαντικές περιοχές όπως πλεύσιμοι διάδρομοι και κανάλια), όπου υπάρχει μια βέλτιστη και ασυνήθιστη στήλη νερού και όπου συγκεκριμένες σημαντικές περιοχές με ελάχιστο UKC και χαρακτηριστικά πυθμένα είναι πιθανώς επικίνδυνα για τα σκάφη. Για την εντολή αυτή, απαιτείται 200% αναζήτηση χαρακτηριστικών και 200% βαθυμετρική κάλυψη. Ο προσδιορισμός του μεγέθους των υποθαλάσσιων χαρακτηριστικών είναι πιο επιτακτικός σε σχέση με την ειδική εντολή (special order).

Βάσει της πιο πρόσφατης έκδοσης (Standards for Hydrographic Surveys – S-44 6th Edition), ο πίνακας των ελάχιστων βαθυμετρικών προδιαγραφών στις Υδρογραφικές μελέτες για την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας είναι ως εξής:

¹ UKC: Η κατακόρυφη απόσταση από το κατώτατο σημείο του πλωτού μέσου μέχρι τον πυθμένα.

Κριτήρια	Εντολή 2	Εντολή 1 ^β	Εντολή 1 ^α	Ειδική εντολή (special order)	Αποκλειστική εντολή (exclusive order)
Περιγραφή περιοχής (γενικά)	Περιοχές των οποίων μια γενική περιγραφή του πυθμένα, θεωρείται επαρκής	Περιοχές στον οποίων η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του κατώτατου σημείου του σκάφους και του πυθμένα, δεν θεωρείται ιδιαίτερο ζήτημα για τον τύπο του πλωτού μέσου που θα διασχίσει την περιοχή αυτή.	Περιοχές των οποίων η UKC, δεν θεωρείται κρίσιμη αλλά χαρακτηριστικά που αφορούν την επιφάνεια του σκάφους μπορεί να υπάρχουν	Περιοχές των οποίων ο προσδιορισμός της UKC θεωρείται επιτακτικός	Περιοχές στις οποίες υπάρχουν αυστηρά κριτήρια ευελιξίας και UKC
Οριζοντιογραφική ακρίβεια (THU) (με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%)	20m + 10% του βάθους	20m + 5% του βάθους	5m + 5% του βάθους	2m	1m
Κατακόρυφη ακρίβεια (ακρίβεια βάθους με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%)	a=1.0m b=0.023	a=0.5m b=0.013	a=0.5m b=0.013	a=0.25 b=0.0075	a=0.15m b=0.0075
Ανίχνευση χαρακτηριστικών	Δεν διευκρινίζονται	Δεν διευκρινίζεται	Εντοπισμός κυβικών χαρακτηριστικών >2m σε βάθη μέχρι από 40m. Ειδικά, αντικείμενα που βρίσκονται σε βάθος περισσότερο από 40m, διαστάσεων 10% του βάθους	Εντοπισμών κυβικών χαρακτηριστικών διαστάσεων > 1m	Εντοπισμών κυβικών χαρακτηριστικών διαστάσεων > 0,5 m
Ο βαθμός στον οποίο ερευνάται μια περιοχή ως προς τα χαρακτηριστικά της	Προτείνεται αλλά δεν απαιτείται	Προτείνεται αλλά δεν απαιτείται	100%	100%	200%
Βαθυμετρική κάλυψη	5%	5%	≤100%	100%	200%

Πίνακας 2: Ελάχιστες βαθυμετρικές απαιτήσεις βάσει των 5 οδηγιών (IHO,2022)

Στην περίπτωση της συγκεκριμένης μελέτης, με βάση την 6^η έκδοση του εγχειριδίου IHO, εφαρμόστηκε η εντολή «Exclusive Order», η οποία αξιοποιείται σε περιπτώσεις απαιτητικών αποτυπώσεων που αφορούν λιμένες και διαύλους ναυσιπλοΐας και απαιτεί κάλυψη του πυθμένα (bathymetric coverage) 200%. Στην ορολογία των MBES,

σημαίνει ότι κάθε τμήμα του πυθμένα, ηχοβολίζεται από δύο διαφορετικές γειτονικές σαρώσεις, με αποτέλεσμα την κάλυψη του πυθμένα 2 φορές .

Παράλληλα με τις απαιτήσεις κατά IHO, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των αρχών της Νέας Ζηλανδίας (LINZ) που είναι πιο αυστηρές, σχετικά με την διεξαγωγή υδρογραφικών ερευνών με ηχοβολιστικό πολλαπλής δέσμης, ισχύουν τα παρακάτω.

Τα μέσα που χρησιμοποιούν συστήματα MBES, θα πρέπει να είναι επανδρωμένα με εξοπλισμό ο οποίος θα παρέχει διορθώσεις για τα ακόλουθα:

- Πορεία σκάφους
- Κίνηση διατοίχισης σκάφους (roll)
- Κίνηση ανύψωσης σκάφους (heave)
- Κίνηση πρόνευσης σκάφους (pitch)
- Ταχύτητα σκάφους
- Επιβύθιση σκάφους
- Βύθισμα πλοίου
- Θέση σκάφους
- Μετατοπίσεις σκάφους
- Συγχρονισμός χρονομέτρων
- Ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο θαλασσινό νερό
- Ωρα και ύψος παλίρροιας

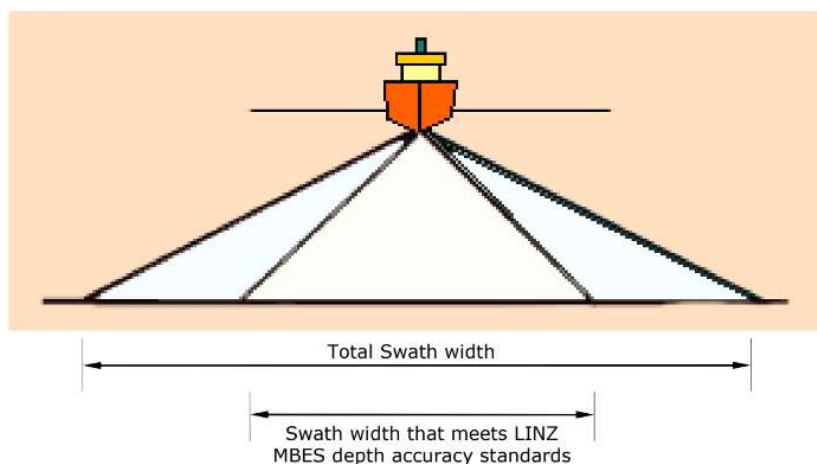
Υπάρχουν 4 εντολές κατά τον LINZ, για υδρογραφικές μελέτες με την χρήση MBES, των οποίων οι ακρίβειες παρατίθενται στον Πίνακα 3.

Εντολή κατά LINZ	MB Special	MB-1	MB-2	MB-3
Ακρίβεια βάθους	1* IHO SO	1.5*IHO SO	2*IHO SO	2.5*IHO SO
Ανίχνευση στόχων	Ελάχιστη οριζόντια διάσταση στόχου, που απαιτείται να ανιχνευθεί			
Βάθος νερού < 40m	1m	2m	4m	8m
Βάθος νερού > 40m	2,5% του βάθους	5% του βάθους	10% του βάθους	20% του βάθους
Μέγιστη απόσταση μεταξύ τριών χτυπημάτων κατά μήκος και εγκάρσια της γραμμής	2,5% του βάθους	5% του βάθους	10% του βάθους	20% του βάθους
Κάλυψη μεταξύ του εύρους των ζωνών	200%	100%	100%	100%

Πίνακας 3: Προδιαγραφές MBES κατά LINZ

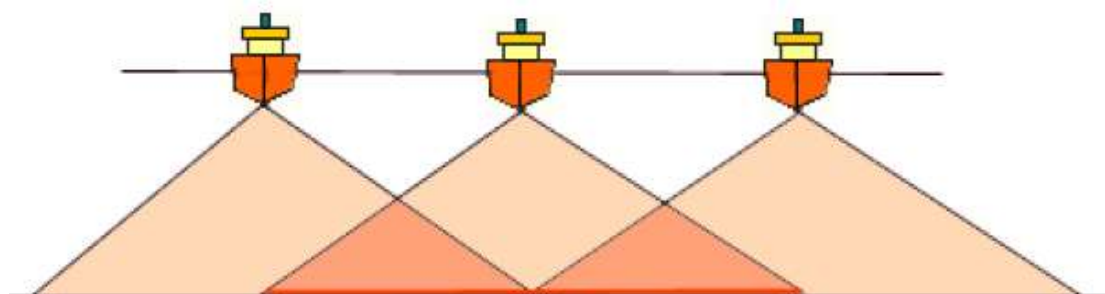
Οι ακρίβειες αναφέρονται σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Για τις προϋποθέσεις αυτές, το πλάτος της ζώνης που προσδιορίζει οποιαδήποτε κάλυψη είναι το τμήμα της λωρίδας που καλύπτει τις προϋποθέσεις ακριβείας. Συγκεκριμένα από το παρακάτω σχήμα, αντιλαμβανόμαστε ότι από το εύρος της δέσμης που καλύπτει τον πυθμένα σε σχέση με αυτή που είναι αποδεκτή, αυτή δηλαδή που καλύπτει τις προϋποθέσεις ακριβείας βάθους κατά LINZ για MBES μελέτες, είναι μεγαλύτερη σε εύρος.



Εικόνα 3.15: Μήκος πραγματοποιούμενης λωρίδας, σε σχέση με την αποδεκτή κατά LINZ. Πηγή:http://www.pingdsp.com/pdf/hydro_linz-contract-specifications-for-hydrographic-surveys_20160607_0.pdf

Για την αποτύπωση ρηχών νερών και σημαντικών περιοχών όπως λιμένες, θέσεις ελλιμενισμού, καθώς και πλεύσιμοι διάδρομοι και κανάλια, απαιτείται η εφαρμογή της ειδικής οδηγίας (MB Special order), της οποίας η προδιαγραφή για βαθυμετρική κάλυψη 200% στην ορολογία των MBES, σημαίνει όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τον ηχοβολισμό κάθε τμήματος του πυθμένα από δύο γειτονικές σαρώσεις, δηλαδή την κάλυψη του πυθμένα με μετρήσεις δύο φορές.



Εικόνα 3.16: Αλληλοεπικάλυψη σαρώσεων MBES. Πηγή:
http://www.pingdsp.com/pdf/hydro_linz-contract-specifications-for-hydrographic-surveys_20160607_0.pdf

Κεφάλαιο 4: Φυσικοχημικές και χημικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού

4.1 Εισαγωγή

Το θαλασσινό νερό αποτελεί την πολυπλοκότερη μορφή της γνωστής χημικής ένωσης H_2O , καθώς μέσα σε αυτό μπορούν να εντοπιστούν διαλυμένα σε πολύ μικρή περιεκτικότητα άλατα, χημικά στοιχεία και ορυκτά. Στην παρούσα εργασία, μας ενδιαφέρουν μερικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού, όπως η αγωγιμότητα, η θερμοκρασία, η πίεση και η περιεκτικότητα σε αλατότητα, για τον υπολογισμό του προφίλ ταχύτητας διάδοσης του ήχου στο θαλασσινό νερό. Ειδικότερα, σκοπός μιας βυθομέτρησης είναι ο υπολογισμός των βαθών της περιοχής μελέτης μέσω της εκπομπής και της ανάκλασης των κυμάτων από και προς την ηχοβολιστική συσκευή. Ωστόσο, λόγω της πολυπλοκότητας της σύστασης του θαλασσινού νερού και της φύσης των ηχητικών κυμάτων, η ταχύτητα μετάδοσης μεταβάλλεται με αποτέλεσμα την ανάγκη προσδιορισμού της ταχύτητας σε ένα εύρος βαθών, ώστε να προκύψουν τα σωστά επιθυμητά βάθη.

4.2 Ιδιότητες και παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο νερό

Αγωγιμότητα (conductivity G): ως αγωγιμότητα μεταφράζεται το μέτρο ευκολίας με την οποία διέρχεται το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από κάποιο υλικό και στην περίπτωση αυτή, το θαλασσινό νερό. Αυτή οφείλεται στις συγκρούσεις των φορτισμένων σωματιδίων (ιόντα ή ηλεκτρόνια), είτε μεταξύ τους είτε με τα μόρια του νερού. Η αγωγιμότητα στο θαλασσινό νερό, εξαρτάται τόσο από την αλατότητα, όσο και από την θερμοκρασία, με την αύξηση της τελευταίας, να επιφέρει και αύξηση της αγωγιμότητας. Συγκεκριμένα για κάθε $1^{\circ}C$ αύξηση της θερμοκρασίας, η αύξηση της αγωγιμότητας είναι 2-4%. Αυτό αποδίδεται στην αυξανόμενη κινητικότητα των ιόντων, αλλά και στην αύξηση της πίεσης. Συνεπώς, όταν γίνονται μετρήσεις αγωγιμότητας σε μεγάλα βάθη, είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψη η υδροστατική πίεση, ώστε να πραγματοποιηθούν και οι σχετικές διορθώσεις. Η μονάδα αγωγιμότητας είναι το Siemens ή το Mho (αντίστροφο του Ohm). (Πούλος Σ., 2022)

Από τις εξισώσεις (1),(2), γίνεται αντιληπτή η σημασία της ταχύτητας διάδοσης του ήχου στο νερό στο σφάλμα υπολογισμού της απόστασης μεταξύ του μορφοτροπέα και του πυθμένα ή οποιουδήποτε υποβρύχιου στόχου. Ωστόσο η τιμή της ταχύτητας (v) εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, με κυριότερους την θερμοκρασία του νερού (T°), την περιεκτικότητα του σε αλατότητα (S) και την πυκνότητα (P), οι οποίες μεταβάλλονται τόσο με το βάθος όσο και με την ώρα της πραγματοποίησης των μετρήσεων. Ειδικότερα, σύμφωνα με τον Σ. Πούλο (2022):

- **Θερμοκρασία (Temperature T°)** « Η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού εκφράζεται συνήθως σε βαθμούς Κελσίου (C°) και η επιφανειακή κατανομή της κυμαίνεται από $-2^{\circ}C$ έως $+30^{\circ}C$, καθώς επηρεάζεται από την ηλιακή

ακτινοβολία. Ωστόσο, η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού, μεταβάλλεται και με την αύξηση του βάθους.»

Οι εποχιακές μεταβολές, οι κατακρημνίσεις και οι άνεμοι, επηρεάζουν μέχρι ένα συγκεκριμένο εύρος βάθους την κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας και ειδικότερα περίπου μέχρι τα 50-150m. Σε μεγαλύτερα βάθη, αναφερόμαστε πλέον στην ζώνη του θερμοκλινούς, κατά την οποία η θερμοκρασία παύει να επηρεάζεται από εξωγενείς παράγοντες και μεταβάλλεται αποκλειστικά με το βάθος. Βέβαια, το άνω όριο του θερμοκλινούς μεταβάλλεται με την εποχή, παρατηρώντας μείωση (ανεβαίνει σε μικρότερο βάθος) κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και την άνοιξη, σε αντίθεση με τους χειμερινούς μήνες που αυξάνεται το βάθος του θερμοκλινούς, ενώ αυτό διαφοροποιείται και από το γεωγραφικό πλάτος μιας περιοχής.

- **Αλατότητα (Salinity S)** Σύμφωνα με το Διεθνές Συμβούλιο Εξερεύνησης της Θάλασσας, το 1909 διατυπώθηκε ο ορισμός της αλατότητας ως εξής: «Αλατότητα είναι το συνολικό ποσό σε γραμμάρια (g) των διαλυμένων στερεών ουσιών που περιέχονται σε 1 χιλιόγραμμο (kg) θαλασσινού νερού, όταν όλα τα ανθρακικά έχουν μετατραπεί σε οξείδια, το βρώμιο και το ιώδιο έχουν αντικατασταθεί από χλώριο και όλα τα οργανικά έχουν οξειδωθεί τελείως». Η ποσότητα αυτή εκφράζεται σε 1:1000 (ppt: parts per thousand).

Βασική πηγή προέλευσης των ιόντων του νερού της θάλασσας είναι οι ποταμοί, οι οποίοι περιέχουν διαλυμένα προϊόντα της χημικής αποσάθρωσης, και η χερσαία ή υποθαλάσσια ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Η χωρική κατανομή της επιφανειακής αλατότητας εξαρτάται από την διαφορά μεταξύ της συνολικής υγροποίησης και της εξάτμισης, οι οποίες με την σειρά τους σχετίζονται με την γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία και αντιστοιχούν σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες. Για παράδειγμα, στην υποτροπική ζώνη (γεωγραφικό πλάτος 15-30°) παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές αλατότητας ($S > 35,5$), ενώ στην τροπική ζώνη η αλατότητα μειώνεται με την ελάχιστη τιμή της ($S = 34,5$) να εντοπίζεται στις 5° Β γεωγραφικό πλάτος, λόγω των αυξημένων βροχοπτώσεων.

Η επιφανειακή τιμή της αλατότητας επηρεάζεται επίσης από:

- Την ροή γλυκού νερού από ποτάμια και υποθαλάσσιες πηγές στις παράκτιες περιοχές ή τις διαδικασίες πήξης-τήξης στις πολικές περιοχές
- Τον άνεμο, ο οποίος επηρεάζει την παρουσία των υδρατμών στην ατμόσφαιρα
- Τα ρεύματα του ωκεανού, που μεταφέρουν θαλάσσιες μάζες διαφορετικής αλατότητας
- Την θερμοκρασία και την πυκνότητα του νερού

Η κατακόρυφη κατανομή της αλατότητας, επηρεάζεται

- Το βάθος. Ωστόσο, ο τρόπος και ο βαθμός μεταβολής εξαρτάται από την γεωγραφική θέση
- Στα μεγάλα βάθη οι μεταβολή της αλατότητας μπορεί να θεωρηθεί σταθερή, λόγω των ελάχιστων αλλαγών

Πυκνότητα (density P). αυτή ορίζεται ως η μάζα θαλασσινού νερού ανά κυβικό μέτρο νερού (kg/m^3) και εξαρτάται από

- Την θερμοκρασία (T°)
- Την αλατότητα (S)
- Την πίεση (P)

Συγκεκριμένα, η αύξηση της θερμοκρασίας, προκαλεί μείωση της πυκνότητας (λόγω διαστολής), σε αντίθεση με την αύξηση της αλατότητας που προκαλεί αύξηση της πυκνότητας (λόγω προσθήκης μάζας), όπως και η αύξηση πίεσης, λόγω μείωσης όγκου.

4.3 Ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο θαλασσινό νερό

Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο νερό, μεταβάλλεται ανάλογα με το βάθος καθώς και τις ιδιότητες του νερού που αναφέρθηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα, η ταχύτητα αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της υδάτινης στήλης, με αποτέλεσμα τα ηχητικά κύματα που εκπέμπονται από τις ηχοβολιστικές συσκευές να μην μεταδίδονται με την ίδια ταχύτητα και συνεπώς, η απουσία ενός προφίλ διάδοσης να επιφέρει σημαντικά σφάλματα στα αποτελέσματα της ηχοβόλισης.

Ωστόσο, τα ηχητικά κύματα που εκπέμπονται δεν φτάνουν ακέραια στον πυθμένα, εξαιτίας διαφόρων παραγόντων, όπως η εξασθένηση αυτών λόγω της εξάπλωσης τους ή αλλιώς απώλεια εξάπλωσης, της απώλειας απορρόφησης που προκαλείται από την εσωτερική τριβή με το μέσο διάδοσης, έχοντας ως αποτέλεσμα την απορρόφηση μέρους της ενέργειας και μετατροπής αυτής σε θερμότητα, και της απώλειας διασκόρπισης, δηλαδή της πρόσκρουσης των ηχητικών κυμάτων σε διάφορους ανακλαστήρες, όπως ψάρια, φυσαλίδες ή φύκια. Τέλος, η πρόσκρουση στον επιθυμητό στόχο μπορεί να αποτυγχάνει λόγω της απώλειας ανάκλασης, για παράδειγμα σε διαφορετικές μεταξύ στρωμάτων νερού διαφορετικής πυκνότητας.

