

Ρομποτική συσκευή πρόβλεψης και καταγραφής κυματισμού

Η Διπλωματική Εργασία
παρουσιάστηκε ενώπιον
του Διδακτικού Προσωπικού του
Πανεπιστημίου Αιγαίου

Σε Μερική Εκπλήρωση
των Απαιτήσεων για το μεταπτυχιακό Δίπλωμα του
Μηχανικού Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

του
ΠΕΡΙΣΤΕΡΗ ΧΡΗΣΤΟΥ
[ΕΑΡΙΝΟ] ΕΞΑΜΗΝΟ [2017]

Η ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΩΝ ΕΠΙΚΥΡΩΝΕΙ

ΤΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΤΕΡΗ ΧΡΗΣΤΟΥ:

[κα Καβαλλιεράτου Εργίνα] , Επιβλέπων
Ημερομηνία: 22/02/17

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων

[κ. Σταματάτος Ευστάθιος], Μέλος
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων

[κ. Καπόρης Αλέξιος], Μέλος
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΕΑΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα θαλάσσια κύματα αποτελούν αντικείμενο μελέτης από πολλές ερευνητικές ομάδες και ιδρύματα. Γίνονται μεγάλες προσπάθειες που έχουν σα σκοπό την παρακολούθηση, την πρόβλεψη, το μέγεθος και την συμπεριφορά τους. Υπάρχουν αρκετοί μέθοδοι καταγραφής κυματισμού με διαφορές μεταξύ τους αλλά και παρόμοια χαρακτηριστικά. Το κοινό τους στοιχείο είναι η χρήση αισθητήρων που ο καθένας όμως λειτουργεί και συλλέγει δεδομένα σύμφωνα με τη δική του αρχή λειτουργίας.

Η χρήση αισθητήρων και η επεξεργασία δεδομένων απαιτούν τη δημιουργία μοντέλων που παρέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, επεξεργασμένες, στην τελική τους μορφή, έτσι ώστε να προσφέρονται άμεσα και με αξιοπιστία. Για την επίτευξη αξιόπιστων μοντέλων κατασκευάζονται κατάλληλοι αλγόριθμοι που αξιολογούν και επιλέγουν από ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων εκείνα που είναι απαραίτητα για κάποια συγκεκριμένη μελέτη.

Με αυτά τα εργαλεία θα κατασκευάσουμε ένα σύστημα πρόβλεψης και καταγραφής κυματισμού που με την επιλογή των αισθητήρων, την δημιουργία μοντέλων και την χρήση των κατάλληλων αλγορίθμων για τον προγραμματισμό του θα παρέχουμε όλα τα στοιχεία για την καταγραφή και πρόβλεψη των κυμάτων σε μία περιοχή.

© [2017]

του

[ΧΡΗΣΤΟΥ ΠΕΡΙΣΤΕΡΗ]

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ABSTRACT

Sea waves are being studied by many research teams and foundations. Major efforts are being made to monitor, predict, measure their size and study their behavior. There are several wave recording methods with differences but also similar features. Their common feature is the use of sensors that works and collects data according to its own operating principle.

The use of sensors and the processing of data require the creation of models that provide all the necessary information, processed, in their final form so that they are offered immediately and reliably. To achieve reliable models, we develop appropriate algorithms are constructed which they evaluate and select from a large set of data those that are necessary for a specific study.

With these tools we will build a wave prediction and recording system that with the selection of sensors, the modeling and the use of appropriate algorithms for programming, we will provide all the data for recording and predicting the waves in one region.

© [2017]

[CHRISTOS PERISTERIS]

Department of Information and Communication Systems Engineering

UNIVERSITY OF THE AEGEAN

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT.....	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1. Wave Rider Buoys (WRB)	8
1.2. Acoustic Doppler current profilers (ADCP)	9
1.3. Synthetic Aperture Radar (SAR)	10
1.4. HF Radar.....	10
1.5. Μέθοδος OS-IS	11
Χαρακτηριστικά Buoys.....	13
Χαρακτηριστικά Radars	14
Χαρακτηριστικά OS-IS	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Περιγραφή εξοπλισμού -Επιλογή των εξαρτημάτων- επεκτάσεων και τα χαρακτηριστικά τους.....	17
2.1. Arduino Uno R3	17
2.2. Επεκτάσεις (arduino shields)	18
Χαρακτηριστικά Assembled data logging shield	19
2.3. Αισθητήρες.....	20
Επιταχυνσιόμετρο.....	21
Χαρακτηριστικά και λειτουργία του επιταχυνσιόμετρου ADXL345.....	22
2.4. Magnetic reed.....	24
2.5. Ρουλεμάν- Φτερά αλουμινίου- Άξονας.....	24
Σκοπός και Στόχος	25
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Συνδέσεις εξαρτημάτων και γραφική απεικόνιση (fritzing) ...	26
3.1. Απεικόνιση σταθμού μέτρησης μικροσεισμών	26
3.2. Απεικόνιση Σταθμού μέτρηση ταχύτητας ανέμων.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Προγραμματισμός.....	29
4.1. Κώδικας Σταθμού μέτρησης μικροσεισμών	29

4.2. Κώδικας υπολογισμού ταχύτητας ανέμων	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Εφαρμογή	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – Ψηφιακή επεξεργασία σήματος.....	45
Εφαρμογές στην επεξεργασία σήματος	46
Ανάλυση Φουριέρ.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	69
7.1. Αρχή λειτουργίας σταθμού μέτρησης ανέμων-ύψους κύματος.....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 –Συμπεράσματα	71
Συμπεράσματα και μελλοντική μελέτη.....	71
Βιβλιογραφία	72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι [Κώδικας Προγραμματισμού σταθμού μέτρησης μικροσεισμών]	74
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ [Κώδικας Προγραμματισμού σταθμού μέτρησης ύψους κύματος]	77
.....	77
ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	82

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<i>Εικόνα 1 Wave Rider Buoys (WRB).....</i>	<i>8</i>
<i>Εικόνα 2 Acoustic Doppler current profilers (ADCP)</i>	<i>9</i>
<i>Εικόνα 3 HF Radar.....</i>	<i>11</i>
<i>Εικόνα 4 Μέθοδος OS-IS</i>	<i>12</i>
<i>Εικόνα 5 Επιταχυνσιόμετρο.....</i>	<i>18</i>
<i>Εικόνα 6 Χαρακτηριστικά Assembled data logging shield.....</i>	<i>20</i>
<i>Εικόνα 7 Επιταχυνσιόμετρο.....</i>	<i>23</i>
<i>Εικόνα 8 Χαρακτηριστικά και λειτουργία του επιταχυνσιόμετρου ADXL345</i>	<i>23</i>
<i>Εικόνα 9 Φτερά Αλουμινίου</i>	<i>24</i>

<i>Εικόνα 10 Ρουλεμάν.....</i>	<i>25</i>
<i>Εικόνα 11 3.2. Απεικόνιση Σταθμού μέτρηση ταχύτητας ανέμων μικροσεισμών.....</i>	<i>26</i>
<i>Εικόνα 12 Σχέδιο Fritzing.....</i>	<i>27</i>
<i>Εικόνα 13 3.2. Απεικόνιση Σταθμού μέτρηση ταχύτητας ανέμων.....</i>	<i>27</i>
<i>Εικόνα 14 Σχέδιο Fritzing.....</i>	<i>28</i>
<i>Εικόνα 15 Κώδικας σταθμού μέτρησης μικροσεισμών</i>	<i>32</i>
<i>Εικόνα 16 Αποτελέσματα accelerometer</i>	<i>33</i>
<i>Εικόνα 17 Κώδικας σταθμού μέτρησης ταχύτητας ανέμων.....</i>	<i>39</i>
<i>Εικόνα 18 Αποτελέσματα ταχύτητας ανέμων</i>	<i>40</i>
<i>Εικόνα 19 Ανάλυση Φουριέρ.....</i>	<i>49</i>
<i>Εικόνα 20 IMABS.....</i>	<i>53</i>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

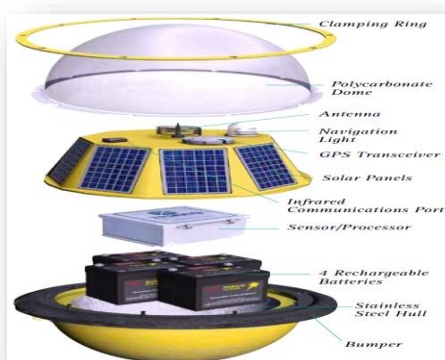
1. Μέθοδοι καταγραφής κυματισμού

1.1. Wave Rider Buoys (WRB)

Η πιο γνωστή ευρέως και πρακτικά εφαρμόσιμη συσκευή για τη μέτρηση των θαλάσσιων κυμάτων αποτελούν τα Wave Rider Buoys (WRB). Πρόκειται για στιβαρές και συμπαγείς κατασκευές, βάρους συνήθως τα 200 κιλά, έτσι ώστε ν' αντέχουν τις ακραίες συνθήκες που μπορεί να παρουσιαστούν σε ένα θαλάσσιο περιβάλλον. Αρχικά η λειτουργία τους βασίστηκε σε ένα σύστημα παλινδρομικής κίνησης, το ScotchYoke το οποίο αποδείχτηκε πολλές φορές αναξιόπιστο.

Σήμερα στα WRBέχουν ενσωματωθεί ολοκληρωμένα συστήματα αισθητήρων που καταγράφουν και επεξεργάζονται τα δεδομένα αυτόνομα τα οποία στη συνέχεια μεταδίδονται ασύρματα (GPRS, VHF). Η μονάδα αισθητήρων αποτελείται συνήθως από τρία επιταχυνσιόμετρα, τρία γυροσκόπια, μία πυξίδα και τον κεντρικό επεξεργαστή. Ο ενσωματωμένος επεξεργαστής χρησιμοποιεί τον επαναληπτικό αλγόριθμο Fast Fourier Transform για να αναλύσει τις εξισώσεις που προκύπτουν από τις μετρήσεις των επιταχυνσιόμετρων παρέχοντας έτοιμα τα δεδομένα άμεσα για εξαγωγή συμπερασμάτων.

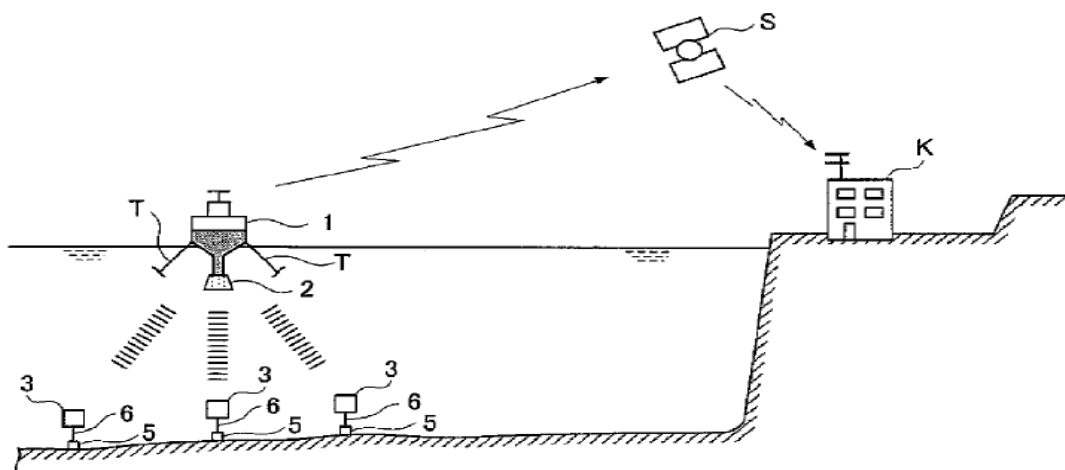
Τα όργανα μέτρηση τροφοδοτούνται από μπαταρίες οι οποίες με τη σειρά τους συντηρούνται συνήθως με πάνελ συλλογής ηλιακής ενέργειας.[1][2].



Εικόνα 1

1.2. Acoustic Doppler current profilers (ADCP)

Τα ADCP είναι μία μέθοδος στην οποία χρησιμοποιούνται αισθητήρες υπερήχων για τη μέτρηση των θαλάσσιων κυμάτων. Ο αισθητήρας υπερήχων εντοπίζει την μεταβολή στην επιφάνεια της θάλασσας και άμεσα μεταδίδει έναν παλμό προς έναν πομπό/δέκτη που βρίσκεται τοποθετημένος στο βυθό. Ο πομπός με τη σειρά του αντανακλά συνεχώς τον παλμό προς την επιφάνεια και καταγράφει τους χρόνους διάδοσης και επιστροφής. Τα δεδομένα που επιστρέφουν στην επιφάνεια μετά την αναμετάδοση από τον πομπό/δέκτη βυθού, στέλνονται σε ένα δορυφόρο και μετά στον σταθμό συλλογής, επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων.



Εικόνα 2

Τα ADCP εμφάνιζαν προβλήματα στις μετρήσεις όταν έρχονταν αντιμέτωπα με μεγάλα κύματα. Τα μεγάλα κύματα διαταράσσουν την επιφάνεια της θάλασσας, δημιουργούν φυσαλίδες οξυγόνου με αποτέλεσμα ο υπέρηχος παλμός να διασκορπίζεται ή να απορροφάται με αποτέλεσμα να αλλοιώνονται οι πληροφορίες. Το πρόβλημα αυτό ξεπεράστηκε αργότερα με την τοποθέτηση τριών πομπών/δεκτών στο βυθό (Σχήμα 2).

Παρ' όλη την αξιοπιστία του οι συσκευές αναμετάδοσης υπερήχων (ADCP) έχουν μεγάλη δυσκολία όσον αφορά την εγκατάστασή τους, καθώς πρόκειται για συμπαγείς και μεγάλες κατασκευές με μέρη εγκατεστημένα τόσο στην επιφάνεια όσο και στο βυθό της θάλασσας, κάνοντας το κόστος τους να αυξάνεται εκθετικά [3][4].

1.3. Synthetic Aperture Radar (SAR)

Τα SAR χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση μεγάλων διαστάσεων περιοχών, ακόμη και 100τ.χλμ, όπως οροσειρές, πεδιάδες και την επιφάνεια της θάλασσας, σημειώνοντας τις μεταβολές τους. Η λειτουργία του στηρίζεται στα ραδιοκύματα.

Τα ραδιοκύματα εκπέμπονται από την συσκευή και όταν φτάνουν στην επιφάνεια δημιουργούν αντήχηση και επιστρέφουν σε μία κεραία όπου και καταγράφονται. Στη συνέχεια η εκπομπή/ λήψη των ραδιοκυμάτων γίνεται από διαφορετικές γωνίες, μετακινώντας το μέσο όπου είναι εγκατεστημένο το SAR (αεροπλάνο,δoruφόρος κ.α.), έτσι ώστε να επιτυγχάνονται εικόνες σε υψηλότερη ανάλυση.

Όσον αφορά τη μελέτη του κυματισμού τα SAR, λόγω του ότι έχουν τη δυνατότητα να καθορίζουν το εύρος, τη γωνία και την ταχύτητα των αντικειμένων, παρέχουν ένα πλήρες πακέτο δεδομένων για την καταγραφή συμπεριφοράς του κυματισμού. Το πλήρες φάσμα εικόνων που μας προσφέρει, παρέχει πληροφορίες σχετικά με την κατεύθυνση όλου του φάσματος κυμάτων. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό τιμών όπως ύψος, μήκος και κατεύθυνση κυμάτων. Επιπλέον μπορούμε να υπολογίσουμε το ύψος μεμονωμένου κύματος, το μήκος μόνο της κορυφής του καθώς και να τα κατηγοριοποιήσουμε δίνοντας έτσι μια λεπτομερή καταγραφή.

Τα πιο γνωστά SAR είναι SIR-C, X-SAR, Venera-15, Venera-16 [5] [6]

1.4. HF Radar

Τα HF Radar εγκαθίστανται κατά μήκος των ακτογραμμών ή σε ένα κινητό μέσο και με ηλεκτρομαγνητικά κύματα να στέλνονται προς τη θάλασσα, παρέχει πληροφορίες για την καταγραφή του ύψους και της ταχύτητας των θαλάσσιων κυμάτων, χωρίς να επηρεάζεται από ακραίες καιρικές συνθήκες (καταιγίδες, ομίχλη).

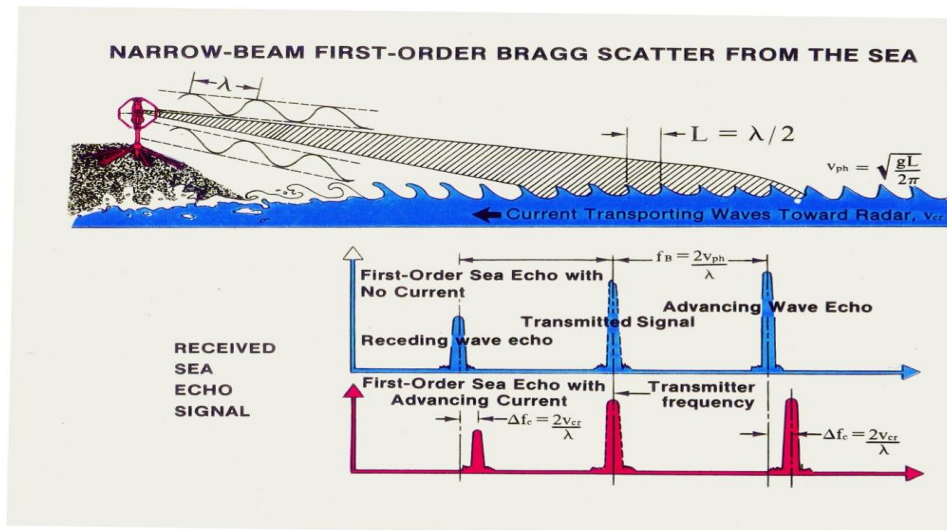
Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εκπέμπονται κατά μήκος της επιφάνεια της θάλασσας με συχνότητα 3 έως 30Mhz (με μήκη κύματος από 10 έως 100m) σε απόσταση ακόμη και 200Km. Όταν συναντούν κύματα ύψους από 3 έως 50 μέτρα προσκρούουν στην επιφάνειά τους και διασκορπίζονται σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Το κύμα λειτουργεί σαν ένα φράγμα περίθλασης(νόμος του Bragg). Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα επιστρέφουν στην πηγή με το

μήκος τους να υπολογίζεται ακριβώς στο μισό του μήκους του κύματος της θάλασσας(φαινόμενο Doppler).[7] [8]

Παράδειγμα

25 Mhz μετάδοση ➔ 12m Ηλεκτ/κό Κύμα ➔ 6m Θαλάσσιο Κύμα

12 Mhz μετάδοση ➔ 25m Ηλεκτ/κό Κύμα ➔ 12.5m Θαλάσσιο Κύμα



Εικόνα 3

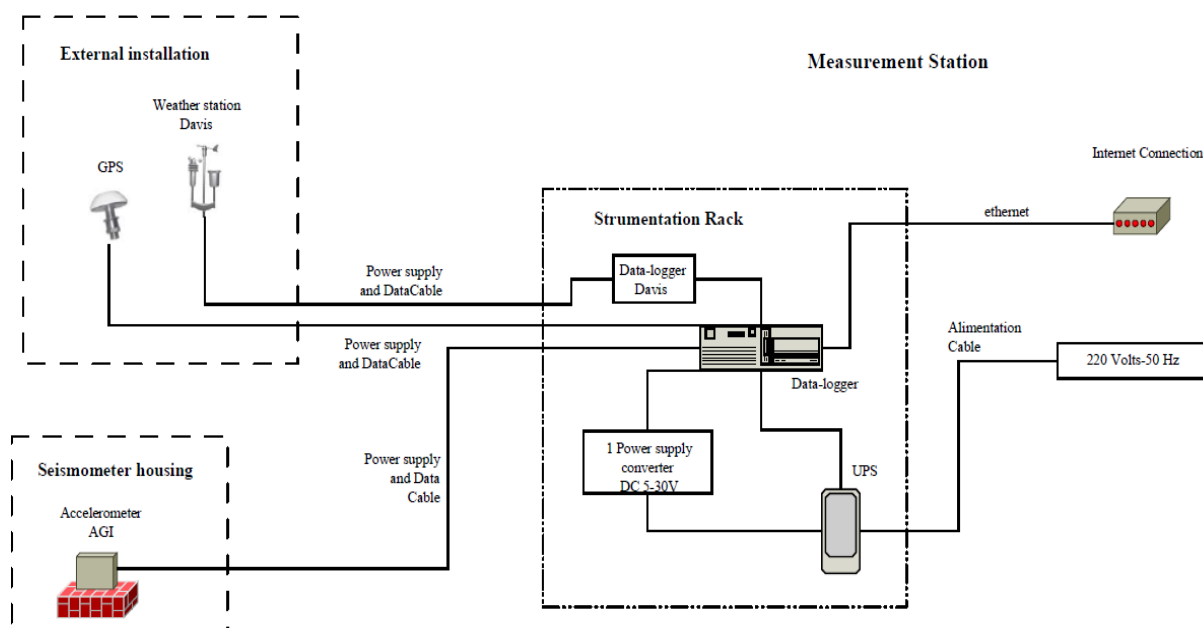
1.5. Μέθοδος OS-IS

Μία νέα μέθοδος καταγραφής κυματισμού είναι η OS-IS (Ocean Seismic- Integrated Solution). Πρόκειται για ένα σύστημα που το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι ότι η

εγκατάσταση του γίνεται στην ξηρά, μέσα σε κτίρια, προστατευμένο από τα καιρικά φαινόμενα, καθιστώντας το έτσι άμεσα προσβάσιμο μειώνοντας σημαντικά τα κόστη εγκατάστασης και συντήρησης.

