



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ  
ΣΠΟΥΔΩΝ  
« Γεωχωρικές Τεχνολογίες »

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΟΕΜ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ »

Της Μεταπτυχιακής Φοιτήτριας

**ΣΟΦΙΑ ΚΟΥΛΟΥΡΗ**

Επιβλέπων  
**ΓΙΩΡΓΟΣ ΧΛΟΥΠΗΣ**  
ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΔΥΤΙΚΗΣ  
ΑΤΤΙΚΗΣ

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΠΜΣ «ΓΕΩΧΩΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»**

**«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΟΕΜ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ »**

**Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

<b>ΓΙΩΡΓΟΣ ΧΛΟΥΠΗΣ ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ</b>	
<b>ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΑΝΔΡΙΤΣΑΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ</b>	
<b>ΣΤΥΛΙΑΝΉ ΠΑΠΑΤΖΑΝΉ ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ</b>	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η υπογράφουσα Σοφία Κουλούρη του Αλέξανδρου, με αριθμό μητρώου gst1903 φοιτήτρια του Τμήματος Γεωχωρικές Τεχνολογίες της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ημερομηνία

21/09/2024

Η Δηλούσα

Σοφία Κουλούρη

*Αφιερώνεται στην μητέρα μου & στους αγαπημένους μου*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι σεισμοί μπορούν να προκαλέσουν στη παγκόσμια κοινότητα μεγάλες απώλειες τόσο σε ανθρώπινο όσο και σε οικονομικό επίπεδο. Οι σεισμοί μπορούν να αποτελέσουν απειλή για κατοικημένες όσο και για βιομηχανικές περιοχές. Ένας μεγάλος σεισμός σε μια ασθενή αστική περιοχή θα έχει μεγάλες επιπτώσεις τόσο στο κέντρο της εθνικής οικονομίας όσο και στην ικανότητα των επιχειρήσεων να παρέχουν υπηρεσίες και να λειτουργήσουν σε παγκόσμια κλίμακα.

Στην παρούσα εργασία θα σχεδιαστεί και θα υλοποιηθεί πλήρης σεισμολογικός σταθμός τριών (3) συνιστωσών, διακριτικής ικανότητας 24 bit. Η υλοποίηση θα βασιστεί σε OEM προϊόντα χαμηλού κόστους και λογισμικό ανοιχτής αρχιτεκτονικής. Παράλληλα, θα δοθεί η δυνατότητα τοπικής αποθήκευσης αλλά και αποστολής σε πραγματικό χρόνο των δεδομένων. Ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στη συμβατότητα του σταθμού με τις προδιαγραφές του εθνικού δικτύου ( HUSN) ώστε να είναι δυνατή η ένταξη του σε αυτό. Η αξιολόγηση του σταθμού θα γίνει τόσο σε εργαστηριακό περιβάλλον όσο και σε επίπεδο πεδίου, λειτουργώντας για εύλογο χρονικό διάστημα δίπλα σε σταθμό του Εθνικού δικτύου.

Αφού αναλύθηκαν οι σχεδιαστικές απαιτήσεις, έγινε παρουσίαση των διαθέσιμων λύσεων αλλά και τεκμηριώθηκε η αναγκαιότητα επιλογής συγκεκριμένων εξαρτημάτων.

Στη συνέχεια, υπό μορφή οδηγού (προκειμένου να είναι εφικτή και εύκολη η αναπαραγωγή του πρωτοτύπου) δόθηκαν τα βήματα συναρμολόγησης και η διαδικασίες ρύθμισης . Στο τελικό στάδιο παρουσιάστηκαν οι μετρήσεις από δύο σεισμικά γεγονότα που καταγράφηκαν προκειμένου να γίνουν αντιληπτές οι διαφορές με έναν σταθμό αναφοράς.

Η συγκεκριμένη πρόταση τεκμηριώνει ότι είναι δυνατή η χρήση σταθμών χαμηλού κόστους για βασικές ενέργειες ενός σεισμολογικού δικτύου (π.χ. έγκαιρη προειδοποίηση) σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις σταθμών αναφοράς, αυξάνοντας έτσι την διακριτική ικανότητα ενός σεισμολογικού δικτύου.

Στις μελλοντικές επεκτάσεις ενός τέτοιου συστήματος θα πρέπει να τονίσουμε ότι λόγω της ραγδαίας εξέλιξης των ηλεκτρονικών συστημάτων προτυποποίησης (όπως αυτό που χρησιμοποιούμε) θα πρέπει οι χρήστες να επικαιροποιούν τις εκδόσεις του υλισμικού . Παρ' όλα αυτά είναι σίγουρο ότι η γενική σχεδιαστική προσέγγιση της προτεινόμενης διάταξης θα παραμένει ενεργή ακόμα και αν υπάρχουν αλλαγές ή ενσωματώσεις στα βασικά δομικά στοιχεία της.

## ABSTRACT

Earthquakes can cause significant losses for the global community, both in human lives and economic terms. They can pose a threat to both residential and industrial areas. A major earthquake in a vulnerable urban area can have serious impacts on the nation's economic core as well as on businesses' ability to provide services and operate on a global scale.

In this project, a complete three-component seismological station with 24-bit resolution will be designed and implemented. The implementation will be based on low-cost OEM products and open architecture software. Additionally, it will offer the capability of both local storage and real-time data transmission. Special emphasis will be placed on the station's compatibility with the specifications of the national network (HUSN) to allow for its integration into it. The station's evaluation will be conducted both in a laboratory setting and in the field, operating alongside a station from the National network for a reasonable period of time.