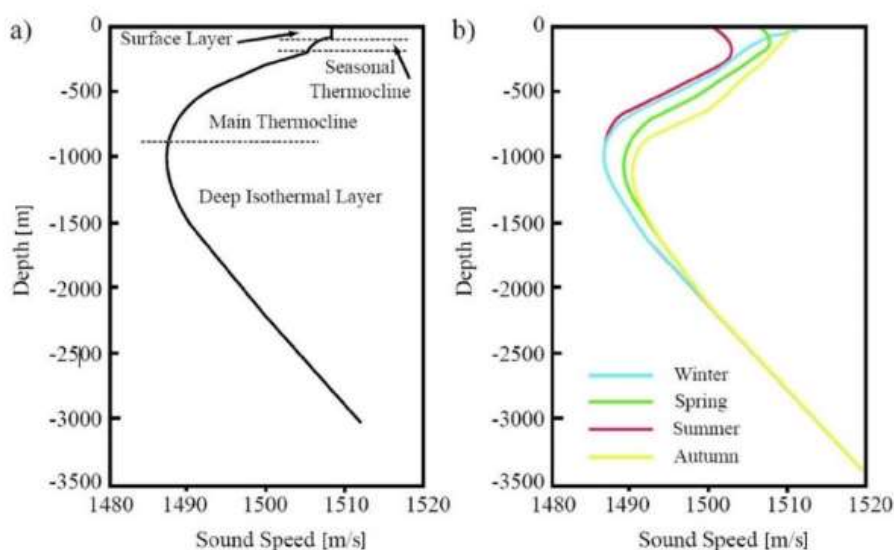
Η εξίσωση που υπολογίζει με ακρίβεια την ταχύτητα του ήχου και λαμβάνει υπόψιν τις τιμές της αλατότητας (S), θερμοκρασίας (T) και του βάθους, είναι η εξίσωση Mackenzie 1981:

$$C = 1449,2 + 4,6 * T - 0,0055 * T^2 + 0,00029 * (1,34 - 0,01025 * T) * (S - 35) + 0,016 * z + (1,675 * 10^{-7}) * z^2 - (7,139 * 10^{-13}) * z^3 \quad (4.1)$$

(Π.Σεραφείμ, 2021)

«Η ταχύτητα του ήχου στο θαλασσινό νερό κυμαίνεται από 1450 m/s έως 1570m/s. Αυξάνεται κατά 4,5 m/s για κάθε 1°C αύξηση της θερμοκρασίας, κατά 1,3 m/s για κάθε μια (1) μονάδα αύξηση της αλατότητας (Stewart 2008) και κατά 1,7 m/s για κάθε 10 bars (100m) αύξηση της υδροστατικής πίεσης. Μάλιστα, όπως φαίνεται και από τους τρεις τελευταίους όρους της παραπάνω εξίσωσης, από το βάθος των 1000m, η αύξηση της ταχύτητας του ήχου είναι σχεδόν γραμμική συνάρτηση του βάθους, αυξανόμενη κατά περίπου 1,6 m/s ανά 100m βάθους. Επειδή οι μεγαλύτερες αλλαγές στη θερμοκρασία και την αλατότητα του θαλασσινού νερού σημειώνονται στα επιφανειακά ύδατα (δηλαδή στα πρώτα 150-200m), σε αυτή την ζώνη σημειώνονται και οι μεγαλύτερες αλλαγές στην ταχύτητα διάδοσης του ήχου. Επιπλέον, η εποχιακή μεταβλητότητα της θερμοκρασίας, που είναι σημαντική εντός και πάνω από τη ζώνη του μόνιμου θερμοκλινούς, σε σχέση με τις αντίστοιχες μικρές μεταβολές της αλατότητας, έχει ως συνέπεια η θερμοκρασία να είναι ο καθοριστικός παράγοντας για την ταχύτητα του ήχου στο ανώτερο στρώμα του ωκεανού» (Σ. Πούλος, 2022).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι παρακάτω εικόνες, που απεικονίζουν την μεταβολή του διαγράμματος ταχύτητας διάδοσης του ήχου (α) ανάλογα με το βάθος και την διαστρωμάτωση του θαλασσινού νερού, και επομένως των μεταβολών της θερμοκρασίας, και (β) τις τέσσερις εποχές του χρόνου.



Εικόνα 4.1: (α) Προφίλ απεικόνισης της δομής των επιπέδων της ταχύτητας του ήχου στο νερό, εξαιτίας των θερμοκρασιακών μεταβολών (β) Μέση απεικόνιση ταχύτητας του ήχου σε διαφορετικές εποχές σε μια περιοχή ανάμεσα του Newfoundland και της Μεγάλης Βρετανίας.

Πηγή: https://www.researchgate.net/publication/362570252_Sound_propagation_in_water_-_Overview_of_relevance_for_the_search_for_submarines

Ωστόσο υπάρχει και μια δεύτερη εκδοχή της εξίσωσης Mackenzie 1981, που είναι η εξής:

$$c(D, S, T) = 1448,96 + 4,591 * T - 5,304 * 10^{-2} * T^2 + 2,374 * 10^{-4} * T^3 + 1,34 * (S - 35) + 1,63 * 10^{-2} * D + 1,675 * 10^{-7} * D^2 - 1,025 * 10^{-2} * T * (S - 35) - 7,139 * 10^{-13} * T * D^3 \quad (4.2)$$

όπου διαφοροποιείται ως προς τις τιμές των όρων, ενώ προστίθεται και ένας επιπλέον όρος στο τέλος της εξίσωσης (4.1) σε σχέση με την αρχική μορφή της εξίσωσης.

Κεφάλαιο 5: Όργανα και Μέθοδοι Μετρήσεων

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, αναφέρεται ο εξοπλισμός και οι μέθοδοι μετρήσεων που αξιοποιήθηκαν για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Ειδικότερα, αναφέρονται, το είδος του εξοπλισμού και τα χαρακτηριστικά αυτού, καθώς και η μέθοδος εκτέλεσης και λήψης των μετρήσεων στο πεδίο.

5.2 Όργανα Μετρήσεων

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε αποτελείτο από :

- Ηχοβολιστικό πολλαπλής δέσμης (multibeam echosounder)
 - Ηλεκτρονική Μονάδα
 - Αισθητήρας (μάτι)
- 1 Δέκτη DGPS
- IMU αισθητήρας κίνησης (motion sensor)
- Μετασχηματιστής (inverter)
- Καλώδιο γείωσης
- Η/Υ
- Ταχύπλοο σκάφος & Τρέιλερ
- Θερμοσαλινόμετρο
- Μπαταρία
- Σκαντάγιο βυθομέτρησης

5.2.1. Ηχοβολιστικό πολλαπλής δέσμης

Το ηχοβολιστικό όργανο που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της υδρογραφικής αποτύπωσης αποτελείτο αρχικά από την ηλεκτρονική μονάδα, όπου εκεί πραγματοποιείται η μετάφραση/μετασχηματισμός των δεδομένων και η απόδοση ρεαλιστικών γραφικών βυθομέτρησης και χαρτογράφησης, ενώ λειτουργεί σαν πομποδέκτης δεδομένων.



Εικόνα 5.1: Ηλεκτρονική μονάδα ηχοβολιστικού αισθητήρα



Εικόνα 5.2: Θύρες καλωδιακών απολήξεων

Στη συνέχεια, από τον μορφοτροπέα (transducer), ο οποίος λειτουργεί ως πομποδέκτης των ηχητικών κυμάτων και μπορεί να τοποθετηθεί: (α) στα πλάγια του σκάφους, όταν επιδιώκεται η καταγραφή μιας περιοχής στα πλαίσια εργασίας, και (β) στο κατώτατο σημείο του σκάφους, αν επιδιώκουμε συνεχή καταγραφή δεδομένων για μεγάλο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 5.2: Ανοξείδωτη μπάρα με εφαρμοσμένο στο ένα άκρο τον μορφοτροπέα (μάτι) του ηχοβολιστικού.



Εικόνα 5.4: Μορφοτροπέας

Τα χαρακτηριστικά του ηχοβολιστικού είναι τα εξής:

- Τύπος δέκτη: IP66 DRX-32
- Τρέχων υποστηρικτής μορφοτροπέας: Ευρυζωνικός μορφοτροπέας αεροδυναμικού καλύμματος
- Κάλυψη ζώνης (coverage): 120°
- Δέσμες: 224 (0,54° σε 120°)
- Προεπιλεγμένη κεντρική συχνότητα: 160 kHz
- Εύρος κεντρικής συχνότητας :120-200 kHz
- Συχνοτικό εύρος φασματικής περιοχής (περισσότερο από): 60 kHz
- Εύρος ανάλυσης/επίλυσης (μέγιστο): 2cm
- Εύρος δέσμης δεξιά/αριστερά: 4,5° (3,6° @200kHz)
- Εύρος δέσμης μπρος/πίσω: 3,2° (2,6° @200kHz)
- Τύπος σήματος: FM
- Ελάχιστο βάθος/m: 1m
- Χαρακτηριστικό βάθος (90° ή 2:1): 300m
- Μέγιστο βάθος: 350m
- Συνεχές ρεύμα: 9-32 V
- Κατανάλωση ισχύος λειτουργίας: 30W / 2.5Ah @12Vdc
- Επιλογές μήκους καλωδίου μετατροπής: 5m, 10m, 20m
- Σύνδεση δεδομένων: GbE (Gigabit Ethernet)
- Θερμοκρασία λειτουργίας: 0° έως 50°
- Περιβαλλοντικά πρότυπα: IEC 60945², MIL -STD-901³

² IEC 60945: International standard, 'Maritime navigation and radiocommunications equipment and systems-General requirements-Methods of testing and required test results'

³ MIL-STD-901: United States Department of Defence,17/03/1989, 'MILITARY SPECIFICATION: SHOCK TESTS. H.I. (HIGH-IMPACT) SHIPBOARD MACHINERY, EQUIPMENT, AND SYSTEMS, REQUIREMENTS FOR'

5.2.2 Δέκτης D-GPS

Ο αισθητήρας GNSS με κεραία D-GPS χρησιμοποιήθηκε για τον κινηματικό εντοπισμό της θέσης του σκάφους (RTK) και ειδικότερα της θέσης του αισθητήρα ως προς τον κατακόρυφο άξονα του. Συγκεκριμένα προσδιορίζεται η θέση του πλωτού μέσου, ως προς την επιφάνεια της γης, δίνοντας πληροφορίες για την οριζοντιογραφική θέση (X,Y), ενώ παράλληλα όπως αναφέρθηκε παραπάνω και για τον προσδιορισμό της παλίρροιας.

Αυτός χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να αποδοθεί η οριζοντιογραφική θέση των σημείων που μετρούνται από το ηχοβολιστικό. Συγκεκριμένα, τα σημεία γεωαναφέρονται, αφού ο δέκτης συνδέεται με ένα ιδιωτικό δίκτυο σταθμών βάσης, δίνοντας συντεταγμένες στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς Ε.Γ.Σ.Α 87.

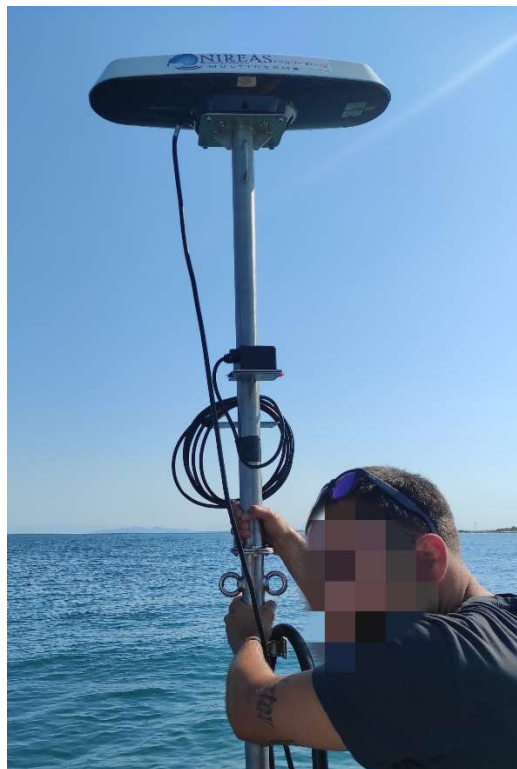
Ειδικότερα με τον όρο D-GPS (Differential Global Positioning System), εννοούμε την σύνδεση δυο δορυφορικών δεκτών GNSS (Global Navigation Positioning System), μέσω μια τηλεπικοινωνιακής γραμμής δεδομένων (data communication link). Ο πρώτος δέκτης, τοποθετείται σε ένα σημείο με γνωστές συντεταγμένες, λέγεται σταθμός βάσης(base) ή σταθμός αναφοράς (reference station) και υπολογίζει τις διαφορικές διορθώσεις, δίνοντας την δυνατότητα υπολογισμού των σφαλμάτων των μετρήσεων. Ο κινούμενος δέκτης (rover) ο οποίος συνδέεται με τον μόνιμο σταθμό μέσω απόστασης (διανύσματος) που ονομάζεται *γραμμή βάσης* (baseline), υπολογίζει την θέση του από την επίλυση της βάσης αυτής, ενώ λαμβάνει και τις διορθώσεις του με αποτέλεσμα την αναγωγή των δικών του μετρημένων αποστάσεων προς όλους τους δορυφόρους και τελικά τον υπολογισμό της θέσης του με μεγάλη ακρίβεια. Η ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων του κινούμενου δέκτη εξαρτώνται από το μήκος του διανύσματος του από την βάση. Επομένως, όσο αυξάνεται η απόσταση από την βάση, υπεισέρχονται και σφάλματα στις τελικές συντεταγμένες του.

Η μέθοδος RTK ή αλλιώς κινηματικός εντοπισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο (Real Time Kinematic), δίνει την δυνατότητα προσδιορισμού της θέσης σε πραγματικό χρόνο χωρίς να απαιτείται η εκ των υστέρων επεξεργασία και επίλυση βάσεων για τον υπολογισμό της τελικής θέσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση ενός ραδιοσυνδέσμου (Radio Linker) στον σταθμό βάσης, ο οποίος επιτρέπει την αναμετάδοση των λαμβανόμενων δεδομένων από τους δορυφόρους προς τον κινούμενο δέκτη (rover). Ένας ραδιοσύνδεσμος έχει ενσωματωθεί εξίσου και στον δέκτη rover, γεγονός που επιτρέπει τόσο την λήψη των δεδομένων αυτών από τον σταθμό βάσης αλλά και της ταυτόχρονης λήψης δεδομένων από τους δορυφόρους, αξιοποιώντας την δική του κεραία, με αποτέλεσμα την παράλληλη επεξεργασία των δεδομένων από τον rover, τόσο από τις δικές του μετρήσεις όσο και από τις λαμβανόμενες του base, και τελικά την επίλυση ασαφειών και τον προσδιορισμό της ακριβούς θέσης του rover. Ο

δέκτης D-GPS που χρησιμοποιήθηκε για τους σκοπούς της εν λόγω διπλωματικής είναι ο παρακάτω:



Εικόνα 5.3: Δέκτης D-GPS



Εικόνα 5.4: Δέκτης GNSS προσαρμοσμένος στην μεταλλική μπάρα

Τα χαρακτηριστικά του δέκτη ως προς το σφάλμα των αποτελεσμάτων, ανάλογα το επίπεδο εμπιστοσύνης, είναι τα εξής :

	Σφάλμα RMS, 67%	Σφάλμα 2DRMS, 95%
Ακρίβεια εντοπισμού (χωρίς επιλεκτική διαθεσιμότητα)	1,2 m	2,4 m
Ακρίβεια εντοπισμού με SBAS	0,3 m	0,6 m
Ακρίβεια εντοπισμού με WASS	-	-
Ακρίβεια εντοπισμού με ATLAS	0,3 m	0,6 m
Ακρίβεια εντοπισμού με RTK		
Ακρίβεια πορείας (RMS)	0,3 °	0,6°
Ακρίβεια πορείας (RMS) με V200 σε λειτουργία υψηλής ακρίβειας	n/a	n/a
Ακρίβεια πρόνευσης/διατοιχισμού	1°	2°
Ακρίβεια κατακόρυφης ταλάντωσης (RMS)	30 cm	60cm
Ακρίβεια κατακόρυφης ταλάντωσης (RMS) με ATLAS	10 cm	20 cm
Ακρίβεια κατακόρυφης ταλάντωσης (RMS) με RTK	n/a	n/a

Πίνακας 4: Πίνακας χαρακτηριστικών δέκτη D-GPS.

5.2.3 IMU motion sensor (αισθητήρας κίνησης)

Το IMU (inertial measurement unit) ή αδρανειακή μονάδα μέτρησης, αποτελεί ηλεκτρονική συσκευή, της οποίας σκοπός είναι ο υπολογισμός και καταγραφή συγκεκριμένων δυνάμεων, γωνιακού ρυθμού και μερικές φορές, προσανατολισμού ενός σώματος, χρησιμοποιώντας συνδυασμό επιταχυνσιόμετρων, γυροσκοπίων και μερικές φορές μαγνητόμετρων. Ο αισθητήρας κίνησης καταγράφει τις κινήσεις του πλοίου – ή οποιουδήποτε πλωτού μέσου- που προκαλούνται από τα κύματα και την φουσκοθαλασσιά, καταγράφοντας την κατακόρυφη κίνηση που αφορά το βύθισμα του μέσου, καθώς και οποιαδήποτε κίνηση στις τρεις διαστάσεις (διατοίχιση, πρόνευση, έκπτωση), με σκοπό την διόρθωση των δεσμών του ηχοβολιστικού, μέσω της οριζοντίωσης και κατακορύφωσης αυτών. Παρακάτω στις εικόνες φαίνεται ο αισθητήρας κίνησης που χρησιμοποιήθηκε, και η τοποθέτησή του στο σκάφος.



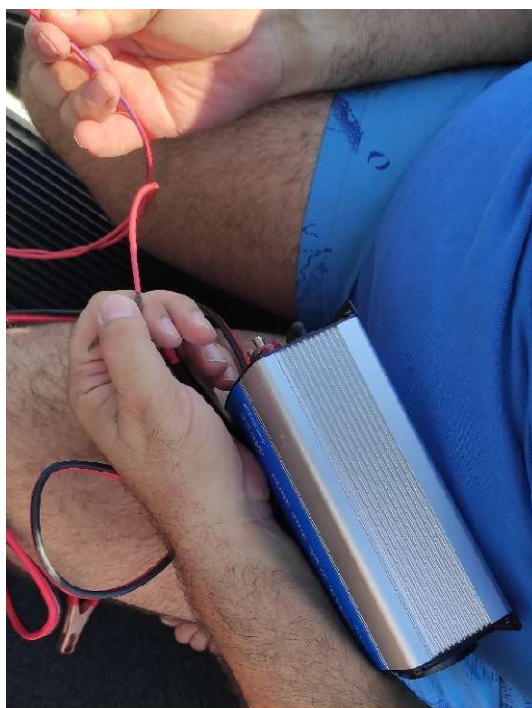
Εικόνα 5.5: Αισθητήρας κίνησης τοποθετημένος σε ανοξείδωτη μπάρα.



Εικόνα 5.6: Motion Sensor IMU

5.2.4 Μετασχηματιστής (inverter)

Ο μετασχηματιστής, χρησιμοποιείται για την μετατροπή των 12V της μπαταρίας, στα 230V του φορητού υπολογιστή.



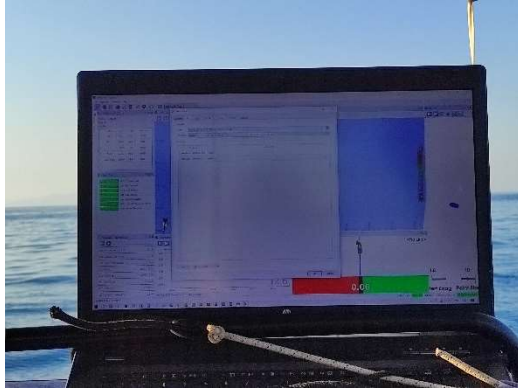
Εικόνα 5.7: Ένωση μετασχηματιστή με το καλώδιο γείωσης.

5.2.5 Καλώδιο γείωσης

Το καλώδιο γείωσης χρησιμοποιήθηκε για την αποφυγή τυχούσας ηλεκτροπληξίας, βραχυκυκλώματος ή άλλων επικίνδυνων καταστάσεων, που μπορεί να προκύψουν από συσκευές που διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα.

5.2.6 Φορητός Η/Υ

Ο φορητός υπολογιστής, αφού συνδέθηκε με την ηλεκτρονική μονάδα του ηχοβολιστικού, χρησιμοποιήθηκε για την προβολή και επεξεργασία των δεδομένων, μέσω του λογισμικού. Αυτός, τοποθετήθηκε στο ταμπλό δίπλα από το τιμόνι, και προκειμένου να μην πέσει κάτω σε πιθανό κυματισμό, προσδέθηκε με ελαστικό σκοινί στις μεταλλικές χειρολαβές.



Εικόνα 5.8: Προβολή λογισμικού στον Η/Υ



Εικόνα 5.9: Τοποθέτηση υπολογιστή στο σκάφος

5.2.7 Ταχύπλοο σκάφος & Τρέιλερ

Το μέσο διεξαγωγής των μετρήσεων ήταν ένα ταχύπλοο σκάφος ~5m, το οποίο απεικονίζεται στις παρακάτω εικόνες.



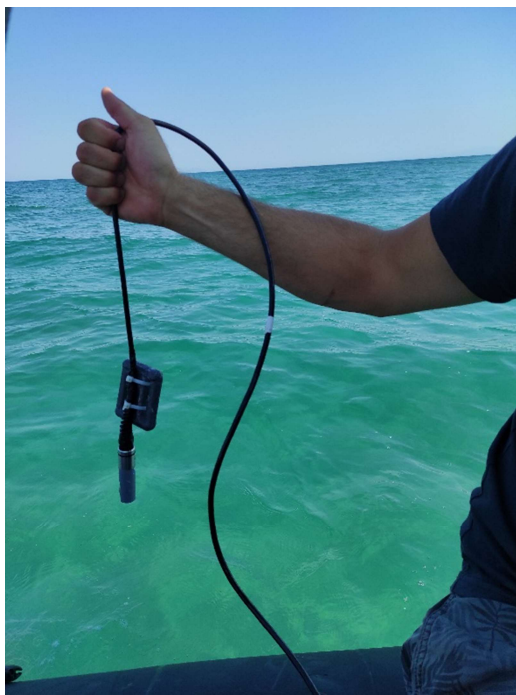
Εικόνα 5.10: Ταχύπλοο σκάφος



Εικόνα 5.12: Ταχύπλοο σκάφος (2).