Τα αποτελέσματα της OS-IS βασίζονται στις σεισμικές δονήσεις καθώς τα θαλάσσια κύματα είναι πηγές σεισμικών δονήσεων (Longuet-Higgins, 1950). Τα βασικά στοιχεία του συστήματος αποτελούν υψηλής ευαισθησίας επιταχυνσιόμετρα ενώ ειδικοί αλγόριθμοι αξιολογούν της επιφάνεια τη θάλασσας βασιζόμενοι σε μαθηματικά μοντέλα χρησιμοποιώντας τα μικροσεισμικά σήματα.

Η δομή της κατασκευής είναι σχετικά απλή και αποτελείται από το επιταχυνσιόμετρο το οποίο αποτελεί τον πυρήνα του, έναν μετεωρολογικό σταθμό και ένα GPS έτσι ώστε να συγχρονίζονται τα δεδομένα με τους άλλους σταθμούς. Ένας καταγραφέας δεδομένων αποθηκεύει τις πληροφορίες και τις στέλνει μέσω σύνδεσης internet σε έναν κεντρικό διακομιστή (σχ. 4).



Εικόνα 4

Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να μετρήσουμε το φάσμα ισχύος των θαλάσσιων κυμάτων από το οποίο μπορούμε να αξιολογήσουμε σημαντικές παραμέτρους όπως, το ύψος των κυμάτων, τη μέση διάρκεια και την περίοδο αιχμής-κορύφωσης. Δεν μπορούμε όμως να εντοπίσουμε την κατεύθυνσή τους. [9]

Σύγκριση μεθόδων καταγραφής κυματισμού

Για να γίνει σύγκριση μεταξύ των μεθόδων καταγραφής κυματισμού θα χωριστούν buoys (WRB, ADCP) και radars (SAR, HF) ενώ το OS-IS αποτελεί ξεχωριστή κατηγορία.

Η βαθμολογία που επιλέχθηκε είναι της κλίμακας από 1 έως 4, με το 1 να αντιπροσωπεύει την χειρότερη και το 4 τη καλύτερη αξιολόγηση

Χαρακτηριστικά Buoys

- Η έκθεση σε καιρικές συνθήκες καθώς και η θαλάσσια κυκλοφορία, κάνουν τα Buoys ευάλωτα σε ζημιές. Στατιστικές μετρήσεις έχουν δείξει πολύ χαμηλό ποσοστό συνεχόμενης λειτουργίας τους που υπολογίζεται στο 50%.

Βαθμός: 2

- Η τεχνολογία τους χαρακτηρίζεται ως η ακριβέστερη μέθοδος καταγραφής κυματισμού.

Βαθμός: 4

- Παρ' όλο που η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο σήμερα είναι κάτι το συνηθισμένο, όσον αφορά τα buoys που είναι αγκυροβολημένα σε μεγάλες αποστάσεις, όπως στη μέση του ωκεανού, μπορούν να προκύψουν δυσκολίες στην επικοινωνία. Ο μέσος ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων είναι 1 δείγμα ανά 30 λεπτά.

Βαθμός: 3

- Η δημιουργία ενός μεγάλου δικτύου από buoys παρ' όλο που είναι εφικτό απαιτεί πολύ μεγάλο κεφάλαιο πράγμα που το κάνει πολλές φορές μη βιώσιμο.

Βαθμός: 2

- Για την εγκατάσταση τους είναι υποχρεωτικές οι νόμιμες άδειες καθώς και η απαγόρευση πλεύσης σε μια συγκεκριμένη ακτίνα γύρω τους. Αυτό αποτελεί πρόβλημα σε περιοχές που η κίνηση είναι μεγάλη, όπως είσοδοι λιμανιών.

Βαθμός: 1

Τα Buoys αποτελούν τα πιο ολοκληρωμένα και περιεκτικά συστήματα, προσφέροντας υψηλής ποιότητας πληροφορίες (κύματα, θερμοκρασία, επίπεδο θάλασσας, αλατότητα κτλ). Παρόλα αυτά η βιωσιμότητα της εγκατάστασης ενός τέτοιου δικτύου αποτελεί πρόβλημα. Μεγάλα έργα εγκαταλείπονται πριν ολοκληρωθούν όπως το πρόγραμμα Ροπτης NDBC(National Data Buoy Center of USA). Το υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης μπορούν να καλυφθούν μόνο από μεγάλους οργανισμούς ενώ υπάρχει και το πρόβλημα της επικοινωνίας από απομακρυσμένες σηματοδούρες.

Χαρακτηριστικά Radars

- Από διάφορες στατιστικές μελέτες έχει αποδειχθεί ότι τα radars είναι από τα πιο αξιόπιστα μέσα για την καταγραφή του κυματισμού και των καιρικών συνθηκών σε ποσοστό 93 έως 95%.

Βαθμός: 4

- Δεν έχει βρεθεί ακόμη ο καλύτερος αλγόριθμος που να μπορεί να αξιολογήσει όλες τις παραμέτρους και να υπολογίσει το βέλτιστο αποτέλεσμα, παρόλο που οι έως τώρα μετρήσεις θεωρούνται αποδεκτές.

Βαθμός: 3

- Ο ρυθμός μετάδοσης πακέτων δεδομένων είναι 1 πακέτο/ 10 λεπτά.

Βαθμός: 4

- Το κόστος ενός radar καθώς και ο υπολογισμός των κατάλληλων αλγορίθμων για την αξιολόγηση μιας κατάστασης καταγραφής κυματισμού, δεν είναι προσιτό (>100.000 €), αλλά το χαμηλό κόστος συντήρησης το καθιστά βιώσιμο.

Βαθμός: 2

- Η εγκατάσταση τους απαιτεί μεγάλης διάρκειας διαδικασίες όσον αφορά την Αυτό μπορεί να σημαίνει καθυστέρηση ακόμη και πάνω από 2 έτη.

Βαθμός: 1

Τα δίκτυα των Radar χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό για να εντοπίσουν τα ρεύματα των θαλασσών χωρίς να είναι τεχνολογικά εξειδικευμένα στο να εντοπίζουν και να υπολογίζουν τα χαρακτηριστικά των κυμάτων με μεγάλη ακρίβεια. Παρόλα αυτά είναι τα μοναδικά που μπορούν να παρέχουν δεδομένα από μία περιοχή μεγέθους πάνω από 150μ² X 150μ². Τα ραντάρ παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα ρεύματα στην επιφάνεια της θάλασσας δίνοντας πληροφορίες για τον κυματισμό σε συνάρτηση με ειδικούς αλγόριθμους χρησιμεύουν συνήθως για επιχειρησιακής φύσεως εφαρμογές.

Χαρακτηριστικά OS-IS

- Η θέση εγκατάστασης και η ύπαρξη υποδομών (ηλεκτρ. ενέργεια, ύπαρξη δικτύου κτλ.) κάνουν το OS-IS το πιο αξιόπιστο σύστημα με 99% χρόνο συνεχούς λειτουργίας.

Βαθμός: 4

- Καλή ποιότητα παροχής δεδομένων όσον αφορά τις κύριες παραμέτρους καταγραφής κυματισμού (πχ ύψος, ταχύτητα) αλλά δεν υπάρχει η δυνατότητα καταγραφής της κατεύθυνσης κύματος.

Βαθμός: 2

- Ο τόπος εγκατάστασης μέσα σε κτίριο μειώνει τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε 1 πακέτο/ 10 λεπτά.

Βαθμός: 4

- Ο τόπος εγκατάστασης μειώνει την πολυπλοκότητα καθώς και το κόστος της κατασκευής (<100000 €). Αυτό συνεπάγεται σε χαμηλό κόστος συντήρησης καθώς το σύστημα προστατεύεται από τις καιρικές συνθήκες.

Βαθμός: 4

- Η εγκατάσταση του δεν απαιτεί καμία άδεια εφόσον δεν επηρεάζει τις ανθρώπινες δραστηριότητες ή το περιβάλλον.

Βαθμός: 4

Το OS-IS αποτελεί μία καινούρια μέθοδο καταγραφής κυματισμού. Μετά από έναν χρόνο δοκιμών παρουσίασε εξαιρετικές επιδόσεις όσον αφορά την αξιοπιστία. Για τις δοκιμές συγκεντρώθηκαν δεδομένα από τρεις σταθμούς. Τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν αφορούσαν τις αποτυχίες του συστήματος επικοινωνίας. Όταν υπάρξει πρόβλημα στο σύστημα επικοινωνίας και ο server είναι εκτός λειτουργίας τα δεδομένα μένουν στον αποθηκευτή (buffer) για ένα μήνα. Αν όμως ο χρόνος αυτός είναι μεγάλος, λόγω πχ μεγάλης διακοπής ρεύματος, τότε τα δεδομένα μπορούν να ανακτηθούν μόνο με ανθρώπινη παρέμβαση παρουσιάζοντας μεγαλύτερη απώλεια.[9]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Περιγραφή εξοπλισμού -Επιλογή των εξαρτημάτων-επεκτάσεων και τα χαρακτηριστικά τους

Η κατασκευή μας περιλαμβάνει έναν σταθμό **μέτρησης μικροσεισμών** και ένα **μέτρησης της ταχύτητας των ανέμων**. Αυτός ο συνδυασμός θα μας επιτρέψει να συγκρίνουμε δεδομένα από δύο διαφορετικά φυσικά φαινόμενα και έτσι θα έχουμε τη δυνατότητα να καταγράψουμε με μεγαλύτερη αξιοπιστία τον κυματισμό μιας περιοχής

2.1. Arduino Uno R3

Για την κατασκευή μας επιλέξαμε το Arduino Uno, μία ανοιχτού υλισμικού και λογισμικού ηλεκτρονική πλατφόρμα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή που μας επιτρέπει να συνδέσουμε πάνω της διάφορες επεκτάσεις, αισθητήρες, μότερες κτλ.

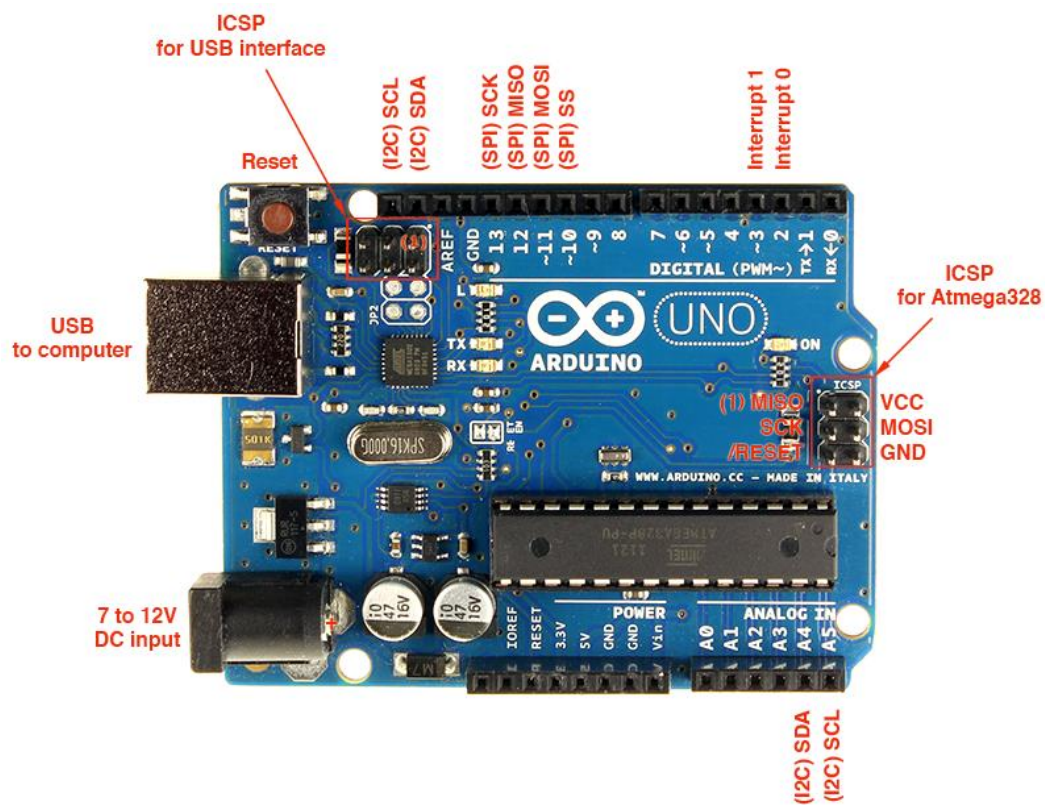
Το Arduino uno βασίστηκε στον μικροελεγκτή ATmega 328 και διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους/εξόδους (από τις οποίες οι 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι Pulse Width Modulation PWM), έναν κεραμικό ταλαντωτή 16 Mhz, σύνδεση USB, υποδοχή για καλώδιο τροφοδοσίας 5,5X2,1mm, ένα κουμπί επαναφοράς και κύκλωμα σειριακού προγραμματισμού (ICSP-In Circuit Serial Programming header. [10])

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Microcontroller: *ATmega328*
- Architecture: *AVR*
- Operating Voltage: *5 V*
- Flash memory: *32 KB of which 0.5 KB used by bootloader*
- SRAM: *2 KB*
- Clock Speed: *16 MHz*
- Analog I/O Pins: *6*
- EEPROM: *1 KB*
- DC Current per I/O Pins: *40 mA on I/O Pins; 50 mA on 3,3 V Pin*

- Input Voltage 7-12 V
- Digital I/O Pins 20 (of which 6 provide PWM output)
- PWM Output 6
- PCB Size 53.4 x 68.6 mm
- Weight 25 g
- Product Code A000066 (TH); A000073 (SMD)

Arduino Uno Rev3



Εικόνα 5

2.2. Επεκτάσεις (arduino shields)

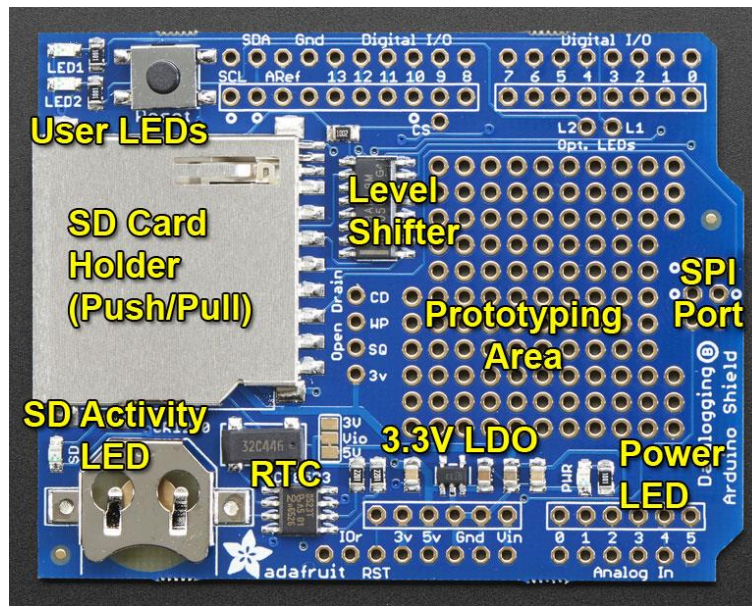
Το arduino δέχεται επεκτασιμότητα επιτρέποντάς μας να συνδέσουμε πάνω του διάφορα shields. Τα shields είναι πλακέτες επέκτασης των δυνατοτήτων του arduino με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά το κάθε ένα. Παραδείγματα αυτών των επεκτάσεων είναι τα:

- Ethernet shield και το wireless shield που συνδέουν το arduino με το διαδίκτυο
- Motor shield που έχει τη δυνατότητα να συνδέεται με διάφορους μότερες
- Mux shield το οποίο αυξάνει το αριθμό των αναλογικών και ψηφιακών θυρών.
- LCD shield αποτελείτε από μια lcd οθόνη που εξάγει πληροφορίες
- Assembled data logging shield που αποθηκεύει δεδομένα

Στην κατασκευή μας χρησιμοποιήσαμε το **assembled data logging shield**. Αυτού του είδους οι επεκτάσεις μας δίνουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουμε δεδομένα σε μία κάρτα αποθήκευσης sd, με μορφοποίηση Fat16 και Fat32, επιτρέποντας τα να διαβαστούν από προγράμματα σχεδίασης, ανάλυσης ή ακόμη και υπολογιστικά φύλλα.[11]

Χαρακτηριστικά Assembled data logging shield

- Η διασύνδεση SDCard λειτουργεί με κάρτες μορφοποιημένες σε fat16 και fat32. Η τροφοδοσία του επιτυγχάνεται από τον επιλογέα των 3,3V αποτρέποντας έτσι την πρόκληση ζημιά και δίνοντας τη δυνατότητα γρήγορης αποθήκευσης και ανάγνωσης δεδομένων.
- Το Real Time Clock (RTC)(σχ. 6) διατηρεί ενημερωμένο τον πραγματικό χρόνο και χάρη στην μπαταρία, μπορεί να τον διατηρήσει για χρόνια ακόμη και όταν το arduino είναι αποσυνδεδεμένο.
- Διαθέτει το Prototypingarea που αποτελεί τις υποδοχές για εύκολη συγκόλληση ή τοποθέτηση συνδετήρων , κυκλωμάτων και αισθητήρων.
- Ο ενσωματωμένος ρυθμιστής 3.3V παρέχει ικανοποιητικό ποσό ενέργειας έτσι ώστε να λειτουργούν αξιόπιστα όλες οι κάρτες SD.
- Είναι συμβατό με Arduino UNO, Duemilanove, Diecimila, LeonardoήADK/Mega R3 ή μεγαλύτερο.