After analyzing the design requirements, the available solutions were presented, and the necessity for choosing specific components was justified. Subsequently, a step-by-step assembly guide and configuration procedures were provided to ensure the prototype can be easily reproduced. In the final stage, measurements from two seismic events were presented to highlight the differences compared to a reference station.

This proposal demonstrates that it is feasible to use low-cost stations for basic functions of a seismological network (e.g., early warning) in combination with reference stations, thereby increasing the resolution of a seismological network. In future expansions of such a system, it should be noted that due to the rapid development of electronic prototyping systems (such as the one used here), users should keep their hardware versions up to date. Nevertheless, the overall design approach of the proposed system is expected to remain valid, even if changes or upgrades are made to the fundamental building blocks.

Περιεχόμενα	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	8
1.	9
1.1.	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	9
2.1. “Σεισμός”	9
2.2. Τύποι σεισμών	10
2.2.1. Τεκτονικοί σεισμοί	10
2.2.2. Ηφαιστειογενείς σεισμοί	10
2.2.3. Εγκατακρημνισιγενείς σεισμοί	10
2.2.4. Κρυογενείς σεισμοί	11
2.2.5. Τεχνητοί σεισμοί	11
2.3 Χαρακτηριστικά σεισμών	11
2.3.1 Σεισμικά κύματα που διαδίδονται εσωτερικά στη Γη	13
2.3.2 Σεισμικά κύματα που διαδίδονται στην επιφάνεια της Γης	14
2.4. Μέγεθος	16
2.5 Ένταση	17
2.6 Διαφορές από την κλίμακα Μερκάλι	22
2.7 Η Φασματική ένταση του σεισμού	23
2.8 Πόση ενέργεια απελευθερώνεται από έναν σεισμό	23
2.9 Όργανα καταγραφής σεισμών	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	28
3.1 Υλικοτεχνικός εξοπλισμός	28
3.2 Αισθητήρες	30
3.3 Σύστημα Theremino	32
3.4 Περιγραφή του συστήματος Theremino	42
3.5 Χαρακτηριστικά του Theremino Adc24	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	49
4.1 Υλοποίηση συστήματος - οδηγίες κατασκευής	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	60
Σοφία Κουλούρη	6

5.1 Μετρήσεις	60
5.2 Μεθοδολογία	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	66
Ερμηνεία αποτελεσμάτων – συμπεράσματα	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	67

<u>Εικόνα 1 - Είδη σεισμών</u>	11
<u>Εικόνα 2 – Κύματα</u>	
<u>Εικόνα 2.1 – Σεισμικά κύματα</u>	14
<u>Εικόνα 3 - Κλίμακα MKS</u>	20
<u>Εικόνα 4 - Κλίμακα MM</u>	21
<u>Εικόνα 5 - μετρήσεις</u>	24
<u>Εικόνα 6 - φασματική ένταση</u>	25
<u>Εικόνα 7 - Σεισμοσκόπια</u>	28
<u>Εικόνα 8 - Σεισμογράφοι</u>	29
<u>Εικόνα 9 - Σεισμόμετρα</u>	29
<u>Εικόνα 10 - Αναλογικός επιταχυνσιογράφος</u>	30
<u>Εικόνα 11 - Ψηφιακός επιταχυνσιογράφος</u>	30
<u>Εικόνα 12 - ανάλυση σύνδεσης των γεωφώνων</u>	33
<u>Εικόνα 13 - Σύνδεση Γεωφώνων στο master</u>	34
<u>Εικόνα 14 - Geophone Preamplifier V4</u>	35
<u>Εικόνα 15 - Σύστημα Theremino</u>	30
<u>Εικόνα 16 - Theremino Connection</u>	39
<u>Εικόνα 17 - μικρόελεγχτές</u>	40
<u>Εικόνα 18 - λογισμικά επικοινωνίας</u>	41
<u>Εικόνα 19 - Hardware components</u>	43
<u>Εικόνα 20 - MasterDEAL - V3</u>	43
<u>Εικόνα 21 - Servo v3</u>	43
<u>Εικόνα 22 - Αισθητήρες</u>	44
<u>Εικόνα 23 - Πειραματικός 24 bit Σεισμογράφος</u>	50
<u>Εικόνα 24 - Οδηγίες συναρμολόγησης 1</u>	51
<u>Εικόνα 25 - Οδηγίες συναρμολόγησης 2</u>	51
<u>Εικόνα 26 - Οδηγίες συναρμολόγησης 3</u>	52
<u>Εικόνα 27 - Οδηγίες συναρμολόγησης 4</u>	52
<u>Εικόνα 28 - Οδηγίες συναρμολόγησης 5</u>	53
<u>Εικόνα 29 - Οδηγίες συναρμολόγησης 6</u>	54
<u>Εικόνα 30 - Οδηγίες συναρμολόγησης 7</u>	54
<u>Εικόνα 31 - Οδηγίες συναρμολόγησης 8</u>	55
<u>Εικόνα 32 - Οδηγίες συναρμολόγησης 9</u>	56
<u>Εικόνα 33 - Οδηγίες συναρμολόγησης 10</u>	56