5.2.8 Θερμοσαλινόμετρο

Το θερμοσαλινόμετρο είναι η συσκευή που προσδιορίζει την θερμοκρασία και αλατότητα του νερού. Αυτό δουλεύει, περνώντας ηλεκτρικό ρεύμα, μέσα από οποιαδήποτε μάζα νερού, καθώς το θαλασσινό νερό μεταφέρει ηλεκτρισμό πολύ ευκολότερα σε σχέση με το καθαρό νερό, οπότε και ο υπολογισμός της περιεκτικότητας του σε αλατότητα είναι ευκολότερος. Επιπλέον, στην απόληξη του καλωδίου της συσκευής, έχει τοποθετηθεί αισθητήρας, προκειμένου να λάβουμε ένδειξη για την θερμοκρασία του νερού, βαρίδιο ώστε να διατηρηθεί όσο το δυνατόν καλύτερα η κατακόρυφη κίνηση του αισθητήρα, ενώ το καλώδιο έχει υποδιαιρεθεί σε τμήματα του 1m. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εικόνες που απεικονίζουν την συσκευή αυτή, και τις ενδείξεις του καλωδίου όταν αυτό είναι μέσα στο νερό.



Εικόνα 5.11: Αισθητήρας θερμοσαλινόμετρου και βαρίδιο



Εικόνα 5.12: Αισθητήρας θερμοσαλινόμετρου μέσα στο νερό.

5.2.9 Μπαταρία

Προκειμένου να λειτουργήσουν τα τμήματα του εξοπλισμού που αφορούν ηλεκτρονικές συσκευές, όπως το ηχοβολιστικό και ο Η/Υ, απαραίτητη είναι η ύπαρξη τροφοδοτικού, δηλαδή μπαταρίας.

5.2.10 Σκαντάγιο Βυθομέτρησης

Το όργανο αυτό χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τον προσεγγιστικό υπολογισμό του βάθους μέσα στο λιμάνι και στα ρηγά νερά, ώστε τόσο κατά την διαδικασία της τοποθέτησης του εξοπλισμού, όσο και κατά την πλεύση του σκάφους, να μην χτυπηθεί ο αισθητήρας του ηχοβολιστικού. Απαρτίζεται από μετροταινία (κορδέλα) στην οποία το άκρο προσκολλήθηκε βαρίδι.



Εικόνα 5.13: Προσκόλληση βαριδιού σε μετροταινία, για δημιουργία τεχνητού σκαντάγιου

5.3 Μέθοδοι μετρήσεων

Η λήψη των μετρήσεων, πραγματοποιήθηκε με ταχύπλοο σκάφος, πάνω στο οποίο προσαρμόστηκε το ηχοβολιστικό πολλαπλής δέσμης. Για την απεικόνιση και επεξεργασία των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιήθηκε ένα καινούριο και σύγχρονο υδρογραφικό λογισμικό. Η λογική της διαδικασίας αποτύπωσης, ήταν οι εν πλω μετρήσεις με αλληλοεπικάλυψη.

Κεφάλαιο 6: Διαδικασία Συλλογής Δεδομένων

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό επεξηγείται η διαδικασία συλλογής των δεδομένων στο πεδίο, καθώς και οι δυσκολίες που προέκυψαν τόσο κατά τον σχεδιασμό, όσο και κατά την διάρκεια υλοποίησης των μετρήσεων στην θάλασσα.

6.2 Συλλογή Δεδομένων

Αρχικά, πρώτο βήμα ήταν ο σχεδιασμός των μετρήσεων. Η διαδικασία αυτή αφορά την επιλογή της χρονικής περιόδου που θα εκτελεστούν οι μετρήσεις στο πεδίο. Οι καιρικές συνθήκες είναι ο καθοριστικός παράγοντας στην διεξαγωγή των μετρήσεων και για το λόγο αυτό οι μετρήσεις αναβλήθηκαν τουλάχιστον τρεις φορές πριν την καταλυτική ημερομηνία διεξαγωγής. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις ορίστηκαν για την 18^η Ιουλίου του 2022. Ωστόσο, ενώ εξοπλίσαμε το σκάφος και κάναμε την λήψη των μετρήσεων αλατότητας και θερμοκρασίας με το θερμοσαλινόμετρο, λόγω του ότι ήταν περίοδος με μελτέμια, ξαφνικός άνεμος και θάλασσα μας απέτρεψαν να συνεχίσουμε τις μετρήσεις, με αποτέλεσμα της αναβολή αυτών για την 19^η του μήνα. Επιπλέον, προτού ξεκινήσουμε την αποτύπωση του λιμένα, υποχρέωση μας ήταν η γραπτή ενημέρωση του Υπουργείου Οικονομικών και της Λιμενικής Αρχής του Κατάκολου, ώστε να μας δώσουν την άδεια για διεξαγωγή μετρήσεων εντός του λιμένα.

Αφού ολοκληρώθηκαν οι παραπάνω διαδικασίες και μας επέτρεψαν τις μετρήσεις, το πρώτο βήμα ήταν η καθέλκυση του σκάφους από την γλίστρα που βρισκόταν στον λιμένα του Κατάκολου, δηλαδή την κατηφόρα που οδηγεί στην θάλασσα και χρησιμοποιείται για την ανέλκυση και καθέλκυση των σκαφών, με την χρήση τρέιλερ όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 6.1: Ανέλκυση σκάφους στη γλίστρα το απόγευμα της 19^{ης} Ιουλίου



Εικόνα 6.2: Γλίστρα καθέλκυσης σκάφους στον λιμένα Κατάκολου.

Έπειτα, ακολούθησε η εξόπλιση αυτού, με τα απαραίτητα υδρογραφικά όργανα και συσκευές. Ειδικότερα, ο μορφοτροπέας του ηχοβολιστικού, ο αισθητήρας κίνησης και ο δέκτης D-GPS, εφαρμόστηκαν σε μια μακρόστενη ανοξείδωτη μπάρα μήκους 2m, η οποία ήταν ιδιοκατασκευή, στις οποίας το ένα άκρο προσδέθηκε το μάτι, στην μέση ο αισθητήρας κίνησης και στο άλλο άκρο ο δέκτης D-GPS. Η μπάρα αυτή τοποθετήθηκε στην αριστερή πλευρά του σκάφους, λίγο πιο πίσω από την μέση αυτού, δηλαδή τον νοητό άξονα που χωρίζει το σκάφος σε πρύμνη-πλώρη, με το άκρο της μπάρας με τον αισθητήρα, κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Αφού ολοκληρώθηκε η πρόσδεση της ανοξείδωτης μπάρας στο πλάι, επιδιώχθηκε η προσεγγιστική οριζοντίωση της, με την εφαρμογή κατάλληλων δυνάμεων από επιπλέον σκοινιά, έτσι ώστε μεταξύ του δέκτη D-GPS και του ματιού, να περνάει ένας νοητός, κατακόρυφος άξονας. Παράλληλα, ο σωστός προσανατολισμός των οργάνων, επιτεύχθηκε με την χρήση ενδείξεων, που βρίσκονται πάνω στον αισθητήρα κίνησης.



Εικόνα 6.3: Τοποθέτηση ανοξείδωτης μπάρας στην αριστερή πλευρά του σκάφους



Εικόνα 6.4: Τοποθέτηση ανοξείδωτης μπάρας και πρόσδεση με σκοινιά

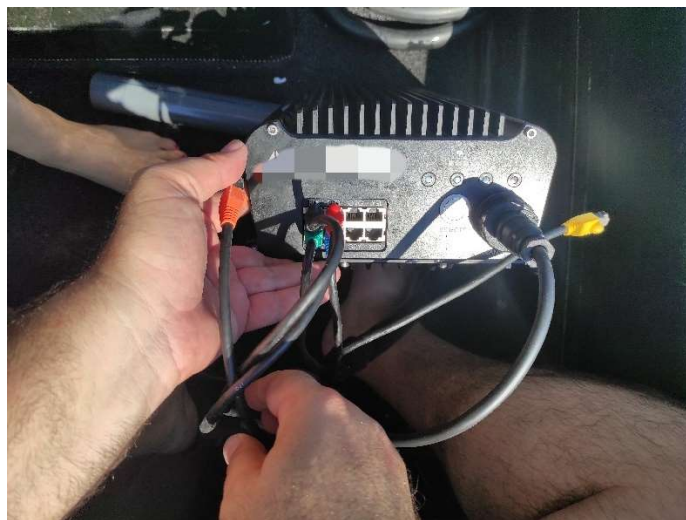


Εικόνα 6.5: Μορφοτροπείας μέσα στο νερό



Εικόνα 6.6: Οριζοντίωση μπάρας

Στην συνέχεια, προχωρήσαμε στην ένωση των καλωδιακών απολήξεων του αισθητήρα, με την αντίστοιχες υποδοχές της ηλεκτρονικής μονάδας του ηχοβολιστικού. Η ένωση αυτή πραγματοποιήθηκε με την καθοδήγηση υπάρχοντος εγχειριδίου του κατασκευαστή.



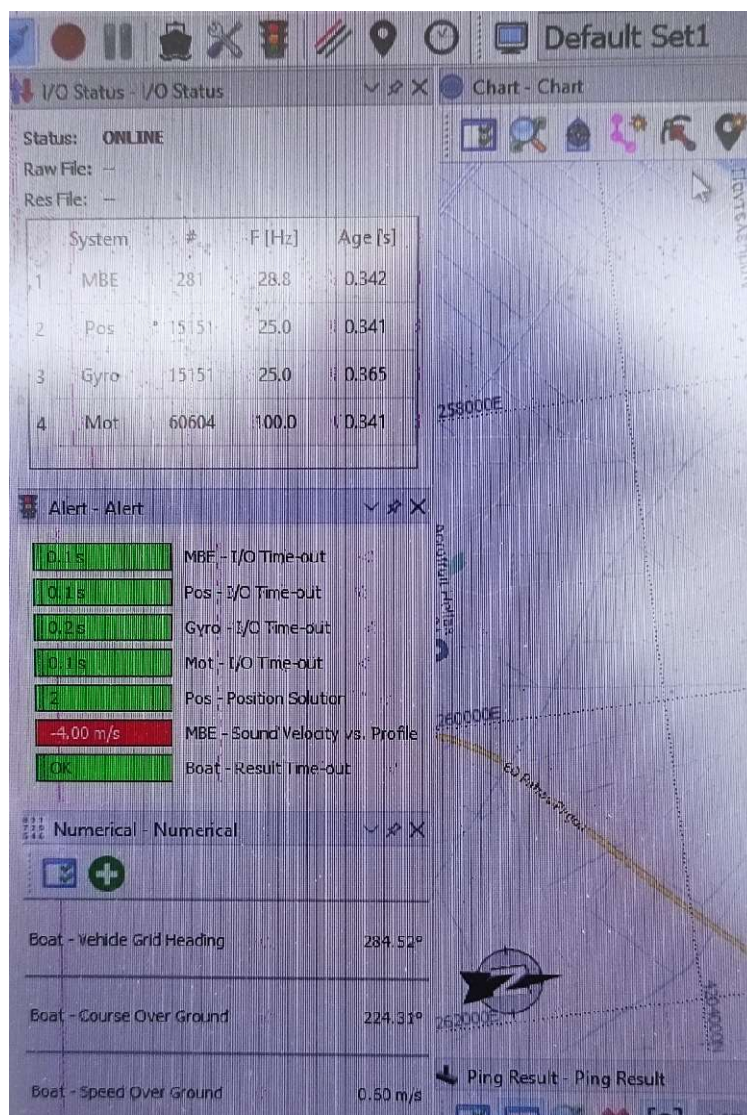
Εικόνα 6.7: Τοποθέτηση καλωδιακών απολήξεων ηχοβολιστικού στις αντίστοιχες θύρες της Ηλεκτρονικής μονάδας

Τα δεδομένα του μορφοτροπέα, μεταφέρονται μέσω του μαύρου καλωδίου στην ηλεκτρονική μονάδα, προκειμένου να μεταφραστούν και να απεικονιστούν με την μορφή χαρτογραφικής απόδοσης στο περιβάλλον του λογισμικού καταγραφής και απεικόνισης των δεδομένων.

Έπειτα, αφού ενεργοποιήσαμε τον Η/Υ και τον ενώσαμε με την ηλεκτρονική μονάδα του ηχοβολιστικού, προχωρήσαμε στη ρύθμιση των παραμέτρων του λογισμικού. Ειδικότερα, αφού ανοίχτηκε το περιβάλλον του λογισμικού, πραγματοποιήθηκε η διαδικασία βαθμονόμησης του ηχοβολιστικού, με την μέθοδο τεχνητού βυθού Bar check. Η διαδικασία αυτή αφορά τον έλεγχο της ακρίβειας του βάθους που υπολογίζει το ηχοβολιστικό με αυτό της πραγματικότητας σε μια συγκεκριμένη θέση, με την βοήθεια του σκαντάγιου. Δηλαδή πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ του βάθους που υπολόγισε το ηχοβολιστικό, με το βάθος που μετρήθηκε με το σκαντάγιο σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Έπειτα, ελέγχθηκαν οι ενδείξεις του προγράμματος που αφορούν τις συσκευές και την σωστή λειτουργία τους, καθώς και την πορεία και ταχύτητα του σκάφους. Οι προειδοποιήσεις που χρησιμοποιούνται για την παροχή ειδοποιήσεων, όταν κάτι δεν λειτουργεί σωστά, αφορούν:

- Το ηχοβολιστικό
- Το DGPS
- Το γυροσκόπιο
- Τον αισθητήρα κίνησης IMU
- Την επίλυση της θέσης
- Το προφίλ της ταχύτητας διάδοσης του ήχου, μετρημένο από το ηχοβολιστικό
- Το σκάφος

Στην παρούσα εργασία, παρατηρείται η κόκκινη σήμανση του προφίλ ταχύτητας διάδοσης του ήχου από το ηχοβολιστικό. Αυτό συμβαίνει, διότι αποφασίσαμε να μην βάλουμε προφίλ ταχύτητας διάδοσης του ήχου, αλλά να το εισάγουμε στην εκ των υστέρων επεξεργασία των δεδομένων. Αυτό θα δημιουργηθεί με την χρήση των κατάλληλων εξισώσεων, αφού πρώτα παρθούν οι μετρήσεις που αφορούν την αλατότητα και την θερμοκρασία του νερού στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 6.8: Προβολή περιβάλλοντος λογισμικού στον Η/Υ.

Αφού ολοκληρώθηκε ο έλεγχος Bar check και διαπιστώθηκε η σωστή λειτουργία των συσκευών, ξεκίνησε η πλοήγηση με σκοπό την άφιξη στο σημείο έρευνας.

Κεφάλαιο 7: Ανάλυση Δεδομένων

7.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η διαδικασία ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων της βυθομέτρησης. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε σύγχρονο λογισμικό, το οποίο έχει σχεδιαστεί για την γρήγορη επεξεργασία σημειακών δεδομένων, φορτώνοντας και καθαρίζοντας αυτόματα τα δεδομένα, ενώ παράλληλα δίνεται η δυνατότητα για επαλήθευση της ποιότητας τους.

7.2 Υπολογισμός Ταχυτήτων Διάδοσης του Ήχου στο Θαλασινό Νερό

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο νερό, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η αλατότητα, δηλαδή η περιεκτικότητα του νερού σε αλάτι, το βάθος, η θερμοκρασία και η πίεση.

Προκειμένου να υπολογίσουμε τις τιμές αυτές, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο πεδίο με την χρήση θερμοσαλινόμετρου, του οποίου το καλώδιο είχε υποδιαιρέσεις ανά 1m, ώστε οι ενδείξεις να αντιπροσωπεύουν την διαφοροποίηση του νερού ανά 1m βάθος. Προκειμένου να υπολογίσουμε τις τιμές αυτές, επιλέξαμε ένα σημείο λίγο πιο έξω από τον λιμένα, ώστε να έχουμε βάθος ~20m, όπου και πραγματοποιήσαμε τις μετρήσεις. Οι ενδείξεις του θερμοσαλινόμετρου, ως προς την θερμοκρασία (T) και αλατότητα (S), ήταν οι παρακάτω :

Βάθος (m)	Θερμοκρασία (T°)	Αλατότητα (S)
1	27,2	57,9
2	26,4	57,4-57,9
3	26,5-26,4	57,7-57,9
3,5	26,1	57,9
5	25,8	57,8
8	25,5	57,72
11	25,2	57,85
15	25,7	57,8
18	25,3	57,82

Πίνακας 5: Τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας που μετρήθηκαν στο πεδίο



Εικόνα 7.1: Θερμοσαλινόμετρο μέσα στο νερό

Για τον υπολογισμό των ταχυτήτων διάδοσης, χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (4.1), στην οποία λαμβάνονται υπόψη η θερμοκρασία (T), η αλατότητα (S) και το βάθος (z).

$$C = 1449,2 + 4,6 * T - 0,0055 * T^2 + 0,00029 * (1,34 - 0,01025 * T) * (S - 35) + 0,016 * z + (1,675 * 10^{-7}) * z^2 - (7,139 * 10^{-13}) * z^3$$

Οι τιμές που προέκυψαν από την εφαρμογή της εξίσωσης (3.35) είναι οι εξής:

Βάθος (m)	Θερμοκρασία (T°)	Αλατότητα (S)	Ταχύτητα Διάδοσης c
1	27,2	57,9	1570,417927
2	26,4	57,65	1566,845745
3	26,5	57,8	1567,292691
4	26,1	57,9	1565,58447
5	25,8	57,8	1564,306096
8	25,5	57,72	1563,058743
11	25,2	57,85	1561,810468
15	25,7	57,8	1564,034461
18	25,3	57,82	1562,354711

Πίνακας 6: Υπολογισμός ταχυτήτων ήχου με την 1η εκδοχή της εξίσωσης Mackenzie 1981

Ωστόσο, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των υπολογισμών με τα όρια των προσδοκώμενων αποτελεσμάτων, παρατηρήθηκαν οριακές τιμές ταχυτήτων διάδοσης.

Για τον λόγο αυτό, επαναλήφθηκε ο υπολογισμός των ταχυτήτων διάδοσης, με την 2^η εκδοχή της εξίσωσης Mackenzie⁴, εξίσωση (4.2)

$$c(D, S, T) = 1448,96 + 4,591 * T - 5,304 * 10^{-2} * T^2 + 2,374 * 10^{-4} * T^3 + 1,34 * (S - 35) + 1,63 * 10^{-2} * D + 1,675 * 10^{-7} * D^2 - 1.025 * 10^{-2} * T * (S - 35) - 7,139 * 10^{-1} * T * D^3$$

όπου,

- T είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου °C
- S είναι η αλατότητα σε μέρη ανά χιλιάδες (ppt)
- D είναι το βάθος σε μέτρα m

και οι σταθερές a₁, a₂, ... , a₉ είναι οι εξής:

$$\begin{aligned} a_1 &= 1,448.96, & a_2 &= 4.591, & a_3 &= -5.304 \times 10^{-2}, \\ a_4 &= 2.374 \times 10^{-4}, & a_5 &= 1.340, & a_6 &= 1.630 \times 10^{-2}, \\ a_7 &= 1.675 \times 10^{-7}, & a_8 &= -1.025 \times 10^{-2}, & a_9 &= -7.139 \times 10^{-13}, \end{aligned}$$

Αξιοποιώντας την σχέση αυτή, οι τιμές που προέκυψαν για τις μετρήσεις είναι οι εξής:

Βάθος (m)	Θερμοκρασία (T°)	Αλατότητα (S)	Ταχύτητα Διάδοσης c
1	27,2	57,9	1563,689221
2	26,4	57,65	1561,818251
3	26,5	57,8	1562,199936
3,5	26,1	57,9	1561,499474
5	25,8	57,8	1560,78329
8	25,5	57,72	1560,114429
11	25,2	57,85	1559,665958
15	25,7	57,8	1560,736526
18	25,3	57,82	1559,960905

Πίνακας 7: Υπολογισμός ταχυτήτων ήχου με την 2η εκδοχή της εξίσωσης Mackenzie 1981

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποτελούν πιο αποδεκτές τιμές, σε σχέση με αυτές της πρώτης εκδοχής της εξίσωσης Mackenzie και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων. Παρατηρώντας τις τιμές, αντιλαμβανόμαστε τον ρυθμό μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης των ηχητικών κυμάτων και την υποχρεωτική δημιουργία προφίλ της ταχύτητας διάδοσης, για τον σωστό προσδιορισμό των βαθών.