Εικόνα 6

Επιπλέον το shield διαθέτει

- led1 και led2 που επικοινωνούν με το arduino (αριστερά πάνω στο σχ.6)
- Breakout pads όπως το CD, WP, SQ, 3V και τα CS και το L2, L1. [12]

2.3. Αισθητήρες

Για την εισαγωγή δεδομένων στον μικροελεγκτή χρησιμοποιούμε αισθητήρες. Οι δυνατότητες αυτών των αισθητήρων διαφέρουν μεταξύ τους και μπορούμε να τους χρησιμοποιήσουμε είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά αυξάνοντας κατά μεγάλο ποσοστό τις δυνατότητες της κατασκευής μας.

Οι σημαντικότεροι αισθητήρες που χρησιμοποιούμε σε σύνδεση με το arduino είναι:

- Θερμοκρασίας – Υγρασίας, μεμονωμένα ή συνδυαστικά

- Υπερήχων. Χρησιμοποιείτε ευρέως στη ρομποτική και μπορεί να εντοπίζει αντικείμενα σε μέσες αποστάσεις με το να εκπέμπει και να δέχεται ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.
- Γυροσκόπιο χρησιμεύει για να διατηρεί έναν σταθερό προσανατολισμό έχοντας μία προκαθορισμένη θέση
- Επιταχυνσιόμετρο

Επιταχυνσιόμετρο

Για την κατασκευή μας χρησιμοποιήσαμε το επιταχυνσιόμετρο ADXL345. Το επιταχυνσιόμετρο υπολογίζει τις δυνάμεις της επιτάχυνσης, στατικές ή δυναμικές και χρησιμοποιείτε σε πολλές εφαρμογές όπως:

- Τη μηχανική.

Μετρά τις επιταχύνσεις των οχημάτων, δονήσεις κτιρίων και μηχανημάτων και χρησιμοποιείτε ακόμη για τον εντοπισμό και καταγραφή των σεισμικών δονήσεων. Επιπλέον χρησιμοποιείτε ως εξάρτημα των συστημάτων πλοήγησης αεροσκαφών και πυραύλων.

- Τη βιολογία

Μελετά την αλλαγή συμπεριφοράς των άγριων ζώων, πχ αλλαγή στην επιτάχυνση ή στην ταχύτητά τους, έτσι ώστε να εντοπίζονται τυχόν προβλήματα που αφορούν την υγεία τους.

- Τη βιομηχανία

Εντοπίζει προβλήματα στη λειτουργία μηχανημάτων όπως τουρμπίνες, κυλίνδρους, ανεμιστήρες, συμπιεστές, και ειδοποιεί έτσι ώστε να προληφθούν τυχόν μεγαλύτερες ζημιές.

- Σε ιατρικές εφαρμογές

Η παραγωγή έξυπνων συσκευών μετρήσεων εκγύμνασης, οδήγησε στην εισαγωγή των επιταχυνσιόμετρων στις ιατρικές εφαρμογές. Χάρη σε αυτό ο χρήστης όταν γυμνάζεται έχει άμεση πρόσβαση σε δεδομένα που αφορούν επιτάχυνση, απόσταση, διασκελισμό, παλμούς κα

- Υπολογιστές, έξυπνα τηλέφωνα, ταμπλέτες

Η συνηθέστερη εφαρμογή του επιταχυνσιόμετρου στις ηλεκτρονικές συσκευές ευρείας κατανάλωσης είναι ο εντοπισμός αλλαγής θέσης του αντικειμένου με ταυτόχρονη αλλαγή της θέσης της οθόνης, κάθετα ή οριζόντια. Μία άλλη εφαρμογή του είναι ο έγκαιρος εντοπισμός αλλαγής ταχύτητας, όταν υπάρχει πτώση της συσκευής, με ταυτόχρονη απενεργοποίηση του σκληρού δίσκου που έχει σα σκοπό την αποφυγή βλάβης.

- Κτίρια και Δομικά έργα

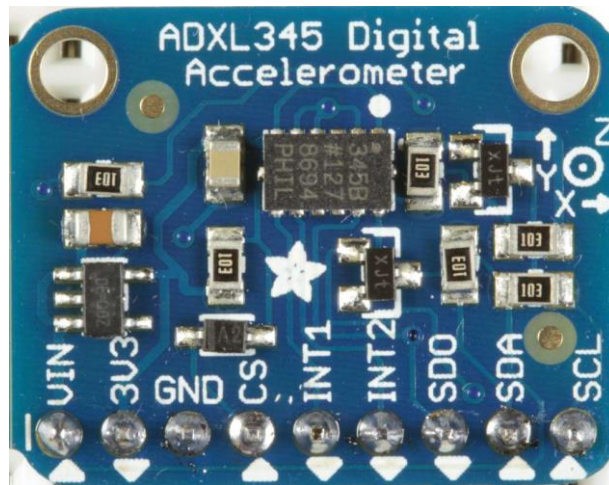
Το επιταχυνσιόμετρο βοηθά στην παρατήρηση της αντοχής και γενικότερα της συμπεριφοράς των κτιρίων και των δομικών κατασκευών απέναντι σε εξωγενείς παράγοντες όπως:

- Ανθρώπινη δραστηριότητα: ήχους, δονήσεις από περπάτημα
- Σεισμούς και μετασεισμούς
- Μηχανήματα από εργασίες κατασκευής
- Μετακίνησης φορτίων, όσον αφορά τις γέφυρες
- Μεγάλης δύναμης ανέμους
- Καθίζησης εδάφους
- Κατάρρευσης τμημάτων

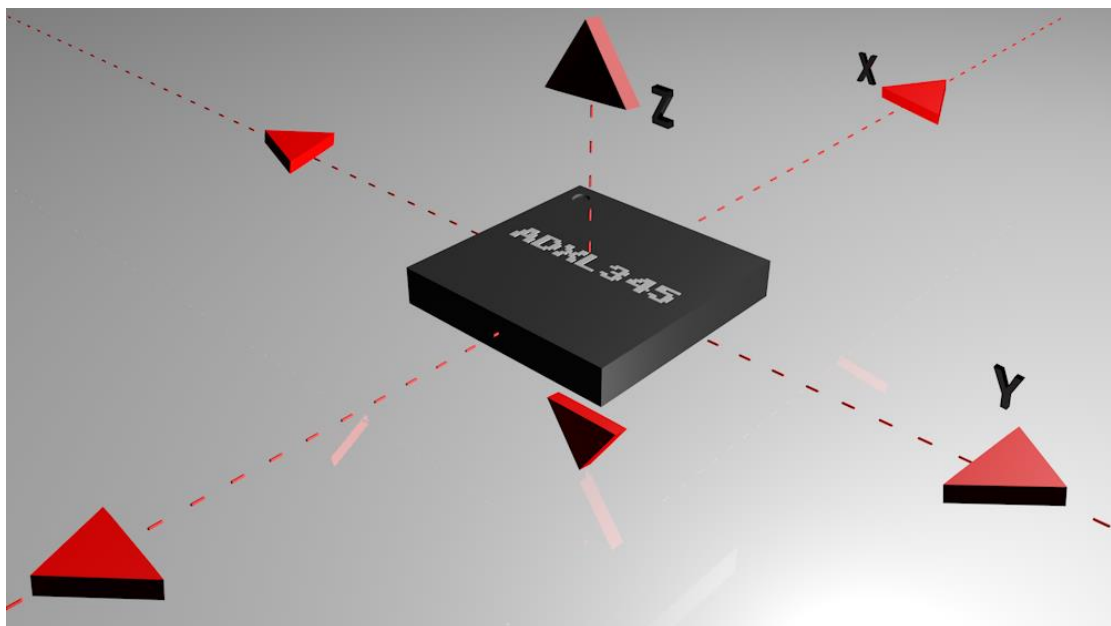
Χαρακτηριστικά και λειτουργία του επιταχυνσιόμετρου ADXL345

Ο αισθητήρας αποτελείται από μία μικρο- μηχανική κατασκευή δομημένη σε μία βάση πυριτίου. Είναι εξοπλισμένος από ελατήρια πολυπυριτίου που του επιτρέπουν να εκτρέπεται ομαλά όταν υπόκειται σε επιτάχυνση των X, Y και Z αξόνων(σχ.8). Η εκτροπή δημιουργεί μια αλλαγή στη χωρητικότητα μεταξύ δύο πυκνωτών. Αυτή η αλλαγή στην

χωρητικότητα μετατρέπεται σε μία τάση εξόδου ανάλογη με την επιτάχυνση που υπόκειται.[13]



Εικόνα 7



Εικόνα 8

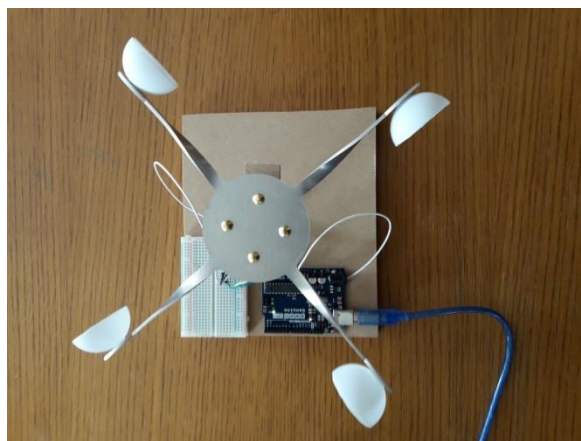
Τα παρακάτω εξαρτήματα χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του σταθμού μέτρησης ταχύτητας ανέμου επιπλέον του μικροελεγκτή **Arduino**.

2.4. Magnetic reed

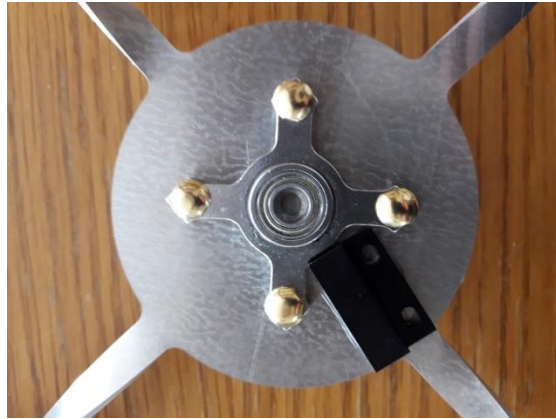
Είναι ένας διακόπτης που χρησιμοποιεί μαγνητικό πεδίο για την αλλαγή της τάσης σε ένα κύκλωμα. Κάθε φορά που μία κυκλική βάση περιστρέφεται, ο μαγνήτης κλείνει τον διακόπτη και ένας παλμός εισάγεται στο input του arduino. Στη συνέχεια ο μικροελεγκτής υπολογίζει κάθε παλμό και τον μετατρέπει σε ταχύτητα με τον κατάλληλο κώδικα προγραμματισμού.

2.5. Ρουλεμάν- Φτερά αλουμινίου- Άξονας

Τα ρουλεμάν και ο άξονας αγοράστηκαν έτοιμα. Τα φτερά αλουμινίου αποτελούν ειδική κατασκευή, σχεδιάστηκαν και κόπηκαν με laser, από αλουμίνιο 3mm (σχ.9 & σχ.10).



Εικόνα 9



Εικόνα 10

Σκοπός και Στόχος

Σκοπός της εφαρμογής είναι η δημιουργία ενός συστήματος, βασισμένο στην αρχή λειτουργίας του συστήματος καταγραφής κυματισμού OS-IS, που θα έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει και να καταγράφει τις μικροσεισμικές δονήσεις. Αυτό σε συνδυασμό με τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου θα μπορούν υπολογίζουν το ύψος των κυμάτων που παρατηρούνται σε μία θαλάσσια περιοχή.

Η χρήση του Arduino και των υπόλοιπων εξαρτημάτων ευνοούν την εγκατάσταση πολλών τέτοιων σταθμών καθώς παρέχουν εκτός από αξιοπιστία και πολύ χαμηλότερο κόστος σε σχέση με άλλες κατασκευές όπως τις σηματοδούρες ή τα ραντάρ.

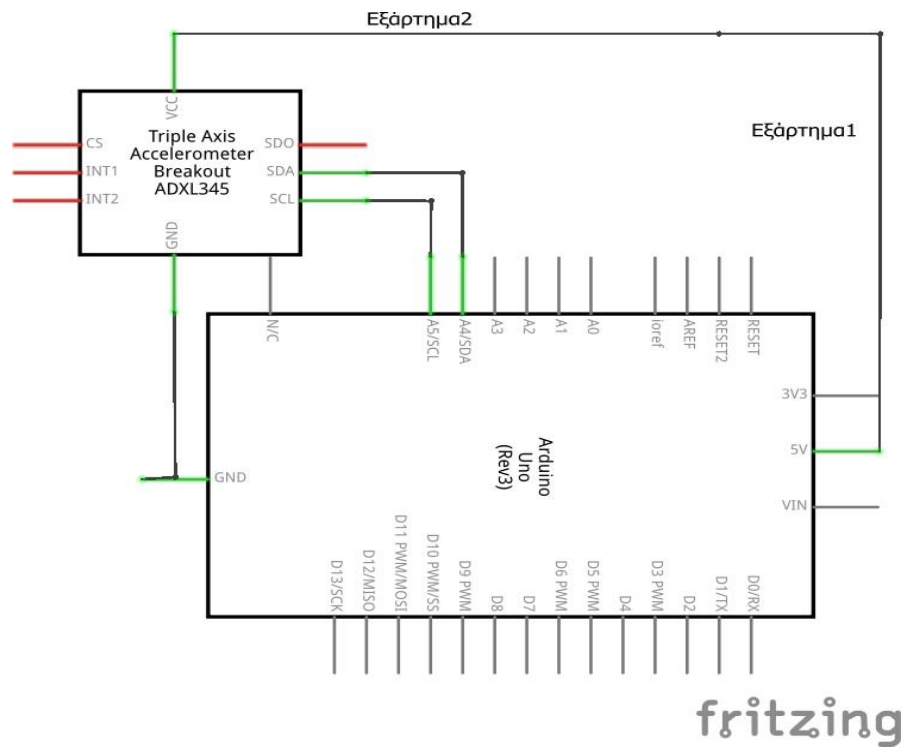
Στόχοι μας είναι:

1. Η σωστή επιλογή και η κατάλληλη συνδεσμολογία του arduino με τα άλλα εξαρτήματα
2. Ο προγραμματισμός του Arduino με τον βέλτιστο κώδικα
3. Η δημιουργία των κατάλληλων αλγορίθμων για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων

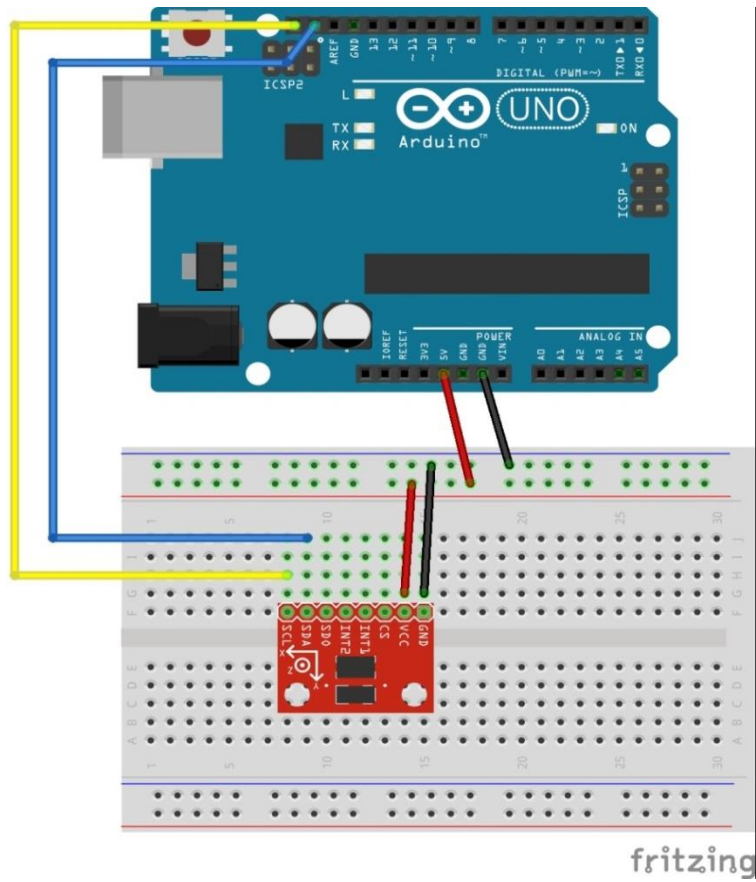
4. Η συλλογή και επεξεργασία δεδομένων
5. Η σύγκριση και η συσχέτιση των αποτελεσμάτων με άλλους τρόπους καταγραφής κυματισμού.

