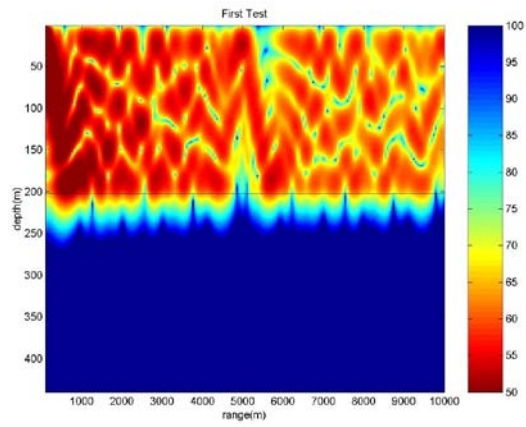


ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ
στο
ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΑΣ (ΙΤΕ)

Μάρτιος- Μάιος 2008



Ταρουδάκη Βικτωρία

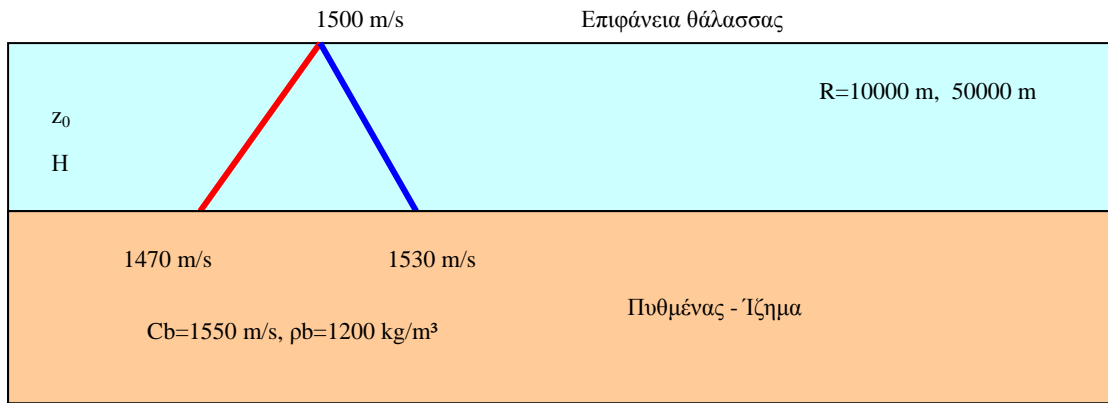
Κατά τη διάρκεια της πρακτικής άσκησής μου στο Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας, επισκέφθηκα τη δεξαμενή όπου γίνονται πειράματα σχετικά με τη διάδοση κυμάτων στο νερό και μου εξήγησαν πώς γίνονται οι μετρήσεις. Στη συνέχεια ενημερώθηκα για το αντικείμενο της δουλειάς μου που θα ήταν η μοντελοποίηση των φαινομένων που παρατηρούνται κατά την διάδοση του ήχου στο νερό και η οποία υλοποιείται μέσω διαφορικών εξισώσεων και προβλημάτων οριακών συνθηκών που επιλύονται αριθμητικά.

Στη συνέχεια ξεκίνησα συστηματική παραγωγή γραφημάτων τρέχοντας προγράμματα της Fortran και της MatLab τα οποία διαμόρφωνα κατάλληλα βάσει διαφόρων δεδομένων περιβαλλοντικών συνθηκών και δείχνουν πώς μεταδίδεται ο ήχος στο νερό όταν το βάθος του πυθμένα δεν είναι μεγάλο. Δείχνουν δηλαδή το πώς διαδίδεται ένα ηχητικό κύμα που ξεκινά από μία ηχητική πηγή εντός του νερού. Τα γραφήματα αυτά εκφράζουν το ηχητικό πεδίο στη θάλασσα και μέσω χρωματικών διαφορών αποτυπώνουν πού ακούγεται ο ήχος και πού όχι δηλαδή τις περιοχές που το ηχητικό πεδίο είναι ισχυρό ή ασθενές αντίστοιχα. Οι συνθήκες που επηρεάζουν το ηχητικό πεδίο είναι η ταχύτητα του ήχου στο νερό και στον πυθμένα, το βάθος και η πυκνότητα του πυθμένα, η πυκνότητα του πυθμένα και η συχνότητα του ηχητικού κύματος

Τα προγράμματα που προαναφέρθηκαν, επιλύουν το πρόβλημα της κυματικής διάδοσης στη θάλασσα, αναπτύσσοντας την λύση σε σειρά ιδιοσυναρτήσεων (modes) οι οποίες με τη σειρά τους προκύπτουν ως λύση προβλήματος συνοριακών τιμών Σ.Δ.Ε. Η επίλυση του προβλήματος αυτού γίνεται με μια μέθοδο πεπερασμένων διαφορών.

