

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Πτυχιακή εργασία

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΥΘΟΜΕΤΡΙΑΣ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Ελένη Μπου –Μανσούρ

Λεμεσός 2016

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΥΘΟΜΕΤΡΙΑΣ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Ελένη Μπου Μανσούρ

Σύμβουλος καθηγητής ή καθηγήτρια
Δρ. Διόφαντος Χατζημιτσής

Λεμεσός 2016

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Ελένη Μπου Μανσούρ, [2016]

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας μου κ. Διόφαντο Χατζημιτσή, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτή την εργασία, για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκειά της και κυρίως για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους αγαπημένους μου γονείς Κωνσταντίν και Σύλβια για τη στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια. Τέλος ευχαριστίες στα αδέρφια μου Τζουλιάνα, Τζόζεφ και Μάριο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πάντα υπήρχε η ανάγκη της χαρτογράφησης του πυθμένα του νερού, είτε ο λόγος αυτός αφορούσε την ασφαλή ναυσιπλοία είτε αφορούσε τον έλεγχο της στάθμης του νερού ή αφορούσε περιβαλλοντικούς λόγους. Κατά την πάροδο των χρόνων οι μέθοδοι της βυθομέτρησης και της χαρτογράφησης εξελίσσονται και βελτιώνονται, ειδικά τα τελευταία 40 χρόνια όπου παρουσιάζεται μία ραγδαία ανάπτυξη στον τομέα αυτό. Ιδιαίτερη ανάπτυξη παρουσιάζεται στον τομέα της βυθομετρίας με την χρήση δορυφορικών δεδομένων όπου συνεχώς παρουσιάζονται νέοι τρόποι εξαγωγής χαρτών σε συντομότερο χρόνο και με λιγότερες δαπάνες. Επιπρόσθετα διακρίνεται μία συνεχής βελτίωση στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων καθώς με τον καιρό επιτυγχάνεται η εξαγωγή αποτελεσμάτων με μεγαλύτερες ακρίβειες συνεπώς με μικρότερα σφάλματα. Για την εξαγωγή των χαρτών και την εύρεση των δεδομένων ακολουθείται μία αρκετά περίπλοκη διαδικασία όπου χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη πολλοί παραμέτροι είτε αυτοί βρίσκονται στα συστατικά του νερού, είτε στο είδος του πυθμένα του νερού, είτε στην ατμόσφαιρα και όχι μόνο. Η μέθοδος της τηλεπισκόπησης διακρίνεται σε δύο βασικές κατηγορίες η μέθοδος απικόνησης και η μέθοδος μη απικόνησης. Είναι και οι δύο ευρέως γνωστές. Εν κατακλείδι, η μεθοδολογία της τηλεπισκόπησης είναι πιο αποδοτική σε θέμα χρόνου, οικονομικού προϋπολογισμού, ακρίβεια δεδομένων σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο υπάρχει, και συνήθως είναι αυτή που συστήνεται για χρήση.

Λέξεις κλειδιά: Βυθομετρία, τηλεπισκόπηση, ακουστική μέθοδος, μέθοδος απικόνησης, μέθοδος μη απικόνησης

ABSTRACT

During the past few years there was an increasing demands of needs for mapping the bottom of water, either because it was needed for Navigation Safety, Nautical charts, or for Pollution controlling, mineral and fish industries. Over the years the methods of bathymetry and mapping showed a huge improvement especially in the last 40 years where a rapid growth occurs in this part of science. Particular growth occurs in the bathymetry area using satellite data which continuously presented and exported new models in order to create maps in a shorter time period and with fewer expenses. Additionally there is an increasing improvement in the accuracy of the results of the maps over time and it is accomplished with smaller errors. For export of maps and finding data followed a fairly complicated process which needs to take into account many parameters are either located in the constituents of water, either the nature of the water bottom, or in the atmosphere and beyond. The method of remote sensing is divided into two main categories imagine methods and the Non imagine methods. Both are widely known, in conclusion, the methodology of remote sensing comparatively with the eco-sounding method is more efficient in a matter of time, financial budget, data accuracy than any other method exists, and usually is recommended for use.

Keywords: bathymetry, remote sensing, echo sounding system, Non imagine methods, imagine methods, LIDAR

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ABSTRACT	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ - ΠΙΝΑΚΩΝ.....	ix
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	x
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1 Πολυφασματική βυθομετρία.....	3
1.1 Φασματικά χαρακτηριστικά των υδάτινων σωμάτων	3
1.1.1 Ηλιακή ακτινοβολία (διάχυση και ανάκλαση).....	4
1.1.2 Θολότητα και οργανικές παρουσίες στο νερό	6
1.2 Φασματικές αλλαγές με την αύξηση του βάθους του νερού.....	6
1.3 Κυριότερα Μοντέλα	7
1.3.1 Lyzenga, 1978	8
1.3.2 Philpot 1989.....	9
1.3.3 Stumpf 2003	11
1.3.4 Mishra 2004.....	11
2 Ηχοβολιστική μέθοδος – εκτίμηση βυθομετρίας.....	11
2.1 Βασικές αρχές – Μετάδοση του ήχου στο νερό.....	11
2.2 Μεγέθη των ηχητικών κυμάτων	12
2.3 Ηχοβολιστική συσκευή (βυθόμετρο)	13
2.3.1 Γεννήτρια Παλμών –Μεταδότη.....	13
2.3.2 Ο πομπό-δέκτης, και ο πομπός-ενισχυτής.....	14
2.3.3 Ο μετατροπέας.....	15
2.4 Φυσικοί παράμετροι καταγραφής	15
2.4.1 Αλατότητα και αγωγιμότητα	15
2.4.2 Θερμοκρασία	16
2.4.3 Πυκνότητα	17
2.5 Ηχοβολιστικά συστήματα.....	17
2.5.1 Ηχοβολιστής/ βυθόμετρα Απλής Δέσμης (Single Beam Eco sounders).....	18

2.5.2	Ηχοβολιστής / βυθόμετρο Πολλαπλής Δέσμης (Multi - Beam Eco sounders)	18
3	Τηλεπισκόπηση και βυθομετρία	20
3.1	Μέθοδος μη απεικόνισης (Non imagine methods).....	23
3.1.1	Non-imaging bathymetric mapping - LIDAR	23
3.1.2	Non imagine methods - Altimetry	26
3.2	Μέθοδος απεικόνισης (Imaging Methods).....	27
3.2.1	Οπτικό σύστημα Βαθυμετρίας	27
3.3	Σύγκριση των μεθόδων του Οπτικού αναλυτικού μοντέλου και του Οπτικού εμπειρικού μοντέλου.....	32
3.4	Σύγκριση μεθόδων οπτικής και μη οπτικής	33
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	34
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	35

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Η ανάκλαση της ακτινοβολίας στα διάφορα επίπεδα του νερού και της ατμόσφαιρας .	4
Εικόνα 2: Η απορόφηση του φωτός στο ορατό φάσμα όπου και παρατηρείται η μέγιστη ανάκλαση στο μπλε- πράσινο φάσμα	5
Εικόνα 3: Τα φασματικά χαρακτηριστικά του ηλιακού φωτός.....	7
Εικόνα 4: Το βυθόμετρο προσαρμοζόμενο στο κάτω μέρος του πλοίου	12
Εικόνα 5: Ηχοβολιστική συσκευή και τα διάφορα μέρη της	13
Εικόνα 6: Σχήμα και κάλυψη ηχητικού κύματος	14
Εικόνα 7: Βυθόμετρα πολλαπλής δέσμης στα αριστερά και απλής δέσμης στα δεξιά	18
Εικόνα 8: Ηχοβολιστής Πλευρικής Σάρωσης	19
Εικόνα 9: Διαφορά α) Βυθόμετρα Απλής Δέσμης και β) Βυθόμετρα Πολλαπλής Δέσμης.....	20
Εικόνα 10: Διαφορά της βυθομετρικής χαρτογράφησης με αεροπλάνο και με πλοίο	21
Εικόνα 11: Γραφική Παράσταση Για Την Διάδοση Των Παλμών Lidar.....	24
Εικόνα 12: Η συλλογή των δειγματοληψιών σε βάθος νερού επί τόπου χρησιμοποιώντας ένα Βαθύμετρο GPS.....	31

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Εξίσωση 1: Η συνολική ακτινοβολία που καταγράφεται από το δέκτη σύμφωνα με τον Jensen, 2007	4
Εξίσωση 2: Φωτεινότητα εντός του νερού σε ένα συγκεκριμένα βάθος z.....	6
Εξίσωση 3: Εξίσωση Βάθους.....	13
Εξίσωση 4:Spitzer και Dirks μοντέλο υπολογισμού του βάθους του νερού.....	28
Εξίσωση 5: Ji et al μοντέλο υπολογισμού του βάθους του νερού.....	28
Εξίσωση 6:Benny και Dawson μοντέλο υπολογισμού του βάθους του νερού.	29
Εξίσωση 7:Philpot σχέση υπολογισμού του βάθους του νερού.....	29
Εξίσωση 8:Lyzenga et al. μοντέλο υπολογισμού του βάθους του νερού.....	30

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ - ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Οι δυο βασικές κατηγορίες της βυθομετρικής τηλεπισκόπησης	22
--	----

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΤΕ.ΠΑ.Κ:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
LIDAR:	Light Detection And Ranging
Radar:	Radio Detection And Ranging
SONAR:	Sound Navigation and Ranging
GPS:	Παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης
DEMs:	Digital Elevation Models
DBMS:	Database Management System
SBES:	Single beam echo sounders
MBES:	Multi-beam echo sounders

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαδικασία για τη μέτρηση του βάθους και οι διάφορες παρατηρήσεις και μελέτες για τον προσδιορισμό των λεπτομερειών του πυθμένα (τάφροι ή εξάρσεις, συστατικά) των ωκεανών λέγονται με μια λέξη "βυθομέτρηση". Η βυθομέτρηση απαιτεί πολύ χρόνο και τεράστια υπομονή για την έρευνα.

Η βυθομετρία – βυθομέτρηση - βαθυμετρία είναι η επιστήμη που μελετά, υπολογίζει το βάθος του νερού αλλά παράλληλα υποδηλώνει και πληροφορίες για το είδος του βυθού.

Με την βυθομετρία επιτυγχάνεται η μελέτη του βάθους υδάτινων περιοχών από ποταμούς και λίμνες μέχρι και θάλασσες, ωκεανούς;. Με άλλα λόγια, η υποβρύχια βυθομετρία ισοδυναμεί με την υψομετρία ενός τοπογραφικού χάρτη δηλαδή, είναι η τοπογραφική απεικόνιση του βυθού σε χάρτη ή αλλιώς δείχνει το βάθος και το σχήμα της περιοχής που καλύπτεται από νερό. Ένας τέτοιος χάρτης δίνει τα περιγράμματα βάθους στο υδάτινο σώμα και μας παρέχει εκτός από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης, την δυνατότητα να αντλήσουμε και πληροφορίες πλοήγησης.

Η μέτρηση γίνεται με διάφορα όργανα και διάφορες τεχνικές (ηχοβολισμός, Laser, δορυφορικές εικόνες, κα). Η συλλογή πληροφορίας για το βυθό της θάλασσας αποτελεί ένα ιδιαίτερο πεδίο εργασίας για τον τοπογράφο μηχανικό, ιδιαίτερα όσον αφορά τη μέτρηση του βάθους. Παλαιότερα οι μετρήσεις βυθών γινόντουσαν αποκλειστικά με την μέθοδο της ηχοβολιστικής-ακουστικής βαθυμετρίας. Με την ανάπτυξη αρχικά της φασματικής αεροφωτογραφίας και κατόπιν της δορυφορικής εικόνας έγινε αντιληπτό ότι το βάθος του νερού μπορεί να υπολογιστεί και με άλλους τρόπους όπως για παράδειγμα μέσω πολυφασματικών τηλεπισκοπικών δεδομένων. Ο Lyzenga (1978,1981) και αργότερα ο Philpot (1989) ασχολήθηκαν με την ανάπτυξη μεθόδων υπολογισμού του βάθους και με την αντιμετώπιση προβλημάτων που υπεισέρχονται στην πολυφασματική βαθυμετρία, προβλήματα που αφορούν κυρίως στην ποιότητα του νερού, την κατάσταση της επιφανείας της θάλασσας αλλά και την κατάσταση της ατμόσφαιρας.

Οι βαθυμετρικοί χάρτες είναι σημαντικοί στην έρευνα των ωκεανών, των κοιτασμάτων και της υφαλοκρηπίδας. Τα τελευταία χρόνια οι κυβερνήσεις πολλών κρατών έχουν καταλάβει την σημασία των χαρτών με αποτέλεσμα να προσπαθούν να χαρτογραφήσουν τους ωκεανούς με την μέγιστη ακρίβεια που μπορούν να επιτύχουν.

Ιδιαίτερα, όσον αφορά τη ναυσιπλοΐα η ύπαρξη σωστών μετρήσεων βάθους με μεγάλη ακρίβεια σε περιοχές με ρηχά νερά είναι υψίστης σημασίας. Παραδοσιακά οι μετρήσεις αυτές γίνονται με ηχοβολιστική βαθυμετρία μέσω σκάφους. Αυτή η μέθοδος δίδει ακριβείς σημειακές μετρήσεις βαθών, αλλά για να χρησιμοποιηθεί στη χαρτογράφηση μεγάλης περιοχής απαιτεί πληθώρα μετρήσεων της επικαλυπτόμενης περιοχής. οι οποίες ανεβάζουν σημαντικά το κόστος. Επίσης τα ρηχά νερά και η ύπαρξη υφάλων καθιστούν επικίνδυνη την πλοήγηση ακόμα και ενός μικρού σκάφους, γεγονός που καθιστά την ηχοβολιστική βαθυμετρία μη εφαρμόσιμη σε αυτές τις

περιοχές. Λόγω όλων των παραπάνω η δημιουργία βαθυμετρικών χαρτών με την εφαρμογή τηλεπισκοπικών μεθόδων αποτελεί μία επιθυμητή εναλλακτική τεχνική.

Η εξαγωγή βαθυμετρικής πληροφορίας από δορυφορικές εικόνες βασίζεται στην αρχή ότι η ακτινοβολία του ήλιου όχι μόνο αντανακλάται αλλά επίσης εξασθενεί όταν προσπίπτει σε ένα υδάτινο σώμα καθώς ένα μέρος της απορροφάτε από αυτό. Αυτή η αλληλεπίδραση καταγράφεται από τον δορυφορικό δέκτη.

Λανθασμένες μετρήσεις και δεδομένα, μπορούν να οδηγήσουν σε κίνδυνο τα πλοία και τις βάρκες λόγω υφάλων και άλλων ξαφνικών υψωμάτων της επιφάνειας του εδάφους, του πυθμένα.