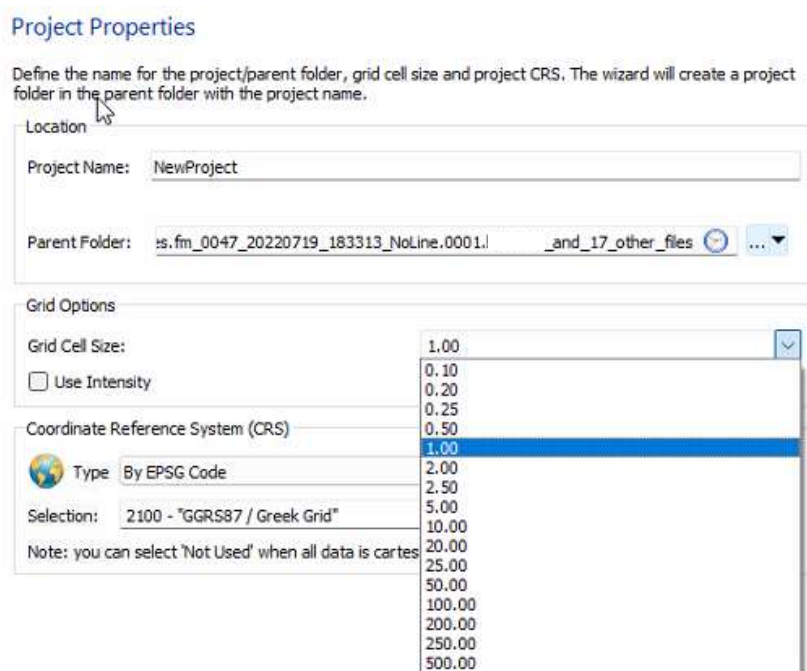
⁴ Kenneth V., Mackenzie (1981). "Discussion of sea-water sound-speed determinations". Journal of the Acoustical Society of America. 70 (3): 801–806.

7.3 Ανάλυση και Επεξεργασία Δεδομένων σε κατάλληλο λογισμικό

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με την χρήση κατάλληλου λογισμικού, και ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα.

1^ο βήμα

Αρχικά έγινε η εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό



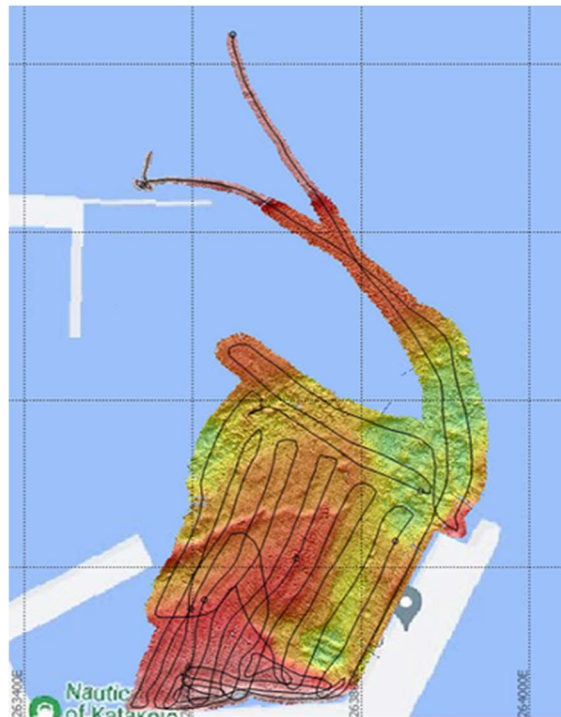
Εικόνα 7.2: Καθορισμός ονόματος εργασίας, μέγεθος κανάβου και συστήματος αναφοράς

Στο σημείο αυτό δώσαμε το όνομα της εργασίας, συνδέσαμε τον φάκελο εξαγωγής των δεδομένων και ορίσαμε το μέγεθος του κελιού του κανάβου. Παραπάνω, απεικονίζονται οι διαθέσιμες επιλογές κελιών. Η διάσταση του κελιού, καθορίζει σε πόσα κουτάκια θα χωριστεί το επίπεδο του κανάβου.

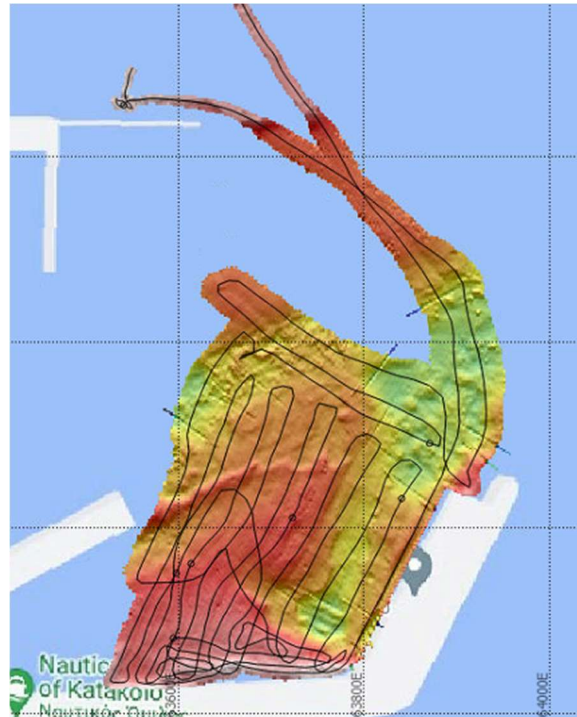
Παρακάτω παρατίθενται μερικά παραδείγματα, από την απεικόνιση των δεδομένων σε διαφορετικό μέγεθος κανάβου.



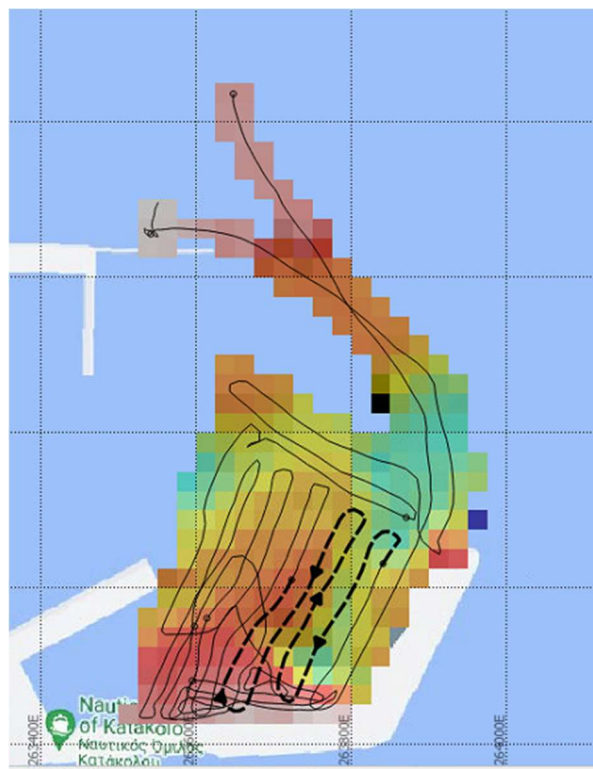
Εικόνα 7.3: Μέγεθος κελιού κανάβου 0,20



Εικόνα 7.4: Μέγεθος Κελιού Κανάβου 0,50



Εικόνα 7.5 :Μέγεθος Κελιού Κανάβου 2



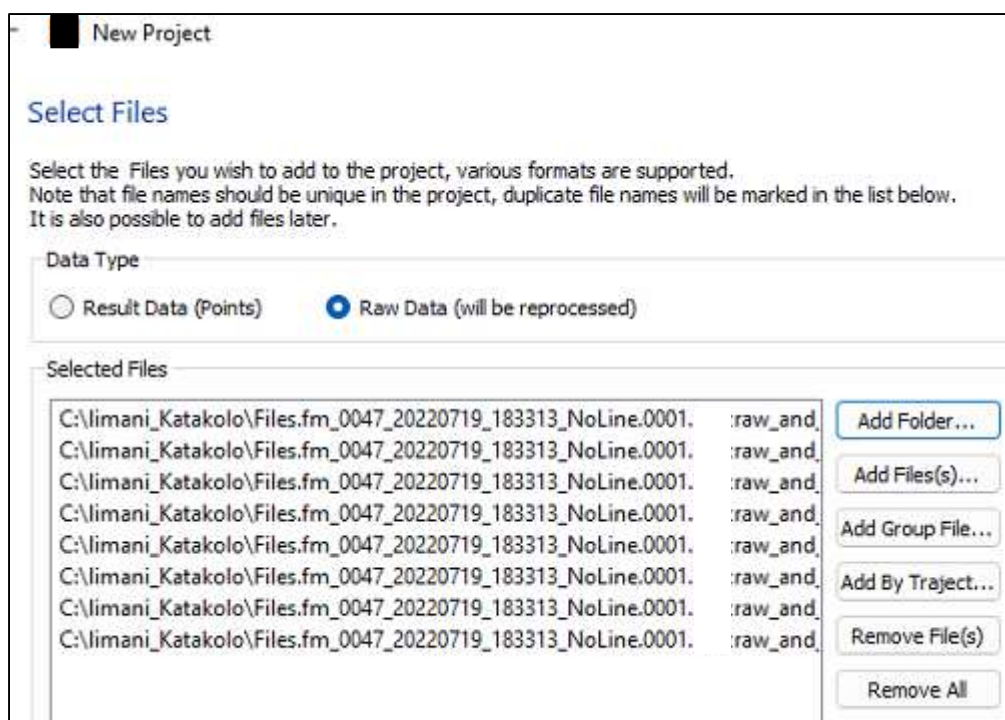
Εικόνα 7.6:Μέγεθος Κελιού Κανάβου 25

Παρατηρώντας τις εικόνες, γίνονται αντιληπτές οι διαφορές ως προς την ανάλυση και αναπαράσταση των δεδομένων, ιδίως στις περιπτώσεις με μεγαλύτερο μέγεθος κελιού, όπως στην εικόνα 7.6, όπου το μέγεθος κελιού είναι 25, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να γίνει κατανοητή η περιοχή μελέτης και οι ιδιαιτερότητες αυτής και ακολούθως η επεξεργασία της. Αντίθετα, στην εικόνα 7.3, με μέγεθος κελιού κανάβου 0,20, ακριβώς επειδή είναι πολύ μικρό γίνονται έντονα αντιληπτές οι περιοχές, των οποίων τα σημεία δεν σαρώθηκαν. Για την συνέχεια της εργασίας, επιλέχθηκε ως μέγεθος κελιού η τιμή των 0,20μ καθώς απέδιδε με καλύτερο τρόπο τα δεδομένα.

Παρακάτω, συμπληρώνουμε το σύστημα αναφοράς των συντεταγμένων. Το σύστημα αναφοράς, στο οποίο θέλουμε να αναφέρονται τα δεδομένα και το τελικό αποτέλεσμα είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (Ε.Γ.Σ.Α 87) με κωδικό EPSG (European Petroleum Survey Code) 2100.

2^ο βήμα

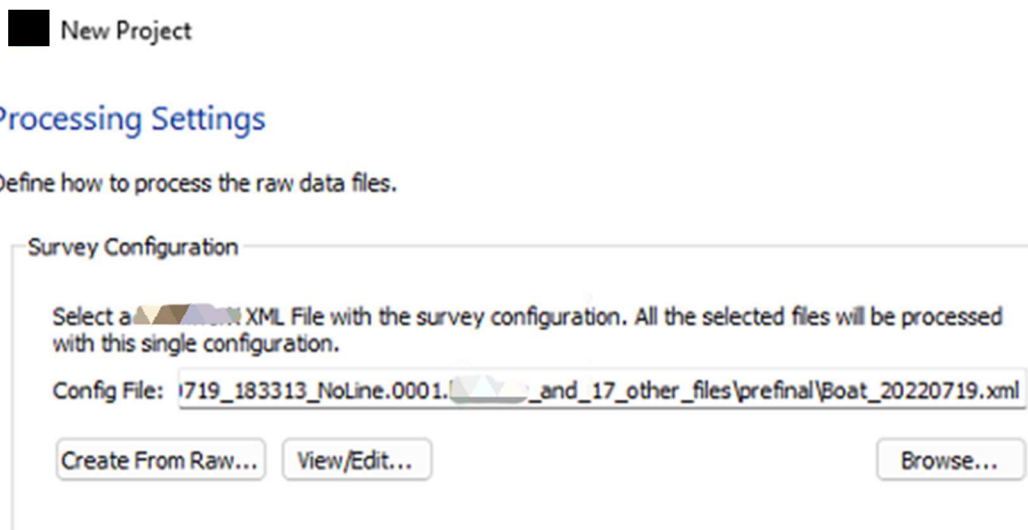
Στην συνέχεια, ακολουθεί η προσθήκη των δεδομένων που δεν έχουν υποστεί επεξεργασία (raw data), αφού συνδέσουμε τον φάκελο από τον οποίο θα αντληθούν τα δεδομένα. Τα αρχεία που προέκυψαν από τις μετρήσεις είναι σε σύνολο 8 και ιδιαίτερα σημαντικό είναι να προσέξουμε η κατάληξη των αρχείων να είναι “raw”.



Εικόνα 7.7: Εισαγωγή raw δεδομένων

3^ο βήμα

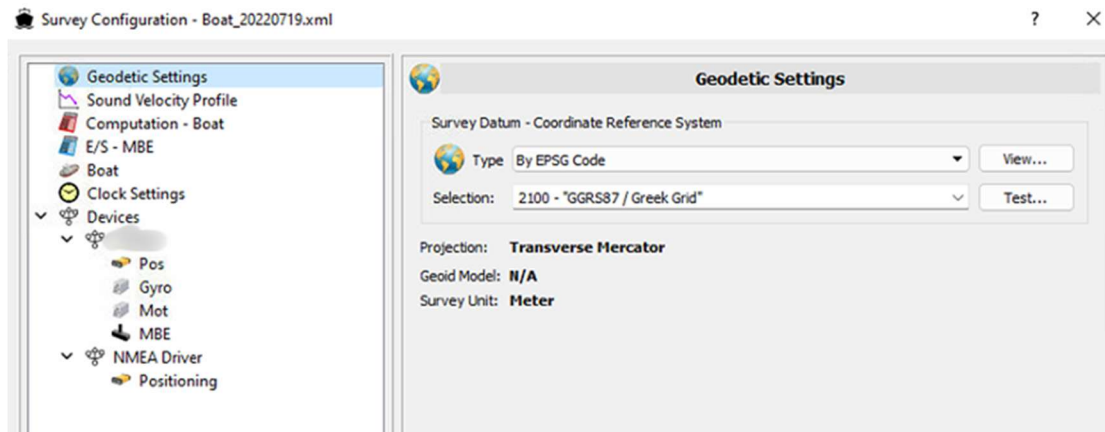
Επόμενο βήμα είναι η ρύθμιση των παραμέτρων της έρευνας και ειδικότερα του αρχείου παραμέτρων, δηλαδή του configuration file στο οποίο θα βασίζονται όλα τα αρχεία για την επεξεργασία τους. Το αρχείο αυτό δημιουργείται αποκλειστικά από αντίστοιχο αρχείο που δεν έχει υποστεί επεξεργασία (raw file).



Εικόνα 7.8: Δημιουργία Configuration File

Το αρχείο παραμέτρων περιέχει ρυθμίσεις που αφορούν το σύστημα αναφοράς, το προφίλ ταχύτητας διάδοσης του ήχου, τις παραμέτρους οριζοντίωσης και κατακορύφωσης του σκάφους, το ηχοβολιστικό, τον τύπο του σκάφους, τον συγχρονισμό των ωρολογίων, τις συσκευές (GNSS, motion sensor, multibeam echosounder, etc) και του οδηγού NMEA. Συγκεκριμένα, το NMEA είναι ένα σύνολο ναυτικών ηλεκτρονικών πρότυπων, που επιτρέπουν την ύπαρξη δικτύου όπου συνυπάρχουν συσκευές από διαφορετικούς κατασκευαστές στο ίδιο σκάφος, οι οποίες στέλνουν και λαμβάνουν δεδομένα ταυτόχρονα.

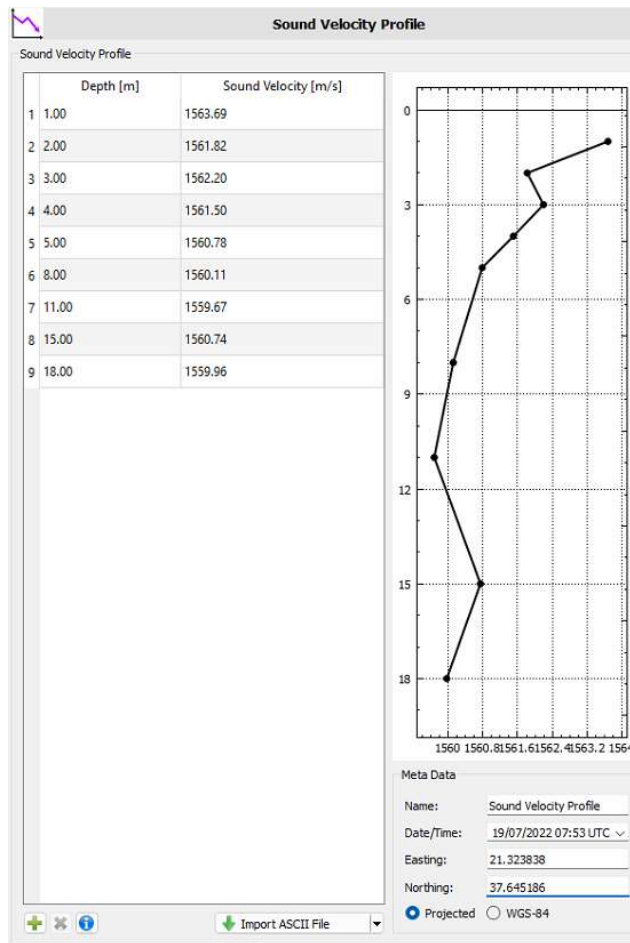
Ωστόσο, η μόνη ρύθμιση που αφορά την εκ των υστέρων επεξεργασία, είναι η δημιουργία του προφίλ ταχύτητας διάδοσης του ήχου, καθώς όλες οι υπόλοιπες ρυθμίσεις έχουν ληφθεί και εκ των προτέρων καθοριστεί από τον χειριστή, κατά την διάρκεια της ρύθμισης του λογισμικού, πριν την έναρξη των μετρήσεων.



Εικόνα 7.9: Περιεχόμενα Configuration File

Αναλυτικότερα:

- Geodetic Settings: Ως γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς, όπως αναφέρθηκε παραπάνω ορίστηκε να είναι το Ε.Γ.Σ.Α 87.
- Sound Velocity Profile: Το προφίλ της ταχύτητας διάδοσης του ήχου το φτιάχνουμε σε αυτό το στάδιο. Συγκεκριμένα για τα εννέα βάθη όπου πάρθηκαν μετρήσεις με το θερμοσαλινόμετρο, συμπληρώνουμε την αντίστοιχη ταχύτητα διάδοσης. Επιπλέον συμπληρώνουμε την ημερομηνία των μετρήσεων (19/07/2022), την ώρα στον συντονισμένο παγκόσμιο χρόνο, δηλαδή τρεις ώρες πριν την τοπική ώρα (ώρα μετρήσεων → 10:54 π.μ άρα UTC → 07:54 π.μ) και τις γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου των μετρήσεων ($\lambda=21.323838$, $\varphi=37.645186$) και το διάγραμμα απεικόνισης της ταχύτητας του ήχου που προέκυψε είναι το παρακάτω:



Εικόνα 7.10: Προφίλ ταχύτητας διάδοσης του ήχου στο θαλασσινό νερό.

- Computation – Boat : στην επιλογή αυτή επιτρέπεται η ρύθμιση του τρόπου με τον οποίο θα υπολογίζονται τα αποτελέσματα της θέσης και ποια δεδομένα πηγής πρέπει να χρησιμοποιηθούν.

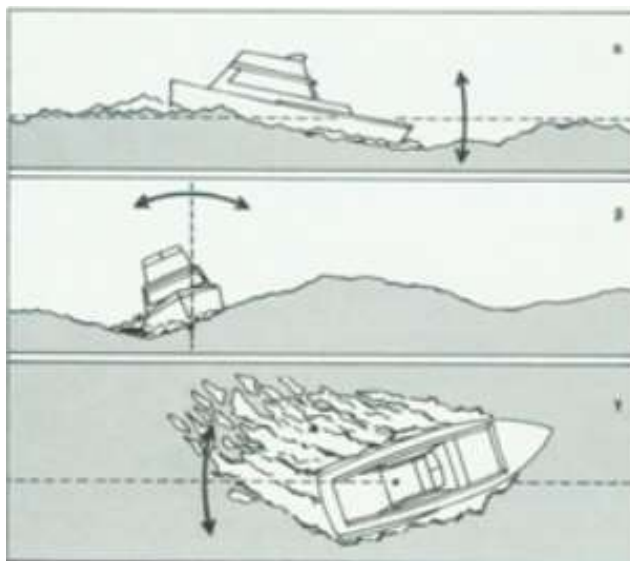
Για τον υπολογισμό της οριζόντιας θέσης, χρησιμοποιούνται οι εξής συσκευές:

- Δέκτης D-GPS όπου με την μέθοδο σχετικού κινηματικού εντοπισμού RTK, προσδιορίζεται η θέση του σκάφους. (positioning)
- Γυροσκόπιο για τον προσδιορισμό της πορείας του σκάφους. (heading)
- Αισθητήρας κίνησης (motion sensor), για τον υπολογισμό των κινήσεων ως προς τους τρεις νοητούς άξονες του σκάφους.