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Συνδέσεις εξαρτημάτων και γραφική απεικόνιση (fritzing)

3.1. Απεικόνιση σταθμού μέτρησης μικροσεισμών

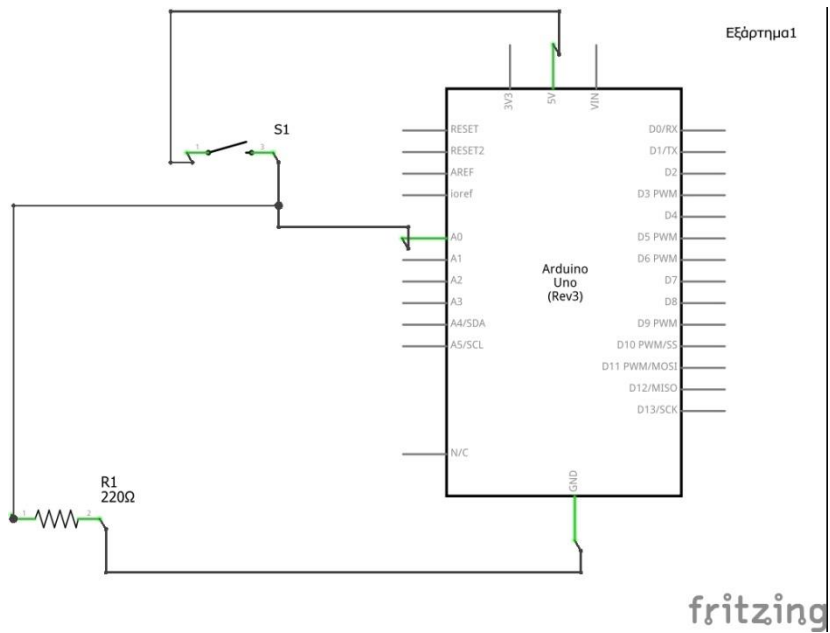


Εικόνα 11

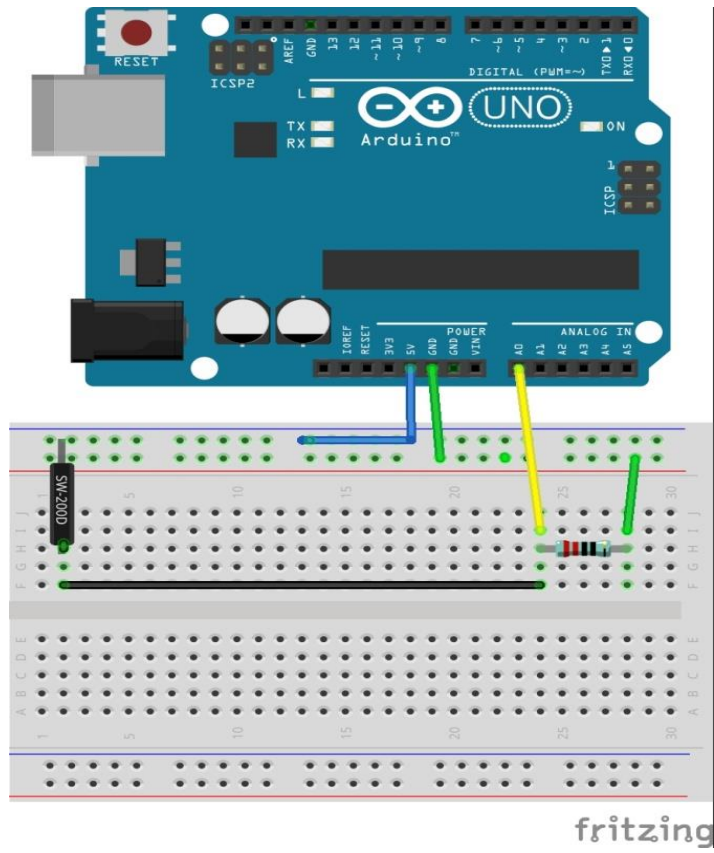


Εικόνα 12

3.2. Απεικόνιση Σταθμού μέτρηση ταχύτητας ανέμων



Εικόνα 13



Εικόνα 14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Προγραμματισμός

Η γλώσσα του Arduino που θα χρησιμοποιήσουμε είναι γραμμένη σε C/C++ εμπλουτισμένο με μία βιβλιοθήκη που ονομάζεται wiring. Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης του είναι γραμμένο σε Java και λειτουργεί σε πολλές πλατφόρμες.[14]

4.1. Κώδικας Σταθμού μέτρησης μικροσεισμών

Για τον προγραμματισμό του σταθμού μέτρησης μικροσεισμών ενσωματώσαμε στο arduino το adlx345 και το assembled logging data με τις πληροφορίες να εμφανίζονται στην οθόνη μας.

```
#include <SPI.h>//βιβλιοθήκη shield
```

```
#include <SD.h>//βιβλιοθήκη κάρτας SD
```

```
#include <Wire.h> //βιβλιοθήκη επικοινωνίας με το L2C
```

```
#include <Adafruit_Sensor.h>
```

```
#include <Adafruit_ADXL345_U.h>//βιβλιοθήκη αισθητήρα
```

```
const int chipSelect = 10;//επικοινωνία με το shield στο pin 10
```

```
Adafruit_ADXL345_Unified accel = Adafruit_ADXL345_Unified(12345);// νεό id στον αισθητήρα
```

```
void setup(void) {
```

```

// ξεκινάει η σειριακή επικοινωνία
Serial.begin(9600);
Serial.println("Accelerometer Begin"); Serial.println(""); //μήνυμα έναρξης

if(!accel.begin())
{
  // μήνυμα σφάλματος, αν υπάρξει πρόβλημα στην ανίχνευση του ADXL345
  Serial.println("ADXL345 not detected ... Check your wiring!");
  while(1);
}
while (!Serial) {
  ; // αναμονή σύνδεσης
}

Serial.print("Initializing SD card...");//μήνυμα αρχικοποίησης κάρτας sd

//έλεγχος αν λειτουργεί
if (!SD.begin(chipSelect)) {
  Serial.println("Card failed, or not present");
  return;
}
Serial.println("card initialized.");
}

void loop(void) {
  //δημιουργία αλφαριθμητικού για συγκέντρωση των δεδομένων

```

```

String dataString = "";

File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

// αν ο φάκελος είναι διαθέσιμος, γίνεται εγγραφή
if (dataFile) {
    dataFile.println(dataString);
    dataFile.close();
    // print to the serial port too:
    Serial.println(dataString);
}

// αν ο φάκελος δεν ανοίξει, εμφάνισε μήνυμα σφάλματος
else {
    Serial.println("error opening datalog.txt");
}

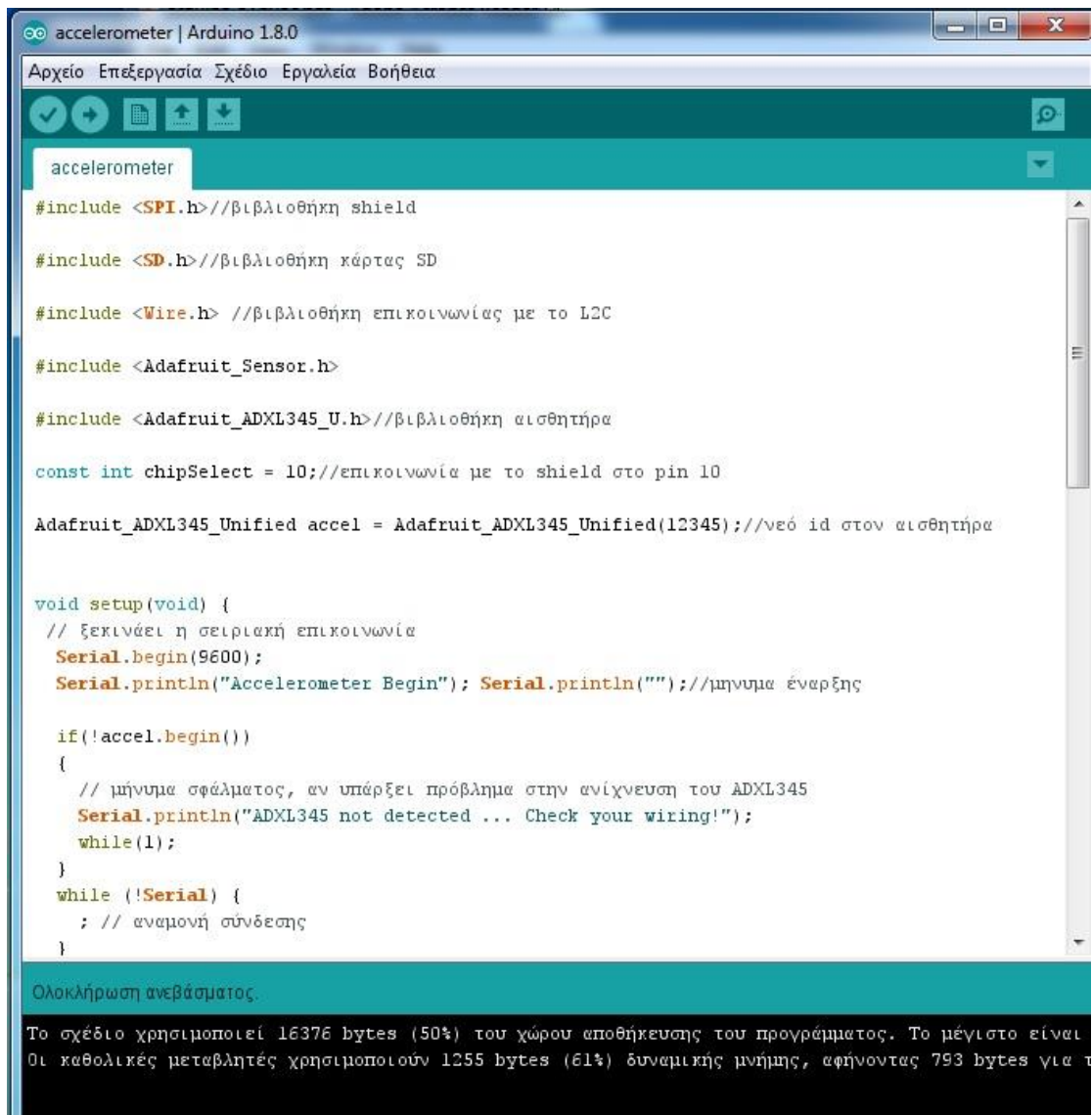
{
    /* Get a new sensor event */
    sensors_event_t event;
    accel.getEvent(&event);

    // απεικόνιση αποτελεσμάτων επιτάχυνσης στην οθόνη
    Serial.print("X: "); Serial.print(event.acceleration.x); Serial.print(" ");
    Serial.print("Y: "); Serial.print(event.acceleration.y); Serial.print(" ");
    Serial.print("Z: "); Serial.print(event.acceleration.z); Serial.print(" ");
    Serial.println("m/s^2");//μέτρηση σε m/s^2(μονάδα μέτρησης επιτάχυνσης)
    delay(500);
}

```

}

Αφού τελειώσουμε το πρόγραμμα συνεχίζουμε με την αποσφαλμάτωση του πατώντας την επιλογή ‘επικύρωση’ .



```
#include <SPI.h> //βιβλιοθήκη shield
#include <SD.h> //βιβλιοθήκη κάρτας SD
#include <Wire.h> //βιβλιοθήκη επικοινωνίας με το I2C
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_ADXL345_U.h> //βιβλιοθήκη αισθητήρα

const int chipSelect = 10; //επικοινωνία με το shield στο pin 10

Adafruit_ADXL345_Unified accel = Adafruit_ADXL345_Unified(12345); //νεό id στον αισθητήρα

void setup(void) {
  // ξεκινάει η σειριακή επικοινωνία
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Accelerometer Begin"); Serial.println(""); //μήνυμα έναρξης

  if(!accel.begin())
  {
    // μήνυμα σφάλματος, αν υπάρξει πρόβλημα στην ανίχνευση του ADXL345
    Serial.println("ADXL345 not detected ... Check your wiring!");
    while(1);
  }
  while (!Serial) {
    ; // αναμονή σύνδεσης
  }
}
```

Ολοκλήρωση ανεβάσματος.

Το σχέδιο χρησιμοποιεί 16376 bytes (50%) του χώρου αποθήκευσης του προγράμματος. Το μέγιστο είναι 01 καθολικές μεταβλητές χρησιμοποιούν 1255 bytes (61%) δυναμικής μνήμης, αφήνοντας 793 bytes για τ

Εικόνα 15

Στη συνέχεια, εφόσον το πρόγραμμα δεν εντοπίσει σφάλματα, συνδέουμε τον μικροελεγκτή σε μία θύρα usb και πατάμε το κουμπί ‘ανέβασμα’ που βρίσκετε δίπλα στο ‘επικύρωση’.

Αν το ανέβασμα επικυρωθεί πατάμε το πλήκτρο παρακολούθηση σειριακής και παρακολουθούμε τα αποτελέσματα του επιταχυνσιόμετρου στην οθόνη μας.


```
COM3 (Arduino/Genuino Uno)

Accelerometer Begin

Initializing SD card...X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.45 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.45 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.41 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.49 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.41 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.59 Z: 9.49 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.59 Z: 9.45 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.49 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.55 Z: 9.30 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.38 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.59 Z: 9.41 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.45 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.55 Z: 9.45 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.59 Z: 9.49 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.59 Z: 9.49 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.41 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.45 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.45 m/s^2
X: 0.04 Y: -0.63 Z: 9.53 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.45 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.45 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.49 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.63 Z: 9.38 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.67 Z: 9.49 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.67 Z: 9.45 m/s^2
X: 0.00 Y: -0.59 Z: 9.45 m/s^2
```

Εικόνα 16

4.2. Κώδικας υπολογισμού ταχύτητας ανέμων

Τα δεδομένα για την κατασκευή του προγράμματος τα αντλήσαμε από τον πίνακα μποφόρ (σχήμα 13) που με τον κατάλληλο αλγόριθμο μετατρέψαμε την ταχύτητα του ανέμου σε ύψος κύματος.

Χρησιμοποιήσαμε το data logging sd shield για να αποθηκεύονται τα δεδομένα έτσι ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν εύκολα από τον τελικό χρήστη.

```
//υπολογισμοί
```

```
//ακτίνα τροχού ~ 13.5 cm
```

```
//περίμετρος κύκλου =  $\pi \cdot 2 \cdot r$   $\approx$  85 εκατοστά
```

```
//μέγιστη ταχύτητα 120kmh  $\approx$  1565 εκ/δευτερόλεπτο
```

```
#define reed A0//σύνδεση read switch με A0
```

```
//δήλωση μεταβλητών
```

```
int reedVal;
```

```
long timer;//ο χρόνος μίας πλήρους περιστροφής
```

```
float kmh;
```

```
float radius =13.5;// ακτίνα κύκλου σε εκατοστά
```

```
float circumference;
```

```
int maxReedCounter = 170;//ο ελάχιστος χρόνος μιας περιστροφής σε ms (for debouncing)
```

```
int reedCounter;
```

```
void setup(){
```

```
reedCounter = maxReedCounter;
```

```
circumference = 2*3.14*radius;
```

```
pinMode(reed, INPUT);
```

```
// το TIMER SETUP επιτρέπει τη λήψη συγκεκριμένων χρονικών  
μετρήσεων για το reed switch.
```

Το Timer μας επιτρέπει να σταματήσουμε στιγμιαία μία αλληλουχία γεγονότων μέσα στο loop(). Είναι χρήσιμο για τον υπολογισμό του χρόνου μεταξύ δύο γεγονότων, τη μέτρηση του χρόνου ενός εισερχόμενου σήματος σε ίσα χρονικά διαστήματα, την αποστολή ενός σήματος με συγκεκριμένη συχνότητα, τον έλεγχο εισερχόμενων δεδομένων σε τακτά χρονικά διαστήματα κ.α.

```
cli();//stop interrupts
```

```
//θετουμε το timer1 να διακοπεί στο 1kHz
```

```
TCCR1A = 0;
```

```
TCCR1B = 0;
```

```
TCNT1 = 0;
```

```
OCR1A = 1999;// = (1/1000) / ((1/(16*10^6))*8) - 1
```

```
TCCR1B |= (1 << WGM12);
```

```
TCCR1B |= (1 << CS11);
```

```
TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);
```

```

sei();

//END TIMER SETUP

Serial.begin(9600);
}

ISR(TIMER1_COMPA_vect) { //Διακόπτει σε συχνότητα από 1 kHz για τη μέτρηση του
reed switch

reedVal = digitalRead(reed); //get val of A0

if (reedVal) { //αν το reed switch είναι κλειστό

if (reedCounter == 0) { //ο ελάχιστος χρόνος μεταξύ των παλμών έχει παρέλθει

kmh = (94,44*float(circumference))/float(timer); //υπολογισμός km ανά ώρα

timer = 0; //επαναφορά χρονομέτρου

reedCounter = maxReedCounter; //επαναφορά περιστροφής

}

else{

if (reedCounter > 0){

reedCounter -= 1; //μείωση περιστροφής

}

}

}

else{//if reed switch is open

```

```

    if (reedCounter > 0){//
        reedCounter -= 1;//μείωση περιστροφής
    }
}

if (timer > 2000){
    kmh = 0;//αν δεν εντοπιστούν παλμοί τότε τα kmh = 0
}
else{
    timer += 1;//αύξηση του timer
}

}

void loop(){
    //μετατροπή από kmh σε ύψος κυμάτων βάση πίνακα bofor
    if (kmh==0)
        Serial.print ("no waves\n");
    else if ((1<kmh)&&(kmh<5))
        Serial.print ("0,05 m\n");
    else if ((6<kmh)&&(kmh<19))
        Serial.print ("0,6 m\n");
    else if ((20<kmh)&&(kmh<28))
        Serial.print ("1 m\n");
}

```

```
else if ((29<kmh)&&(kmh<38))  
Serial.print ("1,5 m\n");  
else if ((39<kmh)&&(kmh<49))  
Serial.print ("2,3 m\n");  
else if ((50<kmh)&&(kmh<61))  
Serial.print ("3 m\n");  
else if ((62<kmh)&&(kmh<88))  
Serial.print ("4 m\n");  
else if ((89<kmh)&&(kmh<102))  
Serial.print ("5,5 m\n");  
  
delay(1000);  
}
```

Αφού τελειώσουμε κάνουμε την αποσφαλμάτωση και ανεβάζουμε το πρόγραμμα στον μικροελεγκτή όπως ακριβώς πράξαμε με το επιταχυνσιόμετρο.



```
#define reed A0//σύνδεση read switch με A0

//δήλωση μεταβλητών
int reedVal;
long timer;//ο χρόνος μίας πλήρους περιστροφής
float kmh;
float radius =13.5;// ακτίνα κύκλου σε εκατοστά
float circumference;
const int chipSelect = 10;//επικοινωνία με το shield στο pin 10
int maxReedCounter = 170;//ο ελάχιστος χρόνος μίας περιστροφής σε ms (for debouncing)
int reedCounter;

void setup()
{
    reedCounter = maxReedCounter;
    circumference = 2*3.14*radius;
    pinMode(reed, INPUT);

    // το TIMER SETUP επιτρέπει τη λήψη συγκεκριμένων χρονικών μετρήσεων για το reed switch

    cli();//stop interrupts

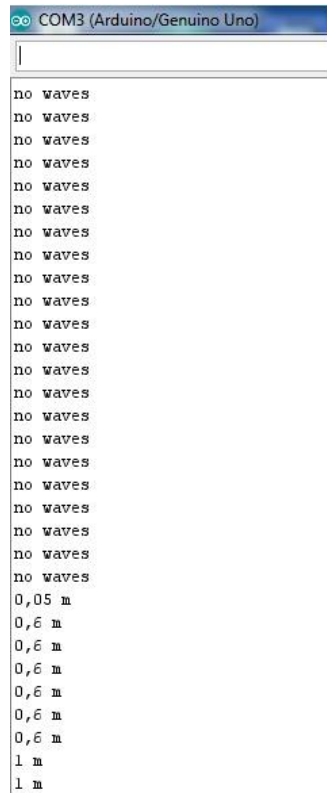
    //Βεβαιώστε το timer να διακοπεί στο 1kHz
}

Ολοκλήρωση μεταγλώττισης.

Το σχέδιο χρησιμοποιεί 3552 bytes (11%) του χώρου αποθήκευσης του προγράμματος. Το μέγιστο
Οι καθολικές μεταβλητές χρησιμοποιούν 254 bytes (12%) δυναμικής μνήμης, αφήνοντας 1794 byt
```

Εικόνα 17

Στη συνέχεια πατάμε την παρακολούθηση της σειριακής και βλέπουμε τα αποτελέσματα στην οθόνη μας.



```
COM3 (Arduino/Genuino Uno)
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
0,05 m
0,6 m
0,6 m
0,6 m
0,6 m
0,6 m
0,6 m
1 m
1 m
```

Εικόνα 18

Παρατηρούμε ότι όταν το ανεμόμετρο δεν περιστρέφεται εμφανίζονται τα αποτελέσματα ‘no waves’, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει άνεμος άρα δεν έχουμε κυματισμό. Για τις δοκιμές μας το περιστρέψαμε χειροκίνητα και παρατηρήσαμε ότι τα αποτελέσματα στην οθόνη μας, που έχουν να κάνουν με το ύψος των κυμάτων, αλλάζουν ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής που είναι εξαρτώμενη με την κλίμακα μποφόρ που θα εξηγήσουμε στο κεφάλαιο 7 μετά από τις δοκιμές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Εφαρμογή

Η δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε μικρή απόσταση από την θάλασσα. Πραγματοποιήθηκαν για να ελέγξουμε κατά πόσο οι κατασκευές μας λειτουργούν σε πραγματικές συνθήκες και όχι για να εξάγουμε ακόμη συμπεράσματα σχετικά με τη σχέση μικροσεισμικών δονήσεων- ύψους κύματος.

Δοκιμή 1^η

Η πρώτη δοκιμή πραγματοποιήθηκε 17/02/17 στις 11:30πμ. Στην περιοχή είχαμε ήρεμη θάλασσα με μικρή ένδειξη ελαφρού κυματισμού.