Καθώς η μετάδοση του ήχου εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως εκείνες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα προγράμματα να βγάζουν πολύ διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με τις συνθήκες και κατά συνέπεια και γραφήματα. Ένα τέτοιο διαφορετικό αποτέλεσμα είναι οι ζώνες ήχου που δημιουργούνται, οι οποίες είναι διαφορετικού μεγέθους και σχήματος κάθε φορά ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις δημιουργούνται κυματομορφές (modes). Αυτό παρουσιάζεται στα γραφήματα ως μία συνεχής ζώνη μεταφοράς ήχου. Το πλήθος αυτών των ζωνών εξαρτάται από το πλήθος των ιδιοτιμών που προκύπτει κατά την επίλυση της διαφορικής εξίσωσης.

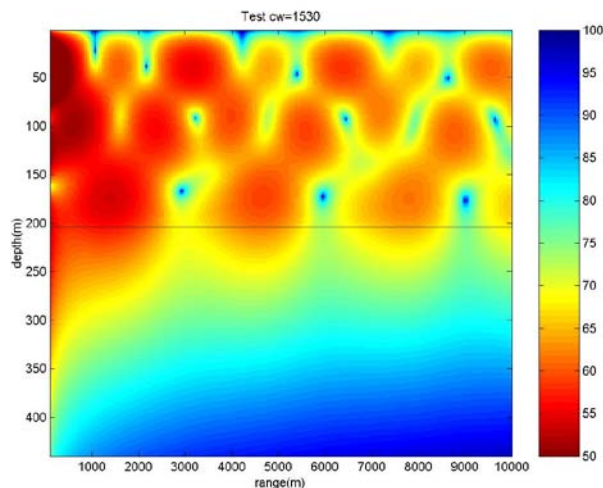
Ως αναφορά του τι έκανα κατά τη διάρκεια της πρακτικής άσκησης, θα παραθέσω εδώ ένα παράδειγμα σύγκρισης γραφημάτων. Αυτό αντιστοιχεί σε ένα μόνο από τα αποτελέσματα των μετρήσεων που αναφέρθηκαν παραπάνω για κάποιες απλές συνθήκες και αναλύονται εκτενέστερα με γραφήματα στα οποία ο ήχος είναι πιο ισχυρός στις περισσότερο κόκκινες περιοχές ενώ είναι περισσότερο ασθενής στις μπλε περιοχές σύμφωνα με την κάθετη στήλη που βρίσκεται στα δεξιά του κάθε γραφήματος. Η στήλη αυτή δείχνει πως ο λογάριθμος της έντασης του ηχητικού πεδίου που έχει υπολογιστεί μέσω των προγραμμάτων και εκφράζεται σε Decibel μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο. Σημειώνεται ότι το 100 αντιστοιχεί στην σκούρα μπλε περιοχή όπου ο ήχος δεν ακούγεται (απώλεια διάδοσης 100 dB) και μειώνεται μέχρι το 50 που αντιστοιχεί στη σκούρα κόκκινη περιοχή και εκεί ο ήχος είναι αρκετά ισχυρός.



Εικόνα 1

Στην εικόνα 1 περιγράφεται ένα θαλάσσιο περιβάλλον στο οποίο αναφέρονται τα επόμενα γραφήματα, όπου με z_0 συμβολίζεται το βάθος στο οποίο βρίσκεται η πηγή, H το βάθος στο οποίο βρίσκεται ο πυθμένας, R το εύρος της περιοχής στην οποία μελετάμε τη διάδοση του ήχου, c_b η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο ίζημα και ρ_b η πυκνότητα του ιζήματος.

Η πρώτη σειρά γραφημάτων αφορά τη διάδοση του ήχου σε νερό με ταχύτητα διάδοσης που μεταβάλλεται από 1500m/s στην επιφάνεια σε 1530m/s στο όριο με τον πυθμένα ενώ η δεύτερη αφορά την περίπτωση όπου η ταχύτητα διάδοσης στο όριο με τον πυθμένα είναι 1470m/s στις ίδιες λοιπές συνθήκες.