1 Πολυφασματική βυθομετρία

Η βασική μέθοδος βυθομετρίας με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων είναι η πολυφασματική βαθυμετρία. Η πολυφασματική βαθυμετρία στηρίζεται στην αρχή ότι το συνολικό ποσό της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μία στήλη νερού είναι συνάρτηση του βάθους του νερού. Είναι γνωστό ότι το βάθος διείσδυσης της ηλιακής ενέργειας στο νερό μεταβάλλεται με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Η υπέρυθη ακτινοβολία απορροφάται στα πρώτα λίγα εκατοστά διείσδυσης.

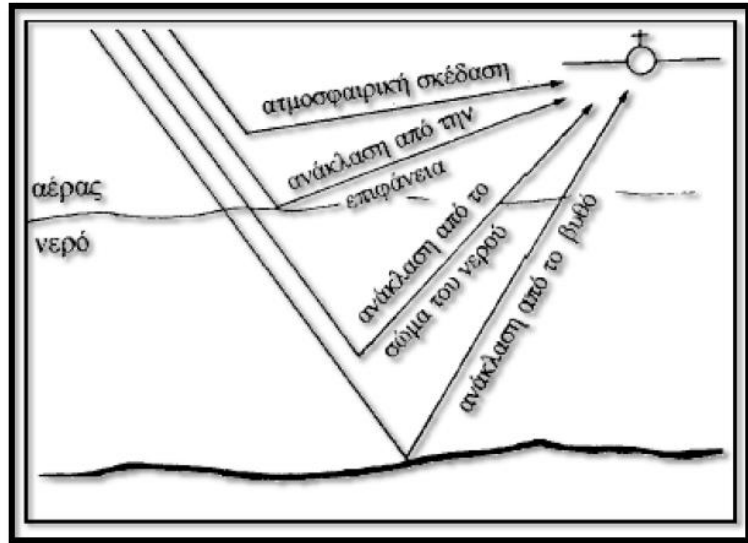
Η ορατή ακτινοβολία έχει την ιδιότητα να διεισδύει σε μεγαλύτερα βάθη ανάλογα με το μήκος κύματος που εκπέμπεται από το δορυφόρο. Σε καθαρά νερά η μέγιστη διείσδυση συμβαίνει για την ακτινοβολία στην περιοχή του μπλε – πράσινου (450 nm – 550 nm), η οποία μπορεί να φτάσει σε βάθος έως και 20 m. Η ένταση της ακτινοβολίας στη φασματική αυτή περιοχή μειώνεται εκθετικά με το βάθος και περιγράφεται από το νόμο των Beer – Lambert.

Για τον προσδιορισμό βαθών με τη χρήση πολυφασματικών δεδομένων, χρησιμοποιούνται αεροφωτογραφίες πάνω από ρηγά νερά. Στην συνέχεια, όταν έγιναν διαθέσιμα τα πρώτα πολυφασματικά δεδομένα από τους εμπορικούς δορυφόρους Landsat οι μελέτες για την εξαγωγή βαθυμετρικής πληροφορίας επεκτάθηκε και σε άλλα δεδομένα (Lyzenga, 1981, Philpot, 1989). Με την πάροδο των χρόνων, πληθώρα μελετών έχουν πραγματοποιηθεί, οι οποίες εκμεταλλεύονται τις ολοένα και αυξανόμενες ραδιομετρικές και φασματικές ικανότητες των δορυφόρων, όπως του IKONOS, SPOT, Quickbird και WorldView-2.

1.1 Φασματικά χαρακτηριστικά των υδάτινων σωμάτων

Η φασματική φύση ενός υδάτινου σώματος καθορίζεται από την αλληλεπίδραση διάφορων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων της ακτινοβολίας που πέφτει πάνω στην επιφάνεια του, των οπτικών ιδιοτήτων του νερού, την τραχύτητα της επιφανείας του νερού, των γωνιών παρατήρησης και πρόσπτωσης της ακτινοβολίας και σε μερικές περιπτώσεις, της αντανάκλασης του φωτός από τον βυθό (Εικόνα 1).

Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει πάνω στην επιφάνεια του νερού, ένα τμήμα της αντανάκλαται πίσω στην ατμόσφαιρα. Αυτή η ανακλώμενη ακτινοβολία ενώ φέρει ελάχιστη πληροφορία σχετικά με το νερό, μπορεί όμως να προσφέρει πληροφορίες σχετικά με την τραχύτητα της επιφανείας και κατ' επέκταση πληροφορίες για τον άνεμο και τα κύματα.



Εικόνα 1: Η ανάκλαση της ακτινοβολίας στα διάφορα επίπεδα του νερού και της ατμόσφαιρας

1.1.1 Ηλιακή ακτινοβολία (διάχυση και ανάκλαση)

Οι φασματικές ιδιότητες του νερού όπως το χρώμα του, καθορίζονται κατά κύριο λόγο από την ενέργεια που διαχέεται και ανακλάται μέσα στο υδάτινο σώμα. Η ενέργεια αυτή είναι γνωστή ως ανάκλαση από το σώμα του νερού (volume reflection) επειδή συντελείται σε όλο το βάθος του νερού και όχι μόνο στην επιφάνεια του. Ένα τμήμα αυτής της ενέργειας στρέφεται πάλι προς την επιφάνεια, όπου ξαναπερνάει στην ατμόσφαιρα και μετά επιστρέφει στο δέκτη παρατήρησης. Ο δέκτης αυτός μπορεί να είναι από ανθρώπινο μάτι, φωτογραφικός φακός, μέχρι και δέκτης δορυφόρου.

Αυτή η ακτινοβολία είναι η κύρια πηγή του χρώματος του υδάτινου σώματος. Η συνολική ακτινοβολία που καταγράφεται από το δέκτη δίδεται από την παρακάτω σχέση (Jensen, 2007):

$$L_t = L_b + L_v + L_s + L_p$$

Εξίσωση 1: Η συνολική ακτινοβολία που καταγράφεται από το δέκτη σύμφωνα με τον Jensen, 2007

Όπου:

L_t η ακτινοβολία που καταγράφεται από τον δέκτη

L_b η ακτινοβολία του βυθού

L_v η ακτινοβολία από το σώμα του νερού

L_s η ακτινοβολία από την επιφάνεια του νερού

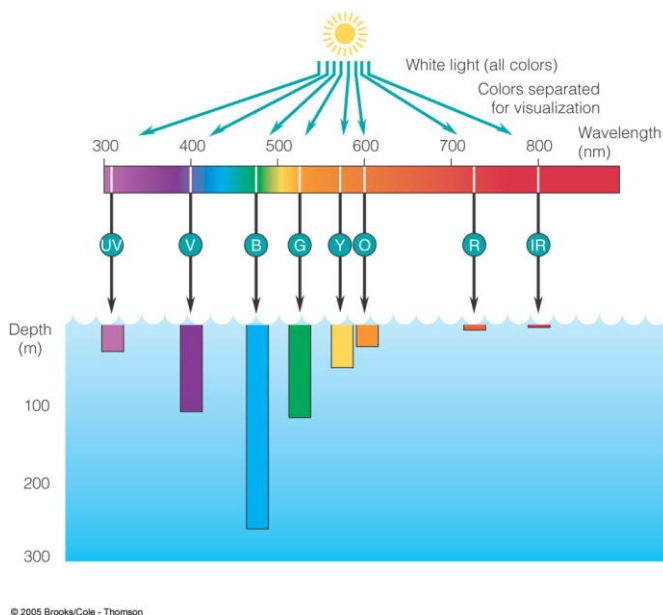
L_p η ακτινοβολία από την ατμοσφαιρική σκέδαση

Το φως που εισέρχεται στο νερό επηρεάζεται πρώτον από την απορρόφηση και σκέδαση από το καθαρό νερό και δεύτερον από τη σκέδαση, αντανάκλαση και διάθλαση λόγω των σωματιδίων που αιωρούνται μέσα στο νερό.

Το καθαρό νερό απορροφά σχετικά μικρή ενέργεια στα μήκη κύματος τα μικρότερα των 0.6 μm. Η μέγιστη μετάδοση του φωτός από το νερό συμβαίνει στα μήκη κύματος από 0,44 μm μέχρι 0,54μm. Για το καθαρό νερό ισχύουν οι ίδιες αρχές που διέπουν την ατμοσφαιρική σκέδαση.

Η Rayleigh σκέδαση συμβαίνει όταν η διάμετρος των σωματιδίων μέσα στο νερό είναι πολύ μικρότερη από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Γι' αυτό το λόγο, οι υδάτινες επιφάνειες με μεγάλο βάθος αναμένεται να έχουν μπλε ή μπλε - πράσινο χρώμα, αν δεν υπάρχουν ρύποι.

Επειδή το χρώμα του νερού καθορίζεται περισσότερο από την αντανάκλαση του σώματος του νερού παρά από την αντανάκλαση από την επιφάνεια του, οι φασματικές ιδιότητες των υδάτινων σωμάτων καθορίζονται από τον βαθμό διαπερατότητάς τους και όχι από τα χαρακτηριστικά της επιφανείας τους, όπως συμβαίνει στα υπόλοιπα σώματα. Στην μπλε περιοχή του φάσματος η διείσδυση του φωτός δεν είναι στο μέγιστό της, αλλά σε ελαφρώς μεγαλύτερα μήκη κύματος, στην μπλε – πράσινη περιοχή η διείσδυση είναι μεγαλύτερη και σε αυτά τα μήκη κύματος η δυνατότητα καταγραφής χαρακτηριστικών του βυθού είναι καλύτερη.



Εικόνα 2: Η απορρόφηση του φωτός στο ορατό φάσμα όπου και παρατηρείται η μέγιστη ανάκλαση στο μπλε- πράσινο φάσμα

Στα μεγαλύτερα μήκη κύματος, στην κόκκινη περιοχή του φάσματος, η απορρόφηση του φωτός από το νερό είναι πολύ μεγαλύτερη και μόνο τα χαρακτηριστικά σε ρηχές περιοχές είναι ευδιάκριτα. Επίσης, στην εγγύς υπέρυθρη περιοχή του φάσματος, η απορρόφηση του φωτός είναι τόσο μεγάλη, που μόνο η διάκριση ανάμεσα σε νερό και ξηρά μπορεί να επιτευχτεί.

1.1.2 Θολότητα και οργανικές παρουσίες στο νερό

Όταν αλλάζει η θολότητα του νερού λόγω παρουσίας οργανικών ή ανόργανων υλικών, αλλάζουν και τα φασματικά του χαρακτηριστικά. Ιζήματα ή αιωρούμενα σωματίδια παρουσιάζονται τόσο λόγω φυσικών διεργασιών όσο και λόγω ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Το νερό που έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε ιζήματα αναφέρεται ως θολό νερό (turbid water).

Η θολότητα του νερού καταγράφεται είτε με δειγματοληψία νερού είτε με την χρήση ειδικών μηχανημάτων που υπολογίζουν την θολότητα από την διαύγεια του νερού. Όσο αυξάνει η συγκέντρωση ιζήματος στο νερό τόσο αλλάζουν και οι φασματικές του ιδιότητες. Πρώτον, η ολική του φωτεινότητα στην ορατή περιοχή του φάσματος αυξάνεται, έτσι ώστε το νερό παύει να επιδρά ως ένα «σκοτεινό» αντικείμενο και αρχίζει να συμπεριφέρεται περισσότερο σαν ένα «φωτεινό» αντικείμενο όσο η περιεκτικότητα σε σωματίδια.

Επίσης, όσο η συγκέντρωση σωματιδίων αυξάνει, η μέγιστη αντανάκλαση του φωτός μετατοπίζεται από την μπλε περιοχή προς την πράσινη. Όταν η συγκέντρωση ιζήματος είναι πολύ μεγάλη το χρώμα του νερού πλησιάζει το χρώμα του ιζήματος (Campbell, 1996).

1.2 Φασματικές αλλαγές με την αύξηση του βάθους του νερού.

Η Εικόνα 3 παρουσιάζει τα φασματικά χαρακτηριστικά του ηλιακού φωτός καθώς αυτό διαπερνά ένα σώμα καθαρού νερού. Κοντά στην επιφάνεια, το γενικό σχήμα της καμπύλης μοιάζει με το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά το νερό επηρεάζει σταδιακά περισσότερο την φασματική σύσταση του φωτός όσο αυξάνει το βάθος. Σε ένα βάθος 20m υπάρχει λίγη ή καθόλου υπέρυθη ακτινοβολία αφού το υδάτινο σώμα απορροφάει αυτά τα μήκη κύματος. Σε τέτοια βάθη, μόνο η μπλε-πράσινη ακτινοβολία παραμένει, οπότε αυτά τα μήκη κύματος είναι διαθέσιμα για την σκέδαση πίσω στην ατμόσφαιρα, τόσο από το νερό, όσο και από τον βυθό του υδάτινου σώματος.

Η φωτεινότητα εντός του νερού σε ένα βάθος z δίδεται από την παρακάτω συνάρτηση.

$$E_z = E_0 e^{-kz}$$

Εξίσωση 2: Φωτεινότητα εντός του νερού σε ένα συγκεκριμένα βάθος z

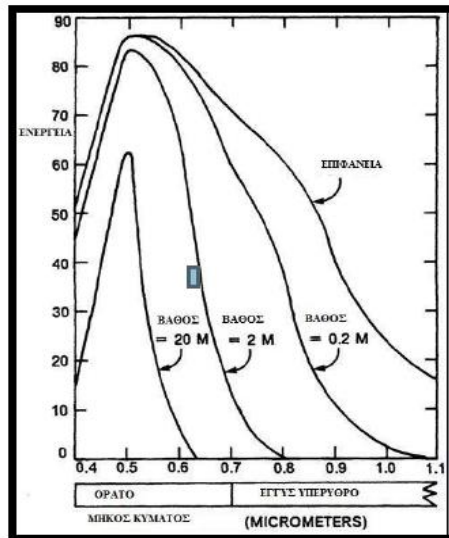
Όπου:

E_0 η φωτεινότητα στην επιφάνεια του νερού

E_z η φωτεινότητα σε βάθος z

k ο συντελεστής εξασθένησης (m^{-1})

Ο συντελεστής εξασθένησης (attenuation coefficient) (k) περιγράφει τον ρυθμό με τον οποίο το φώς εξασθενεί όσο το βάθος αυξάνεται.



Εικόνα 3: Τα φασματικά χαρακτηριστικά του ηλιακού φωτός

Η πληθώρα των συστημάτων που είναι σήμερα διαθέσιμα για την παρατήρηση της Γης αποσκοπεί στην καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής (H/M) ακτινοβολίας που προέρχεται είτε σκεδαζόμενη από την επιφάνειά της είτε εκπεμπόμενη από αυτή. Από ολόκληρο το εύρος του H/M φάσματος, εικόνα 3, ένα μικρό μόνο μέρος αυτού αξιοποιείται για τους σκοπούς της παρατήρησης γεγονός το οποίο οφείλεται σε τεχνολογικούς αλλά και σε φυσικούς περιορισμούς.