Τα αποτελέσματα από τους δύο σταθμούς αποτυπώθηκαν ως εξής:

Σταθμός μέτρησης ανέμων/ κυμάτων
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
0,05m
0,05m
0,05m
no waves

Σταθμός μέτρησης μικροσεισμών		
X	Y	Z
0,00	-0,43	9,81
0,00	-0,43	9,69
-0,04	-0,47	9,77
-0,04	0,35	9,77
0,00	-0,51	9,73
-0,04	0,43	9,73
-0,04	-0,43	9,86
0,00	-0,47	9,73
-0,16	-0,33	9,33
-0,20	-0,53	9,69
-0,23	-0,60	9,74

Παρατηρώντας τους πίνακες της πρώτης δοκιμής βλέπουμε ότι δεν είχαμε ιδιαίτερο κυματισμό, ο σταθμός μέτρησης αέρα/ κυμάτων εμφάνιζε αποτελέσματα 'no waves' με μία πολύ μικρή συχνότητα σε '0.05m' ύψος. Ο σταθμός μέτρησης μικροσεισμών εντόπιζε μικρές δονήσεις.

0,43	-0,12	9,38
0,39	-0,20	9,45
0,43	-0,20	9,41
0,35	-0,20	9,26
0,35	-0,08	9,38
0,35	-0,08	9,41
0,39	-0,08	9,41
0,35	-0,08	9,41
0,35	-0,16	9,41
0,39	-0,12	9,41
0,35	-0,27	9,49
0,39	-0,12	9,30
0,39	-0,08	9,41
0,35	-0,12	9,41
0,39	-0,12	9,38
0,35	-0,04	9,38
0,35	-0,20	9,38
0,39	-0,12	9,41
0,39	-0,20	9,38
0,35	-0,16	9,38
0,35	-0,16	9,41
0,35	0,00	9,10
0,39	-0,12	9,22
0,35	-0,12	9,38
0,39	-0,27	9,38
0,39	-0,20	9,41
0,39	-0,20	9,38
0,39	-0,16	9,41
0,39	-0,31	9,38

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι ο σταθμός μέτρησης ανέμων/κυμάτων δεν περιστράφηκε καθόλου με αποτέλεσμα να εμφανίζει ‘no waves’ καθ’ όλη τη διάρκεια της ωριαίας δοκιμής. Ο σταθμός μέτρησης μικροσεισμικών δονήσεων εμφάνιζε δραστηριότητα πράγμα που πιθανόν δικαιολογούσε τη μικρή αναταραχή με εμφάνιση ελαφρύ κυματισμού.

Δοκιμή 3^η

Η τρίτη δοκιμή πραγματοποιήθηκε στις 19/02/2017 και ώρα 17:30. Η ένταση του ανέμου ήταν από πολύ χαμηλή έως ανύπαρκτη. Η θάλασσα ήταν ήρεμη χωρίς καθόλου αναταράξεις. Τα δεδομένα που προέκυψαν από τους δύο σταθμούς είναι τα εξής:

Σταθμός μέτρησης ανέμων/ κυμάτων
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves
no waves

Σταθμός μέτρησης μικροσεισμών		
X	Y	Z
0,27	-0,67	9,34
0,27	-0,71	9,34
0,24	-0,63	9,34
0,27	-0,67	9,30
0,24	-0,59	9,34
0,24	-0,67	9,30
0,24	-0,67	9,34
0,24	-0,67	9,30
0,20	-0,67	9,30
0,24	-0,63	9,30
0,27	-0,63	9,34
0,24	-0,63	9,34
0,24	-0,63	9,38

0,24	-0,63	9,30
0,24	-0,63	9,30
0,24	-0,63	9,30

Κατά την διάρκεια της 3^{ης} δοκιμής στην περιοχή δεν έπνεαν καθόλου άνεμοι. Οι αναταράξεις που εντοπίστηκαν με τη βοήθεια του σταθμού μέτρησης μικροσεισμών ήταν πάρα πολύ μικρές. Βάση αυτών των αποτελεσμάτων και συγκρίνοντας την 3^η δοκιμή με την 1^η και 2^η που υπήρχε κυματισμός παρόλο που δεν υπήρχε άνεμος, εύκολα συμπεραίνουμε ότι ο κυματισμός και οι σεισμικές δονήσεις είναι δύο αλληλοεξαρτώμενες μεταβλητές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – Ψηφιακή επεξεργασία σήματος

Όπως προαναφέραμε η μέτρηση των μικροσεισμών για τον υπολογισμό του ύψους των κυμάτων αποτελεί μία πειραματική εφαρμογή που χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση . Μία μέθοδος που θα μας παρέχει αυτά τα αποτελέσματα που χρειαζόμαστε για να υπολογίσουμε τον βαθμό αξιοπιστίας του είναι η ψηφιακή επεξεργασία σήματος.

Στην ψηφιακή επεξεργασία σήματος θα ασχοληθούμε με την αναπαράσταση των δεδομένων που μας παρέχει η συσκευή μικροσεισμικών δονήσεων και στη συνέχεια θα τα αναλύσουμε έτσι ώστε να βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων καθώς και τη σχέση τους με τα θαλάσσια κύματα.

Για την συλλογή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήσαμε τη συσκευή συνδεδεμένη με το λογισμικό arduino με τη βοήθεια ενός φορητού υπολογιστή . Στη συνέχεια τα αποτελέσματα που εμφανιζόταν στην οθόνη μεταφέρθηκαν για επεξεργασία σε ένα φύλο excel. Στη συνέχεια με τη χρήση του γρήγορου μετασχηματισμού Φουριέρ ή FFT, προχωρήσαμε στην ανάλυση των δεδομένων ομοιόμορφα κατανεμημένα στον χώρο και το χρόνο.

Εφαρμογές στην επεξεργασία σήματος

Η ψηφιακή επεξεργασία σήματος βρίσκει εφαρμογή σε ένα πλήθος εργασιών όπως επεξεργασία και συμπίεση ήχου, ψηφιακή επεξεργασία εικόνας και ομιλίας, ψηφιακές επικοινωνίες, ραντάρ, σόναρ, σεισμολογία, βιοϊατρική, συμπίεση βίντεο κα.

Παραδείγματα που συναντούμε στην καθημερινότητα μας είναι η συμπίεση ομιλίας και μετάδοσης σε ψηφιακά κινητά τηλέφωνα, η διόρθωση του ήχου σε συσκευές υψηλής έντασης ήχου, η πρόγνωση καιρού, η οικονομική πρόβλεψη, η ιατρική απεικόνιση, η συμπίεση αρχείων ήχου και η επεξεργασία σεισμικών δεδομένων που θα μας απασχολήσει στην έρευνά μας.

Ανάλυση Φουριέρ

Η ανάλυση Fourier είναι μία μαθηματική τεχνική, επεξεργασίας και ανάλυσης ψηφιακού σήματος, που εξετάζει πως σύνθετες λειτουργίες μπορούν να κατασκευαστούν με απλούστερες λειτουργίες. Είναι επίσης γνωστή ως κλασσική αρμονική ανάλυση. Ονομάστηκε από τον Joseph Fourier ο οποίος τον χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τον 19ο αιώνα. Η ίδια η διαδικασία ονομάζεται μετασχηματισμός Fourier. Η ανάλυση Fourier χρησιμοποιείται ευρέως σε τομείς όπως η φυσική, οι μερικές διαφορικές εξισώσεις, η θεωρία αριθμών, η συνδυαστική, η επεξεργασία σήματος, η απεικόνιση, η θεωρία πιθανοτήτων, οι στατιστικές, η τιμολόγηση των επιλογών, η κρυπτογραφία, η αριθμητική ανάλυση, η ακουστική, η οκεανογραφία, η ανάλυση δομής πρωτεϊνών κτλ.

Η ανάλυση Fourier περιλαμβάνει ένα τεράστιο φάσμα μαθηματικών. Στις επιστήμες και στη μηχανική, η διαδικασία αποσύνθεσης μιας συνάρτησης σε ταλαντευτικά συστατικά ονομάζεται συχνά ανάλυση Fourier, ενώ η λειτουργία της ανασύστασης από αυτά τα κομμάτια είναι γνωστή ως σύνθεση Fourier. Η διαδικασία αποσύνθεσης ονομάζεται μετασχηματισμός Fourier. Η έξοδος του, δηλαδή ο μετασχηματισμός Fourier, λαμβάνει συχνά ένα πιο συγκεκριμένο όνομα, το οποίο εξαρτάται από τον τομέα και άλλες ιδιότητες της μετασχηματισμένης συνάρτησης. Επίσης η αρχική έννοια της ανάλυσης Fourier έχει επεκταθεί με την πάροδο του χρόνου ώστε να εφαρμόζεται σε όλο και πιο αφηρημένες καταστάσεις με το γενικό πεδίο είναι συχνά γνωστό ως αρμονική ανάλυση. Κάθε

μετασχηματισμός που χρησιμοποιείται για μια ανάλυση έχει και ένα αντίστοιχο αντίστροφο μετασχηματισμό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση Φουριέ.

Υλοποίηση γρήγορου μετασχηματισμού Φουριέρ FFT

Για την υλοποίηση του αλγορίθμου συλλέξαμε δεδομένα σε πραγματικές συνθήκες, σε μικρή απόσταση από τη θάλασσα, διαφορετικές ημέρες και με αλλαγές στην κατάσταση του κυματισμού και του ανέμου της περιοχής. Στη συνέχεια εισάγαμε όλα τα δεδομένα σε ένα φύλλο excel και προχωρήσαμε στην ανάλυσή τους με τη βοήθεια της ανάλυσης Fourier[16].

Συγκέντρωση και ανάλυση δεδομένων

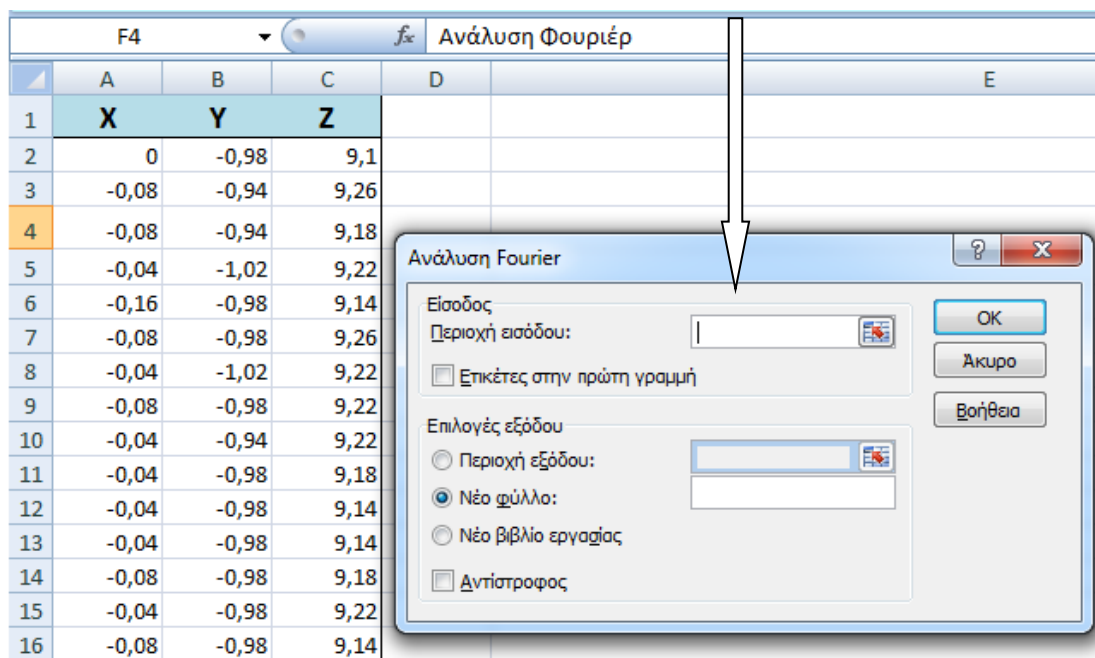
Δοκιμή 1^η 16/4/17

X	Y	Z
0	-0,98	9,1
-0,08	-0,94	9,26
-0,08	-0,94	9,18
-0,04	-1,02	9,22
-0,16	-0,98	9,14
-0,08	-0,98	9,26
-0,04	-1,02	9,22
-0,08	-0,98	9,22
-0,04	-0,94	9,22
-0,04	-0,98	9,18
-0,04	-0,98	9,14
-0,04	-0,98	9,14
-0,08	-0,98	9,18
-0,04	-0,98	9,22
-0,08	-0,98	9,14
-0,08	-0,98	9,22
-0,04	-0,94	9,22
-0,08	-0,98	9,18
-0,12	-1,06	9,14
-0,08	-0,98	9,26
-0,12	-0,98	9,18
-0,08	-0,9	9,18
-0,08	-0,98	9,18

-0,08	-1,02	9,22	-0,04	-0,98	9,22
-0,08	-0,94	9,18	-0,08	-1,02	9,18
-0,04	-0,98	9,18	-0,04	-1,02	9,22
-0,12	-0,98	9,22	-0,12	-1,02	9,22
-0,08	-0,94	9,14	-0,12	-0,98	9,18
-0,04	-0,98	9,18	-0,08	-0,98	9,14
			-0,08	-1,02	9,18
			-0,16	-0,94	9,22
			-0,08	-0,98	9,18
			-0,04	-0,94	9,18
			-0,08	-0,98	9,18
			-0,04	-0,98	9,22
			-0,08	-0,98	9,18
			-0,04	-0,98	9,22
			0	-0,94	9,18
			-0,08	-0,98	9,18
			-0,04	-0,98	9,18
			-0,08	-0,98	9,18
			-0,04	-0,98	9,22
			-0,04	-0,98	9,18
			-0,04	-0,94	9,14
			-0,12	-0,94	9,18
			-0,12	-0,98	9,1
			-0,08	-0,94	9,14
			-0,04	-0,98	9,18
			-0,08	-0,98	9,18
			-0,08	-0,75	8,98
			-0,08	-1,02	9,3
			-0,04	-0,98	9,14
			-0,12	-0,98	9,18
			-0,08	-0,98	9,22
			-0,08	-0,98	9,22
			-0,12	-0,98	9,18
			-0,08	-0,98	9,18
			-0,08	-0,98	9,18

Αφού εισάγαμε τα δεδομένα επιλέξαμε από την γραμμή εργαλείων Δεδομένα- Ανάλυση δεδομένων- Ανάλυση Fourier. Επιλέγουμε 64 στοιχεία από τον πίνακα γιατί τα δεδομένα μας σε κάθε περίπτωση πρέπει να είναι δυνάμεις του 2 πχ. 2, 4, 8, 16,32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096.

Στην περιοχή εισόδου επιλέγουμε ξεχωριστά τους άξονες X,Y και Z.



Εικόνα 19

Η ανάλυση φουριέρ παράγει τα εξής αποτελέσματα:

Ανάλυση Φουριέρ		
X	Y	Z
-4,64	-62,33	587,84
7,38388868412311E-002+5,9942759226794E-002i	0,188401168314769+0,283937048570478i	-0,121574225471515-0,320626603979458i
-0,212823301317978-0,319778846691989i	-0,230306578724514+0,20358676613793i	0,253742884793867-0,266777175337633i
3,8005317598974E-002-0,246123283370376i	-2,61953005826279E-002+8,59430127944068E-003i	0,338318127074034-1,96986109144395E-002i
-0,140706940879506+0,464357411674824i	-0,298710224891777-0,153005772679737i	-1,51652312444907E-002+9,56032578249738E-002i
0,116923056824806-0,166326632046843i	0,309057516189725-6,87760418339226E-002i	-0,402275341652024-5,06577751616762E-002i
0,189278846244563+4,9724	0,101676945269775-	-

7096802251E-002i	0,156997531366074i	0,343043082629184+6,05816268731489E-002i
0,235587953119709-0,135154963719346i	0,284330616775576+3,13565234870037E-003i	-0,283038097751923-4,83847517467105E-002i
0,331715728752538+0,131715728752538i	6,60660171779824E-002+6,60660171779822E-002i	8,68629150101577E-002+0,153137084989837i
0,15414813949356-0,117058138634206i	0,272656442360579+7,69208681239256E-002i	2,90731720015847E-002-0,130068288304244i
-0,130357780367233-3,92146746084632E-002i	-0,212653776281903-0,1414215807907i	8,3694666847153E-002-0,157989014257176i
0,169871608619472-0,123188329369147i	-0,47621399275324-2,51615868552793E-002i	0,109502609807102-0,394636173538545i
0,211740110296147-0,116453442676157i	0,152612844195407-0,265301600915168i	-1,00303080067684E-002+0,126719671038478i
0,142889500379041+0,220869306858692i	0,137773446515494-0,268343990271457i	-0,203291955084243-0,109955590322292i
-0,327738005452447-0,126234118503311i	3,95184587528812E-002-0,10429253462564i	-0,154766188342438-0,123760655114725i
0,102606347789552-6,89700104809276E-002i	0,21843327947288+0,385674667447393i	-0,228122443375989-0,167361096014591i
4E-002-4E-002i	0,16-9,99999999999979E-003i	0,239999999999981-0,15999999999997i
9,40979641987524E-002-2,56743224692318E-002i	-0,309009694159479-8,37856274271786E-002i	6,3731448521531E-002-0,245184127151593i
4,80095444392076E-002+0,444731576260216i	-0,273428821353785-9,24485108580181E-002i	-2,72364384470284E-002-7,43753297039339E-002i
-7,41453756914994E-003+0,116344269668582i	-0,136642674776965-0,272126867656438i	-0,386561198237554+0,695287749506312i
9,45340596835487E-002+0,363546557323843i	-0,176044301700484-0,368733058420244i	-0,107126979518623+0,230151128543553i
0,174653428570637-0,227713366559257i	0,27193798333801-5,67115788060994E-002i	-0,57573509242256-0,226229610543235i
-4,5555209023139E-002+0,311192173037795i	2,20391016926959E-002+0,160309507012008i	-0,2396257012244-0,311899376858075i
0,129147548518136-7,37624506225099E-002i	-9,06465183527464E-002+0,611008348051086i	0,12258540488041-0,314089355919004i
0,388284271247462-0,188284271247462i	-0,146066017177982+0,146066017177983i	0,313137084989848+7,3137084989853E-002i
4,77077348919855E-002-0,178450651731042i	-0,332886249749863-0,171238197073901i	0,199840850219684-8,88618867253722E-002i
5,29083131255041E-002-0,372416782632907i	-0,231062270680568-1,52664435633641E-002i	-4,73000529732535E-002+6,66712642722449E-002i
0,227601980365304-6,18015948567335E-002i	0,377405652595572-0,366328664777675i	-3,7494806725458E-002+0,112468518019346i
-5,56722910018853E-003-1,5642588325176E-002i	0,162141682396853+6,35627698151863E-002i	-0,667677481230128-0,120965284669944i