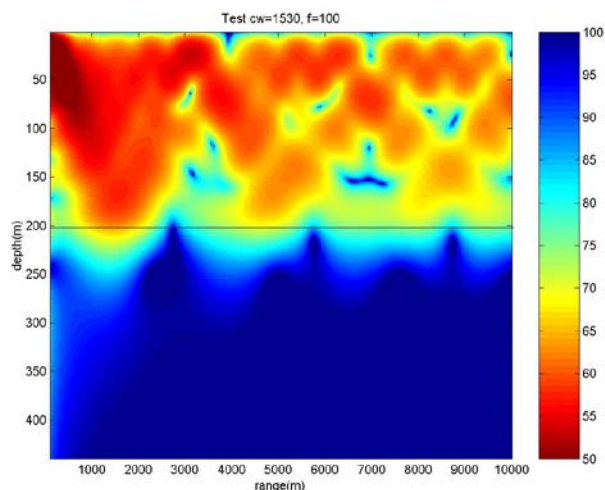
- η ηχητική πηγή βρίσκεται σε βάθος 30m
- ο πυθμένας βρίσκεται σε βάθος 200m από την επιφάνεια
- η συχνότητα του ήχου είναι ίση με 50 Hertz
- η ταχύτητα του ήχου στο όριο του πυθμένα είναι 1530 m/s.

Γράφημα 1

Το γράφημα 1 που προηγήθηκε είναι το κύριο γράφημα για αυτή την ταχύτητα του νερού και παρουσιάζει τρεις ζώνες ήχου που αντιστοιχούν σε τρεις ιδιομορφές διάδοσης (modes). Ο ήχος επίσης, διαπερνά λίγο τη διεπιφάνεια, περισσότερο κοντά στην πηγή και λιγότερο σε μεγάλη απόσταση, ενώ υπάρχουν περιοχές αρκετά κοντά στην πηγή που ο ήχος δεν ακούγεται τόσο καθαρά όσο σε άλλες περιοχές που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση.

Με βάση αυτό έγιναν αλλαγές στις συνθήκες ώστε να κατασκευαστούν νέα γραφήματα με τα οποία θα ήταν δυνατή η σύγκριση.

Στα δύο επόμενα γραφήματα, η ταχύτητα του νερού παραμένει σταθερή ενώ αλλάζει η συχνότητα εκπομπής του κύματος από την πηγή.

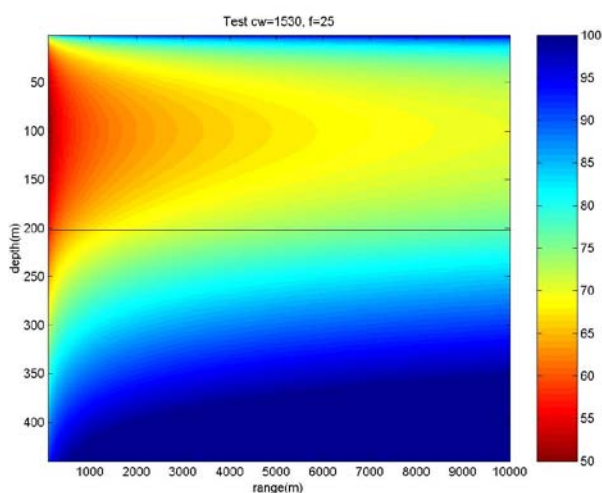


- η ηχητική πηγή βρίσκεται σε βάθος 30m
- Ο πυθμένας βρίσκεται σε βάθος 200m από την επιφάνεια
- Η συχνότητα του ήχου είναι σταθερή και ίση με 100Hertz
- Η ταχύτητα του ήχου στο όριο του πυθμένα είναι 1530m/s.

Γράφημα 2

Σε αυτή την περίπτωση, το κύμα έχει μεγαλύτερη συχνότητα και ο ήχος διαπερνά πολύ λιγότερο τη διεπιφάνεια από ότι προηγουμένως. Εδώ, υπάρχουν έξι ζώνες ήχου (δηλαδή έξι ιδιομορφές) οι οποίες όμως βρίσκονται κοντά μεταξύ τους και δε διαχωρίζονται εύκολα.

Αντιθέτως, όταν η συχνότητα μειωθεί, το πλήθος των ζωνών ήχου (και των ιδιομορφών) μειώνονται επίσης και έτσι έχουμε μια εικόνα όπως η ακόλουθη:

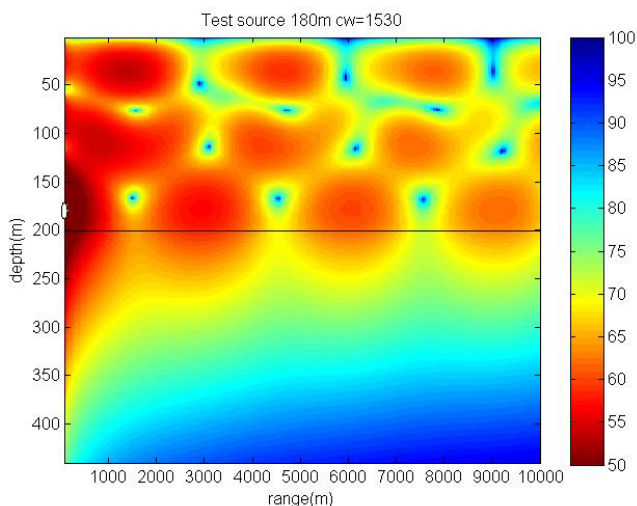


- η ηχητική πηγή βρίσκεται σε βάθος 30m
- Ο πυθμένας βρίσκεται σε βάθος 200m από την επιφάνεια
- Η συχνότητα του ήχου είναι σταθερή και ίση με 25Hertz
- Η ταχύτητα του ήχου στο όριο του πυθμένα είναι 1530m/s.