Οι δύο βασικές περιοχές που τελικά χρησιμοποιούνται είναι η ευρύτερη περιοχή του ορατού - υπέρυθρου φάσματος και η περιοχή των μικροκυμάτων. Κύρια αιτία για τους συγκεκριμένους περιορισμούς αποτελεί η παρεμβολή της ατμόσφαιρας.

Παραδοσιακά η βυθομετρία γίνεται με την ακουστική μέθοδο όπως έχει αναλυθεί αναλυτικά πιο κάτω. Παρά το γεγονός ότι είναι σε θέση να παράγει ακριβείς μετρήσεις βάθους σε σημεία ή κατά μήκος τομών, η μέθοδος αυτή περιορίζεται από το υψηλό κόστος λειτουργίας, την μακροχρόνια αποδοτικότητα, και την μη αποτελεσματική εφαρμογή του σε ρηχά νερά.

1.3 Κυριότερα Μοντέλα

Τα κυριότερα μοντέλα για την εξαγωγή βαθυμετρικής πληροφορίας (Lyzenga 1978, 1981, 1985), (Philpot 1989) βασίζονται στη φυσική αρχή ότι η ακτινοβολία που αντανακλάται από το βυθό έχει γραμμική σχέση με την ακτινοβολία του βυθού και εκθετική μορφή με την ακτινοβολία από το σώμα του νερού.

Η ακτινοβολία που καταγράφει ο δέκτης επηρεάζεται όχι μόνο από την αντανάκλαση από το βυθό και το σώμα του νερού αλλά και από την αντανάκλαση από την επιφάνεια του νερού και από την ατμόσφαιρα. Οπότε για την εξαγωγή βαθυμετρικής πληροφορίας είναι ανάγκη πριν την

εφαρμογή οποιουδήποτε μοντέλου να εξαλειφθούν οι επιδράσεις τόσο της επιφάνειας της θάλασσας όσο και της ατμόσφαιρας.

1.3.1 Lyzenga, 1978

Οι πρώτες βαθυμετρικές μελέτες έγιναν από τον Lyzenga (1978, 1981, 1985) πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση πολυφασματικών εικόνων. Αρχικά θεωρούσαν δεδομένο ότι συνθήκες όπως η καθαρότητα του νερού, η αντανάκλαση του βυθού και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, δε μεταβάλλονται. Υπό αυτές τις προϋποθέσεις ο Lyzenga πρότεινε ένα εμπειρικό μοντέλο που συνδέει την ακτινοβολία που καταγράφει ο τηλεπισκοπικός αισθητήρας σε κάθε ψηφίδα με γνωστά βάθη που αντιστοιχούν στις ίδιες γεωγραφικές ψηφίδες.

Η αποτελεσματικότητα της βυθομετρίας με την χρήση του παλμού λέιζερ στο φάσμα του μπλε-πράσινου καθιερώθηκε το 1960, με τον Lyzenga να είναι ο πρωτοπόρος. Ο υποφαινόμενος πρωτοστάτησε στην χρήση LIDAR σε ρηγά νερά και στην βυθομέτρηση των περιοχών αυτών. Ωστόσο, δεν κατάφερε να βρει ευρείες εφαρμογές, μέχρι την έλευση του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης (GPS).

Ο Lyzenga πρότεινε ένα βαθυμετρικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται με τη χρήση ενός ή και περισσότερων διαύλων. Το μοντέλο που χρησιμοποιεί ένα μόνο δίαυλο λειτουργεί υπό την προϋπόθεση ότι ο βυθός είναι ομοιογενής, ενώ το μοντέλο με περισσότερους δίαυλους είναι ένα μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης το οποίο έχει εφαρμογή και σε περιοχές με ανομοιογενή βυθό (Su, et al., 2008).

Οι αεροφωτογραφίες των περιοχών με ρηγά νερά έχουν την δυνατότητα να παρέχουν χρήσιμες ποιοτικές πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση του πυθμένα, την κατανομή των φυκιών, την θαλάσσια πανίδα, και τελευταίο και πιο βασικό μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με το βάθος του νερού. Ωστόσο, η ερμηνεία της αεροφωτογραφίας παρεμποδίζεται από το γεγονός ότι οι παραλλαγές του βάθους του νερού δεν διακρίνονται εύκολα. Παράλληλα οι επιδράσεις της επιφάνειας ανάκλασης προσθέτει ένα άλλο στοιχείο σύγχυσης για την ερμηνεία της φωτογραφίας.

Η χρήση των διορθωμένων δεδομένων των ψηφιακών πολυφασματικών σαρωτών επιτρέπουν την δυνατότητα της αυτόματης αναγνώρισης των στοιχείων του πυθμένα του νερού και την εύρεση του βάθους του νερού χρησιμοποιώντας ραδιομετρικές τεχνικές. Προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη ειδικών τεχνικών για κάθε μία απ' αυτές τις εφαρμογές. Οι μέθοδοι επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων επανεξετάζονται, και ο Lyzenga έρχεται να προτείνει μια νέα μέθοδος για την εξαγωγή του βάθους του νερού αλλά και μια νέα μέθοδος για την εξαγωγή πληροφοριών για τον πυθμένα του νερού.

Ο αλγόριθμος του βάθους του νερού και της χαρτογράφησης του πυθμένα του νερού σύμφωνα με τον Lyzenga αποτελεί μία απλή τεχνική που καταλήγει σε αποδεκτά αποτελέσματα σε πολλές περιπτώσεις. Ωστόσο ο αλγόριθμος αυτός περιορίζεται από τεχνικούς περιορισμούς που

μειώνουν την εφαρμοσιμότητα και τη χρησιμότητά του. Παρόλα αυτά επιτεύχθηκε ο σκοπός του Lyzenga και όρισε ένα πιο γενικό αλγόριθμο. Επιπρόσθετα κατάφερε να κάνει μία προκαταρκτική αξιολόγηση της μεθόδου αυτής χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο προσομοίωσης για την λάμψη του νερού.

Τα χαρακτηριστικά του πυθμένα του νερού για την χαρτογράφηση αποτελούν πολύ βασικά και η μέθοδος αυτή προσφέρει τα εξής πλεονεκτήματα:

- 1) αυξημένη ευελιξία, γιατί οι δέσμες των κυμάτων δεν περιορίζονται σε κύματα με συντελεστές ίσης εξασθένησης στο νερό,
- 2) καλύτερη διάκριση, αντίληψη των υλικών του πυθμένα του νερού,
- 3) βελτιωμένη απόδοση μέσω της χρήσης περισσότερων από δύο δεσμών μήκους κύματος .

Παράλληλα η μέθοδος αυτή έχει και μερικά πλεονεκτήματα τα οποία είναι:

- 1) μικρότερη ευαισθησία στο θόρυβο, και
- 2) βελτιωμένη απόδοση μέσω της χρήσης περισσότερων των δύο ζωνών μήκους κύματος.

Παρόλα τα πλεονεκτήματα ο αλγόριθμος αυτός έχει και μερικά μειονεκτήματα. Το βασικό μειονέκτημα του αλγόριθμου είναι το γεγονός ότι είναι πιο περίπλοκο σε σύγκριση με άλλα και ως εκ τούτου αρκετά πιο δύσκολο να εφαρμοστεί. Οι εργασίες για την επεξεργασία των δεδομένων μπορεί να υλοποιηθεί μόνο με ψηφιακό υπολογισμό.

1.3.2 Philpot 1989

Ο William D. Philpot εξετάζει τη χρήση των πολυφασματικών εικόνων για την ποσοτική χαρτογράφηση πυθμένων και διερευνά ορισμένα από τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν, όταν γίνεται η προσπάθεια λήψης πληροφοριών του βάθους του πυθμένα με συνθήκες λιγότερο από ιδανικές.

Στην έρευνα αυτή αξιολογήθηκαν τρεις περιπτώσεις, οι οποίες είναι:

A) Στην πρώτη περίπτωση γίνεται δεκτό ότι η μόνη μεταβλητή που επηρεάζει τις εμφανείς αλλαγές στο χρώμα της περιοχής ενδιαφέροντος είναι το βάθος του νερού, ενώ οι υπόλοιποι παράμετροι παρέμειναν σταθεροί.

B) Στην δεύτερη περίπτωση έγινε η παραδοχή ότι όλοι οι συντελεστές είναι σταθεροί εκτός από δύο συντελεστές οι οποίοι μεταβάλλονται. Αυτοί οι δύο συντελεστές είναι το βάθος και η ανάκλαση του πυθμένα.

Γ) Τέλος στην τρίτη περίπτωση γίνεται η παραδοχή ότι μεταβάλλεται το βάθος, ο τύπος του πυθμένα και ο τύπος του νερού, ενώ οι υπόλοιποι συντελεστές παραμένουν σταθεροί.

Η βυθομετρική χαρτογράφηση θα ήταν απλούστερη αν η ποιότητα του νερού και η ποιότητα των ατμοσφαιρικών συνθηκών ήταν αμετάβλητα στοιχεία στις περιοχές ενδιαφέροντος σύμφωνα με

τις περιπτώσεις Α και Β. Σε αυτές τις συνθήκες, τόσο το βάθος όσο και ένας αποτελεσματικός συντελεστής εξασθένησης του νερού σε διαφορετικούς τύπους πυθμένων μπορεί να ανακτηθεί από πολυφασματικές εικόνες.

Σχετικές τιμές του βάθους και της εξασθένησης μπορεί να προσδιορίζονται από απομακρυσμένο παρατηρητή (αισθητήρας δορυφόρου) μόνο, αλλά για τις μετρήσεις πάντα θα απαιτείται βαθμονόμηση και δειγματοληψία χρησιμοποιώντας το ελάχιστο δύο γνωστά βάθη για κάθε τύπο πυθμένα στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.

Μία βαθμωτή μεταβλητή μπορεί να σχεδιαστεί για να ανταποκριθεί γραμμικά με το βάθος. Επίσης μπορεί να σχεδιαστεί είτε για την ελαχιστοποίηση του θορύβου είτε για να επηρεάζει τον τύπο του πυθμένα. Μια δεύτερη βαθμωτή μεταβλητή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η μεταβλητή που μπορεί να είναι ευαίσθητη μόνο για τις διακυμάνσεις στα διάφορα είδη του πυθμένα. Τέλος απαιτείται τουλάχιστον, μία φασματική ζώνη για κάθε ξεχωριστό φασματικό είδος πυθμένα.

Η ακρίβεια της εκτίμησης του βάθους περιορίζεται από τα χαρακτηριστικά του νερού όπως την εξασθένηση και την ανάκλαση, επιπρόσθετα περιορίζεται και από την διαφορά μεταξύ της ανάκλασης του πυθμένα, της ανάκλασης του νερού και την ευαισθησία του συστήματος ανίχνευσης. Είναι χρήσιμο να καθοριστεί μια αδιάστατη παράμετρος κατά την διάρκεια μίας αξιολόγησης της ευαισθησίας ενός συγκεκριμένου ανιχνευτή σε απομακρυσμένες παρατηρήσεις βάθους.

Όσο οι περιοχές ενδιαφέροντος γίνονται πιο σύνθετες, με την αλλαγή του τύπου του νερού και την αλλαγή της μεταβλητής των ατμοσφαιρικών συνθηκών, είναι πιθανό ότι μία αυστηρά φασματική ανάλυση δεν θα είναι πλέον επαρκής για να εξαχθεί το βάθος από πολυφασματικές εικόνες. Οι απομακρυσμένες παρατηρήσεις (δορυφορικά δεδομένα) είναι λιγότερο πιθανό να είναι μοναδικά και η πιθανότητα η ερμηνεία να είναι ασαφής είναι πολύ μεγάλη. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα απαιτηθεί μια ανεξάρτητη πηγή πληροφοριών για τη διάκριση μεταξύ των παραλλαγών στο απομακρυσμένο σήμα που δεν σχετίζονται με το βάθος.

Οι πιο πιθανές πηγές για τις πληροφορίες αυτές είναι χωρικές και χρονικές διακυμάνσεις στα δεδομένα της εικόνας. Χωρική ανάλυση χρησιμοποιείται όταν οι χωρικές συχνότητες που σχετίζονται με τις αλλαγές στο βάθος είναι ουσιαστικά διαφορετικές από εκείνες που σχετίζονται με τις αλλαγές στον τύπο του νερού, τον τύπο του βυθού, ή τις ατμοσφαιρικές αλλαγές. Όταν συμβαίνει αυτό, η χωρική ανάλυση των δεδομένων της εικόνας μπορεί να οδηγήσει σε κατακερματισμό της εικόνας σε περιοχές που είναι ομοιογενείς, εκτός από την αλλαγή του βάθους. Αυτό θα πρέπει να ακολουθείται από μια ξεχωριστή ανάλυση βάθους για κάθε ένα από τα χωρίσματα της εικόνας.

Χρονική ανάλυση στηρίζεται στο γεγονός ότι το βάθος είναι αμετάβλητη σε διαστήματα σύντομης χρονικής περιόδου. Έτσι, οι διαφορές στον καθορισμό βάθους από εικόνα σε εικόνα θα είναι ενδεικτική των αλλαγών σε ατμοσφαιρικές συνθήκες ή την ποιότητα του νερού.

Τέλος, ο Philpot κατέληξε ότι τόσο ο τύπος του βυθού όσο και η ποιότητα του νερού θέτουν επιπλοκές στον υπολογισμό βαθών μέσω πολυφασματικής βαθυμετρίας και πρότεινε τρόπους επέκτασης του απλού γραμμικού μοντέλου στην εφαρμογή του σε πιο πολύπλοκες περιοχές.

1.3.3 Stumpf 2003

Ο Stumpf (2003) πρότεινε ένα μη γραμμικό μοντέλο, το οποίο χρησιμοποιεί το λόγο των διαύλων ανά δύο, και το οποίο προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα σε βαθιά νερά και σε ρηχά νερά με χαμηλή ακτινοβολία βυθού (πχ λόγω φυκιών). Παρόλο που το μη γραμμικό μοντέλο του Stumpf φαίνεται να αποδίδει καλύτερα, η εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου είναι πιο περίπλοκο διότι πρέπει να γίνει μέσω συνεχών δοκιμών μέχρι να επιτευχτεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, ενώ οι συντελεστές του γραμμικού μοντέλου του Lyzenga μπορούν να υπολογιστούν μέσω πολλαπλής παλινδρόμησης.

1.3.4 Mishra 2004

Οι Mishra et al (2004) έδειξαν, επίσης, ότι η εκτίμηση του βάθους εξαρτάται από τον τύπο του νερού. Όσο περισσότερο ομοιογενής είναι ο βυθός, τόσο ο συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα στο βάθος και τις τιμές ακτινοβολίας που καταγράφει ο δέκτης αυξάνεται, καταλήγοντας σε ακριβέστερη εκτίμηση του βάθους. Στην περίπτωση που έχουμε «σκούρο» βυθό (δηλαδή φύκια, τα οποία λόγω φωτοσύνθεσης απορροφάνε ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας), όσο το βάθος αυξάνει, η ακτινοβολία του βυθού μειώνεται εκθετικά και παρατηρείται αρνητική συσχέτιση ανάμεσα σε ακτινοβολία και βάθος.