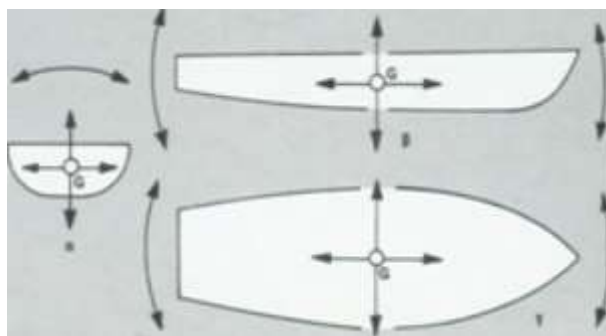
Η πρώτη κίνηση αφορά την κίνηση γύρω από τον διαμήκη άξονα του σκάφους, που ονομάζεται γραμμική ταλάντωση διατοίχισης (roll) ή εναλλακτικά κατά το εγκάρσιο ταλάντωση (μπότζι).

Η δεύτερη κίνηση που ονομάζεται *πρόνευση (pitch)* ή κατά το διάμηκες ταλάντωση (σκαμπανέβασμα), αφορά την κυκλική κίνηση γύρω από τον εγκάρσιο άξονα του σκάφους.

Η τρίτη κίνηση, ονομάζεται *έκπτωση (yaw)* και είναι η ταλάντωση γύρω από το κέντρο βάρους στο επίπεδο της ίσαλου επιφάνεια, δηλαδή η ταλάντωση δεξιά-αριστερά από την πορεία μας» (Ιάσωνας Θαλασσινός, *Ortsa.gr*)

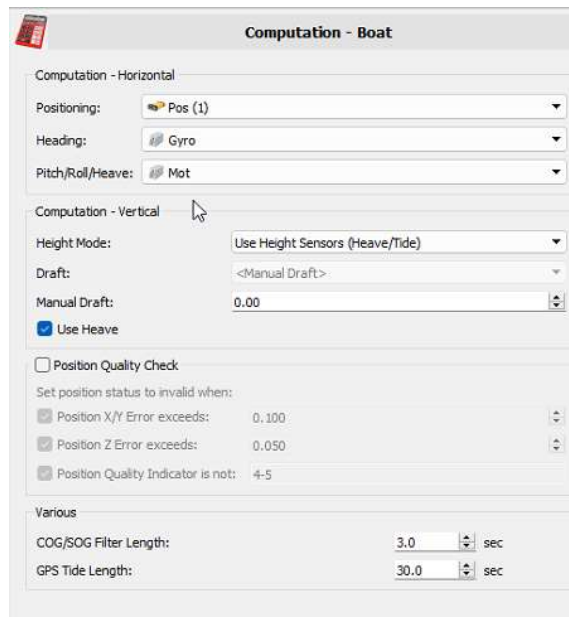


Εικόνα 7.11: Αναπαράσταση των κινήσεων στους 3 άξονες του σκάφους



Εικόνα 7.12: Αναπαράσταση των κινήσεων στους 3 άξονες του σκάφους

Για τον υπολογισμό της κατακόρυφης θέσης απαιτείται αισθητήρας υπολογισμού ύψους, που λαμβάνει υπόψιν την παλίρροια (tide) με την μέθοδο RTK tides και καθ' ύψος ταλάντωση ή αλλιώς σκαμπανέβασμα (heave), αγνοώντας έτσι την συνιστώσα του υψομέτρου που υπολογίζει ο δέκτης DGPS.

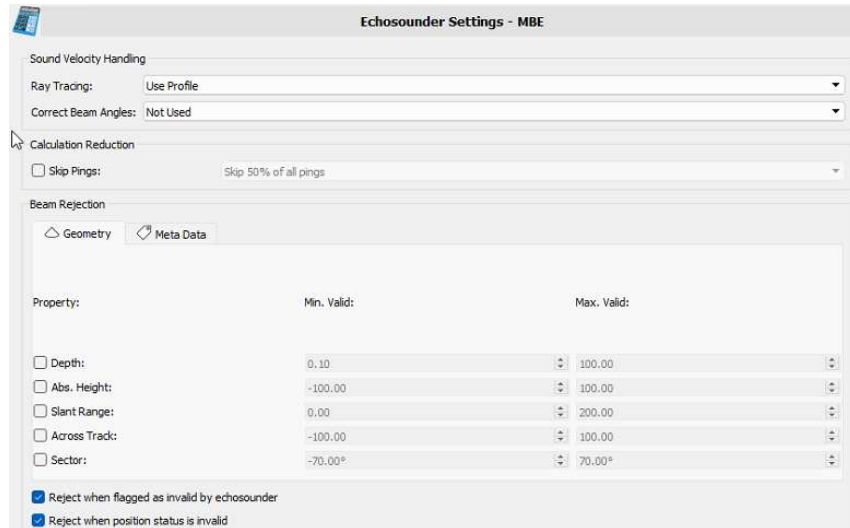


Εικόνα 7.13: Παράμετροι Υπολογισμού θέσης σκάφους

- E/S – MBE : σε αυτό το βήμα ρυθμίζονται οι παράμετροι που αφορούν τα αποτελέσματα που υπολογίζονται από το ηχοβολιστικό και αν οι δέσμες πρέπει να επαληθεύονται για ακραίες τιμές

Συγκεκριμένα, οι παράμετροι που καθορίζουν την ακαταλληλότητα των δεσμών είναι:

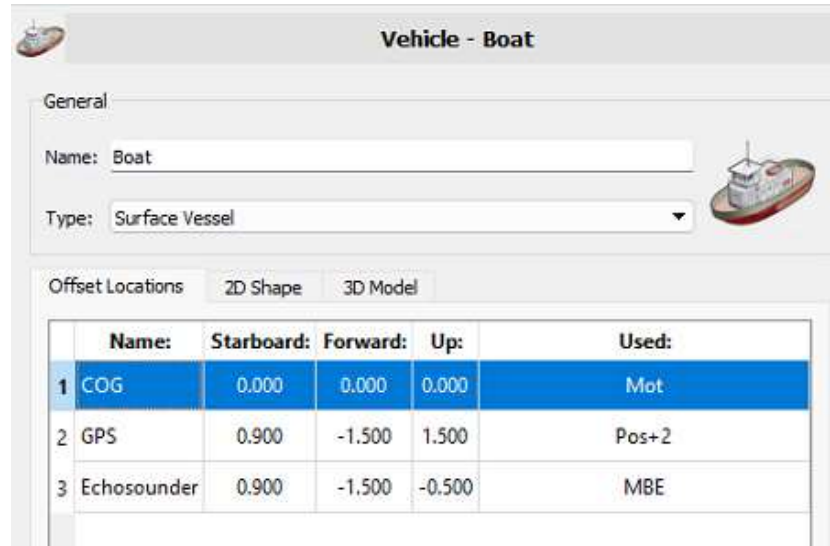
- Depth, το βάθος (εάν είναι πολύ μικρό ή πολύ μεγάλο)
- Absolute height, δηλαδή όταν το απόλυτο ύψος του αποτυπώματος της δέσμης, είναι εκτός της καθορισμένης από τον χρήστη πύλης
- Slant range, όταν δηλαδή το τρισδιάστατο εύρος της δέσμης, από το αποτύπωμά της έως την θέση του μορφοτροπέα (multibeam), βρίσκεται εκτός της καθορισμένης πύλης
- Across track. Σημαίνει η επισήμανση της δέσμης, όταν η θέση του αποτυπώματος της βρίσκεται έξω από ένα διάδρομο γύρω από τη διαδρομή του πλοίου. Δεξιά → θετικό όριο, Αριστερά → αρνητικό όριο
- Sector. Επισημαίνει μια δέσμη, όταν αυτή βρίσκεται έξω από τον τομέα από τον μορφοτροπέα και κάτω. 0° = ναδύρ, -45 = αριστερά, $+45$ δεξιά.



Εικόνα 7.14: Ρύθμιση παραμέτρων ηχοβολιστικού

- **Vehicle – Boat :** Εδώ αναφέρονται πληροφορίες σχετικά με το σκάφος, όπως το όνομα και ο τύπος αυτού. Επιπλέον, αναφέρονται οι αποκλίσεις των θέσεων του COG (course over ground), δηλαδή της πορείας του σκάφους ως προς τον βυθό, του δέκτη DGPS και του ηχοβολιστικού από το κέντρο βάρους του σκάφους, που είναι το σημείο αναφοράς των παραπάνω συσκευών και πορείας.

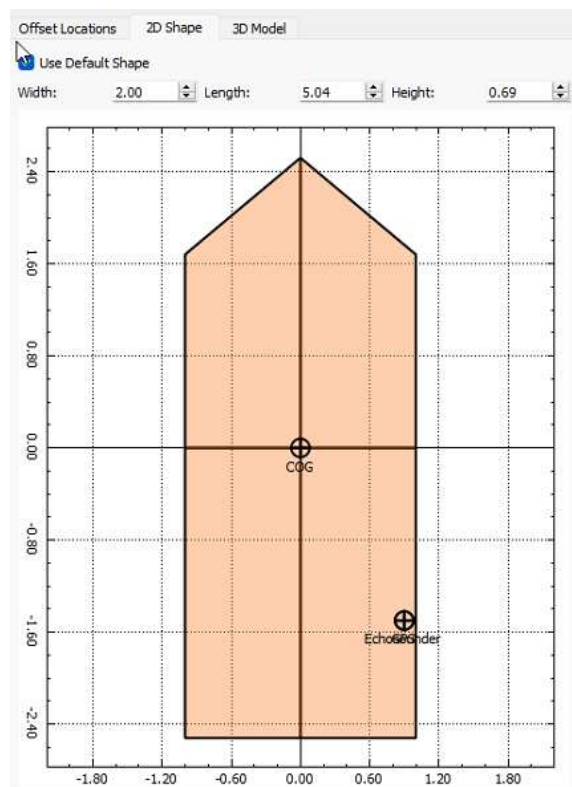
Οι αποκλίσεις αυτές αφορούν την μετατόπιση προς τα δεξιά, μπροστά και πάνω. Η πορεία COG, δεν έχει απόκλιση ως προς καμία διεύθυνση. Αντίθετα ο δέκτης GNSS έχει μετατοπιστεί 0.9 m δεξιά, 1.5 m πίσω και 0.5 m πάνω από το σημείο αναφοράς, ενώ το ηχοβολιστικό έχει τις ίδιες αποκλίσεις με μόνη διαφορά ότι βρίσκεται 0.5 m κάτω από το κέντρο βάρους του πλοίου.



Εικόνα 7.15: Πληροφορίες σκάφους.

Επιπλέον, δίνονται πληροφορίες σχετικά με το σχήμα, το σκάφος και την θέση της πορείας COG, του δέκτη και του ηχοβολιστικού. Επίσης δίνονται και οι διαστάσεις του σκάφους που είναι οι εξής:

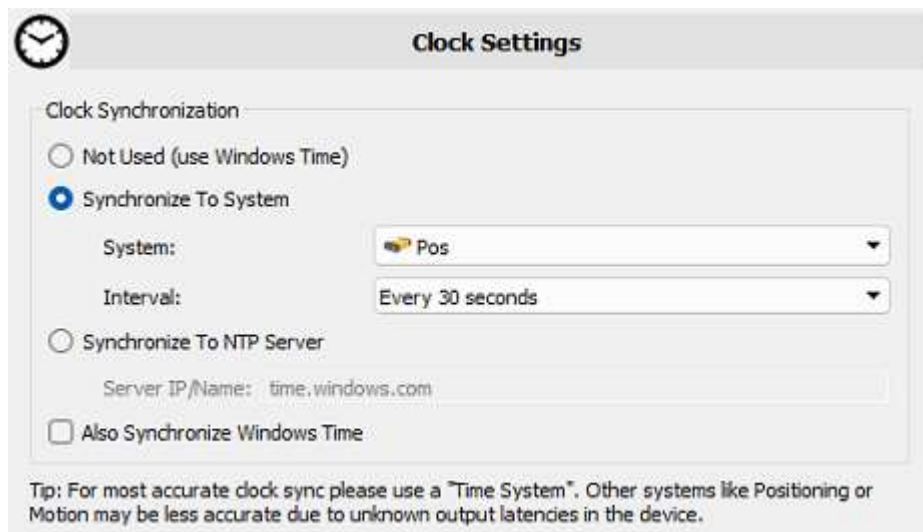
- Πλάτος → 2.00 m
- Μήκος → 5.04 m
- Ύψος → 0,69 m



Εικόνα 7.16: Αναπαράσταση σκάφους, θέσης συσκευών και πορείας

- Clock settings: Στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται η ρύθμιση των χρονομέτρων και ο συγχρονισμός τους ως προς το σύστημα, καθώς και το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των επανασυγχρονισμών. Αφορά συνήθως τον συγχρονισμό του λογισμικού, με τον οδηγό NMEA.

Ωστόσο, ορίσαμε κατά την ρύθμιση του λογισμικού το διάστημα αυτό να είναι 30s και ο συγχρονισμός να αφορά τα χρονόμετρα με το σύστημα προσδιορισμού θέσης, δηλαδή τον δέκτη DGPS.

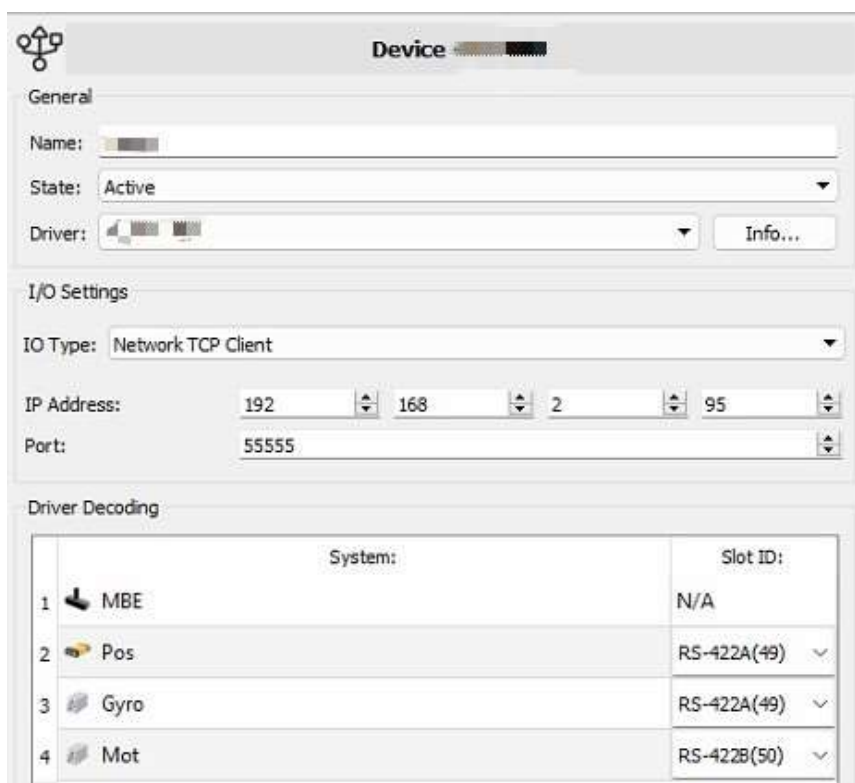


Εικόνα 7.17: Ρυθμίσεις χρονομέτρων

- Devices: Στο στάδιο αυτό, αναφέρονται οι ρυθμίσεις και παράμετροι που αφορούν τις συσκευές που έχουν τοποθετηθεί στο σκάφος. Ως συσκευή θεωρείται ένας εξωτερικός αισθητήρας ή σύστημα, που μπορεί να παρέχει έναν ή και περισσότερους τύπους δεδομένων. Μια συσκευή μπορεί να υποστηρίζει ένα ή περισσότερα συστήματα.

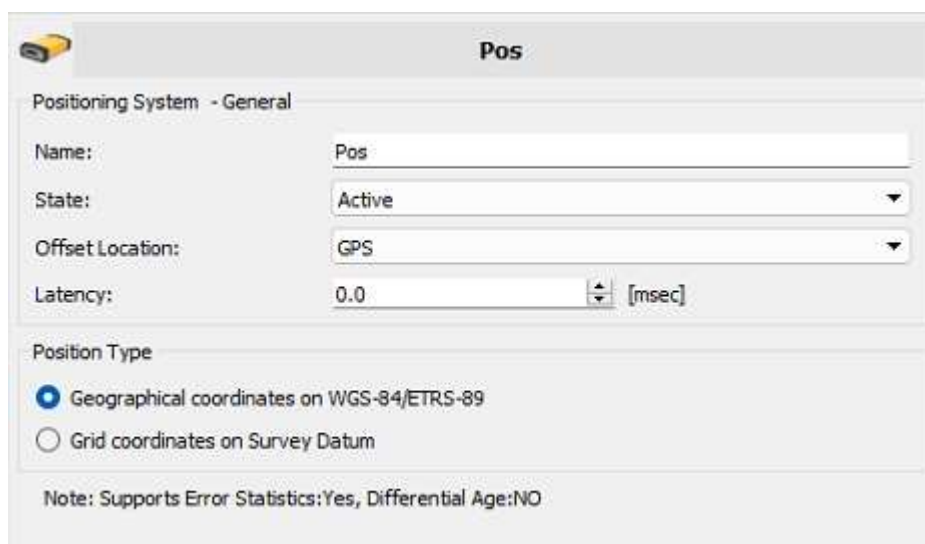
Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε περιέχει :

- Ηχοβολιστικό πολλαπλής δέσμης
- Δέκτη GNSS
- Γυροσκόπιο
- Αισθητήρα κίνησης



Εικόνα 7.18: Στοιχεία εξοπλισμού

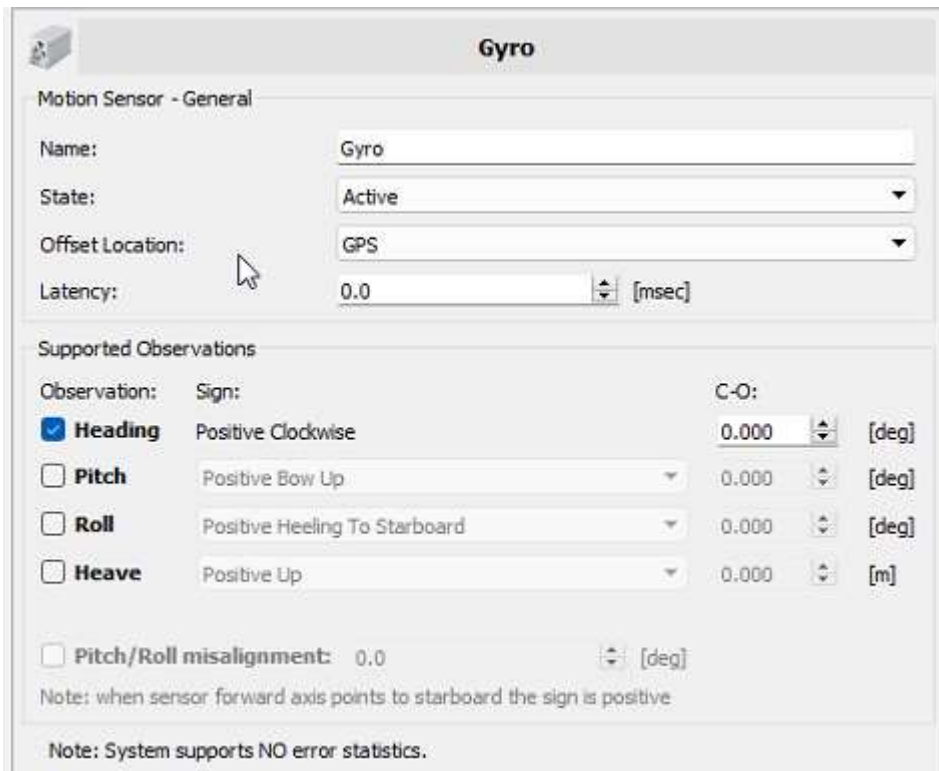
Ο δέκτης DGPS υπολογίζει συντεταγμένες στο Παγκόσμιο Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς WGS-84 και στο επίγειο Ευρωπαϊκό σύστημα Αναφοράς ETRS-89 και χρησιμοποιείται για την οριζοντιογραφική θέση του σκάφους.



Εικόνα 7.19: Χαρακτηριστικά προσδιορισμού θέσης

Το γυροσκόπιο, υπολογίζει την πορεία (heading) του σκάφους ως προς τον μαγνητικό Βορρά. Ωστόσο, εμείς αγνοούμε την πορεία αυτή και λαμβάνουμε

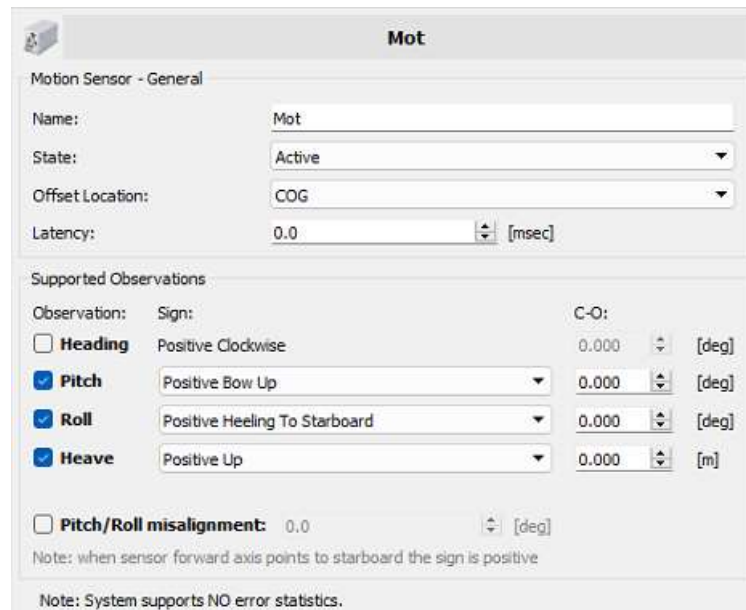
ως σωστή την πορεία που υπολογίζεται από την κεραία DGPS, που υπολογίζεται ως προς τον Γεωγραφικό Βορρά.