Γράφημα 3

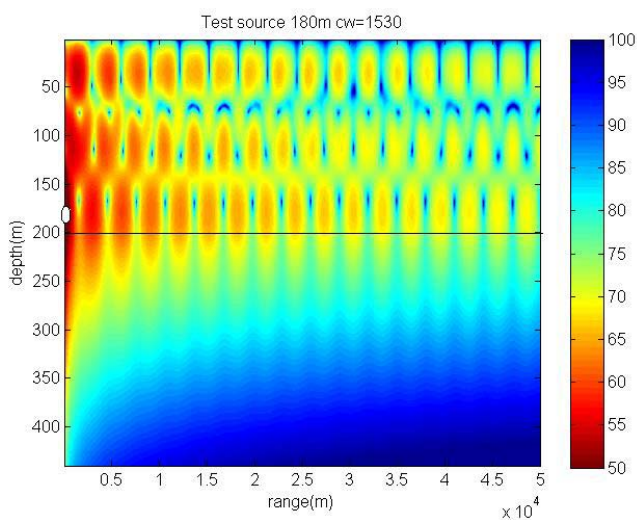
Παρατηρούμε εδώ ότι υπάρχει μόνο μία ζώνη ήχου (μία ιδιομορφή- 1 mode), όπου όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή, τόσο ασθενέστερος γίνεται ο ήχος (αυτό γίνεται αρκετά γρήγορα δηλαδή σχετικά κοντά στην πηγή). Επίσης, ο ήχος διαπερνά ελάχιστα τη διεπιφάνεια και μάλιστα μόνο σε σημεία πολύ κοντά στην πηγή.

Στο γράφημα που ακολουθεί, η συχνότητα του ήχου διατηρείται σταθερή ίση με 50Hertz, όπως και το βάθος του πυθμένα αλλά και η ταχύτητα του διάδοσης του ήχου στο όριο του πυθμένα διατηρούνται όσο τα αρχικά. Αυτό που αλλάζει είναι το βάθος της ηχητικής πηγής. Η πηγή εδώ βυθίζεται περισσότερο και παρατηρείται μια κατάσταση όπως φαίνεται παρακάτω:



Γράφημα 4

Κοντά στην πηγή, υπάρχει μία ομοιόμορφη εικόνα όσον αφορά τη διάδοση του ήχου αλλά πιο μακριά, “σπάει” σε τρεις ζώνες που αντιστοιχούν σε τρεις ιδιομορφές. Ο ήχος ανά τακτά χρονικά διαστήματα δεν ακούγεται και συνεχώς εξασθενεί όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή. Και εδώ ο ήχος είναι αισθητός και στον πυθμένα σε μικρότερο βαθμό από ότι στο νερό αλλά περισσότερο από τις τρεις προηγούμενες περιπτώσεις. Η μορφή που έχει πάρει εδώ το γράφημα, πλησιάζει περισσότερο την αρχική εικόνα από ότι οι δύο προηγούμενες.



Γράφημα 5

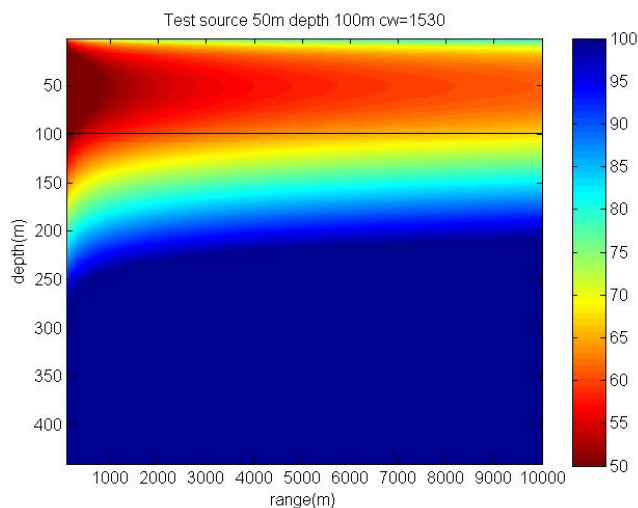
Το γράφημα αυτό παρουσιάζει το πόσο ισχυρό ή ασθενές είναι το ηχητικό κύμα με τις ίδιες ακριβώς παραμέτρους με το προηγούμενο αλλά σε μεγαλύτερη απόσταση. Προηγουμένως, η μελέτη μας ολοκληρωνόταν στα 10000m ενώ τώρα σταματάμε στα 50000m. Και σε αυτό το γράφημα φαίνεται πιο καθαρά η εξάρτηση της ισχύος του