Αντιστρόφως, όταν ο βυθός είναι «φωτεινός» (όπως στην περίπτωση της άμμου) η αντανάκλαση από αυτόν είναι ισχυρή και πιθανώς η ακτινοβολία δεν μειώνεται εκθετικά λόγω βάθους. Για αυτό το λόγο, σύμφωνα με τους Mishra et al (2004), η εκτίμηση βάθους σε περιοχές στις οποίες ο βυθός είναι ανομοιογενής πρέπει να αποφεύγεται.

2 Ηχοβολιστική μέθοδος – εκτίμηση βυθομετρίας

2.1 Βασικές αρχές – Μετάδοση του ήχου στο νερό

Η ακουστική ή ηχοβολιστική μέθοδος είναι η μία από τις πλέον σύγχρονες τεχνικές προσδιορισμού του βάθους ενός θαλάσσιου πυθμένα. Χρησιμοποιεί τις ιδιότητες του ήχου, όταν διαδίδεται μέσα σε ρευστό. Η ηχητική ή ακουστική ενέργεια χρησιμοποιείται ευρέως στην ωκεανογραφία διότι ο ήχος υφίσταται περιορισμένες απώλειες λόγω απορροφήσεων στην υδάτινη στήλη, σε αντίθεση με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ηχητική ενέργεια

διαχέεται προς όλες τις διευθύνσεις και η επιφάνεια που καταλαμβάνει αυξάνεται εκθετικά με την απόσταση.

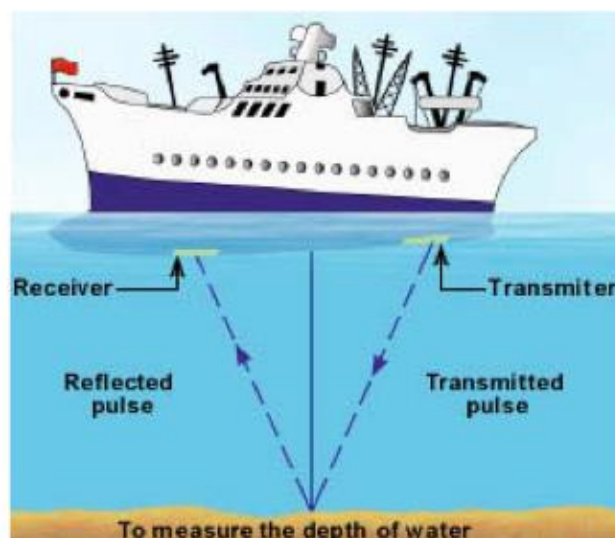
2.2 Μεγέθη των ηχητικών κυμάτων

Τα ηχητικά κύματα χαρακτηρίζονται από κάποια βασικά μεγέθη τα οποία είναι:

- η διάρκεια (ή το μήκος) του ηχητικού κύματος,
- η συχνότητα,
- η περίοδος και
- η ταχύτητα του ήχου.

Η ένταση του ηχητικού κύματος μειώνεται :

1. με την απόσταση από την ηχητική πηγή και
2. με την ανάπτυξη δυνάμεων τριβής στο μέσο μετάδοσης και
3. την ανάλογη απορρόφηση ενέργειας και μετατροπής της σε θερμότητα.



Εικόνα 4: Το βυθόμετρο προσαρμοσμένο στο κάτω μέρος του πλοίου

Η απορρόφηση ακουστικής ενέργειας εξαρτάται από μία ποικιλία φυσικών (θερμοκρασία, αλατότητα, πίεση) και χημικών παραγόντων. Στις σύγχρονες υδρογραφικές αποτυπώσεις το βάθος προσδιορίζεται από παρατηρήσεις- μετρήσεις του χρόνου μετάδοσης ηχητικών κυμάτων. Μία συσκευή που ονομάζεται βυθόμετρο (συνήθως είναι προσαρμοσμένο στο κάτω μέρος ενός σκάφους), εκπέμπει έναν ηχητικό παλμό, από ένα μετατροπέα -πομπός, ο οποίος μεταδίδεται στην υδάτινη στήλη και κατευθύνεται προς το βυθό όπου στη συνέχεια, αφού ανακλαστεί από τον στόχο (πυθμένας) επιστρέφει πίσω στον μεταδότη, όπου και συλλέγεται με το δέκτη του. Το βάθος υπολογίζεται από τον μετρούμενο χρόνο ΔT :

$$\text{Βάθος} = c * \Delta T / 2$$

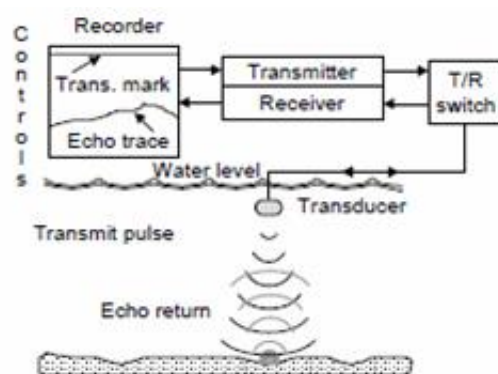
Εξίσωση 3: Εξίσωση Βάθους

Όπου c = ταχύτητα του ήχου στο νερό.

2.3 Ηχοβολιστική συσκευή (βυθόμετρο)

Μία τυπική ηχοβολιστική συσκευή (βυθόμετρο) συνήθως μετράει τον διπλό χρόνο μετάδοσης των κυμάτων στην υδάτινη στήλη και αποτελείται από τις ακόλουθες βασικές μονάδες: (εικόνα 1):

- τη γεννήτρια παλμών - μεταδότη (transmitter)
- έναν ημιπλωτό πομπό/δέκτη (transducer) ο οποίος μεταφέρει ενέργεια στον μεταδότη
- τον δέκτη/ενισχυτή (receiver) ο οποίος ενισχύει το ηχητικό κύμα και το μεταφέρει στο καταγραφικό σύστημα
- τον μετατροπέα (transducer) ο οποίος μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ηχητική, στέλνει το ακουστικό στο νερό, λαμβάνει την επιστροφή του ηχητικού σήματος και το μετατρέπει σε ηλεκτρικό πάλι.
- τη μονάδα καταγραφής (recorder) η οποία ελέγχει τα εκπεμπόμενα σήματα, μετράει το χρόνο μετάδοσης των ακουστικών κυμάτων, αποθηκεύει τα δεδομένα και μετατρέπει τα χρονικά διαστήματα σε εύρη συχνοτήτων.



Εικόνα 5: Ηχοβολιστική συσκευή και τα διάφορα μέρη της

2.3.1 Γεννήτρια Παλμών –Μεταδότη

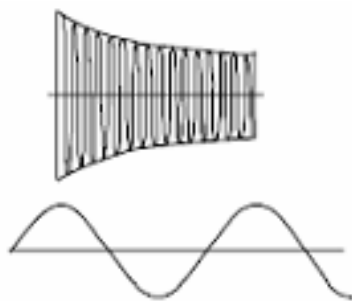
Η γεννήτρια παλμών είναι εξοπλισμένη με ένα ρολόι χαλαζία το οποίο ταλαντώνεται σε εύρος συχνοτήτων 1-10 MHz και του οποίου η συχνότητα υποδιαιρείται προκειμένου να ληφθεί η συχνότητα στην οποία λειτουργεί ο μετατροπέας. Το ρολόι χαλαζία χρησιμοποιείται επίσης για να μετρηθούν τα χρονικά διαστήματα που μεσολαβούν από τη μετάδοση έως την λήψη των ακουστικών σημάτων. Οι σύγχρονοι ηχοβολιστές συνήθως προσφέρουν την επιλογή ανάμεσα σε δύο ή τρεις συχνότητες μετάδοσης οι οποίες ονομαστικά είναι οι:

- χαμηλής συχνότητας - αποδίδουν σε βαθιά νερά γιατί η απόσβεση είναι χαμηλή, αλλά απαιτείται μεγάλος μετατροπέας
- υψηλής συχνότητας - ο μετατροπέας μπορεί να είναι συμβατός αλλά το εύρος είναι περιορισμένο λόγω της υψηλής απόσβεσης

2.3.2 Ο πομπό-δέκτης, και ο πομπός-ενισχυτής

Ο μεταλλάκτης πομπό/δέκτης χρησιμοποιείται για να ενεργοποιήσει έναν παλμό με συγκεκριμένο μήκος κύματος. Συνήθως το μήκος κύματος κυμαίνεται από 0.1 έως 50 ms. Σε ρηχά νερά, ένα μόνο μικρό μήκος κύματος 0.2 ms μεταδίδεται και λαμβάνεται πριν την μετάδοση του επόμενου παλμού. Σε βαθιά νερά παράγονται πολλά μήκη κυμάτων από 1 έως 40 ms και βρίσκονται μέσα στο νερό καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Το εύρος των μηκών των κυμάτων εξυπηρετεί τη κάλυψη απωλειών λόγω της απόσβεσης. Το σχήμα του κύματος και η κάλυψη του φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα.

Ο πομπός ενισχυτής που ενισχύει την επιστροφή του ηχητικού σήματος και το στέλνει στη μονάδα καταγραφής.



Εικόνα 6: Σχήμα και κάλυψη ηχητικού κύματος

2.3.3 Ο μετατροπέας

Ο μετατροπέας τοποθετείται στο κάτω μέρος του πλωτού και είναι σε επαφή με το νερό. Οι λειτουργίες του είναι:

- Να μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια σε ηχητική.
- Να μεταδίδει το ακουστικό σήμα στο νερό.
- Να λαμβάνει την « ηχώ » του ακουστικού σήματος
- Να μετατρέπει το ηχητικό σήμα σε ηλεκτρικό.

2.4 Φυσικοί παράμετροι καταγραφής

Οι φυσικοί παράμετροι είναι κάποιες ιδιότητες του νερού αλλά και της φύσης που επηρεάζουν τις μετρήσεις που λαμβάνονται. Αυτές οι επιρροές επιβάλλεται να λαμβάνονται υπόψη και να διορθώνονται στην διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων. Οι παράμετροι αυτοί, είναι:

- Αλατότητα
- Αγωγιμότητα
- Θερμοκρασία
- Πυκνότητα

Στις επόμενες παραγράφους επεξηγούνται αναλυτικά.

2.4.1 Αλατότητα και αγωγιμότητα

Οι βασικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού που επιδρούν στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι από τις παραμέτρους εκείνες που κατά κανόνα μετρώνται στις διάφορες υδρογραφικές-ωκεανογραφικές μελέτες. Το νερό της θάλασσας αποτελείται κατά 965% από καθαρό νερό και 35% από διαλυμένα άλατα. Ο όρος αλατότητα (salinity) ή αλμυρότητα δηλώνει το βάρος όλων των αλάτων σε γραμμάρια (gr), που περιέχονται σε 1 kg θαλάσσιου νερού. Η αλατότητα του θαλάσσιου νερού μεταβάλλεται σε περιορισμένα όρια από τόπο σε τόπο, ιδιαίτερα μάλιστα σε παράκτιες περιοχές και κοντά στις εκβολές ποταμών. Η αλατότητα γενικά παρουσιάζει μία αύξηση με το βάθος, ενώ ταυτόχρονα εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος. Οι παράγοντες οι οποίοι την επηρεάζουν είναι η εξάτμιση, οι βροχές και τα ύδατα των ποταμών που πέφτουν στη θάλασσα και η μέση τιμή παγκοσμίως είναι ίση περίπου με 35‰.

Η αγωγιμότητα βέβαια είναι συνάρτηση τόσο της αλατότητας όσο και της θερμοκρασίας. Επομένως για τον τελικό καθορισμό της αλατότητας απαιτούνται τόσο μετρήσεις θερμοκρασίας όσο και αγωγιμότητας. Για οποιαδήποτε τιμή της αλατότητας η αγωγιμότητα αυξάνεται με κάθε αύξηση της θερμοκρασίας. Ο υπολογισμός της αλατότητας μέσω της αγωγιμότητας του θαλάσσιου νερού παρουσιάζει μία ακρίβεια της τάξης του 0.002%.

Όσο αναφορά τα χρησιμοποιούμενα όργανα, η μέτρηση της αλατότητας γίνεται σήμερα με κάποιους ειδικούς αισθητήρες, που βυθίζονται στο θαλάσσιο νερό σε συγκεκριμένα βάθη. Οι αισθητήρες αυτοί μετρούν συνήθως και άλλες παραμέτρους του θαλάσσιου νερού (πολυαισθητήρες). Εκτός από τη συγκέντρωση αλάτων, στο θαλάσσιο νερό υπάρχουν και αέρια, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το οξυγόνο, το άζωτο, το αργό και το υδρόθειο.

2.4.2 Θερμοκρασία

Οι θερμοκρασιακές μεταβολές της ατμόσφαιρας επιδρούν και στις θερμοκρασίες των επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων. Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας στην αντίστοιχη θερμοκρασία του θαλάσσιου ύδατος έχει επίδραση μέχρι ένα ορισμένο βάθος. Σε μεγάλα βάθη η επίδραση αυτή είναι αμελητέα.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας με το βάθος εξαρτάται και από το γεωγραφικό πλάτος μιας περιοχής.

Γενικά, παρατηρείται μία ελάττωση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων από τον ισημερινό προς τους πόλους (από 27°C σε -2°C περίπου). Η οριζόντια κατανομή της θερμοκρασίας στα επιφανειακά ύδατα είναι δύσκολο να περιγραφεί, γιατί είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο, που υφίσταται σημαντικές ετήσιες μεταβολές. Σήμερα η θερμοκρασία των θαλάσσιων μαζών μπορεί να μετρηθεί με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με το είδος της εφαρμογής, την επιζητούμενη ακρίβεια, την έκταση που θα πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις και εάν αυτές θα γίνουν κατά την κίνηση του σκάφους ή όταν αυτό παραμένει ακίνητο.

Σήμερα, παρέχεται από την επιστήμη της δορυφορικής αλτιμετρίας η δυνατότητα καταγραφής επιφανειακών θερμοκρασιών για όλες τις θαλάσσιες επιφάνειες με μετρήσεις από τους ειδικούς δορυφόρους, που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για τον προσδιορισμό της μέσης στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας και για εφαρμογές της τηλεπισκόπησης στις ωκεάνιες εκτάσεις οι οποίοι δίνουν επιφανειακές θερμοκρασίες του θαλάσσιου νερού. Η σημασία των δορυφορικών αυτών εφαρμογών είναι τεράστια καθώς είναι διαθέσιμα συγκριτικά στοιχεία για την επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας ανάμεσα σε περιοχές που απέχουν μεταξύ τους πολύ μεγάλες αποστάσεις.

2.4.3 Πυκνότητα

Η πυκνότητα του θαλάσσιου νερού εξαρτάται από:

- την αλατότητα S ,
- τη θερμοκρασία T και
- την πίεση P .