<u>Εικόνα 34 - Οδηγίες συναρμολόγησης 11</u>	<u>57</u>
<u>Εικόνα 35 - Οδηγίες συναρμολόγησης 12</u>	<u>57</u>
<u>Εικόνα 36 - Οδηγίες συναρμολόγησης 13</u>	<u>58</u>
<u>Εικόνα 37 - Οδηγίες συναρμολόγησης 14</u>	<u>59</u>
<u>Εικόνα 38 - Οδηγίες συναρμολόγησης 15</u>	<u>59</u>
<u>Εικόνα 39 - Οδηγίες συναρμολόγησης 16</u>	<u>60</u>
<u>Εικόνα 40 - Οδηγίες συναρμολόγησης 17</u>	<u>60</u>
<u>Εικόνα 41 – DIMAS</u>	<u>62</u>
<u>Εικόνα 42 – Filter Design</u>	<u>63</u>
<u>Εικόνα 43 – Filter Design 1</u>	<u>64</u>
<u>Εικόνα 44 –</u>	<u>65</u>
<u>Εικόνα 45 -</u>	<u>66</u>
<u>Εικόνα 46 –</u>	<u>66</u>
<u>Εικόνα 47 –</u>	<u>67</u>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## 1. Εισαγωγή

Οι σεισμοί μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές απώλειες παγκοσμίως, τόσο σε ανθρώπινες ζωές όσο και σε οικονομικό επίπεδο. Αποτελούν απειλή για κατοικημένες και βιομηχανικές περιοχές. Ένας μεγάλος σεισμός σε μια ευάλωτη αστική περιοχή μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στην εθνική οικονομία και τη λειτουργία των επιχειρήσεων σε παγκόσμια κλίμακα. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου σεισμολογικού σταθμού τριών συνιστωσών με διακριτική ικανότητα 24 bit, χρησιμοποιώντας προϊόντα χαμηλού κόστους (OEM) και λογισμικό ανοιχτού κώδικα. Το σύστημα περιλαμβάνει δυνατότητα τοπικής αποθήκευσης και αποστολής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, με ιδιαίτερη έμφαση στη συμβατότητα με τις προδιαγραφές του Ελληνικού Ενιαίου Σεισμολογικού Δικτύου (HUSN) για ένταξη στο εθνικό δίκτυο. Η αξιολόγηση του σταθμού πραγματοποιήθηκε τόσο σε εργαστηριακές συνθήκες όσο και στο πεδίο, δίπλα σε σταθμό του εθνικού δικτύου. Παρέχεται επίσης οδηγός συναρμολόγησης και ρυθμίσεων για εύκολη αναπαραγωγή. Τα δεδομένα από δύο σεισμικά γεγονότα αναλύθηκαν, καταδεικνύοντας τις διαφορές με έναν σταθμό αναφοράς. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι οι σταθμοί χαμηλού κόστους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για βασικές λειτουργίες ενός σεισμολογικού δικτύου, όπως η έγκαιρη προειδοποίηση, σε συνδυασμό με σταθμούς αναφοράς, αυξάνοντας τη διακριτική ικανότητα του δικτύου. Μελλοντικές αναβαθμίσεις μπορεί να περιλαμβάνουν την ενημέρωση του υλικού λόγω της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας, αλλά η βασική σχεδιαστική προσέγγιση θα παραμείνει χρήσιμη παρά τις όποιες αλλαγές στα εξαρτήματα.

### 1.1. Ιστορική Αναδρομή

Οι σεισμοί μπορούν να προκαλέσουν στη παγκόσμια κοινότητα μεγάλες απώλειες τόσο σε ανθρώπινο όσο και σε οικονομικό επίπεδο. Οι σεισμοί μπορούν να αποτελέσουν απειλή για κατοικημένες όσο και για βιομηχανικές περιοχές. Ένας μεγάλος σεισμός σε μια ασθενή αστική περιοχή θα έχει μεγάλες επιπτώσεις τόσο στο κέντρο της εθνικής οικονομίας όσο και στην ικανότητα των επιχειρήσεων να παρέχουν υπηρεσίες και να λειτουργήσουν σε παγκόσμια κλίμακα.

Στην συνέχεια της παραγράφου πρόκειται να γίνει συνοπτική αναφορά στους καταστροφικότερους σεισμούς όπως καταγράφηκαν σε παγκόσμιο επίπεδο κατά τον 20ο αιώνα. Ο πλέον ισχυρός σεισμός έχει καταγραφεί στην Χιλή με μέγεθος 9,5 βαθμών της κλίμακας ρίχτερ. Κατά το πέρασμα του υπολογίζεται ότι παραπάνω από 1.700 άνθρωποι χάθηκαν. Ακολουθεί η Αλάσκα το 1964 και το ξύπνημα του Εγκέλαδου στα 9,2 ρίχτερ που αποτέλεσε αιτία θανάτου για 131 ανθρώπους. Στην άλλη πλευρά της Γης και πιο συγκεκριμένα