9,7469645210915E-002-0,141598246180266i	8,91515394537252E-002+9,76313028406099E-002i	-0,481284852698396-0,218558050839218i
0,106277592351522+0,118638508112147i	0,144216941325418+0,375430789905551i	-0,165466088024705-0,377391849926838i
0,122865425147073+1,66470712150978E-002i	- 0,137553214641407+0,104837934285228i	-6,36735990847039E-002-0,613728212419443i
-0,4	-0,23	0
0,122865425147073-1,66470712150982E-002i	-0,137553214641408-0,104837934285227i	-6,36735990847011E-002+0,613728212419442i
0,106277592351522-0,118638508112148i	0,144216941325417-0,375430789905551i	- 0,165466088024703+0,377391849926838i
9,74696452109157E-002+0,141598246180266i	8,91515394537247E-002-9,76313028406105E-002i	- 0,481284852698395+0,21855805083922i
-5,56722910018905E-003+1,56425883251763E-002i	0,162141682396853-6,35627698151874E-002i	- 0,667677481230128+0,120965284669946i
0,227601980365304+6,18015948567327E-002i	0,377405652595574+0,366328664777674i	-3,74948067254589E-002-0,112468518019347i
5,29083131255053E-002+0,372416782632907i	- 0,231062270680568+1,52664435633647E-002i	-4,73000529732538E-002-6,66712642722455E-002i
4,77077348919863E-002+0,178450651731042i	- 0,332886249749862+0,171238197073904i	0,199840850219684+8,88618867253704E-002i
0,388284271247462+0,188284271247462i	-0,146066017177983-0,146066017177982i	0,313137084989848-7,31370849898532E-002i
0,129147548518136+7,37624506225097E-002i	-9,06465183527491E-002-0,611008348051086i	0,122585404880412+0,314089355919004i
-4,55552090231397E-002-0,311192173037794i	2,20391016926955E-002-0,160309507012009i	- 0,239625701224399+0,311899376858076i
0,174653428570638+0,227713366559257i	0,27193798333801+5,67115788060977E-002i	- 0,575735092422559+0,226229610543237i
9,45340596835479E-002-0,363546557323843i	- 0,176044301700483+0,368733058420244i	-0,107126979518624-0,230151128543553i
-7,41453756915054E-003-0,116344269668582i	- 0,136642674776964+0,272126867656439i	-0,386561198237557-0,695287749506311i
4,80095444392064E-002-0,444731576260216i	- 0,273428821353784+9,24485108580188E-002i	-2,72364384470283E-002+7,43753297039336E-002i
9,40979641987526E-002+2,5674322469232E-002i	- 0,309009694159479+8,37856274271804E-002i	6,3731448521532E-002+0,245184127151591i

4,00000000000001E-002+4E-002i	0,16+9,9999999999979E-003i	0,23999999999981+0,15999999999997i
0,102606347789552+6,89700104809276E-002i	0,218433279472878-0,385674667447395i	- 0,228122443375988+0,167361096014592i
- 0,327738005452446+0,126234118503311i	3,95184587528817E-002+0,10429253462564i	- 0,154766188342437+0,123760655114726i
0,14288950037904-0,220869306858692i	0,137773446515495+0,268343990271457i	- 0,203291955084244+0,109955590322292i
0,211740110296147+0,116453442676157i	0,152612844195408+0,265301600915168i	-1,00303080067693E-002-0,126719671038479i
0,169871608619472+0,123188329369147i	- 0,47621399275324+2,51615868552818E-002i	0,109502609807104+0,394636173538544i
- 0,130357780367233+3,92146746084634E-002i	- 0,212653776281903+0,141421580790701i	8,36946668471538E-002+0,157989014257175i
0,15414813949356+0,117058138634205i	0,272656442360578-7,69208681239264E-002i	2,90731720015857E-002+0,130068288304244i
0,331715728752538-0,131715728752538i	6,60660171779821E-002-6,60660171779826E-002i	8,68629150101575E-002-0,153137084989837i
0,23558795311971+0,135154963719346i	0,284330616775576-3,13565234870196E-003i	- 0,283038097751922+4,83847517467121E-002i
0,189278846244563-4,97247096802259E-002i	0,101676945269775+0,156997531366073i	-0,343043082629185-6,05816268731477E-002i
0,116923056824807+0,166326632046843i	0,309057516189725+6,8776041833922E-002i	- 0,402275341652025+5,06577751616776E-002i
-0,140706940879507-0,464357411674824i	- 0,298710224891776+0,153005772679738i	-1,51652312444909E-002-9,56032578249748E-002i
3,80053175989751E-002+0,246123283370376i	-2,61953005826282E-002-8,5943012794402E-003i	0,338318127074035+1,96986109144375E-002i
- 0,212823301317977+0,319778846691989i	-0,230306578724515-0,203586766137929i	0,253742884793868+0,266777175337632i
7,38388868412309E-002-5,99427592267934E-002i	0,188401168314768-0,283937048570479i	- 0,121574225471514+0,320626603979458i

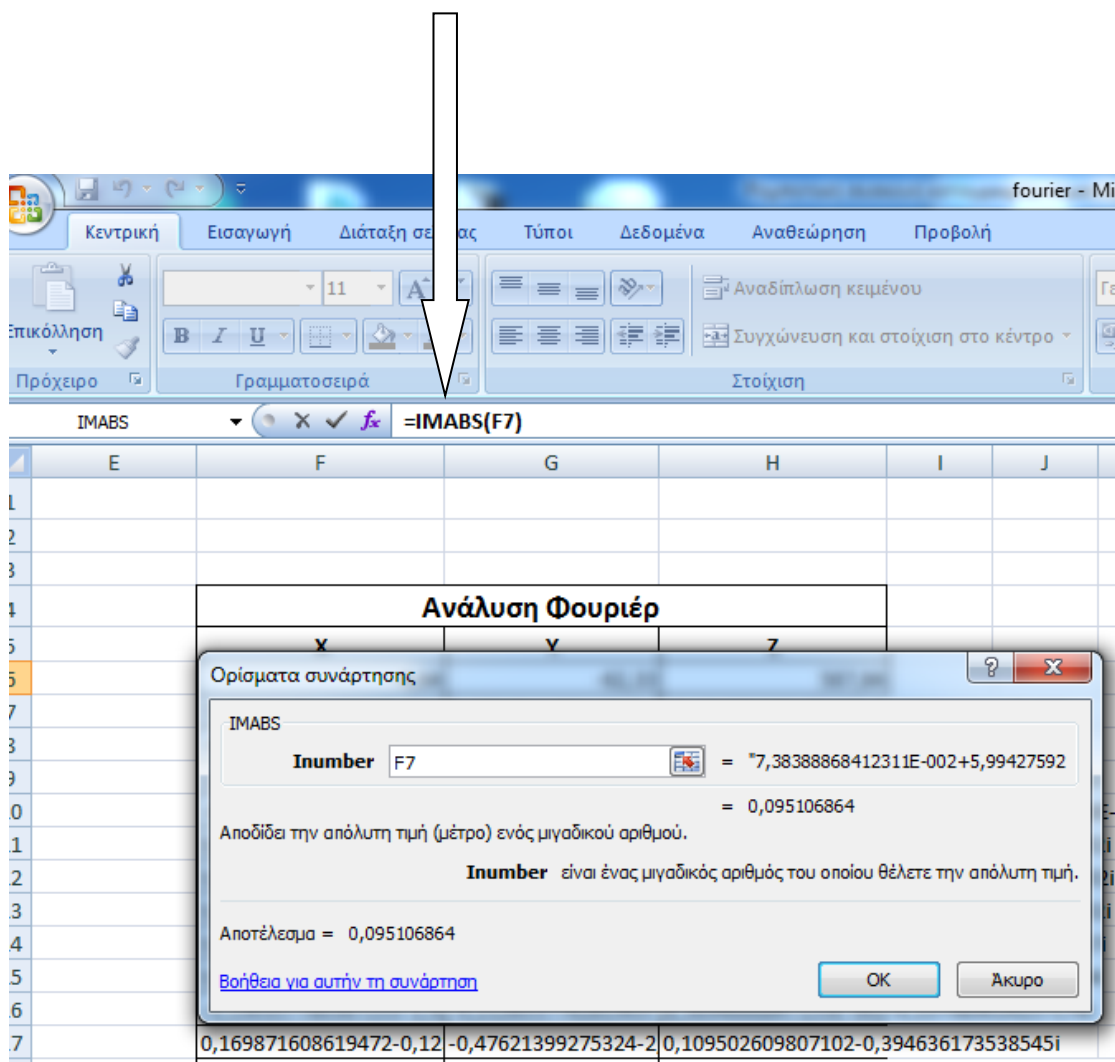
Για να αναπαραστήσουμε τα νούμερα από την ανάλυση Φουριέρ, χρησιμοποιήσαμε την συνάρτηση IMABS. Η IMABS αποδίδει την απόλυτη τιμή (μέτρο) ενός μιγαδικού

αριθμού σε μορφή κειμένου $x + yi$ ή $x + yj$. Η απόλυτη τιμή ενός μιγαδικού αριθμού δίνεται από τη σχέση:

$$\text{IMABS}(z) = |z| = \sqrt{x^2 + y^2}$$

όπου: $z = x + yi$

στο excel επιλέγουμε την συνάρτηση IMABS και στη συνέχεια τις στήλες της ανάλυσης Φουριέρ



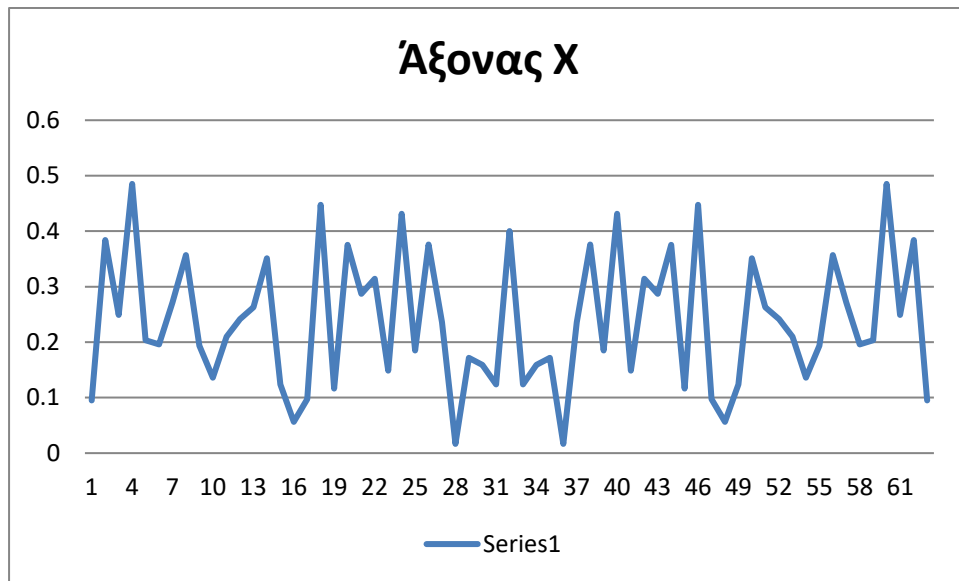
Εικόνα 20

άρα για τους 3 άξονες του αισθητήρα μικροσεισμικών δονήσεων έχουμε:

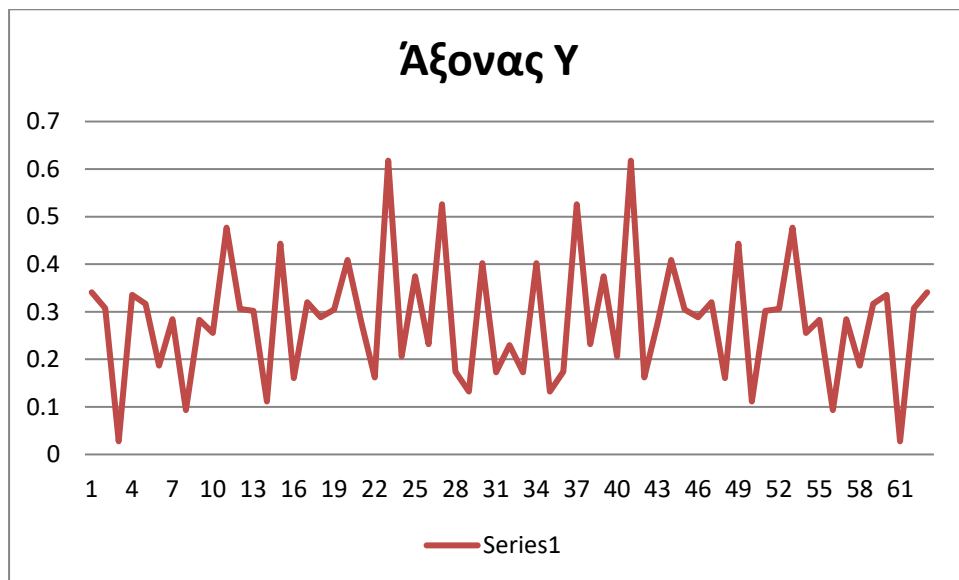
x	y	z
0,095107	0,340757	0,342902
0,384125	0,30739	0,368179
0,24904	0,027569	0,338891
0,485207	0,335617	0,096799
0,203311	0,316618	0,405452
0,195701	0,187047	0,348351
0,271604	0,284348	0,287144
0,356909	0,093431	0,176057
0,193557	0,283299	0,133278
0,136128	0,255385	0,178788
0,209837	0,476878	0,409547
0,241651	0,306065	0,127116
0,26306	0,301646	0,231123
0,351208	0,111529	0,198165
0,123632	0,443236	0,28293
0,056569	0,160312	0,288444
0,097538	0,320167	0,253332
0,447315	0,288635	0,079206
0,11658	0,304507	0,795522
0,375637	0,408602	0,253862
0,286979	0,277789	0,618588
0,314509	0,161817	0,393321
0,148728	0,617696	0,337164
0,431527	0,206569	0,321565
0,184718	0,374347	0,218707
0,376156	0,231566	0,081746
0,235843	0,525958	0,118554
0,016604	0,174156	0,678547
0,171902	0,132211	0,528586
0,15928	0,402178	0,412072
0,123988	0,172951	0,617022
0,4	0,23	0
0,123988	0,172951	0,617022
0,15928	0,402178	0,412072
0,171902	0,132211	0,528586
0,016604	0,174156	0,678547
0,235843	0,525958	0,118554
0,376156	0,231566	0,081746
0,184718	0,374347	0,218707
0,431527	0,206569	0,321565

0,148728	0,617696	0,337164
0,314509	0,161817	0,393321
0,286979	0,277789	0,618588
0,375637	0,408602	0,253862
0,11658	0,304507	0,795522
0,447315	0,288635	0,079206
0,097538	0,320167	0,253332
0,056569	0,160312	0,288444
0,123632	0,443236	0,28293
0,351208	0,111529	0,198165
0,26306	0,301646	0,231123
0,241651	0,306065	0,127116
0,209837	0,476878	0,409547
0,136128	0,255385	0,178788
0,193557	0,283299	0,133278
0,356909	0,093431	0,176057
0,271604	0,284348	0,287144
0,195701	0,187047	0,348351
0,203311	0,316618	0,405452
0,485207	0,335617	0,096799
0,24904	0,027569	0,338891
0,384125	0,30739	0,368179
0,095107	0,340757	0,342902

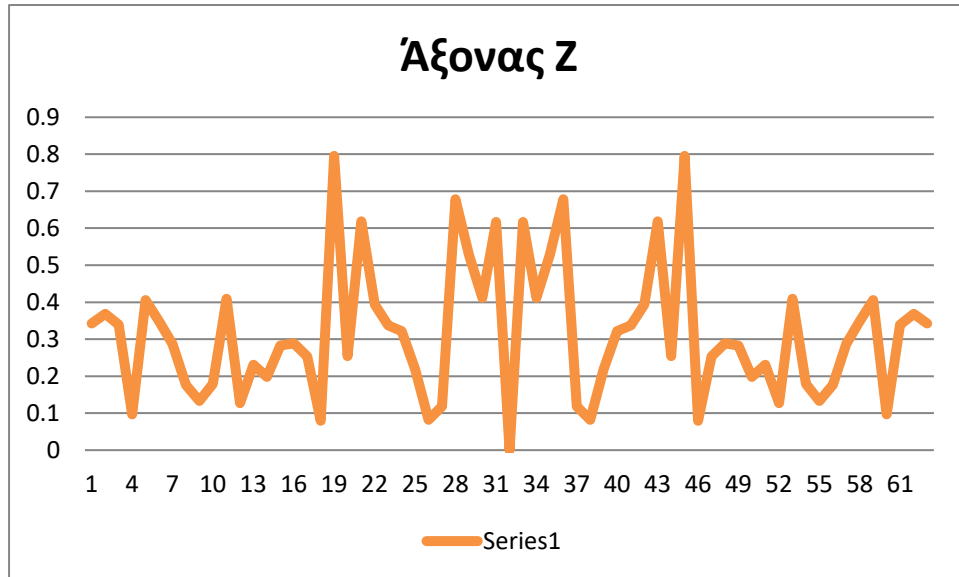
Διάγραμμα μεταβολής άξονα X:



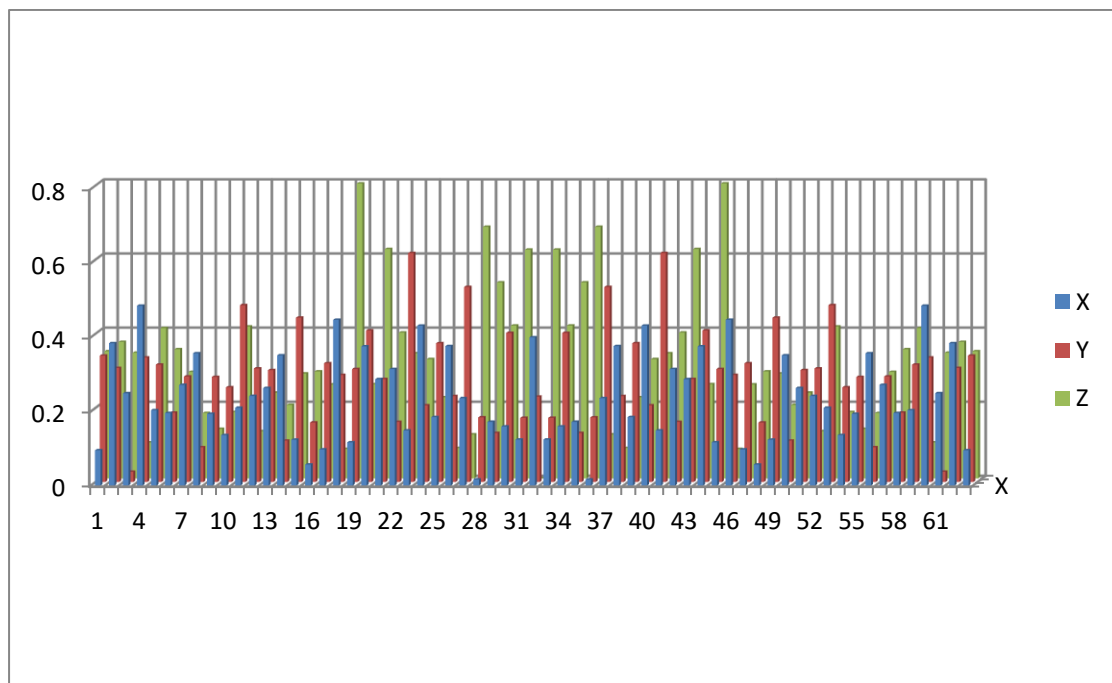
Διάγραμμα μεταβολής άξονα Y:



Διάγραμμα μεταβολής άξονα Z:



Συγκεντρωτικό διάγραμμα αξόνων X,Y και Z



Για την ακριβή μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου, συγκρίναμε τα αποτελέσματα του ανεμόμετρου με τα δεδομένα των αποτελεσμάτων του meteo.gr.

Η ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή, σύμφωνα με το meteo.gr, ήταν κατά μέσο όρο 3 km/h. Οι ενδείξεις του ανεμόμετρου συνέπιπταν με το μέσο όρο με τις μετρήσεις να καταγράφουν 1 έως 5 km/h άρα το ύψος των κυμάτων ήταν από 5 έως 50 cm. Οι μικροσεισμικές δονήσεις στην περιοχή, ταλάντωναν το επιταχυνσιόμετρο με σχετικά μικρές αποκλίσεις όπως φαίνεται από την ανάλυση Φουριέρ.

Για λόγους συντομίας στις επόμενες δοκιμές θα απεικονίζονται μόνο τα αποτελέσματα της ανάλυσης Φουριέρ και το συγκεντρωτικό διάγραμμα των αξόνων X, Y και Z.