Observation:	Sign:	C-O:
<input checked="" type="checkbox"/> Heading	Positive Clockwise	0.000 [deg]
<input type="checkbox"/> Pitch	Positive Bow Up	0.000 [deg]
<input type="checkbox"/> Roll	Positive Heeling To Starboard	0.000 [deg]
<input type="checkbox"/> Heave	Positive Up	0.000 [m]

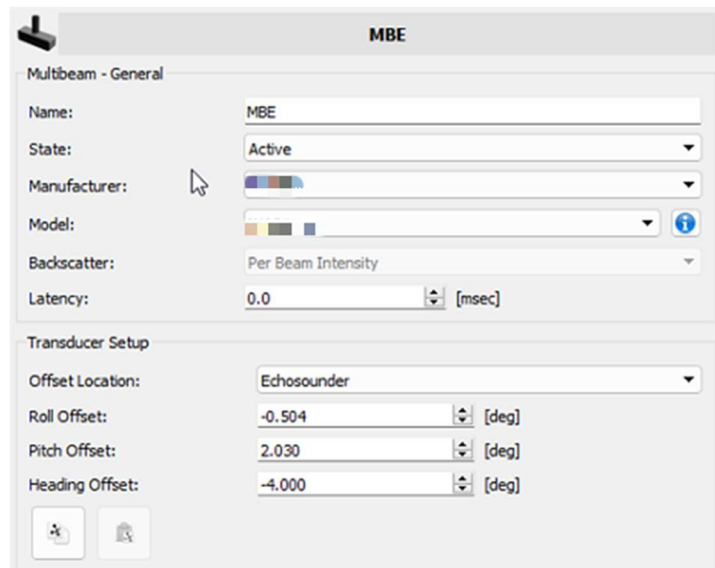
Εικόνα 7.20: Χαρακτηριστικά γυροσκοπίου

Ο αισθητήρας κίνησης (motion sensor), υποστηρίζει μετρήσεις που αφορούν τις κινήσεις τους σκάφους ως προς τους τρεις άξονες του, δηλαδή διατοίχιση, πρόνευση και έκπτωση (roll, pitch, yaw).



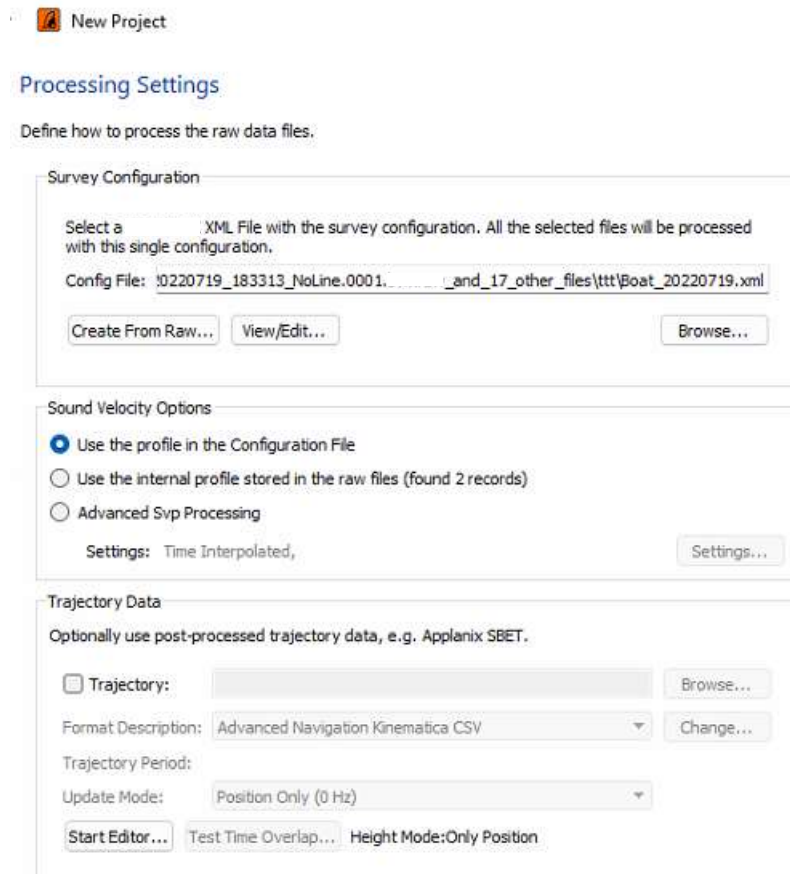
Εικόνα 7.21: Χαρακτηριστικά αισθητήρα κίνησης

Επιπλέον παρέχονται πληροφορίες και δυνατότητα ρυθμίσεων, που αφορούν το ηχοβολιστικό, όπως το μοντέλο και ο κατασκευαστής, και τις ρυθμίσεις των παραμέτρων του μορφομετατροπέα, όπως οι αποκλίσεις των τριών κινήσεων στους άξονες του (διατοίχιση, πρόνευση και έκπτωση).



Εικόνα 7.22: Χαρακτηριστικά ηχοβολιστικού και αποκλίσεις

Αφού ολοκληρωθεί η δημιουργία του αρχείου παραμέτρων, επιλέγεται η πηγή άντλησης του προφίλ ταχύτητας διάδοσης του ήχου και το αρχείο παραμέτρων που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα, το οποίο περιέχει το προφίλ ταχύτητας διάδοσης του ήχου για την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 7.23: Ρυθμίσεις Configuration file και προφίλ ταχύτητας διάδοσης του ήχου

Στο τελευταίο στάδιο, δίνονται διαθέσιμες επιλογές σχετικά με την επεξεργασία των δεδομένων, όπως :

- Η συμπερίληψη των απορριπτέων σημείων των αποτελεσμάτων δεδομένων
- Προσθήκη προθέματος στα δεδομένα αποτελεσμάτων
- Την απόρριψη ταξινόμησης δεδομένων

ή και την αντιγραφή των μη επεξεργασμένων αρχείων στον φάκελο εργασίας.

Options

Data Processing Options

Include Rejected Points in result file

Add Prefix to result file names:

Override Point Classification: [0] Created, never classified

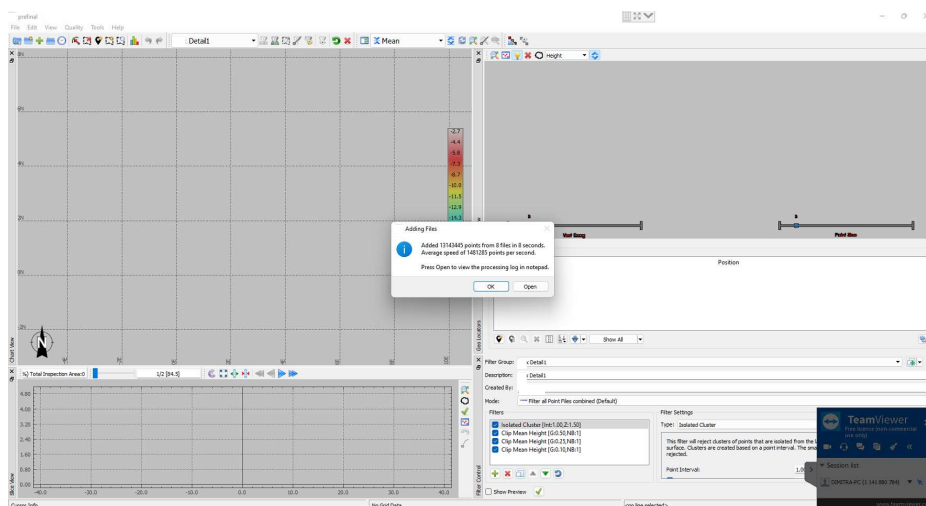
Import only Points: Inside Selected Area:

Various Options

Copy Bwx Raw Files to Project Folder
[Found All 8 Bwx Raw files, 735.79 MB]

Εικόνα 7.24: Ρυθμίσεις επιλογών επεξεργασίας των δεδομένων

Εισάγουμε τα δεδομένα των οποίων το πλήθος είναι 13.143.445 σημεία και αυτά αποτυπώνονται ως εξής:



Εικόνα 7.25: Εισαγωγή δεδομένων, πλήθος και περιβάλλον εργασίας

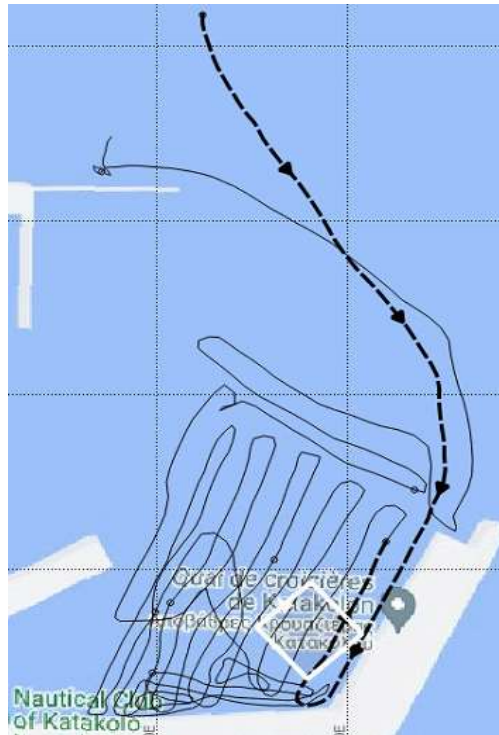


Εικόνα 7.26: Απεικόνιση δεδομένων

Στις εικόνες απεικονίζονται εκτός από τα σημεία και οι γραμμές πορείας-καταγραφής (tracklines) που πραγματοποίησε το σκάφος κατά την διάρκεια της καταγραφής, καθώς και η θέση των σημείων στο χώρο, που όπως παρατηρείται είναι σωστά γεωαναφερμένα στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 7.27: Recording lines



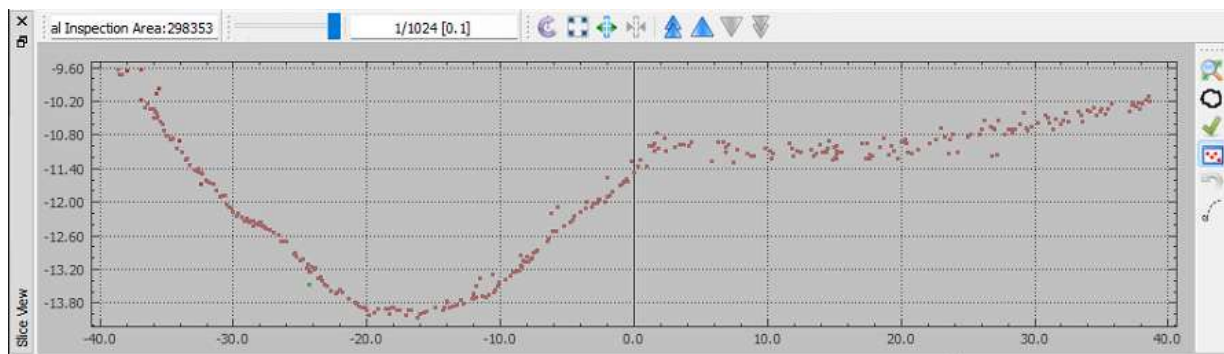
Εικόνα 7.28: Direction of recoding line



Εικόνα 7.29: Direction No2 of recording line

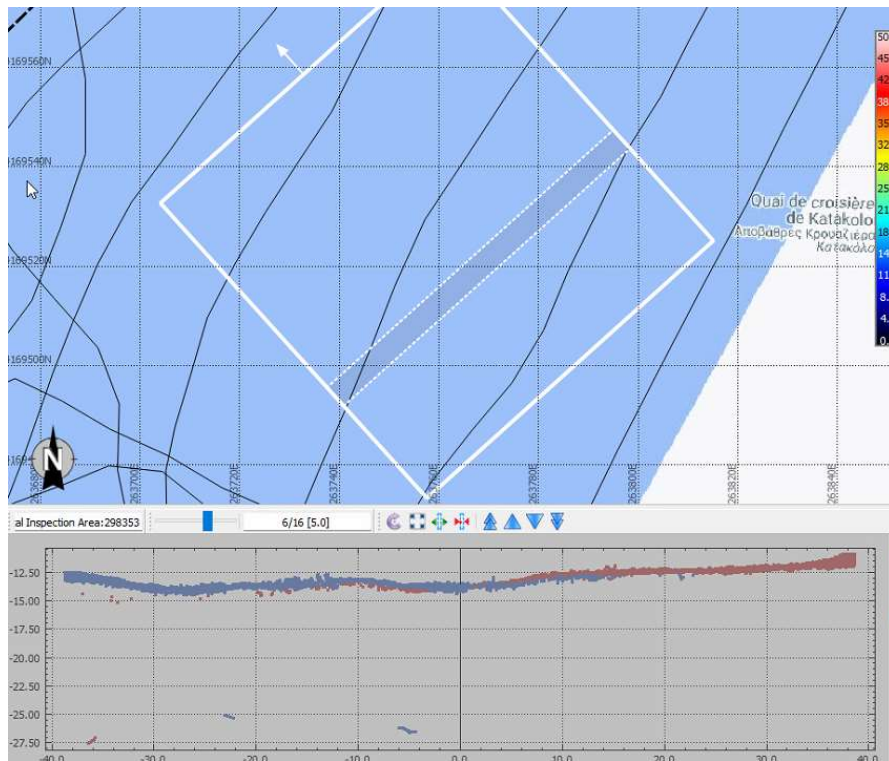
Στην Εικόνα 7.29 ορίζουμε την περιοχή επιθεώρησης (inspection area), που είναι ένα πλαίσιο το οποίο μπορούμε να μετακινήσουμε σε όλο το μήκος της περιοχής μελέτης, και επιτρέπει επιμέρους επεξεργασία, όπως για παράδειγμα, επιλογή και διαγραφή σημείων που εμείς εκλαμβάνουμε ως θόρυβο.

Την επεξεργασία των δεδομένων μπορούμε να την υλοποιήσουμε από το διάγραμμα που απεικονίζει την τομή του πυθμένα στο σημείο που εμείς έχουμε ορίσει. Ειδικότερα, στην παρακάτω περίπτωση, το πλάτος της τομής είναι 0,10 m, ενώ μπορούμε να τροποποιήσουμε το μέγεθος της τομής, ανάλογα με την επεξεργασία που θέλουμε να κάνουμε και την πληροφορία που μας ενδιαφέρει.



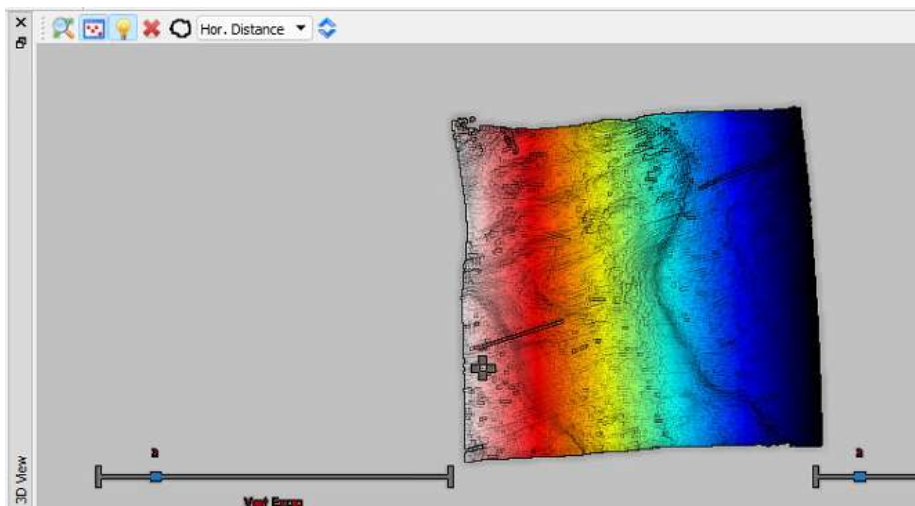
Εικόνα 7.30: Χαρακτηριστική τομή βαθυμετρίας.

Αντίθετα, στην εικόνα 7.31 ορίσαμε το πάχος της τομής να είναι 5,00 m, το οποίο δίνει την δυνατότητα για καλύτερη μαζική επεξεργασία. Επιπλέον, δίνει καλύτερη εικόνα για πιθανό θόρυβο που μπορεί να υπάρχει στα δεδομένα, όπως τα σημεία που βρίσκονται πάνω από το επίπεδο του πυθμένα μεταξύ 6,50-7 m, σε αντίθεση με αυτό του πυθμένα, που κυμαίνεται από 14-15m. Ωστόσο παρατηρούμε σημεία και κάτω από το επίπεδο του πυθμένα, σε διάφορα βάθη, όπως -21,80, -26,70 και -28. Αυτό συμβαίνει λόγω της ύπαρξης των κοιλοτήτων rockmark, διαμέσου των οποίων διαφεύγει αέριο, μπερδεύοντας το ηχοβολιστικό σήμα, με αποτέλεσμα την ένδειξη λανθασμένων βαθών.

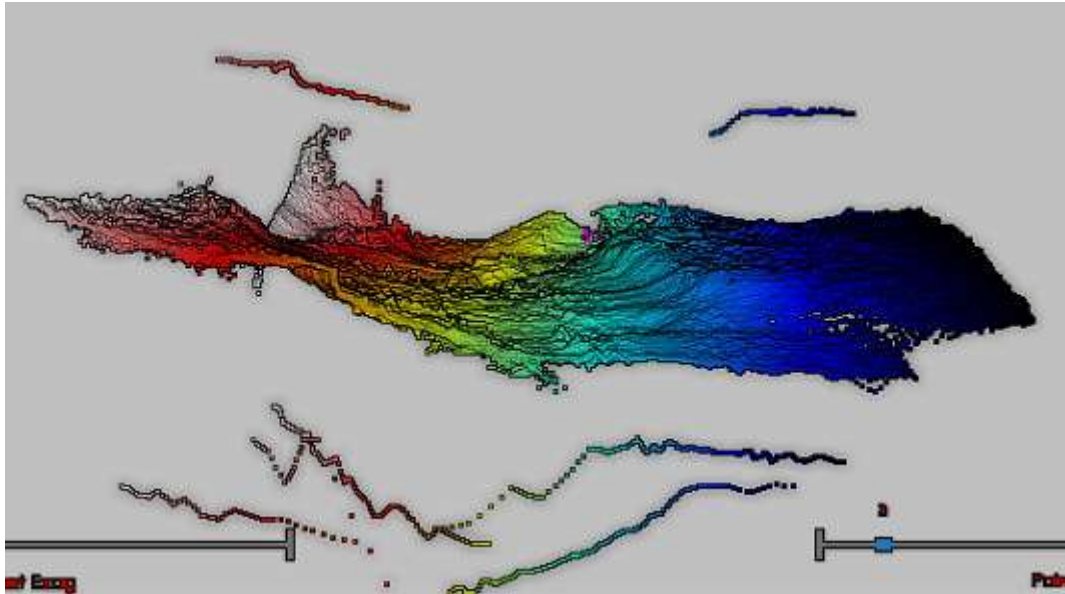


Εικόνα 7.31: Χαρακτηριστική τομή βαθυμετρίας με εμφάνιση *rockmarks*.

Αυτά φαίνονται καλύτερα στο διάγραμμα του τρισδιάστατου μοντέλου, το οποίο έχει την δυνατότητα περιστροφής και ολικής απεικόνισης της περιοχής επιθεώρησης.