στην Ινδονησία, μια περιοχή αρκετά σεισμογενή, το πρόσφατο 2004 χάθηκαν περισσότεροι από 230.000 άνθρωποι από σεισμό της τάξεως των 9,1 ρίχτερ και το ακόλουθο τσουνάμι που αποτέλεσε συνέπεια. Μεγάλη καταστροφή και σε επίπεδο έκκλησης ραδιενέργειας προκλήθηκε και στην Ιαπωνία το 2011 από τον σεισμό των 9 ρίχτερ όπως αυτός χτύπησε τη Φουκουσίμα προκαλώντας ατύχημα στον πυρηνικό αντιδραστήρα της περιοχής και οδηγώντας στον θάνατο 18.000 άτομα. Και στην εν λόγω περίπτωση είχαμε την πρόκληση παλιρροϊκού κύματος. Και η Ρωσία έχει γνωρίσει στις καταστροφικές συνέπειες του Εγκέλαδου το 1952 μετρώντας 2.300 νεκρούς με τον σεισμό των 9,0 ρίχτερ. Επόμενος σεισμός σε αυτή την καταστροφική λίστα είναι αυτός της Κολομβίας στα 8,8 Ρίχτερ με αποτέλεσμα 1.000 άνθρωποι να βρουν τραγικό θάνατο. Η Κίνα ακολουθεί στην συγκεκριμένη λίστα με 8 βαθμούς ρίχτερ το 2008 και την επαρχία Σετσουάν να αποχαιρετά 87.000 νεκρούς. Εγγύτερα στη χώρα μας, η Τουρκία το 1999 χτυπήθηκε αλύπητα από τα 7,4 ρίχτερ με αποτέλεσμα πόλεις να ισοπεδωθούν και 18.000 άνθρωποι να χάσουν τη ζωή τους.

Όσον αφορά τη χώρα μας, όντας μια σεισμογενής περιοχή, συχνά βιώνει μικρές και μεσαίες σεισμικές δονήσεις. Το 1999 είναι η χρονιά που έχει χαραχθεί στην μνήμη από το πέρασμα του Εγκέλαδου και το ρήγμα της Πάρνηθας προκαλώντας σεισμό της τάξεως το 5,9 ρίχτερ. Αποτελεί στον φονικότερο σεισμό που έχει πλήξει τη χώρα μας οδηγώντας 143 ανθρώπους στον θάνατο και με υλικές ζημιές που ανήλθαν σε τρία (3) δισεκατομμύρια δραχμές.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> <https://www.aftodioikisi.gr/diethni/oi-megalyteroi-seismoi-poy-echoyn-symvei-ston-kosmo/>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## 2.1. “Σεισμός”

Με τον όρο “σεισμός” ορίζεται η ανατάραξη και κατ' αντιστοιχία δόνηση του εδάφους. Ο σεισμός αποτελεί το προϊόν από το αιφνιδιαστικό σπάσιμο σε συνδυασμό με την μετακίνηση των τεκτονικών πλακών. Ο φλοιός της Γης υποδιαιρείται σε τεκτονικές πλάκες. Ο σεισμός μπορεί κάλλιστα να οφείλεται και σε ηφαιστειακή δραστηριότητα. Οι τεκτονικές πλάκες περιλαμβάνουν τον ηπειρωτικό ή ωκεάνιο φλοιό ή και τα δύο. Είναι γεγονός ότι η πλειονότητα της σεισμικής δραστηριότητας παρατηρείται κατά μήκος των ορίων των πλακών.

Όταν ένας σεισμός λαμβάνει χώρα οι σεισμολόγοι επικεντρώνουν τη προσοχή τους σε τρία (3) χαρακτηριστικά, το μέγεθος, το υπόκεντρο και το επίκεντρο του σεισμού. Αναλυτικότερα, με το μέγεθος μετριέται σε κλίμακα Richter. Το υπόκεντρο αναφέρεται στην υπόγεια τοποθεσία και τέλος το επίκεντρο δηλώνει το ακριβές σημείο στην επιφάνεια της γης ακριβώς πάνω από το υπόκεντρο.

Ένας σεισμός, όπως τονίστηκε και πρωτύτερα, προκαλεί μεταξύ άλλων ανατάραξη και μετατόπιση του εδάφους, τσουνάμι αν εκδηλωθεί σε περιοχή κοντά σε θάλασσα, πλημμύρες και κατολισθήσεις. Μέχρι και σήμερα, παρά την αλματώδη πρόοδο της επιστήμης, οι επιστήμονες αδυνατούν να προβλέψουν την εκδήλωση σεισμικών φαινομένων, παρά ταύτα οι επιστημονικές μελέτες περιλαμβάνουν δραστηριότητες, που στοχεύουν στην κατανόηση του μηχανισμού της σεισμικότητας και στην εκτίμηση της πιθανότητας ενός σεισμού.<sup>2</sup>

## 2.2. Τύποι σεισμών

### 2.2.1. Τεκτονικοί σεισμοί

Σαν πρώτη κατηγορία θα αναφερθούν οι τεκτονικοί σεισμοί. Η συγκεκριμένη δόνηση αποτελεί το προϊόν της απότομης διάρρηξης των πετρωμάτων της γης. Οι απότομες αυτές μετακινήσεις προκαλούνται από την κίνηση των τεκτονικών πλακών της γης και τις δυνάμεις συμπίεσης που ασκούνται σε αυτές.

Η συγκεκριμένη κατηγορία σεισμών κατά γενικό κανόνα έχει μεγάλο μέγεθος και κύριο χαρακτηριστικό της είναι το μεγάλο εστιακό βάθος (φτάνει και τα επτακόσια (700) χιλιόμετρα από την επιφάνεια της Γης). Αποτελούν την συνηθέστερη κατηγορία σεισμικών δονήσεων σε ποσοστό 90% των σεισμικών δονήσεων σε ολόκληρο τον κόσμο.