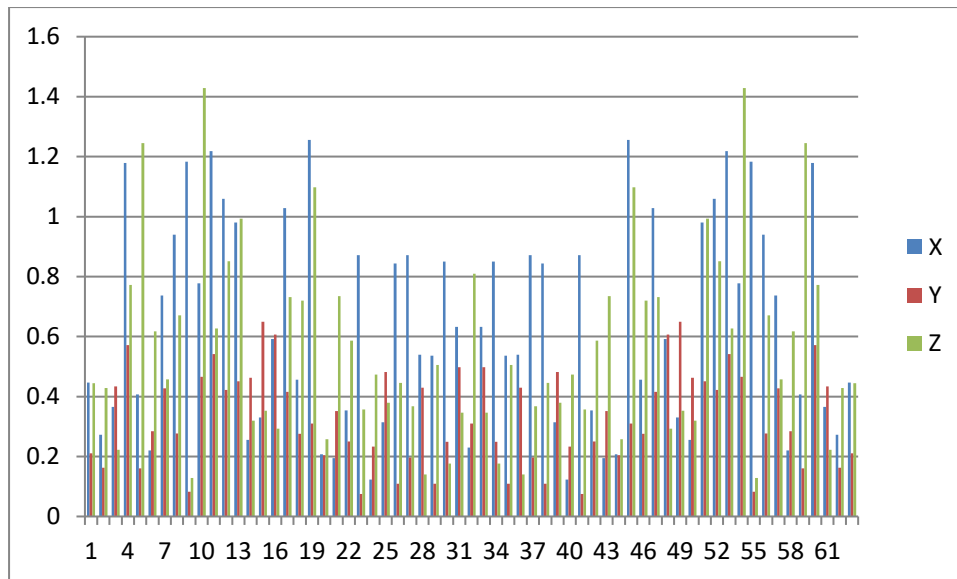
Δοκιμή 2^η 21/4/17

Η δεύτερη δοκιμή πραγματοποιήθηκε με ανέμους περίπου 3 Μποφόρ και προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

X	Y	Z
-0,04	0,33	9,26
-0,08	0,28	9,26
-0,12	0,28	9,32
-0,08	0,28	9,26
-0,22	0,42	9,26
-0,04	0,28	9,2
-0,04	0,28	9,34
-0,04	0,32	9,34
-0,28	0,45	9,34
-0,08	0,28	9,54
-0,08	0,3	9,26
-0,04	0,28	9,2
-0,12	0,32	9,34
-0,08	0,28	9,34
-0,08	0,28	9,22
-0,04	0,28	9,22
-0,04	0,28	9,18
-0,04	0,28	9,14
-0,08	0,28	9,26
-0,31	0,33	9,46
-0,08	0,42	9,32
-0,08	0,28	9,26
-0,04	0,28	9,26
-0,04	0,28	9,26
-0,36	0,38	9,36
-0,16	0,46	9,26
-0,04	0,28	9,26
-0,04	0,28	9,26
-0,08	0,28	9,18

-0,08	0,28	9,18
-0,08	0,28	9,18
-0,28	0,32	9,14
-0,04	0,28	9,26
-0,04	0,28	9,54
-0,04	0,32	9,26
-0,08	0,32	9,3
-0,08	0,28	9,26
-0,04	0,28	9,26
-0,42	0,36	9,26
-0,34	0,28	9,38
-0,08	0,28	9,26
-0,08	0,28	9,16
-0,08	0,32	9,16
-0,08	0,46	9,34
-0,08	0,31	9,3
-0,16	0,31	9,26
-0,04	0,28	9,26
-0,04	0,28	9,26
-0,08	0,28	9,16
-0,08	0,28	9,26
-0,04	0,28	9,34
-0,04	0,32	9,42
-0,04	0,32	9,26
-0,16	0,32	9,26
-0,08	0,28	9,26
-0,34	0,28	9,26
-0,08	0,34	9,16
-0,08	0,28	9,26
-0,04	0,28	9,3
-0,04	0,28	9,3
-0,04	0,28	9,26
-0,16	0,28	9,26
-0,08	0,28	9,26
-0,08	0,28	9,33

Στη συνέχεια προχωρήσαμε στην ανάλυση των δεδομένων και αναπαραστήσαμε τα αποτελέσματα με τα γραφήματα ομοίως με την δοκιμή 1:



Η ταχύτητα ανέμου ήταν κατά μέσο όρο 12 km/h και σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ανεμόμετρου, το ύψος των κυμάτων ήταν 60cm. Παρατηρούμε μεγαλύτερη διακύμανση στα αποτελέσματα των αξόνων X,Y,Z πράγμα που σημαίνει ότι η έντονη συμπεριφορά του κυματισμού ίσως είναι αποτέλεσμα των μικροσεισμικών δονήσεων της περιοχής σε συνδυασμό με τους ανέμους.

Δοκιμή 3^η 30/4/17

Στην τρίτη δοκιμή μετά τη χρήση της συνάρτησης IMABS προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

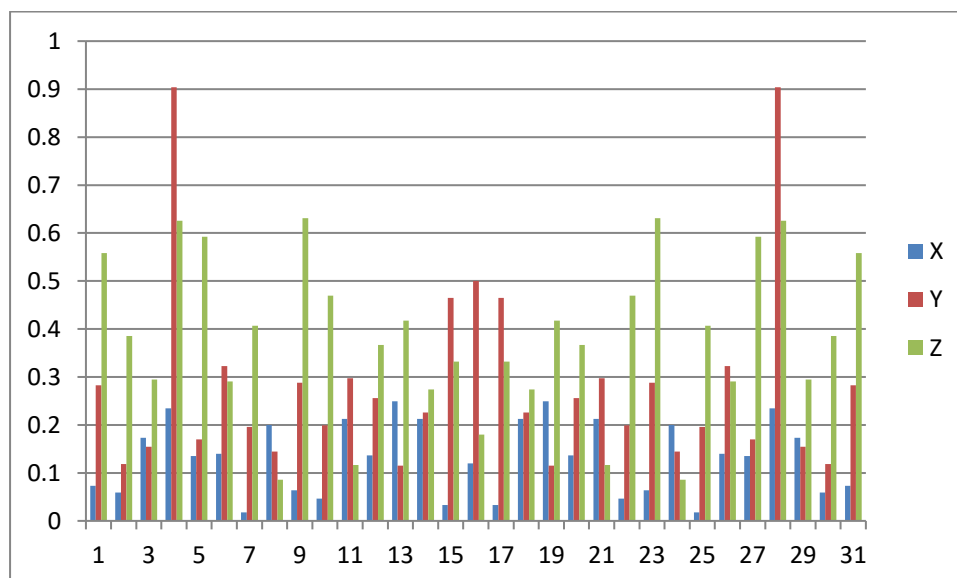
X	Y	Z
0,31	-0,12	9,26
0,39	-0,12	9,38
0,35	-0,12	9,41
0,35	-0,16	9,41
0,43	-0,12	9,38
0,39	-0,20	9,45
0,43	-0,20	9,41
0,35	-0,20	9,26
0,35	-0,08	9,38
0,35	-0,08	9,41
0,39	-0,08	9,41
0,35	-0,08	9,41

0,35	-0,16	9,41
0,39	-0,12	9,41
0,35	-0,27	9,49
0,39	-0,12	9,30
0,39	-0,08	9,41
0,35	-0,12	9,41
0,39	-0,12	9,38
0,35	-0,04	9,38
0,35	-0,20	9,38
0,39	-0,12	9,41
0,39	-0,20	9,38
0,35	-0,16	9,38
0,35	-0,16	9,41
0,35	0,00	9,10
0,39	-0,12	9,22
0,35	-0,12	9,38
0,39	-0,27	9,38
0,39	-0,20	9,41

IMABS

X	Y	Z
0,07299	0,2825	0,558026
0,059019	0,118427	0,385607
0,172937	0,154287	0,294373
0,234312	0,903668	0,625741
0,135145	0,169802	0,591943
0,139538	0,32252	0,290667
0,01749	0,19603	0,406754
0,2	0,144222	0,086023
0,063842	0,287774	0,630716
0,046397	0,199238	0,469725
0,212756	0,297385	0,116237
0,136741	0,255705	0,366671
0,249342	0,115264	0,417551
0,212822	0,225964	0,27382
0,03291	0,464533	0,331728
0,12	0,5	0,18
0,03291	0,464533	0,331728
0,212822	0,225964	0,27382
0,249342	0,115264	0,417551
0,136741	0,255705	0,366671
0,212756	0,297385	0,116237

0,046397	0,199238	0,469725
0,063842	0,287774	0,630716
0,2	0,144222	0,086023
0,01749	0,19603	0,406754
0,139538	0,32252	0,290667
0,135145	0,169802	0,591943
0,234312	0,903668	0,625741
0,172937	0,154287	0,294373
0,059019	0,118427	0,385607
0,07299	0,2825	0,558026

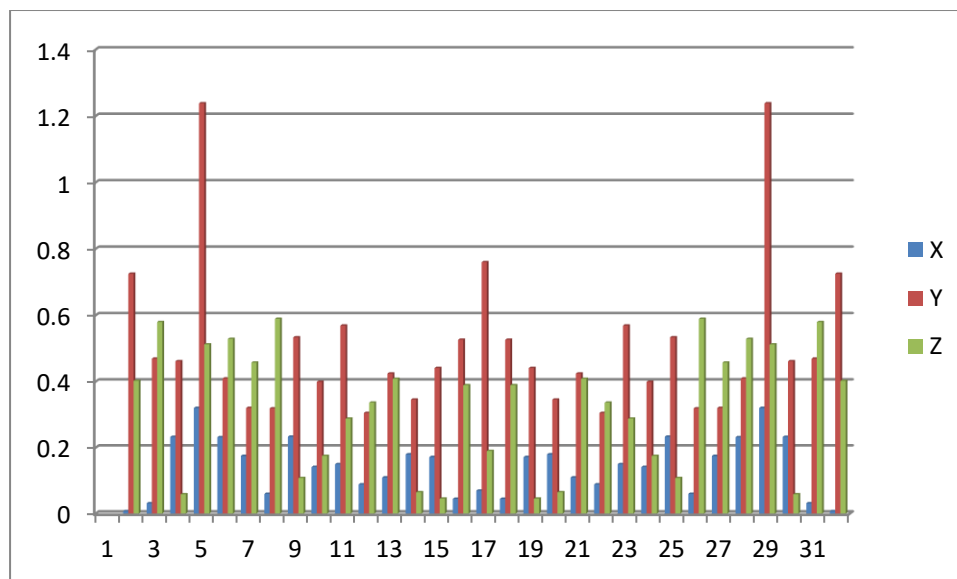


Η ταχύτητα ανέμου ήταν κατά μέσο όρο 4 km/h. Το ύψος των κυμάτων ήταν από μηδαμινό έως 0,05m. Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα η κίνηση των αξόνων περιοριστική σε μικρές ταλαντεύσεις με μοναδική διαφορά δύο μετρήσεις στον άξονα Y οι οποίες θεωρούνται μεμονωμένες και δεν επηρεάζουν το συνολικό αποτέλεσμα.

Δοκιμή 4^η 3/5/17

X	Y	Z
0,007668	0,725091	0,402413
0,031709	0,469584	0,57985
0,232567	0,46175	0,05872
0,320242	1,238289	0,512348
0,231552	0,409564	0,528924
0,174978	0,320242	0,457824
0,060085	0,318976	0,589363
0,233452	0,533667	0,108167
0,141481	0,399339	0,175165
0,149988	0,569124	0,2879
0,088926	0,304971	0,336436
0,10975	0,424547	0,408533
0,179673	0,345704	0,064969
0,1717	0,441173	0,045648
0,044946	0,526451	0,389118
0,07	0,76	0,19
0,044946	0,526451	0,389118
0,1717	0,441173	0,045648
0,179673	0,345704	0,064969
0,10975	0,424547	0,408533
0,088926	0,304971	0,336436
0,149988	0,569124	0,2879
0,141481	0,399339	0,175165
0,233452	0,533667	0,108167
0,060085	0,318976	0,589363
0,174978	0,320242	0,457824
0,231552	0,409564	0,528924
0,320242	1,238289	0,512348
0,232567	0,46175	0,05872
0,031709	0,469584	0,57985
0,007668	0,725091	0,402413

Συγκεντρωτικό διάγραμμα X,Y και Z.



Η ταχύτητα των ανέμων μετρήθηκε στα 4km/h με το ύψος των κυμάτων να μην ξεπερνάει τα 0,05m. Στο συγκεντρωτικό διάγραμμα παρατηρούμε μία ομοιόμορφη κατανομή των αποτελεσμάτων. Μοναδικές εξαιρέσεις αποτελούν 2 σημεία του άξονα Y πράγμα που σημαίνει πως δεν επηρεάζεται το συνολικό αποτέλεσμα.

Δοκιμή 5^η 4/5/17

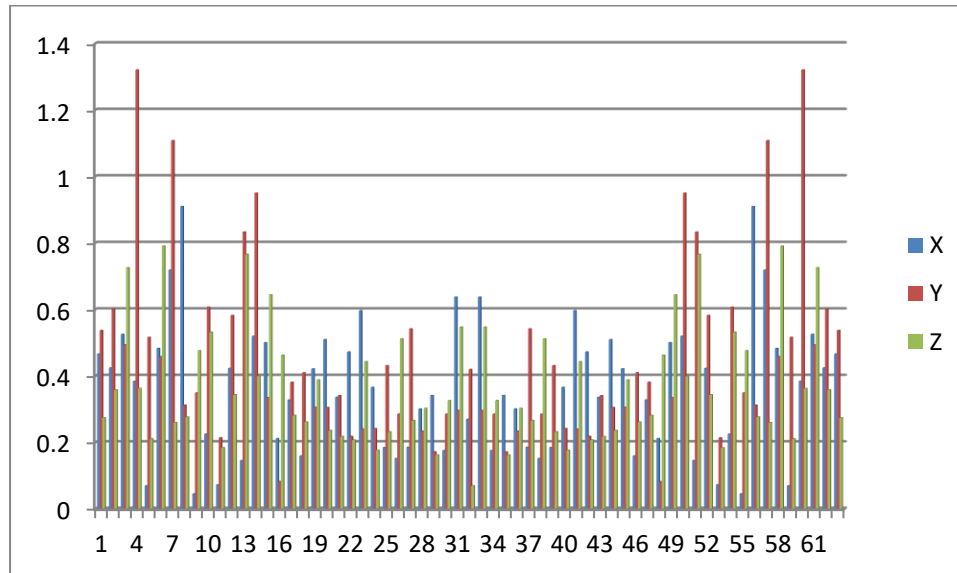
Αποτελέσματα μετά τη χρήση της συνάρτησης IMABS

X	Y	Z
0,466206	0,537051	0,274702
0,424167	0,601285	0,358433
0,525558	0,493702	0,725745
0,384246	1,320598	0,362735
0,070033	0,516475	0,211358
0,482762	0,458193	0,790828
0,718437	1,107817	0,260144
0,909916	0,312276	0,276636
0,045387	0,349199	0,475972
0,225425	0,607123	0,531821
0,072762	0,214158	0,184251
0,422897	0,582004	0,343826
0,145683	0,833047	0,765979
0,519448	0,949981	0,399747
0,500106	0,334909	0,644297

0,211896	0,082462	0,462709
0,327905	0,381222	0,281219
0,159587	0,409547	0,26156
0,421299	0,306058	0,388396
0,509396	0,305162	0,236171
0,33602	0,340795	0,217731
0,472184	0,218122	0,207562
0,596368	0,240591	0,44307
0,365858	0,241834	0,176841
0,1851	0,431162	0,231831
0,151809	0,285509	0,511591
0,185682	0,541722	0,266303
0,300714	0,2336	0,302705
0,341285	0,17163	0,162817
0,17581	0,285364	0,325984
0,637422	0,296054	0,546919
0,27	0,42	0,07
0,637422	0,296054	0,546919
0,17581	0,285364	0,325984
0,341285	0,17163	0,162817
0,300714	0,2336	0,302705
0,185682	0,541722	0,266303
0,151809	0,285509	0,511591
0,1851	0,431162	0,231831
0,365858	0,241834	0,176841
0,596368	0,240591	0,44307
0,472184	0,218122	0,207562
0,33602	0,340795	0,217731
0,509396	0,305162	0,236171
0,421299	0,306058	0,388396
0,159587	0,409547	0,26156
0,327905	0,381222	0,281219
0,211896	0,082462	0,462709
0,500106	0,334909	0,644297
0,519448	0,949981	0,399747
0,145683	0,833047	0,765979
0,422897	0,582004	0,343826
0,072762	0,214158	0,184251
0,225425	0,607123	0,531821
0,045387	0,349199	0,475972
0,909916	0,312276	0,276636
0,718437	1,107817	0,260144
0,482762	0,458193	0,790828
0,070033	0,516475	0,211358
0,384246	1,320598	0,362735
0,525558	0,493702	0,725745

0,424167	0,601285	0,358433
0,466206	0,537051	0,274702

Συγκεντρωτικό διάγραμμα X,Y και Z.



Η ταχύτητα των ανέμων στην περιοχή ήταν κατά μέσο όρο 4km/h. Σύμφωνα με τις μετρήσεις του ανεμόμετρου το ύψος των κυμάτων θα έπρεπε να μην ξεπερνάει τα 5 με 10 cm. Παρ' όλα αυτά σε μερικές περιπτώσεις εύκολα εντοπίζαμε κύματα με ύψος που ξεπερνούσε τα 50 cm. Μελετώντας τα αποτελέσματα του σταθμού μικροσεισμικών δονήσεων παρατηρούμε αρκετά μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ τους. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στην περιοχή οι μικροσεισμικές δονήσεις πιθανόν να επηρέαζαν την επιφάνεια της θάλασσας και να δημιουργούσαν τα συγκεκριμένα κύματα αντικαθιστώντας τους ανέμους.