- η ηχητική πηγή βρίσκεται σε βάθος 180m
- Ο πυθμένας βρίσκεται σε βάθος 200m από την επιφάνεια
- Η συχνότητα του ήχου είναι σταθερή και ίση με 50Hertz
- Η ταχύτητα του ήχου στο όριο του πυθμένα είναι 1530m/s.

- η ηχητική πηγή βρίσκεται σε βάθος 180m
- Ο πυθμένας βρίσκεται σε βάθος 200m από την επιφάνεια
- Η συχνότητα του ήχου είναι σταθερή και ίση με 50Hertz
- Η ταχύτητα του ήχου στο όριο του πυθμένα είναι 1530m/s.

ήχου από την απόσταση από την πηγή. Και στις τρεις ηχητικές ζώνες, όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή, τόσο μειώνεται η ισχύς του ηχητικού κύματος.

Τέλος, το γράφημα που ακολουθεί δείχνει πώς διαφοροποιείται το πρόβλημα από τις συνθήκες του βάθους της πηγής και του πυθμένα. Για τη δημιουργία αυτού του γραφήματος, υποθέσαμε ότι ο πυθμένας βρίσκεται σε βάθος μόλις 100m από την επιφάνεια και η πηγή σε βάθος 50m.

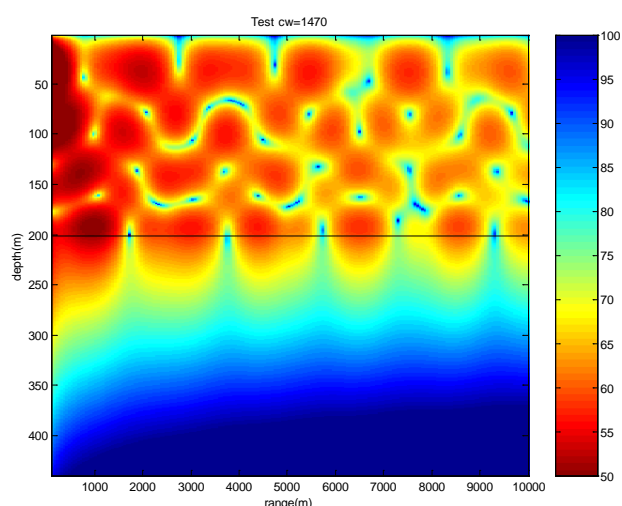


- η ηχητική πηγή βρίσκεται σε βάθος 50m
- Ο πυθμένας βρίσκεται σε βάθος 100m από την επιφάνεια
- Η συχνότητα του ήχου είναι σταθερή και ίση με 50Hertz
- Η ταχύτητα του νερού είναι 1530m/s.

Γράφημα 6

Η εικόνα που παρατηρούμε μοιάζει στο γράφημα 3, με την εξαίρεση ότι εδώ έχουμε έναν ισχυρό κυματοδηγό, δηλαδή μια ζώνη ήχου (που αντιστοιχεί σε μια ιδιομορφή) που δεν αποδυναμώνει πολύ την ένταση του ήχου. Είναι αξιοσημείωτο επίσης το γεγονός ότι ο ήχος αυτός ακούγεται αρκετά και από τον πυθμένα.

Εν συνεχεία, παραθέτω κάποια γραφήματα που προέκυψαν και για τη δεύτερη ταχύτητα που αναφέραμε (1470m/s) για να γίνει η σύγκριση σχετικά με την ταχύτητα του νερού, όταν οι άλλες παράμετροι του προβλήματος είναι οι ίδιες.