### 2.2.2. Ηφαιστειογενείς σεισμοί

Η εν λόγω κατηγορία σεισμών, όπως καταδεικνύει και το όνομα τους, έχουν σαν αιτία την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Αναλυτικότερα, είναι αποτέλεσμα της αλλαγής της πίεσης

---

<sup>2</sup> <https://besafenet.net/el/hazards/earthquakes/>

στο εσωτερικό της γης, λόγω της εισροής ή εκροής μάγματος. Η συγκεκριμένη δραστηριότητα συντελεί στην ηφαιστειογενή δόνηση. Η συγκεκριμένη κατηγορία σεισμών μπορεί κάλλιστα να προηγείται ή να συνδυάζεται με μια ηφαιστειακή έκρηξη. Οι επιστήμονες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι, η απελευθέρωση των αερίων του μάγματος το οποίο τροφοδοτεί τα ηφαίστεια μέσα από τους πόρους ή τις ρωγμές που φτάνουν έως και την επιφάνεια της Γης, αποτελεί την κύρια αιτία τους.

Οι εν λόγω σεισμοί είναι κατά βάση μικρής έντασης. Η εστία τους βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από το ηφαίστειο αλλά με την πάροδο του χρόνου πλησιάζει προς αυτό με όλο και μικρότερο βάθος, ενώ ταυτόχρονα γίνονται συχνότεροι. Το μέγεθός τους ποικίλει ανάλογα με την αντίσταση που συναντά το μάγμα κατά την ανύψωσή του προς την επιφάνεια της Γης. Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί αναλογούν στο 7% περίπου του συνολικού αριθμού των σεισμών που πραγματοποιούνται στον πλανήτη μας.

### 2.2.3. Εγκατακρημνισιγενείς σεισμοί

Στη συνέχεια, συναντάμε την κατηγορία σεισμικών δονήσεων που οφείλει την γένεση της στην πτώση μεγάλων πετρωμάτων πάνω στην επιφάνεια της Γης λόγω της βαρύτητας. Τα συγκεκριμένα πετρώματα, κατά βάση, είναι οροφές διαφόρων σπηλαίων που λόγω διάβρωσης πέφτουν στο έδαφος. Η συγκεκριμένη κατηγορία σεισμών, πρέπει να τονίσουμε, ότι είναι μικρού μεγέθους και έχουν τοπικό χαρακτήρα. Έχει, επίσης, παρατηρηθεί ότι μπορεί να αποτελούν συνεπακόλουθο μετασεισμικής ακολουθίας. Η συγκεκριμένη κατηγορία αφορά στο 3% περίπου των σεισμών που πραγματοποιούνται πάνω στη Γη.

### 2.2.4. Κρυογενείς σεισμοί

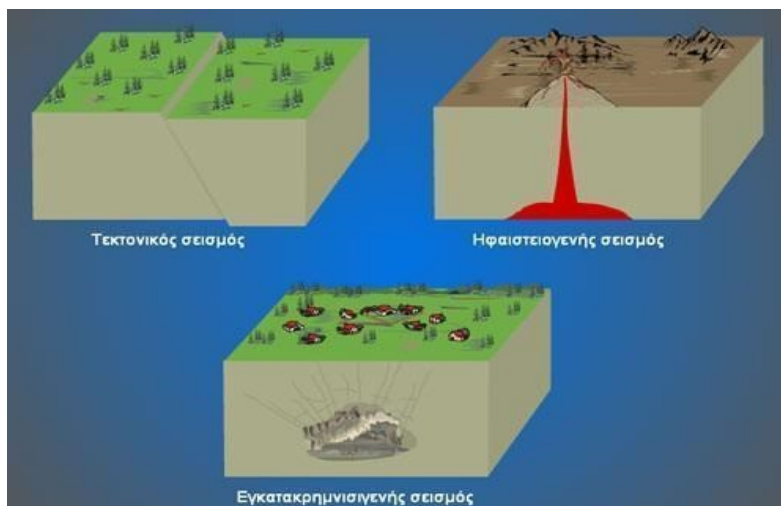
Υπάρχουν βέβαια και ορισμένοι σεισμοί που προκαλούνται από τις απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Γης. Οι εν λόγω οφείλονται στην απότομη πτώση της θερμοκρασίας. Αναλυτικότερα, το έδαφος συγκρατεί νερό σε υγρή μορφή. Όταν η θερμοκρασία πέσει αισθητά και σε σημείο που το νερό μετατραπεί σε πάγο, η συνεπακόλουθη η διαστολή που προκαλεί η αλλαγή φάσης του νερού συμπιέζει τα πετρώματα και είναι πιθανό να προκληθεί διάρρηξη σε αυτά. Η συγκεκριμένη κατηγορία είναι ελάχιστα καταστροφική. Συνοδεύονται από τον κρότο θραύσης. Κατά βάση προκαλούν ζημιές σε τσιμεντένιες υποστρώσεις και πλάκες, στο δίκτυο σωληνώσεων και σε υλικά θεμελίωσης που βρίσκονται στη γραμμή θραύσης. Λαμβάνουν χώρα τις πρώτες πρωινές ώρες κατά τις κρύες περιόδους του χειμώνα. Επειδή δεν προκαλούνται από τεκτονικά αίτια, είναι σημαντικό να αναγνωρίζονται ως κρυογενείς για να μην εισάγουν σφάλμα στα σεισμολογικά δεδομένα των ρηγμάτων.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> <https://hellenicweather.com/oi-kathgories-ton-seismon/>

## 2.2.5. Τεχνητοί σεισμοί

Οι τεχνητοί σεισμοί οφείλονται σε εκρήξεις ή χτύπημα της επιφάνειας του φλοιού. Συνήθως χρησιμοποιούνται για την τομογράφηση του υπεδάφους. Αν η χρήση τους είναι εκτεταμένη μπορούν κάλλιστα να οδηγήσουν σε πρόκληση σεισμών.