Μία μέση τιμή για την πυκνότητα είναι 1.027 gr/cm^3 (1027 kg/m^3).

Η μέτρηση της πυκνότητας γίνεται με τη χρήση αραιομέτρου με χαμηλή σχετικά ακρίβεια ή με οπτικές μεθόδους με βάση τη μεταβολή της τιμής της διάθλασης. Ένας άλλος τρόπος προσδιορισμού της πυκνότητας επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της θερμοκρασίας και της αλατότητας των θαλάσσιων υδάτων και τη χρήση ειδικών πινάκων (πίνακες Knudsen-Ekman) που ήταν σε χρήση μέχρι το 1980.

Μετά το 1980 ο υπολογισμός της πυκνότητας αποδίδεται από την διεθνή καταστατική εξίσωση του θαλάσσιου νερού (International Equation of State, 1980 - IES80), που δίνει την πυκνότητα μέσω μιας σειράς πολυωνυμικών όρων ως συνάρτηση της αλατότητας, της θερμοκρασίας και της πίεσης (Pond and Pickard 1983) με καλύτερη ακρίβεια από τις άλλες μεθόδους.

2.5 Ηχοβολιστικά συστήματα

Όταν γίνεται βυθομέτρηση ακολουθώντας την μεθοδολογία του ηχοβολισμού τα δεδομένα των βαθυμετρικών χαρτών προέρχονται από ένα μηχάνημα που είναι τοποθετημένο κάτω ένα ειδικά διαμορφωμένο σκάφος. Το χρονικό διάστημα που παίρνει στον ήχο για να περάσει μέσα από το νερό, και να αναπηδήσει από το θαλάσσιο πυθμένα και να επιστρέψει μέχρι το μηχάνημα, μας δείχνει σε ποια απόσταση βρίσκεται ο θαλάσσιος πυθμένας. Ένα σύνολο ηλεκτρονικών υπολογιστών επεξεργάζεται όλα τα στοιχεία και τέλος, αφού οι επιστήμονες διορθώσουν όλα τα δεδομένα που έχουν συλλέξει, παράγεται τότε ένας χάρτης, το οποίο είναι έτοιμο προς χρήση.

Τα είδη που υπάρχουν και χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στις αποτυπώσεις είναι τα εξής:

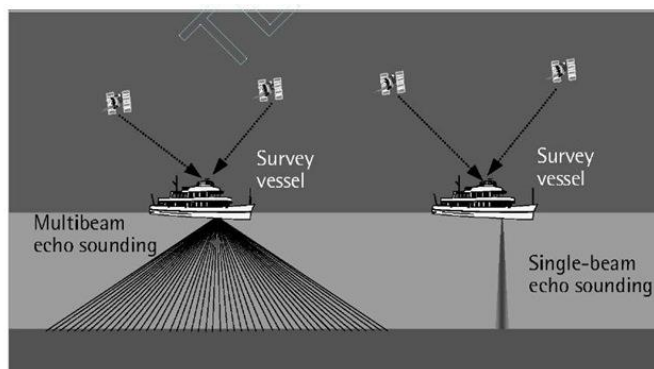
- Βυθόμετρα Απλής Δέσμης (Single beam echo sounders)
- Βυθόμετρα Πολλαπλής Δέσμης (Multi-beam echo sounders)

2.5.1 Ηχοβολιστής/ βυθόμετρα Απλής Δέσμης (Single Beam Eco sounders)

Τα Βυθόμετρα Απλής Δέσμης (SBES) που εκπέμπουν μία κάθετη δέσμη ηχητικών παλμών στη συχνότητα των 200 KHz ή των 50 KHz. Με τις υψηλές συχνότητες (200 KHz) επιτυγχάνεται μεγάλη ακρίβεια σε ρηγά σχετικά νερά, ενώ με τις χαμηλές συχνότητες (50 KHz) η ηχητική δέσμη διεισδύει σε μεγαλύτερα βάθη νερού. Η συνεχής εκπομπή ηχητικών παλμών κατά μήκος της πορείας ενός ερευνητικού σκάφους επιφάνειας δίνει μία δισδιάστατη βυθομετρική διατομή.

2.5.2 Ηχοβολιστής / βυθόμετρο Πολλαπλής Δέσμης (Multi - Beam Eco sounders)

Τα Βυθόμετρα Πολλαπλής Δέσμης (MBES) των οποίων η λειτουργία βασίζεται στην εκπομπή μιας πολλαπλής ηχητικής δέσμης με ευρεία γωνία πρόσπτωσης. Η δέσμη αυτή αφού ανακλαστεί στο βυθό συλλέγεται από ένα σύστημα δεκτών που είναι εγκατεστημένο στα ύφαλα του ερευνητικού σκάφους. Μετά από την κατάλληλη επεξεργασία, μέσω ενός ειδικού λογισμικού, παράγεται η τρισδιάστατη βυθομετρική απεικόνιση μιας ευρείας ζώνης βυθού.



Εικόνα 7: Βυθόμετρα πολλαπλής δέσμης στα αριστερά και απλής δέσμης στα δεξιά

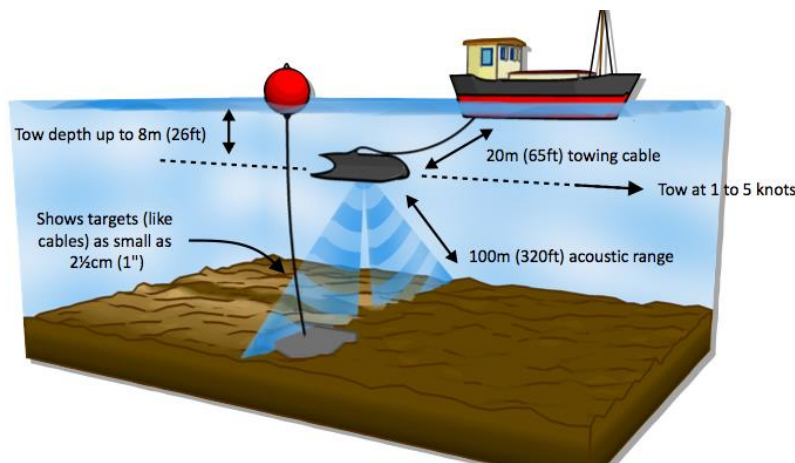
2.5.2.1 Πολυδεσμικός ηχοβολιστής

Ο πολύ-δεσμικός ηχοβολιστής αποτελεί το ιδανικό σύγχρονο εργαλείο για τη λεπτομερή χαρτογράφηση και εξερεύνηση του πυθμένα της θάλασσας με σκοπό: τη σύνταξη υδρογραφικών (βυθομετρικών) χαρτών, τη μελέτη και έρευνα των φυσικών και γεωλογικών διεργασιών στον παράκτιο και βαθύτερο θαλάσσιο χώρο και τη μελέτη, κατασκευή, και συντήρηση θαλάσσιων τεχνικών έργων.

2.5.2.2 Ηχοβολιστής Πλευρικής Σάρωσης

Ο Ηχοβολιστής Πλευρικής Σάρωσης (Side Scan Sonar) ο οποίος επίσης αξιοποιεί την εκπομπή δέσμης ηχητικών παλμών, χρησιμοποιεί έναν διπλό πομποδέκτη προσαρμοσμένο σε μία συσκευή που μοιάζει με τορπίλη. Η τορπίλη αυτή σέρνεται πίσω από το ερευνητικό σκάφος επιφάνειας με τη βοήθεια ενός ειδικού συρματόσχοινου. Παράγονται δύο ηχητικές δέσμες, η μία δεξιά και η άλλη αριστερά της νοητής πορείας του σκάφους, με αποτέλεσμα την καταγραφή των ανωμαλιών του πυθμένα. Τα αντικείμενα του βυθού που εξέχουν έχουν εντονότερη φωτεινότητα, ενώ αυτά που βρίσκονται χαμηλότερα ή είναι πίσω από τις « τοπογραφικές εξάρσεις » εμφανίζονται με πιο σκούρες αποχρώσεις. Βασικό μειονέκτημα των σαρωτών τέτοιου τύπου, είναι τα μη ακριβή βαθυμετρικά δεδομένα που παρέχει.

Ωστόσο, είναι πολύτιμο όργανο στον εντοπισμό ναυαγίων, βλαβών σε υποβρύχια καλώδια και διάφορων γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του πυθμένα όπως, υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, βραχώδεις εξάρσεις κ.ά.



Εικόνα 8: Ηχοβολιστής Πλευρικής Σάρωσης

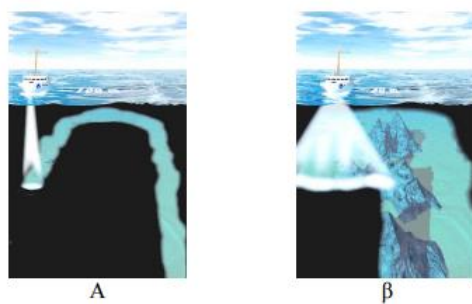
2.5.2.3 Τομογράφος Υποδομής

Στην περίπτωση αυτή η εκπομπή των ηχητικών κυμάτων είναι χαμηλότερης συχνότητας σε σχέση με το βυθόμετρο και έτσι επιτυγχάνεται διείσδυση κάτω από τον πυθμένα και ανάκλαση τους από επιφάνειες ασυνέχειας. Υπάρχουν τρία είδη τομογράφων:

- Υψηλών συχνοτήτων (3.5 - 7 kHz) – διείσδυση έως ~40 m – διακριτική ικανότητα: <0.50 m,
- Μεσαίων συχνοτήτων (0.2 - 1.5 kHz) – διείσδυση έως ~300 m – διακριτική ικανότητα: 2 m,
- Χαμηλών συχνοτήτων (10 - 200 Hz) – διείσδυση έως ~1500 m – διακριτική ικανότητα: 10 - 20 m.

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι οι ηχοβολιστικές συσκευές SONAR διακρίνονται επιπλέον σε τρεις κατηγορίες:

- I. Ηχοβολιστικές συσκευές μεγάλου βάθους (10000 m) με συχνότητα υπερήχων 1 - 15 kHz και μικρές σχετικά ακρίβειες.
- II. Ηχοβολιστικές συσκευές, βυθόμετρο μέσου βάθους (5000 m), συχνότητες υπερήχων 20 - 50 kHz και μέσης τάξης ακρίβειες.
- III. Ηχοβολιστικές συσκευές, βυθόμετρο μικρού βάθους (300 m) με συχνότητες υπερήχων 30 – 300 kHz και υψηλές ακρίβειες. Τα ηχοβολιστικά και των τριών κατηγοριών χαρακτηρίζονται ως ηχοβολιστικά καθέτου δέσμης. Κατά τον προσδιορισμό του βάθους με ένα ηχοβολιστικό σύστημα καθέτου δέσμης γίνεται η μέτρηση του χρόνου διάδοσης των ηχητικών κυμάτων.



Εικόνα 9: Διαφορά α) Βυθόμετρα Απλής Δέσμης και β) Βυθόμετρα Πολλαπλής Δέσμης

3 Τηλεπισκόπηση και βυθομετρία

Με τον όρο τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) αναφερόμαστε στην επιστήμη που αποσκοπεί στην παρατήρηση της Γης από απόσταση. Ειδικά κατασκευασμένοι αισθητήρες τοποθετούνται σε εναέρια μέσα (αεροπλάνα & δορυφόρους) και καταγράφουν πληροφορίες για το έδαφος και την ατμόσφαιρα. Οι επιστήμονες έχουν στη διάθεσή τους μία τεράστια επιλογή από δεδομένα (εικόνες κατά κανόνα) η επεξεργασία των οποίων επιτρέπει την παρατήρηση φαινομένων τόσο σε ευρεία κλίμακα (παγκόσμια) όσο και σε μικρή κλίμακα (δάση, λίμνες, προστατευόμενες ή δυσπρόσιτες περιοχές). Μερικές από τις πολλές εφαρμογές της τηλεπισκόπησης είναι η γεωλογία, η ωκεανογραφία, η προστασία του περιβάλλοντος, η ασφάλεια των συνόρων, η οικιστική ανάπτυξη, οι φυσικές καταστροφές και η προστασία των πολιτών, η διαχείριση φυσικών πόρων, η καλλιέργεια κ.α..



Εικόνα 10: Διαφορά της βυθομετρικής χαρτογράφησης με αεροπλάνο και με πλοίο

Συγκρίνοντας την χρήση της τηλεπισκόπησης στην βυθομετρία με τις άλλες μεθόδους, που υπάρχουν και εφαρμόζονται συμπεραίνεται ότι η μέθοδος της τηλεπισκόπησης είναι ταχύτερη και προσαρμόζεται και χρησιμοποιείται σε διάφορα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων ρηχών παράκτιων υδάτων, ποτάμια, θαλάσσια ύδατα και ωκεάνια ύδατα.

Η τηλεπισκόπηση στην βυθομετρία παίρνει διάφορες μορφές, όπου η κάθε μία έχει τη δική της μεθοδολογία για την ανίχνευση του βάθους, την ακρίβεια, τους περιορισμούς και τις βέλτιστες χρησιμότητες, όπως και φαίνεται στον πίνακα πιο κάτω.