Δοκιμή 6^η 18/5/17

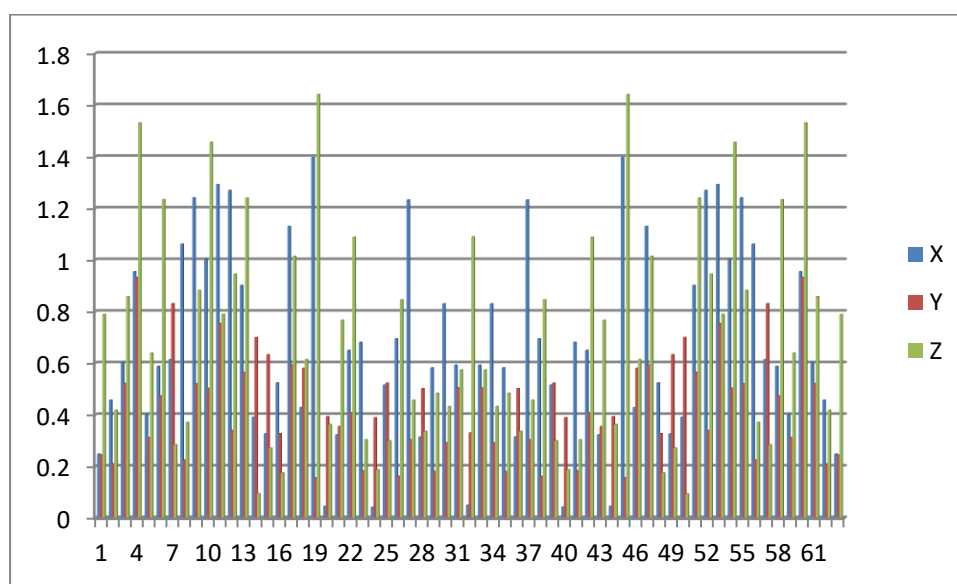
Αποτελέσματα

X	Y	Z
0,247952	0,243724	0,788878
0,456796	0,210009	0,417323
0,602935	0,521576	0,857786
0,954379	0,932187	1,530722
0,402547	0,311732	0,639321
0,587745	0,473351	1,233132
0,613778	0,830329	0,28391
1,061316	0,224842	0,370533

1,240776	0,520551	0,881822
1,003944	0,503006	1,456076
1,292085	0,753908	0,789393
1,269421	0,339528	0,945249
0,901606	0,564803	1,239667
0,390961	0,699468	0,093852
0,325885	0,632684	0,270939
0,523927	0,326956	0,174642
1,129943	0,59293	1,014387
0,428127	0,580561	0,613981
1,39673	0,155693	1,640915
0,04525	0,392842	0,362095
0,322157	0,355065	0,766466
0,649995	0,407739	1,087941
0,680988	0,183024	0,303447
0,042529	0,388904	0,18683
0,515159	0,522742	0,298973
0,694745	0,161105	0,845373
1,232585	0,303523	0,456323
0,313824	0,50142	0,33568
0,582172	0,180162	0,483297
0,82987	0,291733	0,431992
0,592439	0,504055	0,573828
0,05	0,33	1,09
0,592439	0,504055	0,573828
0,82987	0,291733	0,431992
0,582172	0,180162	0,483297
0,313824	0,50142	0,33568
1,232585	0,303523	0,456323
0,694745	0,161105	0,845373
0,515159	0,522742	0,298973
0,042529	0,388904	0,18683
0,680988	0,183024	0,303447
0,649995	0,407739	1,087941
0,322157	0,355065	0,766466
0,04525	0,392842	0,362095
1,39673	0,155693	1,640915
0,428127	0,580561	0,613981
1,129943	0,59293	1,014387
0,523927	0,326956	0,174642
0,325885	0,632684	0,270939
0,390961	0,699468	0,093852
0,901606	0,564803	1,239667
1,269421	0,339528	0,945249
1,292085	0,753908	0,789393
1,003944	0,503006	1,456076

1,240776	0,520551	0,881822
1,061316	0,224842	0,370533
0,613778	0,830329	0,28391
0,587745	0,473351	1,233132
0,402547	0,311732	0,639321
0,954379	0,932187	1,530722
0,602935	0,521576	0,857786
0,456796	0,210009	0,417323
0,247952	0,243724	0,788878

Συγκεντρωτικό διάγραμμα X,Y και Z.



Κατά τη διάρκεια της 6^{ης} δοκιμής στην περιοχή έπνεαν άνεμοι ταχύτητας 10 έως 12 Km/h. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ανεμόμετρου το ύψος των κυμάτων έπρεπε να ήταν κατά μέσο όρο 60cm υιοθετώντας παρόμοια συμπεριφορά με την 2^η δοκιμή. Όμως το ύψος το κυμάτων ξεπερνούσε το 1m σύμφωνα με το meteo.gr. Αυτό σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των μικροσεισμών που δείχνουν ακόμη πιο έντονη δραστηριότητα σε σχέση με τα αποτελέσματα της 2^{ης} δοκιμής μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι μικροσεισμικές δονήσεις επηρέασαν το ύψος των κυμάτων περίπου 75% περισσότερο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – Σύνοψη αποτελεσμάτων

7.1. Αρχή λειτουργίας σταθμού μέτρησης ανέμων-ύψους κύματος

Για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων κατασκευάσαμε ένα **ανεμόμετρο** που έχει σαν σκοπό τη μέτρηση της ταχύτητας των ανέμων. Η ένταση των ανέμων μετριέται με έναν εμπειρικό τρόπο την ‘Κλίμακα Μποφόρ’ που βασίζεται στην παρατήρηση των αποτελεσμάτων του ανέμου σε στεριά και θάλασσα.

Σύμφωνα με αυτή τη σχέση, της ταχύτητας του ανέμου και τους βαθμούς της κλίμακας Μποφόρ έχουμε τον εμπειρικό τύπο:

$U[m/s]=0,836 \cdot B^{3/2}$ όπου u = η ταχύτητα του ανέμου σε m/s και B οι βαθμοί Μποφόρ

$U[Kn]=1,625 \cdot B^{3/2}$ όταν η ταχύτητα του ανέμου μετριέται σε κόμβους

$U[Km/h]=3,01 \cdot B^{3/2}$ όταν η ταχύτητα του ανέμου μετριέται σε χιλιόμετρα

Όταν θέλουμε να υπολογίσουμε τους βαθμούς Μποφόρ αντιστρέφουμε τη σχέση και βρίσκουμε το αποτέλεσμα κατά προσέγγιση:

$$B \approx \frac{u \left[\frac{m}{s} \right] + 10}{6}$$

Με αυτόν τον τρόπο, εφόσον ξέρουμε την ταχύτητα των ανέμων που πνέουν στην περιοχή που γίνονται οι μετρήσεις, εξάγουμε εύκολα συμπεράσματα. Έτσι προγραμματίσαμε εισάγοντας τον κατάλληλο αλγόριθμο τον σταθμό μέτρησης ταχύτητας του ανέμου να μετατρέπει την ταχύτητα του ανέμου από χιλιόμετρα ανά ώρα σε ύψος κύματος συμβουλευόμενοι τον παρακάτω πίνακα συσχέτισης Μποφόρ-Ταχύτητας Ανέμου- Ύψους κυμάτων [15]:

Μποφόρ	Ταχύτητα ανέμου				Ύψος κυμάτων (m)	
	m/s	km/h	mph	kn	Ανοιχτή θάλασσα (Ατλαντικός)	Αβαθή, όρμοι και λίμνες
0	0,0 - <0,3	0	0 - <1,2	0 - <1	-	-
1	0,3 - <1,6	1 - 5	1,2 - <4,6	1 - <4	0,0 - 0,2	0,05
2	1,6 - <3,4	6 - 11	4,6 - <8,1	4 - <7	0,5 - 0,75	0,6
3	3,4 - <5,5	12 - 19	8,1 - <12,7	7 - <11		
4	5,5 - <8,0	20 - 28	12,7 - <18,4	11 - <16	0,8 - 1,2	1
5	8,0 - <10,8	29 - 38	18,4 - <25,3	16 - <22	1,2 - 2,0	1,5
6	10,8 - <13,9	39 - 49	25,3 - <32,2	22 - <28	2,0 - 3,5	2,3
7	13,9 - <17,2	50 - 61	32,2 - <39,1	28 - <34	3,5 - 6,0	3
8	17,2 - <20,8	62 - 74	39,1 - <47,2	34 - <41	πάνω από 6,0	4
9	20,8 - <24,5	75 - 88	47,2 - <55,2	41 - <48		
10	24,5 - <28,5	89 - 102	55,2 - <64,4	48 - <56	έως 14,0	5,5
11	28,5 - <32,7	103 - 117	64,4 - <73,6	56 - <64	πάνω από 14,0	-
12	>32,7	>118	>73,6	>64		

7.2. Αρχή λειτουργίας σταθμού μικροσεισμικών δονήσεων

Ο σταθμός μικροσεισμικών δονήσεων κατασκευάστηκε στα πρότυπα της μεθόδου καταγραφής κυματισμού OS-IS υιοθετώντας όλα τα χαρακτηριστικά του όπως την χρησιμοποίηση επιταχυνσιόμετρου και την άμεση αποθήκευση των μετρήσεων. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του όμως σε σχέση με το OS-IS είναι το πολύ χαμηλό κόστος κατασκευής. Αυτό το πλεονέκτημα επιτρέπει να κατασκευάσουμε πολλούς τέτοιους σταθμούς και να τους εγκαταστήσουμε σε πολλαπλά σημεία αυξάνοντας έτσι τον βαθμό αξιοπιστίας του.

Μετά από την ανάλυση μας παρατηρήσαμε ότι οι σεισμικές δονήσεις με το ύψος κύματος είναι δύο αλληλοεξαρτώμενες μεταβλητές. Θα μπορούσαμε σ' αυτά τα δύο να προσθέσουμε και την ένταση των ανέμων και να λάβουμε δεδομένα που θα μας δώσουν μία ακριβέστερη περιγραφή των κυμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – Συμπεράσματα

Συμπεράσματα και μελλοντική μελέτη

Οι δύο σταθμοί υπολογισμού κυμάτων μας προσφέρουν ένα μεγάλο σύνολο πληροφοριών που με την κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να προσφέρουν αξιόπιστα αποτελέσματα.

Η μέτρηση των σεισμικών δονήσεων με τον ταυτόχρονο υπολογισμό του ύψους κύματος, βάση της ταχύτητας του ανέμου, μπορούν να μειώσουν αποτελεσματικά το περιθώριο λάθους. Μία σεισμική δόνηση όπως φάνηκε είναι πιθανόν να επηρεάζει την συμπεριφορά του κυματισμού κατά 0,75 φορές. Αν δηλαδή ο σταθμός μέτρησης ανέμων έδειχνε κύματα ύψους 2 μέτρων τότε μία σεισμική δραστηριότητα θα μπορούσε να αυξήσει το ύψος τους στα 3,5 μέτρα.

Έτσι εάν υπήρχε μόνο ένας σταθμός μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου πιθανόν να οδηγούσε σε λάθος συμπεράσματα.

Οι παραπάνω κατασκευές αποτελούν αξιόπιστες και οικονομικές λύσεις εξαγωγής πληροφοριών αλλά όχι ασφαλών συμπερασμάτων από μόνες τους. Ασφαλή συμπεράσματα θα μπορούσαμε να έχουμε μετά από πολλές δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες έτσι ώστε να μπορέσει να δημιουργηθεί ένας εμπειρικός πίνακας **σεισμικών δονήσεων- ύψος κυμάτων**.

Βιβλιογραφία

1. Marin-Perianu, M., Chatterjea, S., Marin-Perianu, R., Bosch, S., Dulman, S., Kininmonth, S., & Havinga, P. (2008, December). Wave monitoring with wireless sensor networks. In *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, 2008. ISSNIP 2008. International Conference on* (pp. 611-616). IEEE.
2. Kumar, M. Pramoth, K. Akash, and M. Venkatesan. "Scotch-Yoke mechanism for a syringe pump-A case study." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 149. No. 1. IOP Publishing, 2016.
3. Armenio, E., Meftah, M. B., Bruno, M. F., De Padova, D., De Pascalis, F., De Serio, F., ... & Monti, P. (2016, June). Semi enclosed basin monitoring and analysis of meteo, wave, tide and current data: Sea monitoring. In *Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS), 2016 IEEE Workshop on* (pp. 1-6). IEEE.
4. Kato, Teruyuki, et al. "Method for measuring sea waves by means of ultrasonic waves, as well as sea wave measuring system." U.S. Patent No. 8,971,150. 3 Mar. 2015.
5. Li, Xiao-Ming. *Ocean surface wave measurements using SAR wave mode data*. Diss. University of Hamburg, 2010. s.n., σσ. 17-25.
6. Chan, Yee Kit, and Voon Chet Koo. "An introduction to synthetic aperture radar (SAR)." *Progress In Electromagnetics Research B* 2 (2008): 27-60.
7. Röhrs, J., Sperrevik, A. K., Christensen, K. H., Broström, G., & Breivik, Ø. (2015). Comparison of HF radar measurements with Eulerian and Lagrangian surface currents. *Ocean Dynamics*, 65(5), 679-690.
8. Lipa, B., Barrick, D., Alonso-Martirena, A., Fernandes, M., Ferrer, M. I., & Nyden, B. (2014). Brahan project high frequency radar ocean measurements: currents, winds, waves and their interactions. *Remote Sensing*, 6(12), 12094-12117.
9. Iafolla, L., Fiorenza, E., Iafolla, V. A., Carmisciano, C., Montani, L., Burlando, M., ... & Solari, G. (2015, May). OS-IS A new method for the sea waves monitoring. In *OCEANS 2015-Genova* (pp. 1-6). IEEE.

10. Bayle, J. (2013). *C programming for Arduino*. Packt Publishing Ltd.
11. **ArduinoShields**. <http://playground.arduino.cc/Main/SimilarBoards#goShie>.
[Ηλεκτρονικό] <http://playground.arduino.cc/Main/SimilarBoards#goShie>.
12. **Adafruit**. <https://www.adafruit.com/>. [Ηλεκτρονικό]
<https://learn.adafruit.com/adafruit-data-logger-shield/using-the-sd-card?view=all>.
13. **AdafruitAccelerometer**. <https://www.adafruit.com/>. [Ηλεκτρονικό]
<https://learn.adafruit.com/adxl345-digital-accelerometer/programming?view=all>.
14. Bayle, J. (2013). *C programming for Arduino*. Packt Publishing Ltd.
15. **Βικιπαίδεια**. *Κλίμακα Μποφόρ*.
16. Richard G. Lyons *Understanding Digital Signal Processing*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι [Κώδικας Προγραμματισμού σταθμού μέτρησης μικροσεισμών]

```
#include <SPI.h>//βιβλιοθήκη shield

#include <SD.h>//βιβλιοθήκη κάρτας SD

#include <Wire.h> //βιβλιοθήκη επικοινωνίας με το L2C

#include <Adafruit_Sensor.h>

#include <Adafruit_ADXL345_U.h>//βιβλιοθήκη αισθητήρα

const int chipSelect = 10;//επικοινωνία με το shield στο pin 10

Adafruit_ADXL345_Unified accel = Adafruit_ADXL345_Unified(12345);// νεό
id στον αισθητήρα

void setup(void) {
  // ξεκινάει η σειριακή επικοινωνία
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Accelerometer Begin"); Serial.println("");//μήνυμα έναρξης

  if(!accel.begin())
  {
    // μήνυμα σφάλματος, αν υπάρξει πρόβλημα στην ανίχνευση του ADXL345
    Serial.println("ADXL345 not detected ... Check your wiring!");
    while(1);
  }
}
```

```

}

while (!Serial) {
    ; // αναμονή σύνδεσης
}

Serial.print("Initializing SD card...");//μήνυμα αρχικοποίησης κάρτας sd

//έλεγχος αν λειτουργεί
if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Card failed, or not present");
    return;
}

Serial.println("card initialized.");
}

void loop(void) {
    //δημιουργία αλφαριθμητικού για συγκέντρωση των δεδομένων
    String dataString = "";

    File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

    // αν ο φάκελος είναι διαθέσιμος, γίνεται εγγραφή
    if (dataFile) {
        dataFile.println(dataString);
        dataFile.close();
    }
}

```

```

// print to the serial port too:
Serial.println(dataString);
}
// αν ο φάκελος δεν ανοίξει, εμφάνισε μήνυμα σφάλματος
else {
    Serial.println("error opening datalog.txt");
}
{
/* Get a new sensor event */
sensors_event_t event;
accel.getEvent(&event);

// απεικόνιση αποτελεσμάτων επιτάχυνσης στην οθόνη
Serial.print("X: "); Serial.print(event.acceleration.x); Serial.print(" ");
Serial.print("Y: "); Serial.print(event.acceleration.y); Serial.print(" ");
Serial.print("Z: "); Serial.print(event.acceleration.z); Serial.print(" ");
Serial.println("m/s^2");//μέτρηση σε m/s^2(μονάδα μέτρησης επιτάχυνσης)
delay(500);
}
}

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ [Κώδικας Προγραμματισμού σταθμού μέτρησης ύψους κύματος]

```
//υπολογισμοί

//ακτίνα τροχού ~ 13.5 cm

//περίμετρος κύκλου =  $\pi \cdot 2 \cdot r \approx 85$  εκατοστά

//μέγιστη ταχύτητα 120kmh  $\approx 1565$  εκ/δευτερόλεπτο

#define reed A0//σύνδεση read switch με A0

//δήλωση μεταβλητών

int reedVal;

long timer;//ο χρόνος μίας πλήρους περιστροφής

float kmh;

float radius =13.5;// ακτίνα κύκλου σε εκατοστά

float circumference;

int maxReedCounter = 170;//ο ελάχιστος χρόνος μιας περιστροφής σε
ms (for debouncing)

int reedCounter;

void setup(){
```

```

reedCounter = maxReedCounter;

circumference = 2*3.14*radius;

pinMode(reed, INPUT);

cli();//stop interrupts

//θετουμε το timer1 να διακοπεί στο 1kHz

TCCR1A = 0;

TCCR1B = 0;

TCNT1 = 0;

OCR1A = 1999;// = (1/1000) / ((1/(16*10^6))*8) - 1

TCCR1B |= (1 << WGM12);

TCCR1B |= (1 << CS11);

TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);

sei();

//END TIMER SETUP

Serial.begin(9600);

}

```

```
ISR(TIMER1_COMPA_vect) {//Διακόπτει σε συχνότητα από 1 kHz για τη μέτρηση του reed switch
```

```
    reedVal = digitalRead(reed);//get val of A0
```

```
    if (reedVal){//αν το reed switch είναι κλειστό
```

```
        if (reedCounter == 0){//ο ελάχιστος χρόνος μεταξύ των παλμών έχει παρέλθει
```

```
            kmh = (94,44*float(circumference))/float(timer);//υπολογισμός km ανά ώρα
```

```
            timer = 0;//επαναφορά χρονομέτρου
```

```
            reedCounter = maxReedCounter;//επαναφορά περιστροφής
```

```
        }
```

```
    else{
```

```
        if (reedCounter > 0){
```

```
            reedCounter -= 1;//μείωση περιστροφής
```

```
        }
```

```
    }
```

```
}
```

```
else{//if reed switch is open
```

```
    if (reedCounter > 0){//
```

```
        reedCounter -= 1;//μείωση περιστροφής
```

```
    }
```

```
}
```

```
if (timer > 2000){
```

```
    kmh = 0;//αν δεν εντοπιστούν παλμοί τότε τα kmh = 0
```

```

}

else{

    timer += 1;//αύξηση του timer

}

}

void loop(){

//μετατροπή από kmh σε ύψος κυμάτων βάση πίνακα bofor

if (kmh==0)

Serial.print ("no waves\n");

else if ((1<kmh)&&(kmh<5))

Serial.print ("0,05 m\n");

else if ((6<kmh)&&(kmh<19))

Serial.print ("0,6 m\n");

else if ((20<kmh)&&(kmh<28))

Serial.print ("1 m\n");

else if ((29<kmh)&&(kmh<38))

Serial.print ("1,5 m\n");

else if ((39<kmh)&&(kmh<49))

Serial.print ("2,3 m\n");

else if ((50<kmh)&&(kmh<61))

Serial.print ("3 m\n");

```



```
else if ((62<kmh)&&(kmh<88))  
Serial.print ("4 m\n");  
else if ((89<kmh)&&(kmh<102))  
Serial.print ("5,5 m\n");  
  
delay(1000);  
}
```

ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

[ΧΡΗΣΤΟΣ ΠΕΡΙΣΤΕΡΗΣ]

Τελείωσε τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στο 2^ο Ενιαίο Λύκειο Βόλου. Το 2007 αποφοίτησε από την Σχολή Διοίκησης και Διαχείρισης έργων του ΤΕΙ Θεσσαλίας. Μετά το τέλος των σπουδών του πραγματοποίησε την πρακτική του άσκηση στο Τμήμα μελετών και κατασκευών στη Δημοτική επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Βόλου. Το 1015 ανέπτυξε επιχειρηματική δραστηριότητα στον τομέα του εμπορίου, κάτι που τον βοήθησε να αναπτύξει περαιτέρω τις μέχρι τότε γνώσεις του στις γραφικές τέχνες και τον προγραμματισμό ιστοσελίδων. Η αγάπη του για τις κατασκευές και τον προγραμματισμό τον οδήγησαν στο να επιλέξει τις μεταπτυχιακές του σπουδές στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου και στη συνέχεια, το 2017, να μελετήσει ως υποψήφιος διδάκτορας, σε μεγαλύτερο βάθος, τον κόσμο της ρομποτικής.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