Εικόνα 1 - Είδη σεισμών

## 2.3 Χαρακτηριστικά σεισμών

Αρχικά, με τον όρο εστία σεισμού περιγράφεται η ακριβής θέση στην οποία συμβαίνει ένας σεισμός. Στην περίπτωση που η εστία θεωρηθεί ως σημείο, αυτό ονομάζεται υπόκεντρο.

Επίκεντρο του σεισμού αποτελεί η προβολή του υποκέντρου στην επιφάνεια της Γης. Ο χαρακτηρισμός της απόστασης του υποκέντρου από την επιφάνεια της Γης (εστιακό βάθος, ΕΒ) βοηθά στην κατηγοριοποίηση των σεισμών σε τρεις (3) επιμέρους κατηγορίες, τους επιφανειακούς σεισμούς ή σεισμού μικρού βάθους όταν αυτοί είναι από 0 – 30 χλμ, στους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους δηλαδή από 30 – 70 χλμ και τέλος στους σεισμούς μεγάλου βάθους από 70 χλμ. Και άνω.

Οι σεισμολόγοι οφείλουν να καθορίζουν το εστιακό βάθος του εκάστοτε σεισμού διότι έτσι μπορεί να γίνει αντιληπτό το πόσο καταστροφικός προμηνύεται για τις ανθρώπινες κατασκευές. Αναλυτικότερα, ένας επιφανειακός σεισμός μεγέθους 6,5 Ρίχτερ θα αποβεί πιο καταστρεπτικός συγκριτικά με έναν ενδιάμεσου βάθους μεγέθους 6,9 Ρίχτερ. Οι λόγοι για το παράδοξο είναι οι εξής, αρχικά, όσο αυξάνεται το βάθος, αυξάνεται και η απόσταση μεταξύ εστίας και επιφάνειας της Γης. Αυτό φέρει ως αποτέλεσμα την εξασθένηση των σεισμικών κυμάτων. Επίσης, παρατηρείται ότι η διασπορά των σεισμικών κυμάτων είναι μεγαλύτερη. Αξίζει να τονιστεί ότι το μεγαλύτερο εστιακό βάθος που έχει καταγραφεί είναι 750 χλμ. Και

είναι το σημείο όπου ο γήινος φλοιός καταβυθίζεται στον ανώτερο μανδύα.<sup>4</sup>

Πρέπει σε αυτό το σημείο να αναφερθεί το που εκδηλώνονται οι σεισμοί. Οι σεισμικές δονήσεις έχουν άρρηκτη σχέση με τις γεωλογικές δυνάμεις, που δημιουργούν τα βουνά και τους ωκεανούς. Παρατηρείται ευρεία συγκέντρωση μεγάλων ζωνών ρηγμάτων και ρωγμών στα σημεία που οι τεκτονικές πλάκες συγκλίνουν ή αποκλίνουν. Παρατηρούνται λοιπόν πολλοί σεισμοί συνήθως κατά μήκος των ορίων των πλακών. Οι κατοικημένες περιοχές τείνουν να κινδυνεύουν περισσότερο όταν βρίσκονται χτισμένες σε όρια πλακών. Πιο συγκεκριμένα, σε ρήγματα που συγκλίνουν, μετασχηματίζονται και αποκλίνουν για να δώσουν τους αναμενόμενους σεισμικούς κινδύνους. Επίσης, μια κατοικημένη περιοχή κινδυνεύει όταν βρίσκεται σε ενεργή ηφαιστειογενή περιοχή, διότι το ηφαίστειο μπορεί να οδηγήσει σε σεισμούς χαμηλής ενέργειας/βάθους, οι οποίοι συνήθως απειλούν μικρής έκτασης περιοχές.

Βάσει της γεωμετρίας τους και του πεδίου των δυνάμεων, που ευθύνονται για την κίνηση των πλακών, τα όρια μεταξύ των πλακών μπορούν να περιγράψουν σχηματικά από τα ακόλουθα τρία (3) απλά χαρακτηριστικά:

- **Όρια Σύγκλισης (CB):** οι πλάκες ενώνονται και στη συνέχεια η πίεση συνθλίβει και παραμορφώνει τον φλοιό της γης. Η κίνηση αυτή ευθύνεται για τη δημιουργία μεγάλων ηφαιστειακών τόξων και οροσειρών, και αυτό εξαρτάται κυρίως από τη φύση του φλοιού (ηπειρωτικός και ωκεάνιος). Τα Όρια Σύγκλισης περιγράφονται και ως καταστροφικά και είναι τοποθεσίες υψηλής ηφαιστειακής και σεισμικής δραστηριότητας.
- **Όρια Απόκλισης (DB):** οι πλάκες απομακρύνονται η μία από την άλλη. Εδώ παρατηρείται δημιουργία νέου φλοιού από το μάγμα, που αναδύεται μέσω των ζωνών ρωγμής. Τα όρια αυτά συνήθως δίνουν ήπια ηφαιστειογενή και σεισμική δραστηριότητα τόσο στις ωκεάνιες ράχες όσο και στις ζώνες ηπειρωτικών τάφρων. Καθώς τα Όρια Απόκλισης είναι το μέρος δημιουργίας του φλοιού, ονομάζονται και “δημιουργικά”.
- **Όρια Μετασχηματισμού (TB):** οι πλάκες κινούνται παράλληλα μεταξύ τους, κατά μήκος αυτού που ονομάζεται ρήγμα μετασχηματισμού. Αναλόγως της σχετικής κίνησης των δύο πλακών, τα Όρια Μετασχηματισμού μπορούν να ονομαστούν σε δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα. Καθώς δεν υπάρχει καθόλου καταστροφή ή δημιουργία φλοιού, τα Όρια Μετασχηματισμού ονομάζονται και «συντηρητικά». Συνήθως στα σημεία αυτά παρατηρείται μεγάλη σεισμική δραστηριότητα. Το Ρήγμα του Αγίου Αντρέα στην Καλιφόρνια είναι το πλέον γνωστό παράδειγμα ορίων μετασχηματισμού.