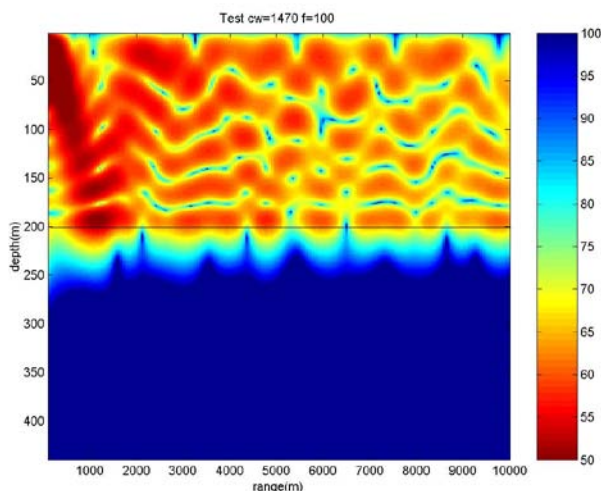


- η ηχητική πηγή βρίσκεται σε βάθος 30m
- Ο πυθμένας βρίσκεται σε βάθος 200m από την επιφάνεια
- Η συχνότητα του ήχου είναι σταθερή και ίση με 50Hertz
- Η ταχύτητα του ήχου στο όριο του πυθμένα είναι 1470m/s.

Γράφημα 7

Σε αυτή την περίπτωση, ο ήχος διαδίδεται με τον ίδιο περίπου τρόπο όπως και στην περίπτωση όπου η ταχύτητά του στο όριο του πυθμένα είναι 1530m/s αλλά οι ζώνες

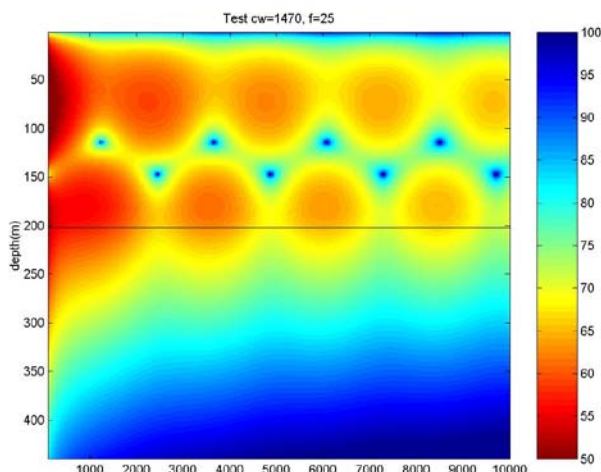
ήχου (άρα και οι ιδιομορφές) είναι περισσότερες. Εδώ είναι τέσσερις, και παρατηρούμε πάλι ότι ενώ κοντά στην πηγή ο ήχος είναι ισχυρός και αισθητός και στον πυθμένα, μακριά από αυτήν, συνεχώς εξασθενεί.



Γράφημα 8

- η ηχητική πηγή βρίσκεται σε βάθος 30m
- Ο πυθμένας βρίσκεται σε βάθος 200m από την επιφάνεια
- Η συχνότητα του ήχου είναι σταθερή και ίση με 100Hertz
- Η ταχύτητα του ήχου στο όριο του πυθμένα είναι 1470m/s.

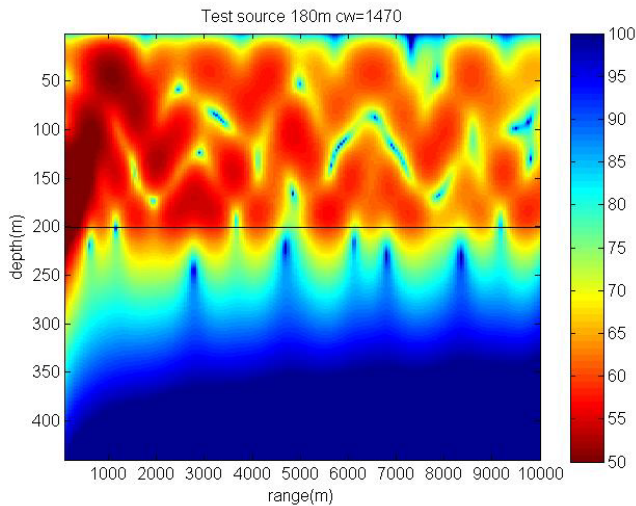
Ο ήχος σε αυτή την περίπτωση διαδίδεται μέσω οχτώ ζωνών ήχου (οχτώ modes) εκ των οποίων κάποιες είναι φανερές ενώ κάποιες άλλες είναι πολύ κοντά μεταξύ τους και δε διαχωρίζονται εύκολα όπως και στην περίπτωση όπου η ταχύτητα του νερού ήταν 1530m/s. Παρατηρούμε δηλαδή, ότι και εδώ αλλά και στην περίπτωση που το νερό είχε ταχύτητα 1530m/s ότι αυξήθηκαν οι ζώνες ήχου (δηλαδή το πλήθος των ιδιομορφών) καθώς αυξήθηκε η συχνότητα.



Γράφημα 9

- η ηχητική πηγή βρίσκεται σε βάθος 30m
- Ο πυθμένας βρίσκεται σε βάθος 200m από την επιφάνεια
- Η συχνότητα του ήχου είναι σταθερή και ίση με 25Hertz
- Η ταχύτητα του ήχου στο όριο του πυθμένα είναι 1470m/s.