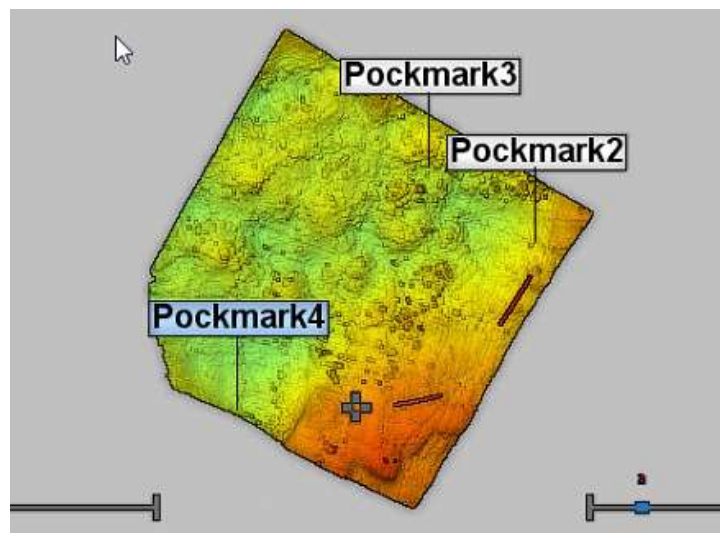


Εικόνα 7.32: 3D view chart

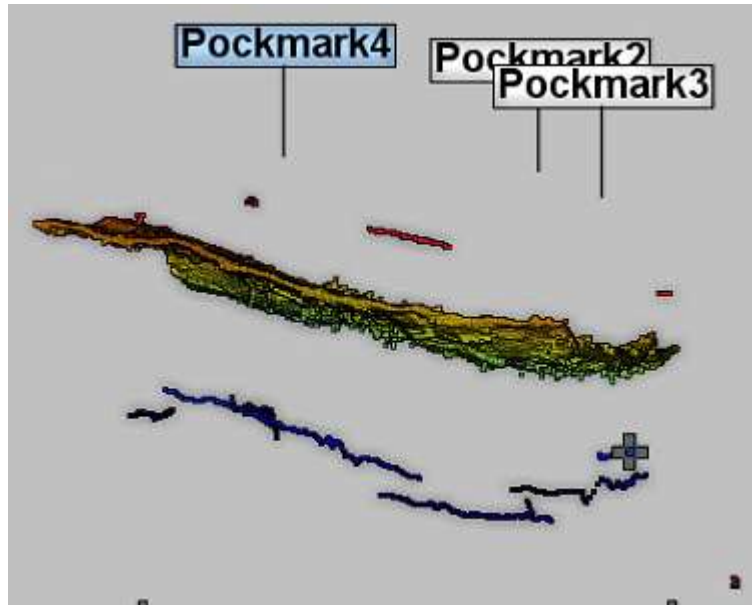


Εικόνα 7.33: 3D view chart

Παρακάτω, εισαγάγαμε geolocator, δηλαδή στόχους με συντεταγμένες (East,North) με σκοπό να υποδείξουμε την θέση των rockmarks στον χάρτη. Ειδικότερα μερικοί από τους στόχους είναι οι παρακάτω :



Εικόνα 7.34: Υπόδειξη κρατήρων.



Εικόνα 7.35: Υπόδειξη κρατήρων

Στις προηγούμενες εικόνες, είναι ευδιάκριτος, τόσο ο θόρυβος όσο και η αστοχία των μετρήσεων. Επιπλέον, παρατηρώντας τα δεδομένα αντιλαμβανόμαστε πως τα βάθη που έχουν προκύψει κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα, είναι αυτά που αντιστοιχούν στις κοιλότητες, σε αντίθεση με τον θόρυβο που βρίσκεται πάνω από τον πυθμένα και μπορεί να αντιπροσωπεύει ψάρια ή τσούχτρες, που εκείνη την περίοδο και ειδικά την μέρα των μετρήσεων, εμφανιζόντουσαν σε μεγάλο πληθυσμό.

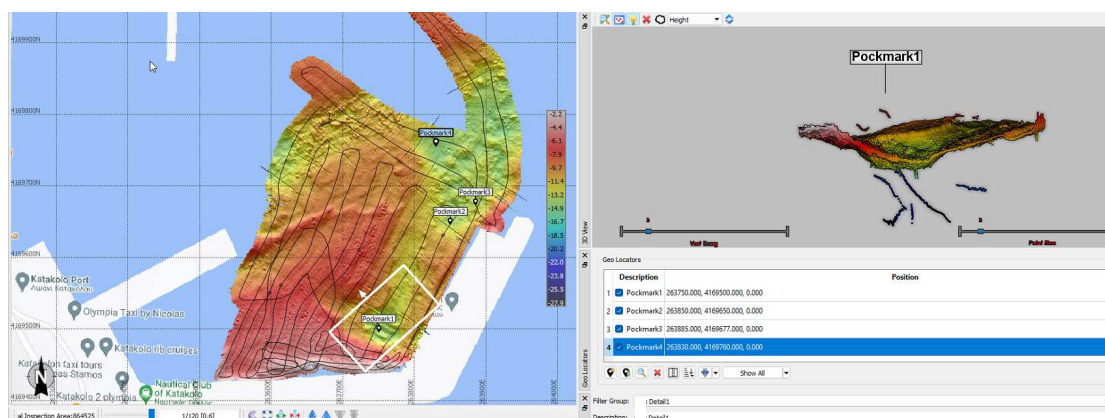
Παρακάτω είναι μια κοντινότερη προσέγγιση του μοντέλου, όπου και γίνεται ακόμη πιο κατανοητός ο θόρυβος και η ανάγκη εφαρμογής φίλτρου, με σκοπό την δημιουργία μιας προσεγγιστικά συνεχούς επιφάνειας που θα αντιπροσωπεύει τον πυθμένα.




Εικόνα 7.36: Θόρυβος δεδομένων

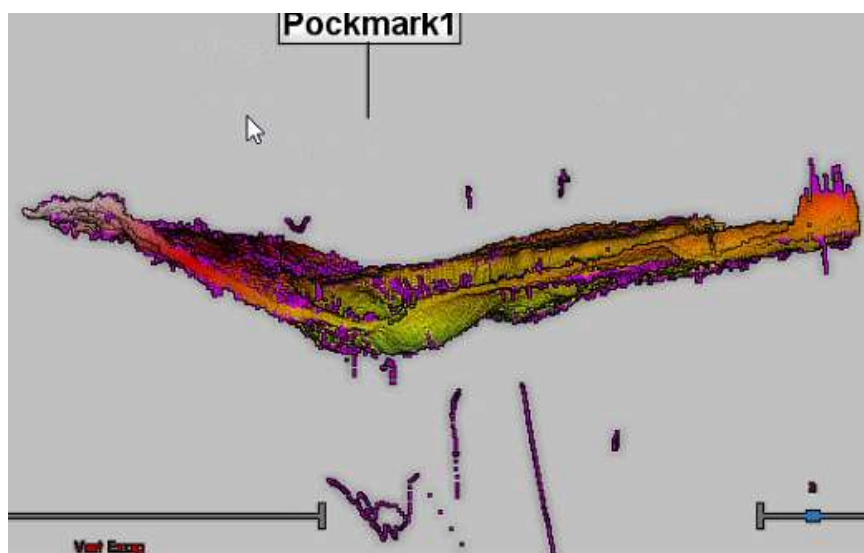
Τα αυτόματα φίλτρα που είναι διαθέσιμα στο λογισμικό, επιτρέπουν τον καθαρισμό των δεδομένων από έκτοπες μετρήσεις και έτσι την βελτίωση της συνολικής ποιότητας των δεδομένων (height shifting).

Παρακάτω παρατίθενται δυο αποκόμματα από τα δεδομένα μιας περιοχής επιθεώρησης (inspection area) πριν και μετά την εφαρμογή του φίλτρου.



Εικόνα 7.37: Δεδομένα πριν την εφαρμογή φίλτρου

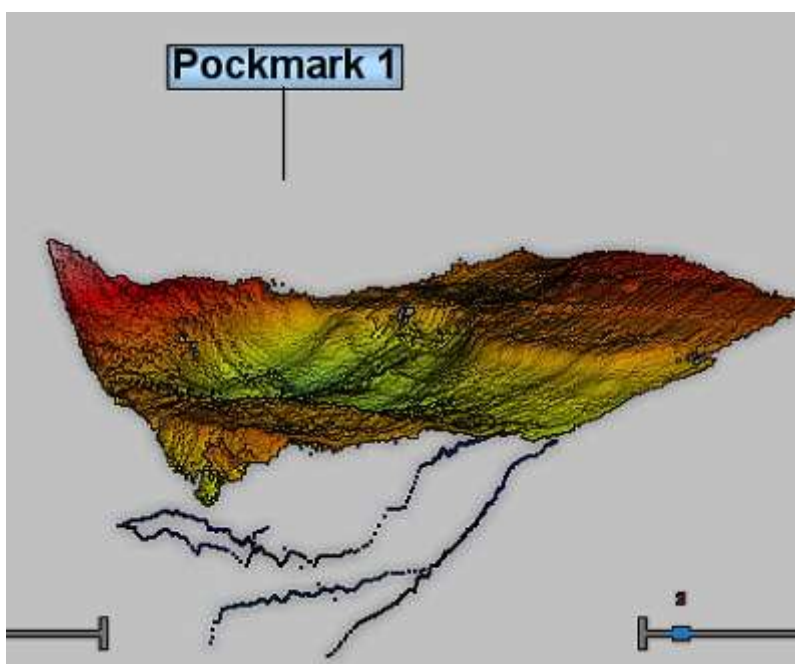
Μόλις εφαρμόσουμε το φίλτρο, παρατηρούμε ότι ο θόρυβος εξαφανίζεται, και προκειμένου να δούμε τα σημεία που απορρίφθηκαν, επιλέγουμε την επιλογή «προβολή απορριφθέντων σημείων»  και αυτά απεικονίζονται με χρώμα μαντζέντα, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 7.38: Τα απορριφθέντα σημεία απεικονίζονται με μαντζέντα χρώμα

Ωστόσο, στην συγκεκριμένη εργασία, μας ενδιαφέρει να υποδείξουμε τους κρατήρες που έχουν δημιουργηθεί στον πυθμένα, καθώς η θέση τους δίπλα στον μόλο προσάραξης κρουαζιερόπλοιων καθιστά επισφαλή την στατικότητα του. Για τον λόγο αυτό, καθώς έχουμε την δυνατότητα να δούμε τα σημεία που απορρίφθηκαν ύστερα

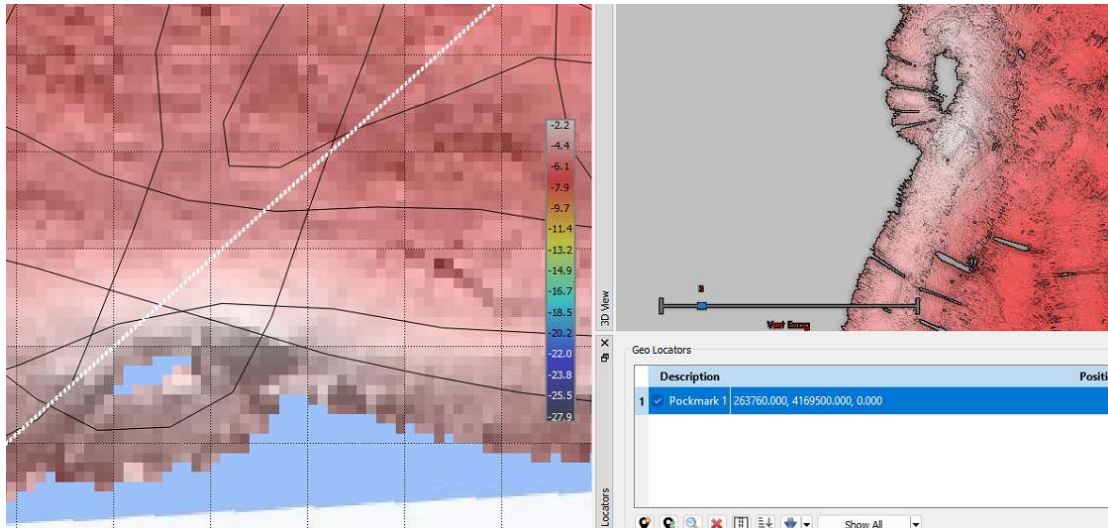
από την εφαρμογή του φίλτρου, επιλέγουμε την επιλογή *lasso*, η οποία μας δίνει την επιλογή χειροκίνητης απόρριψης σημείων ή και επαναφορά των επιθυμητών. Επομένως, όλα τα σημεία που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα και έχουν προκύψει εξαιτίας των κρατήρων και της διαφυγής αερίου, θα τα επαναφέρουμε ώστε να έχουμε ένα βαθυμετρικό χάρτη με αποτυπωμένο το πρόβλημα του πυθμένα. Αποτέλεσμα είναι η φιλτραρισμένη περιοχή μελέτης από τον ανεπιθύμητο θόρυβο, με παράλληλη διατήρηση των επιδράσεων του αερίου.



Εικόνα 7.39: Διορθωμένη επιφάνεια, με διατήρηση συγκεκριμένου θορύβου

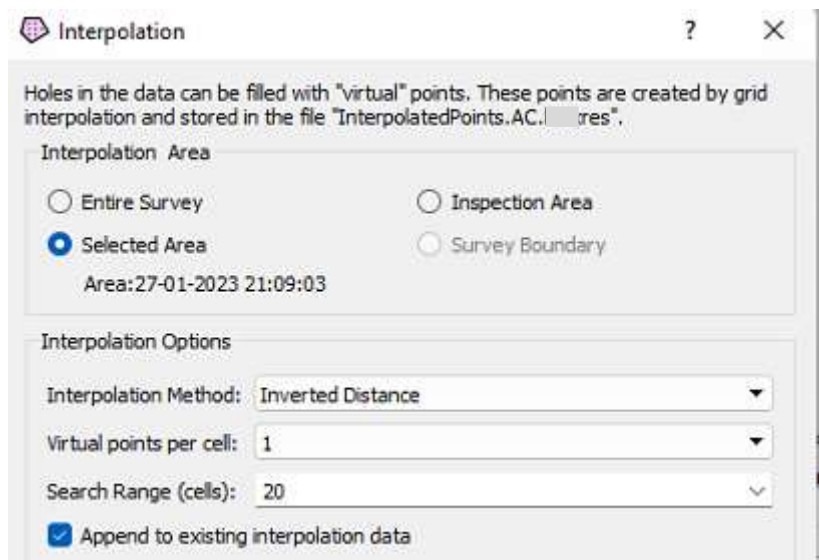
Σε όλο το εύρος της περιοχής μελέτης, παρατηρούμε κενά που έχουν δημιουργηθεί λόγω της αδυναμίας της ηχοβολιστικής συσκευής να σαρώσει τις περιοχές αυτές. Τα κενά αυτά μπορούμε να τα συμπληρώσουμε με την μέθοδο της παρεμβολής (*interpolation*), η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στην επεξεργασία των δεδομένων από ηχοβολιστικό μονής δέσμης, λόγω της απουσίας αλληλοεπικάλυψης μεταξύ των ηχοβολήσεων και άρα περιοχές που τα βάθη τους δεν καταγράφηκαν. Υπάρχουν τρεις διαθέσιμες μέθοδοι παρεμβολής στο λογισμικό:

- Inverted area
- Hole triangulation
- Area triangulation



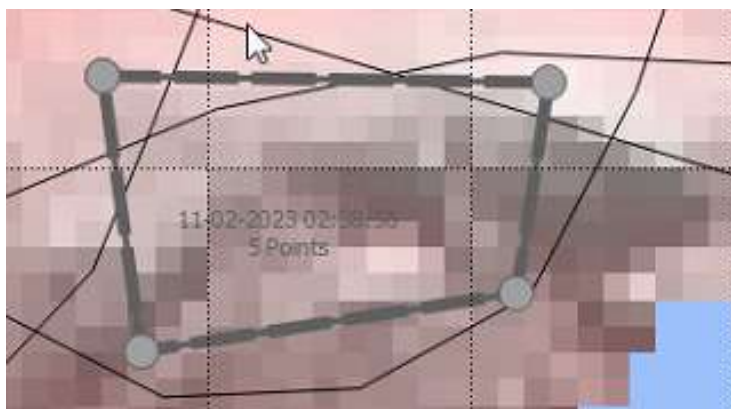
Εικόνα 7.40: Κενά που δημιουργήθηκαν εξαιτίας της απουσίας σάρωσης στην περιοχή αυτή

Για τον σκοπό αυτό ορίζουμε μια περιοχή, στην οποία ανάλογα της θέσης των κενών, θα επιλέγουμε και την κατάλληλη μέθοδο παρεμβολής. Συγκεκριμένα, στο παρακάτω παράδειγμα, το κενό θα προσδιοριστεί με την μέθοδο παρεμβολής «*inverted area*», ή αλλιώς χωρικής παρεμβολής, η οποία συνδυάζει την ιδέα της κοντινότητας των Thiessen πολυγώνων, με την σταδιακή μεταβολή των επιφανειών τάσης, επιλέγω τα ορατά σημεία ανά κελί κανάβου να είναι 4 και το εύρος της απόστασης αναζήτησης στα 20 m



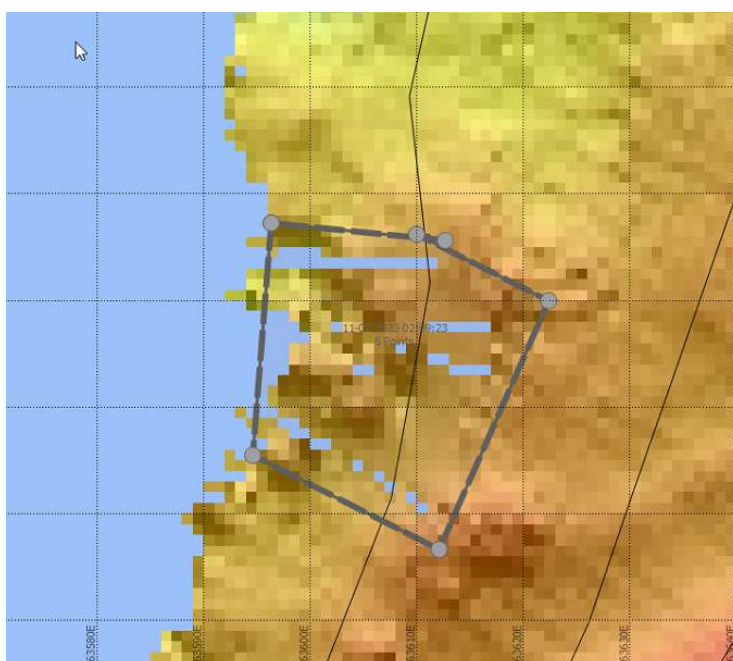
Εικόνα 7.41: Παράμετροι παρεμβολής.

Το αποτέλεσμα που προκύπτει τελικά είναι το εξής:

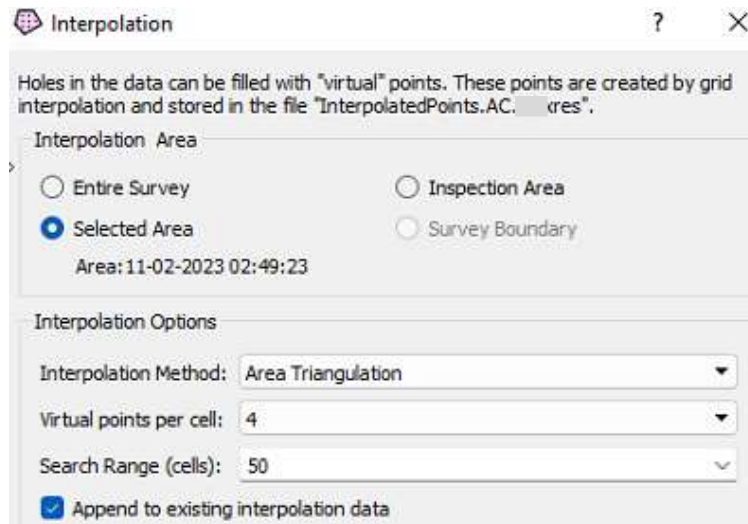


Εικόνα 7.42: Συμπλήρωση κενών με τη μέθοδο παρεμβολής inverted area

Το ίδιο εφαρμόζουμε για την συμπλήρωση των υπόλοιπων κενών, ωστόσο όταν πρόκειται για περιοχή που βρίσκεται στα όρια της περιοχής μελέτης, η παρεμβολή επιλέγουμε να γίνει με την μέθοδο 'Area triangulation', ενώ αυξάνουμε και το εύρος αναζήτησης γειτονικών εικονοστοιχείων, καθώς ένα μεγάλο τμήμα των περιοχών αυτών βρίσκεται στα άκρα. Αναλυτικότερο παράδειγμα αποτελεί η παρακάτω εικόνα.

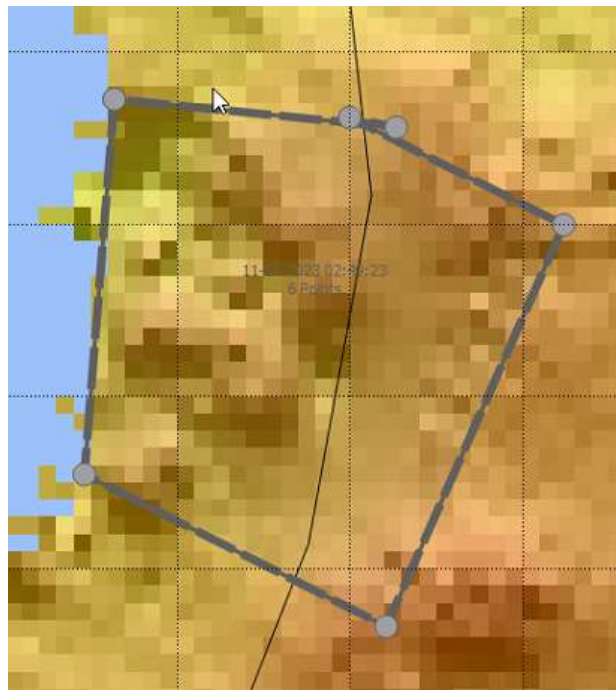


Εικόνα 7.43: Παρεμβολή εικόνας που βρίσκεται στα άκρα




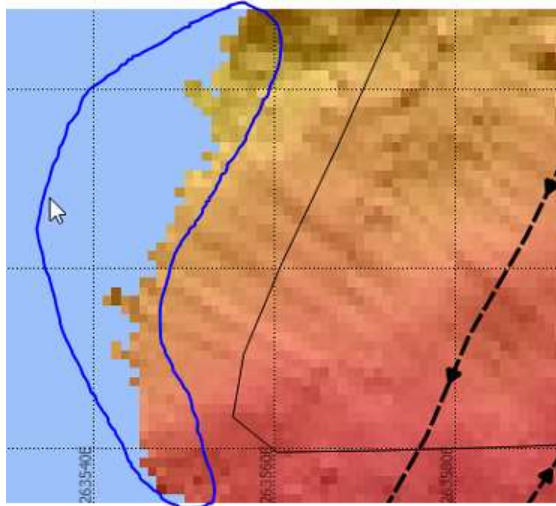
Εικόνα 7.44: Παράμετροι παρεμβολής με τη μέθοδο 'Area triangulation'.