Οι υψηλής επικινδυνότητας σεισμικές ζώνες παρατηρούνται συνήθως στα όρια σύγκλισης και μετασχηματισμού<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B5%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82>

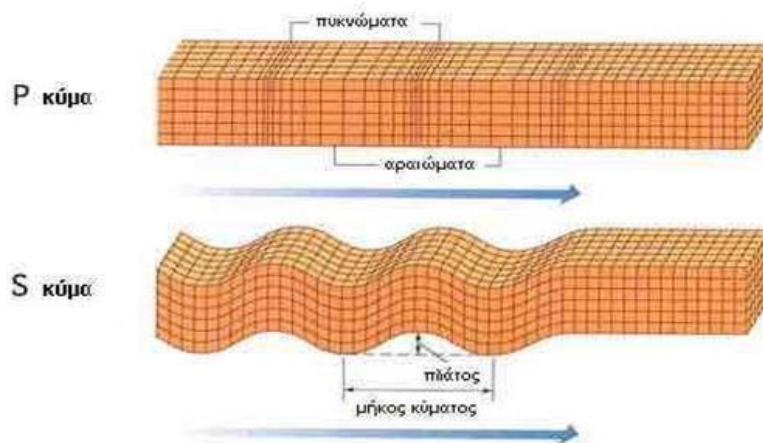
<sup>5</sup> <https://besafenet.net/el/hazards/earthquakes/>

### 2.3.1 Σεισμικά κύματα που διαδίδονται εσωτερικά στη Γη

Τα κύματα χώρου, γνωστά και ως Body Waves, είναι αυτά που διακινούνται μέσω του εσωτερικού της γης. Γίνονται αντιληπτά από τα όργανα των σεισμολογικών σταθμών νωρίτερα σε σχέση με τα επιφανειακά κύματα που εκπέμπονται από το σημείο της εστίας ενός σεισμού. Τα κύματα χώρου, εν παραλλήλω, είναι υψηλότερης συχνότητας συγκριτικά με τα επιφάνεια κύματα.

Τα κύματα χώρου χωρίζονται σε δύο (2) κατηγορίες τα **primary-waves** ή **επιμήκη** και τα **secondary-waves** ή **εγκάρσια**.

1. Τα P-κύματα (primary-waves ή πρωτεύοντα κύματα) είναι διαμήκη κύματα πίεσης. Τα κύματα P ταξιδεύουν κατά μήκος της κατεύθυνσης διάδοσης ως μια σειρά από συμπίεσεις και αραιώσεις. Λόγω της φύσης διάδοσής τους, ακολουθούν σφαιρική απόκλιση. Αν και έχουν τη μεγαλύτερη διάσπαση της κυματικής ενέργειας μεταξύ άλλων τύπων κυμάτων, είναι τα πιο γρήγορα, έχοντας ταχύτητες από 5 km/s έως 8 km/s. Η γρήγορη διάσπαση της ενέργειας τους τα καθιστά ως τον λιγότερο καταστροφικό τύπο κυμάτων. Τα κύματα P μπορούν να ταξιδέψουν όχι μόνο μέσω της επιφάνειας, αλλά και μέσω του νερού ή των υγρών.
2. Τα S-κύματα (secondary-waves ή δευτερεύοντα κύματα) είναι εγκάρσια κύματα. Τα κύματα S, που ονομάζονται επίσης κύματα διάτμησης, ακολουθούν αμέσως μετά την άφιξη των κυμάτων P. Ταξιδεύουν κατά μήκος της επιφάνειας της γης με ρυθμό περίπου 60% έως 70% των κυμάτων P. Αυτός ο τύπος κυμάτων ταξιδεύει ορθογώνια τόσο προς την κατεύθυνση διάδοσης όσο και από την επιφάνεια της Γης. Τα κύματα S είναι πιο καταστροφικά από τα κύματα P λόγω της χαμηλότερης διάσπασης ενέργειας τους. Τα κύματα P και τα κύματα S είναι συλλογικά γνωστά ως κύματα σώματος.



Εικόνα 2 - Κύματα

### 2.3.2 Σεισμικά κύματα που διαδίδονται στην επιφάνεια της Γης

Τα επιφανειακά κύματα είναι 10% πιο αργά σε σχέση με τα κύματα του σώματος, παρά ταύτα είναι τα πιο καταστροφικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων ποικίλλει ευρέως ανάλογα με τον τύπο του εδάφους στο οποίο ταξιδεύουν. Τα



επιφανειακά κύματα αποτελούνται από κύματα **Rayleigh** και **Love**.