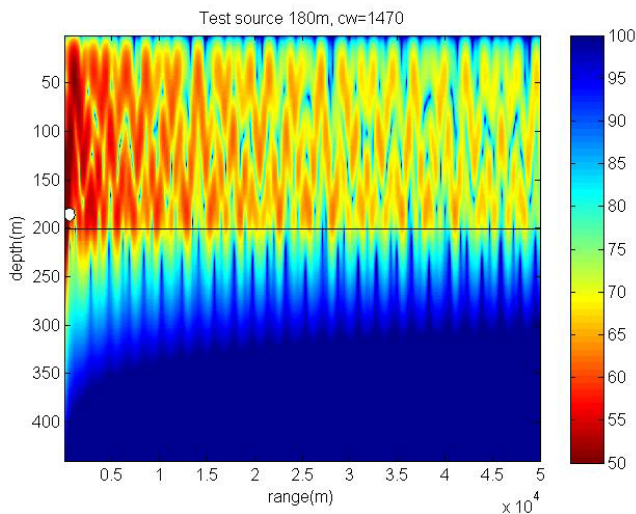
Παρατηρούμε, συγκρίνοντας τα δύο γραφήματα για τις διαφορετικές ταχύτητες διάδοσης του ήχου στο όριο του πυθμένα αλλά για την ίδια συχνότητα 25Hertz ότι το πλήθος των ηχητικών ζωνών (ιδιομορφών) μειώνεται καθώς μειώνεται η συχνότητα του ηχητικού κύματος. Στην περίπτωση αυτή, υπάρχουν δύο ζώνες σαφώς διαχωρισμένες από κάποιες περιοχές όπου ο ήχος δεν είναι αισθητός. Ο ήχος πάλι εξασθενεί απομακρυνόμενος από την πηγή ενώ όπως παρατηρήθηκε και στα προηγούμενα γραφήματα ο ήχος διαδίδεται και μέσα στον πυθμένα αλλά πολύ λιγότερο από ότι στο νερό.



Γράφημα 10

- η ηχητική πηγή βρίσκεται σε βάθος 180m
- Ο πυθμένας βρίσκεται σε βάθος 200m από την επιφάνεια
- Η συχνότητα του ήχου είναι σταθερή και ίση με 50Hertz
- Η ταχύτητα του ήχου στο όριο του πυθμένα είναι 1470m/s.

Όταν αλλάξει βάθος η πηγή, το πλήθος των ηχητικών ζωνών και των ιδιομορφών δεν αλλάζει. Παρατηρούμε και εδώ ότι κοντά στην πηγή, ο ήχος ακούγεται και μέσα στο ίζημα από το οποίο αποτελείται ο πυθμένας σε αρκετό βάθος, ενώ μακριά όχι και τόσο. Η εικόνα που δημιουργείται είναι ελαφρώς διαφορετική από την αρχική και οφείλεται στη θέση της πηγής καθώς όλα τα άλλα δεδομένα είναι τα ίδια.

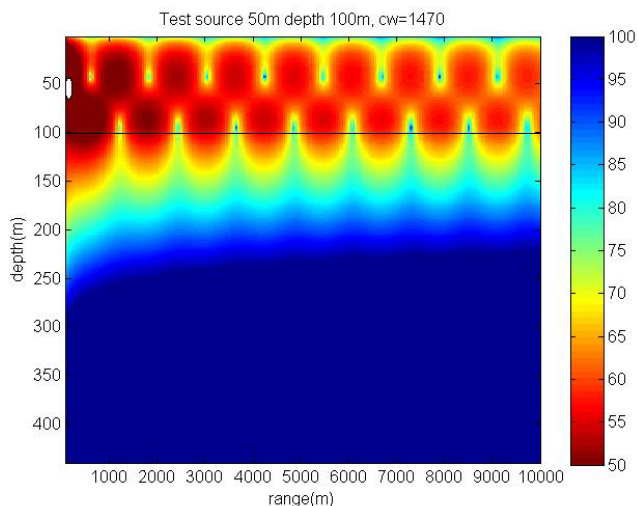


Γράφημα 11

- η ηχητική πηγή βρίσκεται σε βάθος 180m
- Ο πυθμένας βρίσκεται σε βάθος 200m από την επιφάνεια
- Η συχνότητα του ήχου είναι σταθερή και ίση με 50Hertz
- Η ταχύτητα του ήχου στο όριο του πυθμένα είναι 1470m/s.