Γενικά στην τηλεπισκοπική βαθυμετρία υπάρχουν 2 βασικές κατηγορίες :

1. Μέθοδος μη απεικόνισης (Non Image Methods)
2. Μέθοδος απεικόνισης (Image Methods)

Μέθοδος	Σύστημα	Μέγιστο βάθος	Ακρίβεια	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Βέλτιστη χρήση
Non imaging	LIDAR	Μέχρι 70μ.	Μέχρι 15 εκ.	<ul style="list-style-type: none"> Ευρύ φάσμα βάθους και δεν είναι απαραίτητη η ταυτόχρονη μέτρηση. 	<ul style="list-style-type: none"> Ακριβό Περιορισμένο το πλάτος της Λωρίδας 	Βαθυμετρία σε ποικίλες υδάτινες περιοχές με στενού εύρους
Non imaging	ALTIMETRY	Πολύ χαμηλή ακρίβεια	Χαμηλή	<ul style="list-style-type: none"> Για παγκόσμια κάλυψη χρειάζεται μόνο βασικό υπολογισμό υψομέτρου. 	<ul style="list-style-type: none"> Χρησιμοποιείται πάνω σε περιορισμένο μήκους κύματος 	Βαθυμετρία κυρίως για ωκεανούς όπου δεν χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια
Imaging	MICROWAVE	Ξέβαθα μέχρι βαθιά	Χαμηλή	<ul style="list-style-type: none"> Εφαρμόσιμη σε μεγάλες περιοχές ενδιαφέροντος. Δεν επηρεάζεται από καιρικές συνθήκες π.χ. συννεφιασμένος καιρός. 	<ul style="list-style-type: none"> Αρκετά χαμηλή ακρίβεια 	Χρησιμοποιείται κυρίως για ωκεάνιες ή θαλάσσιες βαθυμετρίες
Imaging	Optical analytical	Μέχρι 30μ.	Υψηλή	<ul style="list-style-type: none"> Βασισμένο σε φυσική διαδικασία. Σχετική υψηλή ακρίβεια 	<ul style="list-style-type: none"> Απαιτούνται σύνθετοι παράμετροι εισόδου για την εκτέλεση της 	Χρησιμοποιείται σε θολά νερά εσωτερικών υδάτων (ποταμούς, λίμνες)
Imaging	Optical empirical	Μέχρι 30μ.	Ποικίλει	<ul style="list-style-type: none"> Απλό στην εκτέλεση. Ακριβείς σε ορισμένο βάθος. 	<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλότερη ακρίβεια σε μεγαλύτερα βάθη Χρησιμοποιείται σε ορισμένα βάθη 	Χρησιμοποιείται σε περιοχές κοντά στην ακτή και στα παράκτια ανοικτά ύδατα
Imaging	Video	Παλιρροϊκό ύψος	Χαμηλή	<ul style="list-style-type: none"> Ικανό να παράγει βαθυμετρικές αλλαγές μικρής σημασίας 	<ul style="list-style-type: none"> Περιορισμένη βαθυμετρία 	Χρησιμοποιείται σε περιοχές με παλιρροιακή ζώνη και εκβολές ποταμών

Πίνακας 1: Οι δυο βασικές κατηγορίες της βυθομετρικής τηλεπισκόπησης

3.1 Μέθοδος μη απεικόνισης (Non imagine methods)

Είναι ο κλάδος που μελετά τη βέλτιστη μεταφορά της φωτεινής ακτινοβολίας μεταξύ μιας πηγής και ενός στόχου οπτική. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή οπτική απεικόνιση, οι τεχνικές που εμπλέκονται δεν προσπαθούν να σχηματίσουν μια εικόνα της περιοχής μελέτης αντιθέτως δημιουργεί ένα βελτιστοποιημένο οπτικό σύστημα για την οπτική μεταφορά ακτινοβολίας από μια πηγή σε ένα στόχο. Η μέθοδος μη απεικόνισης εκμεταλλεύεται διάφορα συστήματα ένα από τα οποία είναι και το σύστημα LIDAR. Τα συστήματα αυτά ανιχνεύουν την απόσταση που καλύπτει ένας παλμός, το οποίο εκπέμπεται από τον αισθητήρα. Το τελικό αποτέλεσμα του συστήματος θα είναι η απόσταση της επιφάνειας και του πυθμένα του νερού / θάλασσα χρησιμοποιώντας είτε ένα μονό παλμό είτε ένα διπλό παλμό.

3.1.1 Non-imaging bathymetric mapping - LIDAR

Η μέθοδος Non-imaging bathymetric mapping εκμεταλλεύεται τα συστήματα LiDAR. Το σύστημα LIDAR, είναι ένας ενεργός αισθητήρας μη-απεικόνισης που περιλαμβάνει τη μετάδοση ενός παλμού φωτός λέιζερ χρησιμοποιώντας υπέρυθρες ακτίνες αλλά και πράσινα μήκη κύματος του φάσματος EMR. Το σύστημα αυτό εκπέμπει ένα παλμό λέιζερ (laser light) πάνω από συγκεκριμένη περιοχή ενδιαφέροντος. Στην συνέχεια γίνεται η μέτρηση του χρόνου και της απόστασης που χρειάστηκε η ακτίνα για να επιστρέψει στον αισθητήρα.

Το υπέρυθρο φως αντανακλάται πίσω στον αισθητήρα από την επιφάνεια του νερού, ενώ το πράσινο φως διεισδύει μέσα από τη στήλη του νερού. Το βάθος του νερού υπολογίζεται από τη διαφορά χρόνου μεταξύ των υπέρυθρων και των πράσινων αντανακλάσεων λέιζερ με τη χρήση απλών μαθηματικών υπολογισμών που ενσωματώνουν τα χαρακτηριστικά της στήλης ύδατος, μαζί με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Το βάθος του νερού υπολογίζεται από την διπλή διαδρομή μίας ακτίνας η οποία αρχικά θα φτάσει στην επιφάνεια του νερού και στην συνέχεια στο πάτο της θάλασσας όπου και θα αντανακλαστεί. Μετά την αναγνώριση της αντανάκλασης της ακτίνας από την επιφάνεια του νερού και από το πάτο της θάλασσας, υπολογίζεται το βάθος της θάλασσας από την διαφορά χρόνου που θα υπάρξει μεταξύ τους.

Η κυματομορφή γραφική παράσταση πιο κάτω περιέχει σημαντικές πληροφορίες για τη διάδοση των παλμών LiDAR σε διαφορετικά βάθη και σε διαφορετικού είδους βυθούς. Μία γενική γραφική παράσταση κυματομορφής αποδίδεται πιο κάτω, όπου και περιλαμβάνει τρεις συνιστώσες:

A) την επιστροφή της ακτίνας από την επιφάνεια του νερού,

B) οπισθοσκέδαση

Γ) την επιστροφή της ακτίνας από το πάτο της θάλασσας.

Η πρώτη συνιστώσα η οποία είναι η επιστρεφόμενη ακτίνας από την επιφάνεια του νερού, συνήθως είναι η βέλτιστη τιμή έντασης η οποία καταγράφεται από τον δορυφόρο. Ωστόσο μπορεί να μεταβληθεί αρκετά εύκολα αναλόγως με τις συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια του νερού. Ακόμα υπάρχει η πιθανότητα να υπάρξει το φαινόμενο της κατοπτρικής ανάκλασης, όπου οι ακτίνες θα εξαφανιστούν εντελώς πάνω από την επίπεδη επιφάνεια του νερού.

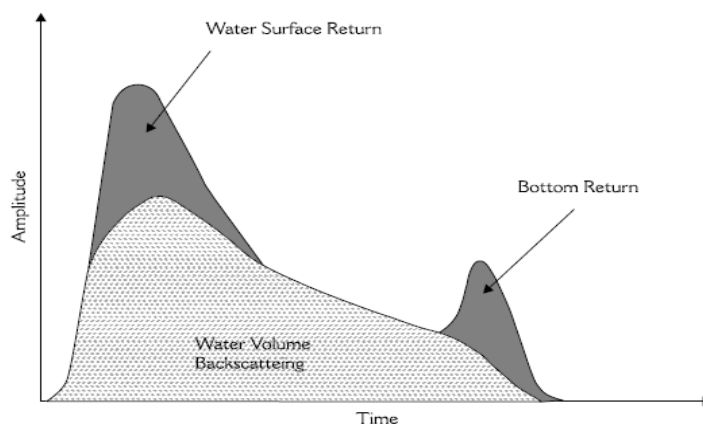


Figure 1 Generic bathymetric LiDAR waveform
Source: Wang and Philpot (2007).

Εικόνα 11: Γραφική Παράσταση Για Την Διάδοση Των Παλμών Lidar

Η δεύτερη συνιστώσα είναι η οπισθοσκέδαση του όγκου του νερού όπου ξεκινά την στιγμή που ο παλμός χτυπά την επιφάνεια του νερού, και αυξάνεται συνεχώς μέχρι την πλήρη εισχώρηση του στο νερό.

Τέλος η επιστρεφόμενη ακτίνας από το πάτο της θάλασσας θα είναι και το τελευταίο σήμα το οποίο θα φτάσει στον αισθητήρα. Λόγω των προαναφερθέντων λόγων, το τελευταίο σήμα έχει και την χαμηλότερη τιμή από οποιαδήποτε άλλη ακτίνα η οποία θα φτάσει στον αισθητήρα.

Συνεπώς προκειμένου να μεγιστοποιηθεί το βάθος της διείσδυσης των ακτινών, τα βαθυμετρικά LiDAR χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο λέιζερ μπλε-πράσινου φωτός. Ακτινοβολία μεγαλύτερου μήκους κύματος δεν ευνοείται λόγω της μεγαλύτερης απορρόφησης που θα υπάρξει από το νερό. Όπως και η χρήση μικρότερων μηκών κύματος δεν είναι ιδανικές, λόγω της ισχυρής σκέδαση και απορρόφηση που θα υπάρξει από τα συστατικά του νερού, τα οποία προκαλεί ρηχή διείσδυση στη στήλη του νερού. Ως εκ τούτου συνεπάγεται και το μικρότερο βάθος διείσδυσης της ακτίνας. (Wang και Philpot, 2007). Σε περίπτωση παράκτιων υδάτων, η βαθύτερη διείσδυση λαμβάνει χώρα στο μπλε-πράσινο μήκος κύματος δηλαδή στα 540 nm.

Εναλλακτικά, ένα σύστημα LiDAR μπορεί να κάνει χρήση δύο δεσμών ακτινών.

Ένα σύστημα GPS με δυνατότητα χρήσης LIDAR, επιτρέπει τη μέτρηση του πυθμένα του νερού, χωρίς τη συνεχή μέτρηση της στάθμης του νερού, παράλληλα επιτυγχάνεται η αποφυγή των σφαλμάτων που προκαλούνται από την χρονική και χωρική διακύμανση της στάθμης του νερού. Ακόμη ο συνδυασμός των δύο πιο πάνω συστημάτων είναι σε θέση να εκτέλεση γρήγορες, ακριβείς και οικονομικά αποδοτικές έρευνες για βυθομετρικές αποτυπώσεις διαύλων ναυσιπλοΐας, παράκτιες κατασκευές, μεγάλες υπεράκτιες περιοχές, παραλίες και ακτές.

Κατά το πέρας των χρόνων τα συστήματα LiDAR υπόσχονται ολοένα και καλύτερα αποτελέσματα στην χαρτογράφηση των πυθμένων του νερού στα παράκτια ύδατα.

Ένας μεγάλος όγκος δεδομένων υψηλής ποιότητας μπορεί να αποκτηθεί αποτελεσματικά μέσω του συστήματος LiDAR. το σύστημα αυτό έχει την δυνατότητα μέτρησης βάθους νερού από 1,5 έως 60 m (Abbot et al., 1996) σε επίπεδο ακρίβειας μέχρι 15 εκατοστά. Το μέγιστο βάθος της διείσδυσης κυμαίνεται από 35 m έως 50 m. Παράλληλα το υψόμετρο του αεροσκάφους πάνω από την επιφάνεια του νερού παίζει σημαντικό ρόλο στη χωρική ανάλυση του αποτυπώματος του πυθμένα.

Τα δεδομένα των βαθυμετρικών LIDAR είναι συνήθως πολύ πυκνό δίκτυο, με εκατομμύρια σημειακά δεδομένα. Η απόσταση σημείου μπορεί να κυμαίνεται από εκατοστό μέχρι κάποια μέτρα. Τα αναλυτικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία υψηλής ανάλυσης ψηφιακή ανύψωσης ή μοντέλα βαθυμετρίας (DEMs ή DBMS).

Η χωρική ανάλυση των μετρήσεων βάθους που συλλέγονται από τα συστήματα βυθομετρίας LIDAR εξαρτάται από δύο βασικές μεταβλητές:

- τα φυσικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα LIDAR / σαρωτή λέιζερ και μέσο σάρωσης,
- το βάθος του νερού.

Οι περιοριστικοί παράγοντες που επηρεάζουν είναι:

- A) η διαύγεια του νερού,
- B) το υλικό που βρίσκεται στον πυθμένα και η σύνθεση του
- Γ) περιβαλλοντικές συνθήκες (καιρός)
- Δ) η κατάσταση στην οποία βρίσκεται η θάλασσα,
- E) το φως του υποβάθρου και η ασφάλεια των ματιών (Muirhead και Cracknell, 1986)

Για να είναι αποδεκτή η χρήση της μεθόδου LiDAR απαιτούνται κάποιες προϋποθέσεις πριν την λήψη των μετρήσεων όπως:

- A) Ένα γενικά αποδεκτό όριο ταχύτητας του ανέμου, η οποία επιτρέπει την πλήρη χρήση του συστήματος η οποία κυμαίνεται γύρω στα 10 m / s (ή 20 κόμβοι) και
- B) το ύψος των κυμάτων πρέπει να είναι μικρότερο από 1 m.

3.1.2 Non imagine methods - Altimetry

Δορυφορική υψομετρία (Altimetry) μπορεί να συμβάλει στον προσδιορισμό του πεδίου βαρύτητας των ωκεανών σε παγκόσμια κλίμακα. Τα δεδομένα του πεδίου βαρύτητας μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την κατάλληλη προσέγγιση των χαρακτηριστικών στοιχείων στους πυθμένες των ωκεανών, όπως π.χ. τα υποθαλάσσια όρη και τις κορυφογραμμές.

Οι μετρήσεις του υψομέτρου από τους δορυφόρους μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με αραιή βυθομέτρηση του πυθμένα για την σύνταξη ενός ενιαίου αναλυτικού χάρτη της τοπογραφίας του θαλάσσιου πυθμένα.

Οι χάρτες αυτοί συγκριτικά έχουν, χαμηλή ακρίβεια και ανάλυση. Συνεπώς, ο παράγοντας αυτός εμποδίζει την χρήση τέτοιων χαρτών στην ναυσιπλοΐα και στην αξιολόγηση κινδύνων της ναυσιπλοΐας. Όμως αυτοί οι χάρτες μπορεί να χρησιμοποιηθούν για διάφορες άλλες εφαρμογές, όπως στον εντοπισμό εμποδίων στα μεγάλα ωκεάνια ρεύματα και τα ρηχά θαλάσσια όρη.

Η βυθομετρία η οποία προέρχεται από την υψομετρία αποκαλύπτει επίσης τα όρια των πλακών και τα οροπέδια των ωκεανών. Στην πορεία μπορεί να προκύψουν διάφορες επιπλοκές οι οποίες χρειάζονται ένα ιδιαίτερο χειρισμό.

Οι πιο σημαντικές επιπλοκές από αυτές είναι:

1) ο υπολογισμός διάφορων ανωμαλιών βαρύτητας στην βυθομετρία όπου είναι δυνατόν να προκύψει σε μία περιορισμένη ζώνη μήκους του κύματος .

2)τα μεγαλύτερα μήκη κύματος εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το ελαστικό πάχος της λιθόσφαιρας.

Αρκετοί αλγόριθμοι αναπτύχθηκαν για την άντληση βυθομετρικών προβλέψεων από δορυφορικό υψόμετρο. Ένας βασικός αλγόριθμος βασίζεται στη γραμμική προσέγγιση της σχέσης μεταξύ του γεωειδές, και την δεδομένη πυκνότητα με αντίθετη διεπαφή.

Οι πιο δημοφιλείς αλγόριθμοι, μέθοδοι που αναπτυχθήκαν είναι:

- Η μονοδιάστατη αναστροφή της δορυφορικής τροχιάς χρησιμοποιώντας γραμμική προσέγγιση της συνάρτησης μεταφοράς.
- Η μονοδιάστατη προσαρμογή των συνθετικών και δορυφορικών κομμάτια.
- Η δισδιάστατη αντιστροφή των ανωμαλιών του γεωειδές.
- Η δισδιάστατη αντιστροφή δορυφορικών δεδομένων και η συγχώνευση με τη συμβατική γεωφυσικές μετρήσεις.