Και το αποτέλεσμα που προέκυψε είναι το εξής:

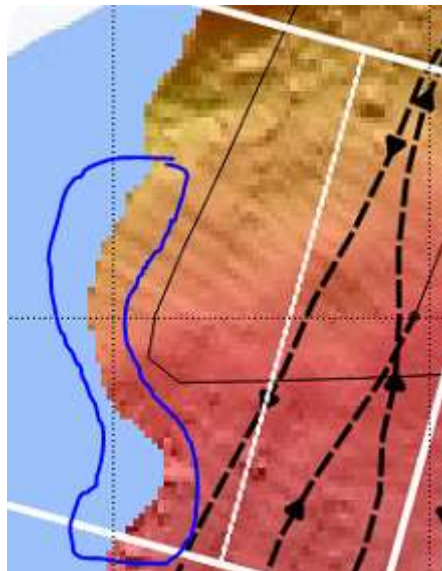


Εικόνα 7.45: Αποτέλεσμα παρεμβολής με τη μέθοδο 'Area triangulation'

Τελευταίο βήμα είναι η μείωση των ασυνεχών οδοντώσεων στα άκρα της περιοχής μελέτης. Αυτό θα γίνει με την χρήση του εργαλείου *lasso*  με το οποίο θα εξομαλύνουμε χειροκίνητα τα άκρα της περιοχής, αφαιρώντας τις άστατες ακμές. Παράδειγμα πριν και μετά την αποκοπή των άκρων σε ένα σημείο, παρατίθεται παρακάτω:



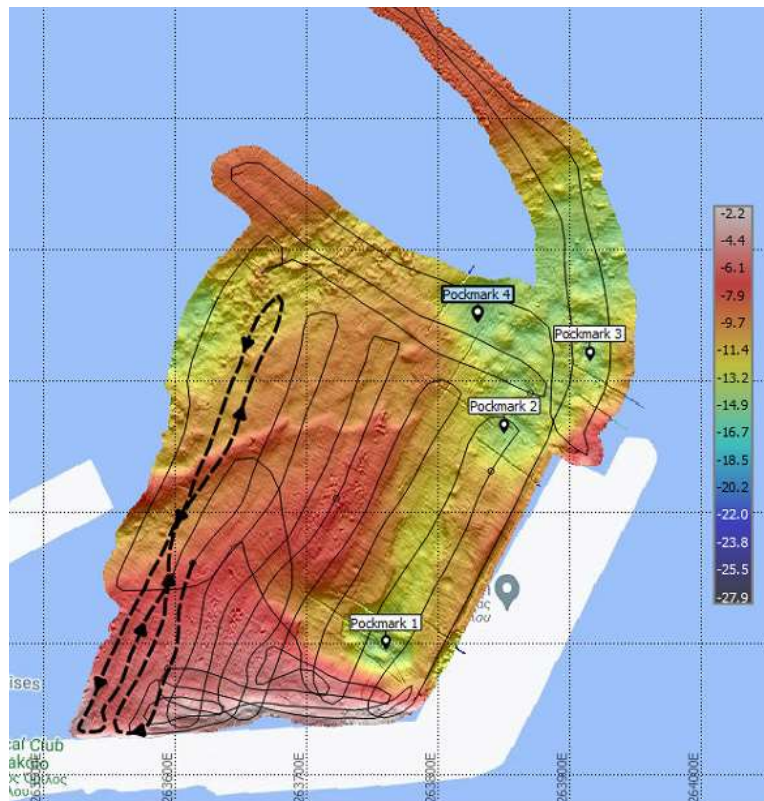
Εικόνα 7.46: Άκρο της περιοχής πριν την αφαίρεση των ακμών.



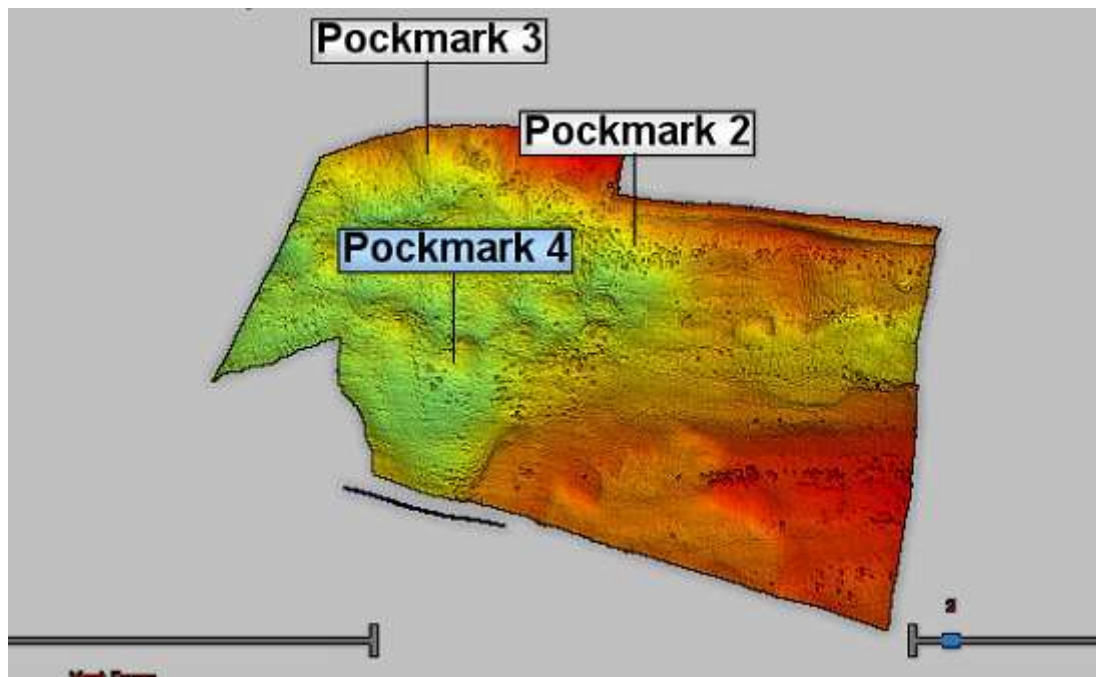
Εικόνα 7.47: Άκρο της περιοχής μετά την αφαίρεση των ακμών.

7.4 Αποτελέσματα

Το αποτέλεσμα που προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων, είναι ο παρακάτω βυθομετρικός χάρτης:



Εικόνα 7.48: Τελικό αποτέλεσμα επεξεργασίας



Εικόνα 7.49: Απεικόνιση inspection area στο 3D VIEW.

Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα – Προτάσεις

8.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη και βάσει της προσωπικής εμπειρίας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και της ενασχόλησης με την επεξεργασία των δεδομένων, ανέδειξε αρκετά συμπεράσματα που αφορούν τόσο το επάγγελμα του Υδρογράφου όσο και την σημαντικότητα του ως προς την δημόσια ασφάλεια, ιδίως σε ό,τι αφορά τον θαλάσσιο χώρο. Λόγω της φύσης των μετρήσεων και των απρόβλεπτων κινδύνων, καθώς και την ακεραιότητα του εξοπλισμού και του πληρώματος (εάν αυτό υπάρχει), είναι απαραίτητη η εξοικείωση του Υδρογράφου με το υγρό στοιχείο αλλά και η γνώση κολύμβησης. Επιπλέον, σε κάθε υδρογραφική αποτύπωση είναι απαραίτητη και αναγκαία η παρουσία ηλεκτρολόγου μηχανικού, έτσι ώστε σε περίπτωση πιθανού ηλεκτρολογικού προβλήματος του εξοπλισμού, να επιλυθεί άμεσα το ζήτημα χωρίς αυτό να επιβαρύνει τον εκτιμώμενο χρόνο διεκπεραίωσης της εργασίας και άρα χρέωση επιπλέον κόστους.

Στην συνέχεια, σε αποτυπώσεις μεγάλων θαλάσσιων εκτάσεων, θα πρέπει το σκάφος να είναι εξοπλισμένο με εφεδρικό εξοπλισμό, παρόμοιο με τον υπάρχων, κυρίως για λόγους κόστους, καθώς ο βασικός εξοπλισμός είναι πολύ ακριβός καθιστώντας την ύπαρξη ίδιων συσκευών αδύνατη, εξαιτίας του τεράστιου κόστους. Το γεγονός αυτό, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην κοστολόγηση της εργασίας του Υδρογράφου, όπως επίσης και του λογισμικού καταγραφής και επεξεργασίας των δεδομένων.

Τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν, εξαρτώνται από τις ενίοτε επιδιώξεις και απαιτήσεις του έργου, καθώς και από την φύση της εργασίας της βυθομετρικής αποτύπωσης. Για τον λόγο αυτό, πριν το φιλτράρισμα των μετρήσεων, θα πρέπει να γίνεται εκτίμηση των δεδομένων από τον Υδρογράφο, έτσι ώστε με βάση την εμπειρία να εντοπισθούν πιθανά προβλήματα και να αξιολογηθούν τα δεδομένα, όπου τα φίλτρα αυτόματα εκλαμβάνουν τον θόρυβο. Συγκεκριμένα, στην εν λόγω περίπτωση, όπως εξετάστηκε παραπάνω, ο θόρυβος που δημιουργήθηκε λόγω των rockmarks, κατά την διάρκεια του φιλτραρίσματος εκλήφθηκε ως θόρυβος, με αποτέλεσμα την αφαίρεση του. Εντούτοις, αν σκοπός της εν λόγω βυθομετρικής αποτύπωσης ήταν η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου του πυθμένα για την μελέτη του και προκειμένου να διεξαχθούν εκσκαφές ή τοποθέτηση θαλάσσιων ανεμογεννητριών, ο πυθμένας θα ήταν ακατάλληλος εξαιτίας της καθίζησης του, λόγω της ύπαρξης των θαλάσσιων κρατήρων (rockmarks). Ωστόσο αυτό αφορά γεωλογικού ενδιαφέροντος ζήτημα.

Επιπροσθέτως, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν η σεισμική δραστηριότητα της περιοχής μελέτης, ενώ παράλληλα με την βυθομετρική αποτύπωση, τα αποτελέσματα θα πρέπει να μελετώνται και γεωλογικά, ώστε να εντοπιστούν τυχόν αλλοιώσεις του πυθμένα που μπορεί να οδηγήσουν σε καθίζηση της ανωδομής. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία τόσο για την βιωσιμότητα οποιουδήποτε λιμενικού, παράκτιου ή υποθαλάσσιου έργου, αλλά ιδίως στην περίπτωση του εν λόγω λιμένα, στην εξασφάλιση της ασφάλειας των ανθρώπων και της ακεραιότητας των σκαφών.

Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ο ρόλος του μηχανικού στην πλήρως επιστημονική προσέγγιση και μελέτη της εκάστοτε εργασίας αλλά και στην σωστή υλοποίηση της. Συγκεκριμένα ο ρόλος της Υδρογραφίας και Ωκεανογραφίας ως επιστήμη αποτελεί τον θεμέλιο λίθο για την κατασκευή πλήρως λειτουργικών λιμένων, συμβάλλοντας παράλληλα στην ασφάλεια της ναυσιπλοΐας, στην προστασία της ενάλιας χλωρίδας και πανίδας και στην δυναμική αλλαγή της μορφολογίας του πυθμένα.

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων, απαιτείται η παρακολούθηση του πυθμένα του λιμένα Κατάκολου σε ετήσια βάση, σύμφωνα με τις επιβαλλόμενες τεχνικές προδιαγραφές από τον ΙΗΟ και των τοπικών αρχών, με σκοπό την παρακολούθηση του ρυθμού εμφάνισης των κρατήρων (rockmarks), κάθε χρόνο κυρίως πριν την τουριστική σεζόν, ώστε να εντοπιστούν εγκαίρως κοιλότητες που μπορεί να επηρεάσουν την στατικότητα του μόλου, που λειτουργεί ως αποβάθρα προσάραξης των κρουαζιερόπλοιων και συνεπώς την ασφάλεια των τουριστών και πληρωμάτων. Για την καλύτερη προσέγγιση του ζητήματος, καθοριστική θα ήταν η συμβολή και ενασχόληση και άλλων επιστημονικών κλάδων, όπως Θαλάσσια Γεωλογία και Υδρολογία.

Κεφάλαιο 9: Παράρτημα

- Χαρακτηριστικά ηχοβολιστικής συσκευής πολλαπλής δέσμης:

FULL SPECIFICATIONS*	
Transceiver type	IP66 DRX-32
Current transducer support	Wideband Fairing Transducer
Swath coverage (up to)	120°
Beams	224 (0.54° over 120°)
Default centre frequency	160kHz
Centre Frequency range	120-200kHz
Bandwidth (up to)	60kHz
Range resolution (max)	2cm
Beam width port/starboard	4.5° (3.6° @200kHz)
Beam width fore/aft	3.2° (2.6° @200kHz)
Signal type	FM
Minimum depth/m	1m
Typical depth (90° or 2:1)	300m
Max depth (53° or 1:1)	350m
DC input	9-32V
Operating power consumption (average)	30W / 2.5Ah @12Vdc
Transducer cable length options	5m, 10m or 20m
Data connection	GbE
Operating temperature	0° to 50°
Environmental standards	IEC60945, MIL-STD-901
DRX mounted in Pelican case with IP66 sleeve	Optional
Transducer IP66 connectors	Optional
Integrated Survey Kit	Optional
Survey Pole Kit	Optional

- Χαρακτηριστικά δέκτη D-GPS:

FUNCTIONS	V123 RMS, 67% 2DRMS, 95% WSP-002-106	
	Positioning Autonomous no SA	1.2m
Positioning Default SBAS	0.3m	0.6m
Positioning Default WAAS		
with Atlas activation	0.3m	0.6m
with RTK activation		
Heading RMS Default	0.3°	0.6°
Heading RMS with V200 Enhanced Heading activation	n/a	n/a
Pitch/Roll RMS	1°	2°
Heave RMS	30cm	60cm
Heave RMS with Atlas	10cm	20cm
Heave with RTK	n/a	n/a

- Ελάχιστες βαθυμετρικές απαιτήσεις κατά IHO

Reference	Criteria	Order 2	Order 1b	Order 1a	Special Order	Exclusive Order
Chapter 1	Area description (Generally)	Areas where a general description of the sea floor is considered adequate.	Areas where underkeel clearance is not considered to be an issue for the type of surface shipping expected to transit the area.	Areas where underkeel clearance is considered not to be critical but features of concern to surface shipping may exist.	Areas where underkeel clearance is critical	Areas where there is strict minimum underkeel clearance and manoeuvrability criteria
Section 2.6	Depth THU [m] + [% of Depth]	20 m + 10% of depth *Ba5, Bb2	5 m + 5% of depth *Ba8, Bb3	5 m + 5% of depth *Ba8, Bb3	2 m *Ba9	1 m *Ba10
Section 2.6 Section 3.2 Section 3.2.3	Depth TVU (a) [m] and (b)	a = 1.0 m b = 0.023 *Bc7, Bd4	a = 0.5 m b = 0.013 *Bc8, Bd6	a = 0.5 m b = 0.013 *Bc8, Bd6	a = 0.25 m b = 0.0075 *Bc10, Bd8	a = 0.15 m b = 0.0075 *Bc12, Bd8
Section 3.3	Feature Detection [m] or [% of Depth]	Not Specified	Not Specified	Cubic features > 2 m, in depths down to 40 m; 10% of depth beyond 40 m *Be5, Bf3 beyond 40m	Cubic features > 1 m *Be6	Cubic features > 0.5 m *Be9
Section 3.4	Feature Search [%]	Recommended but Not Required	Recommended but Not Required	100% *Bg9	100% *Bg9	200% *Bg12
Section 3.5	Bathymetric Coverage [%]	5% *Bh3	5% *Bh3	≤ 100% *≤ Bh9	100% *Bh9	200% *Bh12

- Ελάχιστες βαθυμετρικές απαιτήσεις κατά LINZ

LINZ Order	MB Special	MB-1	MB-2	MB-3
Depth Accuracy Across the Swath Width	1 x IHO SO	1.5 x IHO SO	2 x IHO SO	2.5 x IHO SO
Target Detection	Minimum Horizontal Size of Target required to be Detected			
Water depth < 40m	1m	2m	4m	8m
Water depth >40m	2.5% of depth	5 % of depth	10% of depth	20% of depth
Maximum distance for Three Strikes Along and Across Track	2.5% of depth	5 % of depth	10% of depth	20% of depth
Swath to Swath Area Coverage	200%	100%	100%	100%

Κεφάλαιο 10: Βιβλιογραφία

Βιβλιογραφία

1. (USACE), U. A. (2002). Hydrographic Surveying. Στο U. A. (USACE), *Single Beam Acoustic Depth Measurement Techniques*. Washington DC.
2. IHO. (2022, Οκτώβριος). International Hydrographic Organisation - Standards for Hydrographic Surveys S-44. (6th Edition). Μονακό.
3. Toitu_Te_Whenua - Land Information New Zealand (2010, Ιούνιος). Contract Specifications for Hydrographic Surveys. (Έκδοση 1.2). New Zealand Hydrographic Authority.
4. Γρηγοριάδης, Β. Ν. (2015). *Μελέτη παγκόσμιων μοντέλων βαθυμετρίας και δεδομένων ηχοβολίσεων στην περιοχή του δέλτα Αζιού-Λουδία-Αλιάκμονα*. Θεσσαλονίκη: Aristotle University of Thessaloniki.
5. ΠΑΛΛΗΚΑΡΗ, Α. (1988). *ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΑ. ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ*.
6. Θαλασσινός, Ι. (χ.χ.). Η ελεύθερη κίνηση του σκάφους στο νερό. *Ortsa.gr*. Ανάκτηση από <https://www.ortsa.gr>
7. Μαυραειδόπουλος, Α. Κ. (2019). Περιγραφή Μεθόδων Υδρογραφίας - Βαθυμετρίας και η Συνεισφορά της στην Κατασκευή Λιμενικών Έργων και Διαχείριση της παράκτιας ζώνης.
8. Παπαθεωδόρου, Γ. (2022, Μάιος 19). Εστία κινδύνου οι κρατήρες του Πατραϊκού. (Δ. Ζακυνθινός, Δημοσιογράφος)
9. Πούλος, Σ. Ε. (2021). *Εισαγωγή στην Ωκεανογραφία ή Ωκεανολογία*. Αθήνα: Εκδόσεις Δίσιγμα.
10. L.M. Cathles, Zheng Su, Duofu Chen (January 2010) “The physics of gas chimney and pockmark formation, with implications for assessment of seafloor hazards and gas sequestration”, *Marine and Petroleum Geology* [online] vol.27, pp 82-91. Available from: <https://www.sciencedirect.com>
11. Mackenzie K.V., 1981 Underwater Acoustics Technical Guides - Speed of Sound in Sea Water. Available from: http://support.echoview.com/WebHelp/Reference/Algorithms/Sonar_calculator_algorithms.htm
12. Pat Sanders, Coastal Oceanographics Inc. (January 2008) “RTK TIDE Basics” , Hydro International, USA. Available from: <https://www.hydro-international.com/content/article/rtk-tide-basics>
13. Ζησόπουλος Α., Παραδείσης Δ. (Δεκέμβριος 2006). *ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ (DGPS)*. ΚΕΝΤΡΟ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ ΔΙΟΝΥΣΟΥ –

DIONYSOS SATELLITE OBSERVATORY. Τομέας Τοπογραφίας Ε.Μ.Π
– Departure of Surveying NTUA, Αθήνα.

14. ΗΛ. ΠΑΛΛΗΚΑΡΗ Α. (Νοέμβριος 1993). *Παλίρροιες και Παλιρροιακά Ρεύματα*. Σχολή Ναυτικών Δοκίμων.
15. Κάβουρας Μ., Δάρρα Α., Κονταξάκη Σ., Τομάη Ε. (2015). *Επιστήμη Γεωγραφικής Πληροφορίας – Αρχές και Τεχνολογίες*. Αθήνα. ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ
16. Julian Le Deunf, Nathalie Debese, Thierry Schmitt, Romain Billot. (2020). “A Review of Data Cleaning Approaches in a Hydrographic Framework with a focus on Bathymetric Multibeam Echosounder Datasets”, *Geosciences – MDPI* [online] vol.10, issue 7. Available from: <https://doi.org/10.3390/geosciences10070254>
17. Etiope G., Papatheodorou G., Christodoulou D., Ferentinos G., Sokos E., Favali P., (2006), “Methane and hydrogen sulfide seepage in the northwest Peloponnesus petroliferous basin (Greece): Origin and geohazard”. *AAPG Bulletin*, 90 (5), 701 – 713.