Το γράφημα αυτό παρουσιάζει το πόσο ισχυρό ή ασθενές είναι το ηχητικό κύμα με τις ίδιες ακριβώς παραμέτρους με το προηγούμενο αλλά σε μεγαλύτερη απόσταση από την πηγή. Προηγουμένως, η μελέτη μας ολοκληρωνόταν στα 10000m ενώ τώρα σταματάμε στα 50000m. Και σε αυτό το γράφημα φαίνεται πιο καθαρά η εξάρτηση της ισχύος του ήχου από την απόσταση από την πηγή. Όπως και πριν, δημιουργούνται τέσσερις ηχητικές ζώνες, και παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή, τόσο μειώνεται η ισχύς του ηχητικού κύματος.

Το τελευταίο γράφημα δείχνει πως διαδίδεται ο ήχος σε πιο ρηχή περιοχή.



Γράφημα 12

- η ηχητική πηγή βρίσκεται σε βάθος 50m
- Ο πυθμένας βρίσκεται σε βάθος 100m από την επιφάνεια
- Η συχνότητα του ήχου είναι σταθερή και ίση με 50Hertz
- Η ταχύτητα του ήχου στο όριο του πυθμένα είναι 1470m/s.

Το γράφημα και σε αυτή την περίπτωση μοιάζει με αυτό που κατασκευάστηκε με την πηγή στα 30m, τον πυθμένα στα 200m και συχνότητα 25hertz. Όμως και εδώ το ηχητικό κύμα είναι πιο ισχυρό και φαίνονται καθαρά οι δύο ζώνες του ήχου. Επίσης, παρατηρείται το γεγονός ότι στην οριζόντια ευθεία που σχηματίζεται από την πηγή, υπάρχουν σημεία που ο ήχος δεν ακούγεται τόσο ισχυρός όσο σε άλλα σημεία που είναι πάνω ή κάτω από αυτή την ευθεία.

Γενικά παρατηρούμε ότι το πλήθος των ζωνών του ήχου (των ιδιομορφών- modes) είναι μεγαλύτερο στην περίπτωση που ο ήχος διαδίδεται στη διεπιφάνεια με ταχύτητα 1470 m/s και μικρότερο στην περίπτωση που ο ήχος διαδίδεται στη διεπιφάνεια με ταχύτητα 1530 m/s σε κάθε περίπτωση που οι υπόλοιπες συνθήκες είναι οι ίδιες.

Όλες οι μετρήσεις και τα παραπάνω γραφήματα έγιναν για τις παρακάτω συνθήκες που δεν άλλαξαν για την κατασκευή τους και είναι κοινά και για τα δύο προφίλ ταχύτητας, εκείνο των 1530m/s και εκείνο των 1470m/s.

1. Η ταχύτητα του ήχου στην επιφάνεια του νερού ήταν 1500m/s
2. Η πυκνότητα του νερού ήταν 1000gr/m³ ενώ του ιζήματος.
3. Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο ιζήμα ήταν σταθερή ίση με 1550m/s
4. Το πάχος του ιζήματος θεωρήθηκε 20m ενώ
5. η διεπιφάνεια και ο πυθμένας ήταν λείοι.
6. Το προφίλ ταχύτητας διάδοσης του ήχου ήταν και στο νερό αλλά και στο ιζήμα καθορισμένο από 2 σημεία και
7. Η μέτρηση έγινε με πρώτο δέκτη (από πλευράς μήκους) στα 100m από την πηγή και οι υπόλοιποι βρίσκονταν σε απόσταση 50m μεταξύ τους ενώ από πλευράς βάθους ο πρώτος δέκτης βρισκόταν σε βάθος 1m και οι υπόλοιποι βρίσκονταν έως τα 440m κάθε ένα μέτρο. Το πώς ήταν αυτοί οι δέκτες φαίνεται από τους άξονες των γραφημάτων.

Η αλλαγή των παραπάνω δεδομένων, δίδει μια πληθώρα άλλων γραφημάτων διάδοσης του ήχου, ειδικά όταν αυτή συνδυαστεί με τα όσα ήδη παρουσιάστηκαν παραπάνω, όπως αλλαγή ταχύτητας του νερού στο εσωτερικό του (ρεύματα), αλλαγή βάθους πηγής, αλλαγή βάθους πυθμένα αλλά και μελέτη των αποτελεσμάτων σε

μεγαλύτερες περιοχές ή μικρότερες περιοχές για τη λήψη περισσότερων πληροφοριών που αφορούν την έκταση της διάδοσης του ήχου και περισσότερων λεπτομερειών για τις περιοχές κοντά στην πηγή, ή σε περιοχές που φαίνεται να έχουν περισσότερο ενδιαφέρον όπως για παράδειγμα η μπλε περιοχή που εμφανίζεται μεταξύ 150m και 180m βάρους και 6500m με 7500m απόσταση από την πηγή στο γράφημα 2.