3.2 Μέθοδος απεικόνισης (Imaging Methods)

Μέθοδος απεικόνισης στην βυθομετρία είναι οι μέθοδοι που αναπτυχθήκαν τα τελευταία χρόνια και έχουν σαν αποτέλεσμα την παράδοση εικόνων και βίντεο. Τα αποτελέσματα αυτά μπορεί να προέρχονται είτε από δορυφόρο είτε από αεροπλάνο. Κάνοντας την χρήση των δεδομένων αυτών επιτυγχάνεται η εκτίμηση του βάθους του νερού στις τιμές των εικονοστοιχείων μίας εικόνας. Γίνεται η χρήση του ορατού και του υπέρυθρου φάσματος.

3.2.1 Οπτικό σύστημα Βαθυμετρίας

Η Οπτική βυθομετρίας έχει σαν αρχή ότι το συνολικό ποσό της ακτινοβολούμενης ενέργειας που αντανακλάται από το νερό είναι μια συνάρτηση του βάθους του νερού. Εκμεταλλεύεται το βραχέο κύμα της ακτινοβολίας στο μπλε και στο πράσινο φάσμα η οποία επιτυγχάνει την ισχυρή διείσδυση στο νερό όπως και προαναφέρθηκε.

Καθώς η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία διαδίδεται μέσα στο νερό, όλο και περισσότερο απορροφάται από το νερό και τα συστατικά του νερού, αφήνοντας ποικίλη ενέργεια που πρέπει να καταγραφεί στην δορυφορική εικόνα.

Η ενέργεια που λαμβάνει ο αισθητήρας είναι αντιστρόφως ανάλογος ως προς το βάθος του νερού, αφού έχει προηγηθεί η αφαίρεση της ατμοσφαιρικής επίδρασης αλλά και της επίδρασης του νερού. Ως εκ τούτου, η ένταση του επιστρεφόμενου σήματος είναι ενδεικτικό του βάθους στο οποίο έχει διεισδύσει η ηλιακή ακτινοβολία.

Παθητική τηλεπισκόπηση η αλλιώς οπτικό αισθητήριο της βαθυμετρίας, απαιτεί ένα μοντέλο μεταξύ των τιμών της ακτινοβολίας σε δορυφορικές εικόνες και γνωστά βάθη στα σημεία δειγματοληψίας. Αυτό το μοντέλο μπορεί να είναι αναλυτικό, ημι - αναλυτικό ή εμπειρικό. Παρακάτω γίνεται η περιεκτική ανάλυση των τριών αυτών μοντέλων.

3.2.1.1 Οπτικό Αναλυτικό μοντέλο:

Το αναλυτικό μοντέλο της βαθυμετρίας βασίζεται στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η διάδοση του φωτός στο νερό. Για την δημιουργία και την χρήση αυτού του μοντέλου απαιτείται η εισαγωγή μερικών οπτικών ιδιοτήτων του νερού.

Το ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο είναι το μοντέλο μεταφοράς/ροή της ακτινοβολίας που απαιτεί την είσοδο των φασματικών υπογραφών των αιωρούμενων και διαλυμένων υλικών (Spitzer και Dirks, 1986).

Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, το βάθος του νερού (D) υπολογίζεται ως εξής:

$$D = \frac{1}{Kf} \operatorname{Ln}\left(\frac{C \cdot R_0(\lambda)}{L - L_\infty}\right)$$

Εξίσωση 4: Spitzer και Dirks μοντέλο υπολογισμού του βάθους του νερού

D = βάθος του νερού,

K = αντιπροσωπεύει το συντελεστή εξασθένησης του νερού,

f = το μήκος της διαδρομής, όπου αντιπροσωπεύει ένα γεωμετρικό παράγοντα,

L = αναφέρεται στην ακτινοβολία μιας φασματικής υπογραφής,

L_∞ = είναι η μέση ακτινοβολία στα βαθιά νερά η οποία προκαλείται από την αντανάκλαση της επιφάνειας του νερού, και την ατμοσφαιρική διόρθωση.

C = είναι μια σταθερά που προέρχεται από την ακτινοβολία στην επιφάνεια της θάλασσας.

Η διάθλαση που προκαλείται στην επιφάνεια του νερού είναι αποτέλεσμα της επιρροής της ακτινοβολίας και της ατμόσφαιρας.

Το μοντέλο μεταφοράς ακτινοβολίας υποθέτει την υψηλή αντανάκλαση του πυθμένα, ένα κατάλληλο επίπεδο της ποιότητας του νερού. Παράλληλα η μέθοδος αυτή δεν εφαρμόζεται σε παράκτια ύδατα που επηρεάζονται από υψηλά ποσοστά θολότητας συνεπώς και χαμηλή αντανάκλαση.

Τέλος για να γίνει η σωστή χρήση του μοντέλου αυτού σε νερά με υψηλά ποσοστά θολότητας, χρειάζεται η κατάλληλη τροποποίηση του. Σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται το μοντέλο που προτείνει οι Ji et al. (1992) το οποίο έχει πιο ρεαλιστικές τιμές:

$$D = -\frac{1}{K} \operatorname{Ln}\left(1 - \frac{L - B'}{A'}\right)$$

Εξίσωση 5: Ji et al μοντέλο υπολογισμού του βάθους του νερού

Όπου:

A: είναι μια παράμετρος που σχετίζεται με την ατμοσφαιρική μετάδοση και την ανάκλαση ακτινοβολίας μιας οπτικής βαθιάς στήλης νερού,

B: περιέχει μόνο επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής και ηλιακής ακτινοβολίας. Και οι δύο προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης της παλινδρόμησης με βάση τα πραγματικά βαθυμετρικά δεδομένα.

Με μια κατάλληλη τροποποίηση, το μοντέλο αυτό μπορεί να εφαρμοστεί σε πολύ ρηχά νερά δηλαδή μπορεί να εφαρμοστεί και για νερά μικρότερα από 2 m ($D < 2$ m).

Σε παρόμοια μοντέλα κινήθηκαν και ο Benny και Dawson (1983) οι οποίοι δημιούργησαν ένα μοντέλο το οποίο είναι επίσης εφαρμόσιμο σε ρηχά νερά. Το μοντέλο αυτό διακρίνεται πιο κάτω στην σχέση 4.

$$D = \frac{L \ln(L_x - L_d) - L \ln(L_o - L_d)}{-K[1 + \cos(E'')]}$$

Εξίσωση 6: Benny και Dawson μοντέλο υπολογισμού του βάθους του νερού.

Όπου:

L_d : αναφέρεται στην ακτινοβολία από τα βαθιά νερά,

L_o : αναφέρεται στην ακτινοβολία από τα ρηχά νερά,

Τα προαναφερθέντα στοιχεία, καθορίζονται από το ιστόγραμμα των εικονοστοιχείων από την περιοχή ενδιαφέροντος του νερού.

L_x : αντιπροσωπεύει την ακτινοβολία από το νερό του βάθους x

E : είναι η γωνία πρόσπτωσης της εισερχόμενης ακτινοβολίας σε σχέση με την επιφάνεια του νερού

Το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπόψη την εξασθένηση του ανακλώμενου φωτός από τον πυθμένα κάνοντας την χρήση βάθους γνωστών σημείων.

Ως εκ τούτου, η τοπική ρύθμιση βασίζεται στην σωστή εκτίμηση της παραμέτρου K . Η τιμή αυτή εκτελεί ένα είδος βαθμονόμησης για τα δορυφορικά δεδομένα και σχετίζεται με τις πραγματικές συνθήκες της επιφάνειας του νερού. Αυτός ο αλγόριθμος συνιστάται για χρήση μετά την ενσωμάτωση τοπικών συνθηκών στη δομή τους (Baban, 1993).

Σε περιοχές ομογενών υδάτων οπτικών ιδιοτήτων και ένα ενιαίο τύπου πυθμένα, η εκτίμηση της στήλης ύδατος βάθους D μπορεί να επωφεληθεί και να τροποποιηθεί και να αδιαβαθμιστεί το μοντέλο από τον Philpot (1989):

$$D = -\frac{1}{g} L \ln\left(\frac{L_d - L_o}{L_b}\right)$$

Εξίσωση 7:Philpot σχέση υπολογισμού του βάθους του νερού

Όπου:

g : είναι ένας αποτελεσματικός συντελεστής εξασθένησης του νερού,

L_d : αντιπροσωπεύει την ακτινοβολία η οποία προέρχεται από τηλεπισκοπικά δεδομένα για βαθιά νερά,

L_B : χαρακτηρίζει την ακτινοβολία η οποία είναι ευαίσθητη προς την ανάκλασης του πυθμένα,

L_o : εκτός από την μέθοδο του ιστογράμματος το L_o μπορεί να προσδιοριστεί και από την μέθοδο των σκοτεινών εικονοστοιχείων.

Κατά την εφαρμογή αυτού του μοντέλου, μπορεί να χρησιμοποιηθούν είτε δεδομένα ψηφιακών τιμών είτε δεδομένα ακτινοβολίας.

Όλα τα παραπάνω μοντέλα έχουν το κοινό ότι περιλαμβάνουν τη χρήση μίας ενιαίας ζώνης ενώ η πλούσια πληροφόρηση σε άλλες πολυφασματικές ζώνες είναι χαμένη. Αυτός ο περιορισμός στην εκτίμηση της βαθυμετρίας έχει ξεπεραστεί από τον απλό βασικό αλγόριθμο που προτείνει ο Lyzenga et al. (2006):

$$D = -\frac{1}{\alpha} [\ln(L_b) - \ln(L' - L_s)]$$

Εξίσωση 8: Lyzenga et al. μοντέλο υπολογισμού του βάθους του νερού

Όπου:

α : αντιπροσωπεύει το άθροισμα των διάχυτων συντελεστών εξασθένησης των ρευμάτων,

L_b : περιλαμβάνει την επίδραση της ανάκλασης του πυθμένα, του όγκου σκέδασης αλλά και τις απώλειες μετάδοσης μέσω της διεπαφής αέρα-νερού,

L' : συμβολίζει τη διορθωμένη ακτινοβολία του ήλιου ή και τις ατμοσφαιρικές διακυμάνσεις,

L_s 'είναι η μέση απόδοση από τα βαθιά νερά, που έχει διορθωθεί για την ακτινοβολία του, αλλά εξακολουθεί να υπόκειται στο φαινόμενο της σκέδασης.

Αυτό το μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί σε ομοιόμορφες περιοχές με κοινά στοιχεία οπτικών ιδιοτήτων και σταθερή ανάκλαση από τον πυθμένα. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα μοντέλα, το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπόψη την ακτινοβολία του ήλιου. Επιπλέον, περιλαμβάνει τη χρήση πολλαπλών φασματικών ζωνών που μπορεί να καταστείλει αποτελεσματικά τα σφάλματα στις εκτιμήσεις του βάθους του νερού και που προκαλεί τις μεταβολές στην ανάκλασης του πυθμένα και μεταβολές στις οπτικές ιδιότητες του νερού.

3.2.1.2 Οπτικό Εμπειρικό μοντέλο:

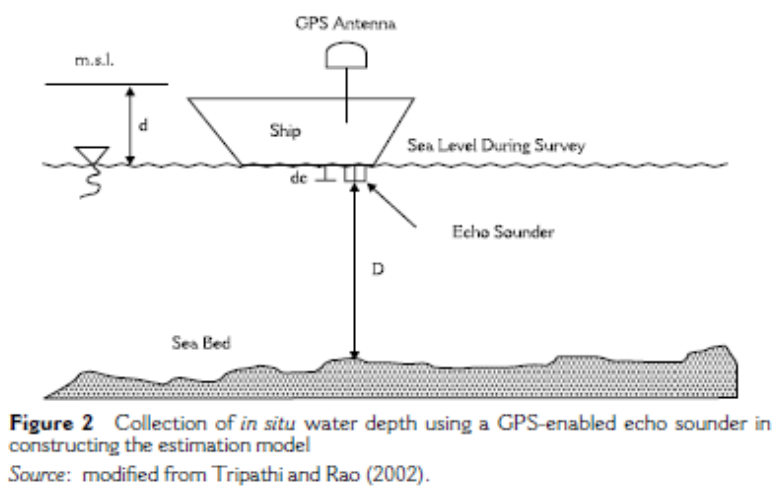
Στο εμπειρικό μοντέλο, μελετάται η σχέση μεταξύ της τηλεπισκοπικής ακτινοβολίας και του βάθους του νερού. Οι θέσεις των δειγματοληψιών που γίνονται εγκαθίστονται εμπειρικά και δεν λαμβάνεται υπόψη η μετάδοση του φωτός στο νερό.

Μετά από μία πιο λεπτομερή παρατήρηση διακρίνεται μία πιο στενή σχέση μεταξύ του βάθους του νερού και της ακτινοβολίας, που παρουσιάζεται σε μία στήλη. Βασική προϋπόθεση όμως για την επικράτηση αυτής της σχέσης είναι οι ομοιόμορφες οπτικές ιδιότητες που πρέπει να επικρατούν στον πυθμένα για την κατάλληλη ανάκλαση. Αν οι οπτικές ιδιότητες δεν είναι ομοιόμορφες πρέπει να χρησιμοποιηθούν πολλαπλές λωρίδες (Lyzenga, 1978).

Σύμφωνα όμως με τον Lafon et al. (1997), η ανάπτυξη αυτού του εμπειρικού μοντέλου απαιτεί μια σειρά από επιτόπιες μετρήσεις που χρειάζεται να περιλαμβάνει την ανάκλαση του νερού αλλά και την ανάκλαση του πυθμένα.

Οι μετρήσεις του πεδίου στην φασματική ανακλαστικότητα γίνεται σε ένα ευρύ φάσμα μήκους κύματος το οποίο στην συνέχεια αποκαλύπτει τις πιο κατάλληλες ζώνες για την εφαρμογή του τύπου και τις λήψεις των δεδομένων για την εκτέλεση της βυθομετρίας.

Άλλες επιτόπιες μετρήσεις μπορεί να περιλαμβάνει τη συλλογή δειγμάτων νερού που χρησιμοποιούν φιάλες, και ο προσδιορισμός του βάθους του νερού στα σημεία δειγματοληψίας χρησιμοποιώντας έναν σύστημα echo sounding. Οι συντεταγμένες τους σε ένα γεωγραφικό σύστημα αναφοράς προσδιορίζεται κάνοντας χρήση ενός GPS όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Εικόνα 12: Η συλλογή των δειγματοληψιών σε βάθος νερού επί τόπου χρησιμοποιώντας ένα Βαθόμετρο GPS

Για την δημιουργία αυτού του εμπειρικού μοντέλου γίνεται η χρήση των μέσω ελαχίστων τετραγώνων παλινδρόμησης. Η παλινδρόμηση του παρατηρούμενου βάθους του νερού κατά τη φασματική ανάκλαση στην πιο ευαίσθητη φασματική ζώνη είναι σε θέση να δώσει ένα

εμπειρικό μοντέλο για το βάθος του νερού. Η εφαρμογή αυτού του μοντέλου σε ολόκληρη την εικόνα οδηγεί στην παραγωγή ενός βαθυμετρικού χάρτη.

Ο εμπειρικός τρόπος μοντελοποίησης είναι έγκυρος δεδομένου ότι η συνολική ανακλαστικότητα του νερού είναι συναφείς κυρίως στο βάθος του και δευτερευόντως στην θολότητα του νερού (Lafon et al., 2002). Αυτός ο ισχυρισμός έχει υποστηριχθεί και από Ji et al. (1992) που κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η σκέδαση της στήλης του νερού κυριαρχείται από την ακτινοβολία εξόδου από το νερό εκτός αν είναι πολύ ρηχή και διαφανής ή υπέρκειται σε ένα εξαιρετικά ανακλαστικό πυθμένα.

3.3 Σύγκριση των μεθόδων του Οπτικού αναλυτικού μοντέλου και του Οπτικού εμπειρικού μοντέλου

Και οι δύο υλοποιήσεις της οπτικής μεθόδου (Αναλυτικό μοντέλο / Εμπειρικό μοντέλο) είναι πολύ αποτελεσματικές για την βαθυμετρία, συνεπώς και την χαρτογράφηση μιας μεγάλης περιοχής. Παράλληλα οι μέθοδοι αυτοί είναι σε θέση να δώσουν πιο λεπτομερείς πληροφορίες για το βάθος, την ανάλυση, σε σύγκριση με την μέθοδο LiDAR, ακόμη και αν το εύρος των ανιχνεύσιμων βαθών μειώνεται. Κάτω από ιδανικές συνθήκες, το ευδιάκριτο βάθος σπάνια υπερβαίνει τα 20 m και τις αβεβαιότητες που μπορεί να είναι χειρότερο από 4-5 m (Muirhead και Cracknell, 1986).

Συνήθως, τα πραγματικά θαλάσσια δεδομένα πρέπει να συλλέγονται ταυτόχρονα για την κατασκευή του μοντέλου. Και οι δύο τύποι μεθόδων περιορίζονται από το γεγονός ότι είναι πολύ δύσκολη η βαθμονόμηση του ανιχνευτή του βάθους.

Όλα τα αναλυτικά μοντέλα απαιτούν ραδιομετρική βαθμονόμησης η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την ατμοσφαιρική ισχύ, ανεξάρτητα από την μορφή τους. Η αναλυτική εφαρμογή είναι πιο ακριβή, αλλά και πιο πολύπλοκη και απαιτεί την εισαγωγή περισσότερων παραμέτρων που σχετίζονται με το νερό και την ατμόσφαιρα. Έτσι, είναι εξαιρετικά περίπλοκο, αλλά μπορεί να αποδώσει εξαιρετικά ακριβείς βυθομετρικές πληροφορίες. Συγκριτικά, η εμπειρική μοντελοποίηση είναι πολύ πιο απλή και εύκολη στη χρήση. Το μοντέλο το οποίο βασίζεται στην παλινδρόμηση είναι σε θέση να λάβει υπόψη το σύνολο των τοπικών συνθηκών της περιοχής μελέτης, και τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις στο ηλεκτρομαγνητικά κύματα στη δομή (Baban, 1993). Ως εκ τούτου, δεν είναι πάντα ζωτικής σημασίας η ραδιομετρικά βαθμονόμηση της τηλεπισκόπησης εικόνα.

3.4 Σύγκριση μεθόδων οπτικής και μη οπτικής

Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες των μεθόδων που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπιση βυθομετρία :

- 1) Μέθοδος μη απεικόνισης και
- 2) Μέθοδος οπτικής απεικόνισης.

Η πρώτη μέθοδος δεν είχε ευρεία εφαρμογή μέχρι πρόσφατα λόγω τεχνικών περιορισμών όπως της χαμηλής πυκνότητας δειγματοληψίας και της αργής σάρωσης. Επιτεύχθηκε η επίλυση του προβλήματος αυτού, όπου και η δημοτικότητα της μεθόδου αυξήθηκε και έγινε ευρεία γνωστή. Παράλληλα η μέθοδος προσφέρει μεγάλη ακρίβεια μέχρι και 15 εκ. σε μεγάλα βάθη έως και 70μ. Ωστόσο, ένα αερομεταφερόμενο σύστημα, LiDAR είναι κατάλληλο για τη βυθομετρική χαρτογράφηση μόνο σε σχετικά μικρές περιοχές.

Υπάρχει η πιθανότητα να επαλειφθεί και αυτός ο παράγοντας μόλις επιτύχουν την εγκατάσταση LiDAR συστημάτων σε δορυφόρους. Ακόμη τα συστήματα αυτά είναι σε θέση να παράγουν μεγάλης ακρίβειας δεδομένα όπως και προαναφέρθηκε, με ταυτόχρονη κάλυψη δειγματοληψιών βάθους. Μεγάλο μειονέκτημα της μεθόδου είναι κυρίως ο οικονομικός παράγοντας καθώς τέτοιο σύστημα είναι εξαιρετικά δαπανηρό. Περιορίζεται παράλληλα και από την θολότητα του νερού.

Συγκριτικά, η μέθοδος της οπτικής απεικόνισης είναι πιο ευέλικτη, κατά το ότι μπορεί να εφαρμοστεί είτε αναλυτικά είτε εμπειρικά. Το αναλυτικό μοντέλο βασίζεται στη φυσική της μετάδοσης του φωτός μέσα σε ένα σώμα νερού. Η εφαρμογή αυτή είναι θεωρητικά απλή, αλλά παρεμποδίζεται από την πολυπλοκότητά του, δεδομένου ότι απαιτεί την εισαγωγή των επί τόπου μετρούμενων παραμέτρων που σχετίζονται με τις οπτικές ιδιότητες του νερού και του υλικού του πυθμένα. Το εμπειρικό μοντέλο είναι πολύ πιο εύκολο να εφαρμοστεί, δεδομένου ότι απαιτεί μόνο έναν περιορισμένο αριθμό επιτόπιων μετρήσεων σε ορισμένα σημεία δειγματοληψίας για να οικοδομήσουμε μια σχέση μεταξύ βαθυμετρίας και εικόνας.

Η μέθοδος της οπτικής είναι ευρέως εφαρμόσιμη τόσο σε ρηχά νερά όσο και σε θολά παράκτια ύδατα, ποταμούς, λίμνες, ακόμη και ωκεάνια νερά. Μια τεράστια περιοχή μπορεί να χαρτογραφηθεί πολύ γρήγορα και με καλή χωρική ανάλυση. Σε ένα τυπικό βάθος μέχρι 20 m, η μέθοδος αυτή έχει μια πολύ ασθενέστερη βυθομετρική ικανότητα ανίχνευσης από τη μέθοδο LiDAR, και παράλληλα περιορίζεται από την απαίτηση για ταυτόχρονη λήψη δεδομένων από την θάλασσα κατά το χρόνο της απεικόνισης. Η επιτεύξιμη ακρίβεια της ανίχνευσης ποικίλλει, αλλά μειώνεται αισθητά σε μεγαλύτερα βάθη, στα θολά και παράκτια ύδατα και, όπου τα υλικά του πυθμένα ποικίλουν.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρησιμότητα της χαρτογράφησης του πυθμένα του νερού με την σωστή χρήση δορυφόρων ή αεροσκαφών έχει αποδειχθεί από πολλούς ερευνητές. Οι τεχνικές αυτές κυμαίνονται από φωτοερμηνεία, φωτογραμμετρία με την χρήση αεροφωτογραφιών μέχρι και την ανάλυση των πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων από ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι πολυφασματικές μέθοδοι έχουν κυριαρχήσει στην πρόσφατη βιβλιογραφία, σε μεγάλο βαθμό λόγω της υποσχόμενης, γρήγορης, ημιαυτόματης βαθυμετρικής χαρτογράφησης μεγάλων περιοχών από μεγάλο υψόμετρο και αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση είτε αεροπλάνων είτε με την χρήση δορυφόρων.

Η Βαθυμετρική χαρτογράφηση και η επεξεργασία των δεδομένων θα ήταν απλούστερη αν η ποιότητα των υδάτων και των ατμοσφαιρικών συνθηκών ήταν αμετάβλητες. Υπό αυτές τις συνθήκες, χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους είτε αυτή είναι ηχοβολιστική μέθοδος είτε αυτή είναι μέθοδος τηλεπισκόπησης μπορεί να επιτευχθεί η ανάκτηση τόσο του βάθους όσο και του συντελεστή εξασθένησης του νερού σε διάφορων ειδών πυθμένων. Οι περιοχές ενδιαφέροντος γίνονται πιο περίπλοκες εφόσον στην όλη διαδικασία πρέπει να εντάξουμε τους διάφορους παράγοντες του νερού και τις άγνωστες μεταβλητές των διάφορων ατμοσφαιρικών συνθηκών στις περιπτώσεις της τηλεπισκόπησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Allouis, T., Bailly, J.-S., and Feurer, D. (2012). “Assessing water surface effects on LiDAR bathymetry measurements in very shallow rivers: a theoretical study.” *ESA 2nd Space for Hydrology Workshop*, (1).
2. Anstee, J. (2002). “Imaging Spectrometry of Waters.” (JANUARY).
3. Doxani, G., Papadopoulou, M., Lafazani, P., Pikridas, C., Tsakiri-Strati, M., Gao, J., Τοπογραφίας, Τ., Τζαρία, Μ. Α., Hamylton, S. M., Hedley, J. D., Beaman, R. J., Phinn, S., Roelfsema, C., Li, X., Thenkabail, P. S., Allouis, T., Bailly, J.-S., Feurer, D., Mishra, D., Narumalani, S., Lawson, M., Rundquist, D., Anstee, J., Λιαπή, Μ., Misra, S. K., Kennedy, A. B., Kirby, J. T., Kohler, D., Philpot, W., Mobley, C., Stumpf, R. P., Holderied, K., Spring, S., Sinclair, M., and Εξαμνηο, Ε. (2012). “Shallow-Water Bathymetry Over Variable Bottom Types Using Multispectral Worldview-2 Image.” *ESA 2nd Space for Hydrology Workshop*, 14853(1), 159–164.
4. Gao, J. (2009). “Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations.” *Progress in Physical Geography*, 33(1), 103–116.
5. Hamylton, S. M., Hedley, J. D., Beaman, R. J., Phinn, S., Roelfsema, C., Li, X., and Thenkabail, P. S. (2015). “Derivation of High-Resolution Bathymetry from Multispectral Satellite Imagery: A Comparison of Empirical and Optimisation Methods through Geographical Error Analysis.” *Remote Sensing*, 7, 16257–16273.
6. Hernandez, W., and Armstrong, R. (2016). “Deriving Bathymetry from Multispectral Remote Sensing Data.” *Journal of Marine Science and Engineering*, 4(1), 8.
7. Jawak, S. D., Vadlamani, S. S., and Luis, A. J. (2015). “A Synoptic Review on Deriving Bathymetry Information Using Remote Sensing Technologies : Models , Methods and Comparisons.” (June), 147–162.
8. Kohler, D., Philpot, W., and Mobley, C. (1998). “Derivative Based Hyperspectral Algorithm for Bathymetric Mapping.” *Proceedings of Ocean Optics XIV*, 14853(1), 1–6.
9. Lyzenga, D. R. (1978). “Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features.” *Applied optics*, 17(3), 379–383.
10. Mishra, D., Narumalani, S., Lawson, M., and Rundquist, D. (2004). “Bathymetric Mapping Using IKONOS Multispectral Data.” *GIScience & Remote Sensing*, 41(4), 301–321.
11. Misra, S. K., Kennedy, A. B., and Kirby, J. T. (2003). “An approach to determining nearshore bathymetry using remotely sensed ocean surface dynamics.” *Coastal Eng.*, 47, 265–293.
12. Pavone, R., Tiliacos, E., and Ciccarelli, S. (2014). “FROM EARTH OBSERVATION APPLICATIONS . What is ITACA.”
13. Philpot, W. D. (1989). “Bathymetric mapping with passive multispectral imagery.” *Applied optics*, 28(8), 1569–1578.

14. Stumpf, R. P., Holderied, K., Spring, S., and Sinclair, M. (2003). "Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types." 48(2003), 547–556.
15. Απφδνζε, Δ. (2013). "Βασικές Αρχές της Τηλεπισκόπησης."
16. Εξαμνηο, Ε. (2009). "ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑΣ."
17. Λιαπή, Μ. (2006). "Αξιοποίηση του νερού και της ηλιακής ακτινοβολίας σε καλλιέργεια γλυκού σόργου και εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς κατά FAO, (μέθοδος Penman Monteith)." 1–81.
18. Τοπογραφίας, Τ., and Τζαρια, Μ. Α. (n.d.). "Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών."
19. Φυτων, Τ. Β. (2013). "Πανεπιστημιο πατρων."
20. "remotesensing-05-02746.pdf." (n.d.). .
21. "Optical Bathymetri Processing Trade-off analysis." (n.d.). 1–9.
22. "using remote sensic bathymetry.pdf." (n.d.). .
23. Κωσταντίνου Ε. (2012) "Εκτιμηση της ποιτητας νερου και μέτρηση της θολότητας στο φράγμα του ασπροκρεμμου στην πάφο με επίγειες και σύγχρονες μεθόδους."
24. "Τμήμα Φυσικής Πανεπιστήμιο Πατρών Η ανάπτυξη συστήματος επεξεργασίας δεδομένων τηλεπισκόπησης για αυτόματη ανίχνευση και ταξινόμηση περιοχών με περιβαλλοντικές αλλοιώσεις . Γιώργος Χριστούλας Διδακτορική Διατριβή Πάτρα 2010." (2010). .
25. "Mishra 2005." High-Resolution Ocean Color remote sensing of benthic Habitats: a case Study at Roatan Island Honduras .
26. "DTIC- Ss." (2016). (March).
27. "Δημιουργία Ψηφιακών Βαθυμετρικών Χαρτών με Πολυφασματική Βαθυμετρία Μαυρίδου Ρέα - Ευρώπη." (2013). .
28. Αρχές δορυφορικής τηλεπισκόπησης. (n.d.). .
29. "Κ. ΚΟΜΠΙΑΔΟΥ, Μ. Sc. - Δρ. Ι. ΣΑΒΒΙΔΗΣ - Δρ. Θ. ΧΑΣΙΩΤΗΣ Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 200 7." (n.d.).
30. Elhassan, P. I. (2015). "Bathymetric Techniques." 1–17.
31. Bates, C. R., and Byham, P. (2001). "Swath-sounding techniques for near shore surveying." *The Hydrographic Journal*, 100, 13–18.