1. Τα κύματα Rayleigh είναι ένας τύπος επιφανειακών κυμάτων που διαδίδονται κοντά στην επιφάνεια της Γης. Έχουν κυματιστή μορφή και προκαλούν μια περιστροφή που μπορεί να είναι είτε προοδευτική, δηλαδή κατά την κατεύθυνση διάδοσης, είτε ανάδρομη δηλαδή έναντι της κατεύθυνσης διάδοσης. Ονομάζονται, επίσης, ρολό εδάφους λόγω της φύσης της κίνησής τους. Είναι το αποτέλεσμα της συμβολής των P-κυμάτων και κατακόρυφα πολωμένων S-κυμάτων που συνεχίζουν και διαδίδονται επιφανειακά. Είναι κύματα πίεσης και ελαστικής παραμόρφωσης ταυτόχρονα που οι μονάδες ταλάντωσης εκτελούν ελλειπτικές κινήσεις με μεγαλύτερους άξονες κοντά στην επιφάνεια, όπου υπάρχει παραμόρφωση και καθ' ύψος και παρατηρούμε το μέγιστο των ταλαντώσεων. Αν ο σεισμός είναι μεγάλος, τα κύματα αυτά μπορεί να διανύσουν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης αρκετές φορές ώσπου να απορροφηθούν εντελώς. Ταξιδεύουν με ταχύτητα 3 χιλιομέτρων ανά δευτερόλεπτο, που είναι χαμηλότερη από αυτή της διάδοσης και των P και των S-κυμάτων. Για το λόγο αυτό, είναι δυνατό να γνωρίζουμε, μερικά δευτερόλεπτα πριν, την άφιξή τους και να εφαρμόζουμε συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, τα οποία όμως συχνά δίνουν λάθος συναγερμό. Λόγω της φύσης τους, η ένταση του σεισμού σε μια περιοχή λόγω αυτών των κυμάτων εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες:

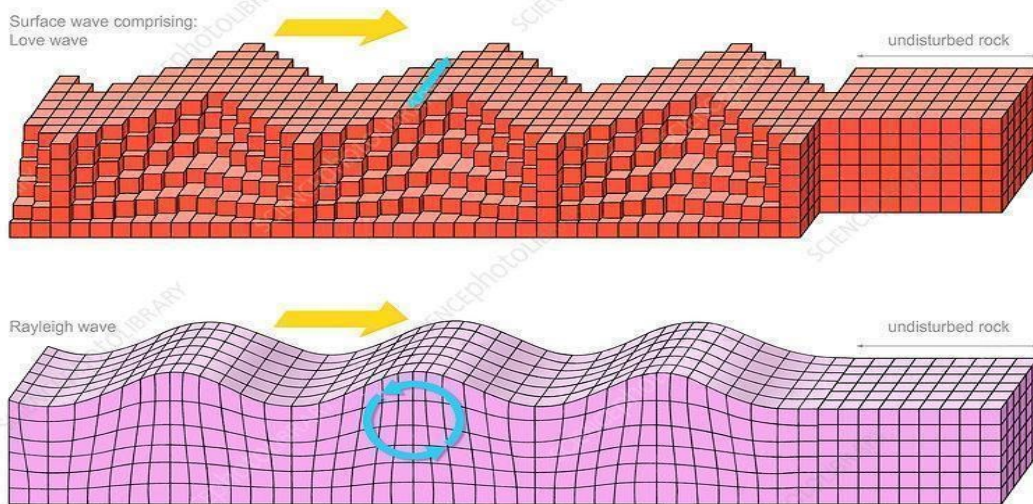
- το μέγεθος του σεισμού
- την απόσταση από το επίκεντρο
- το βάθος του σεισμού
- το μηχανισμό της θραύσης στον εστιακό χώρο
- τον προσανατολισμό της θραύσης του σεισμού
- τη γεωλογική δομή του στερεού φλοιού που οδεύει το κύμα και το εξασθενεί
- τη γεωλογική δομή του σημείου παρατήρησης που διαφοροποιεί την ταλάντωση
- την ακριβή θέση παρατήρησης αν συμπίπτει με τη θέση της αρχικής συμβολής των P και S-κυμάτων.<sup>6</sup>

2. Τα κύματα Love από την άλλη, ταξιδεύουν ορθογώνια με την κατεύθυνση διάδοσης αλλά παράλληλα με την επιφάνεια της Γης. Είναι επιφανειακά εγκάρσια κύματα που είναι πολωμένα οριζόντια, διαδίδονται δηλαδή παραμορφώνοντας ελαστικά το φλοιό σε οριζόντιο επίπεδο, κάθετα στην κατεύθυνση που οδεύουν. Ο τρόπος που κυματίζουν την επιφάνεια είναι αυτός που δίνει τη χαρακτηριστική αίσθηση του σεισμού στον άνθρωπο με την κίνηση του εδάφους πέρα-δώθε. Το πλάτος της ταλάντωσης των κυμάτων αυτών μεγιστοποιείται επίσης κοντά στην επιφάνεια. Ταξιδεύουν πιο αργά από τα P και S-κύματα αλλά λίγο πιο γρήγορα από τα Rayleigh. Ως επιφανειακά κύματα είναι εξίσου καταστροφικά και η έντασή τους τοπικά εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες με τα Rayleigh εκτός του παράγοντα συμβολής των P και S-κυμάτων. Αν

---

<sup>6</sup> <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/understanding-the-fundamentals-of-earthquake-signal-sensing-networks.html>

ο σεισμός είναι μεγάλος, τα κύματα αυτά μπορούν επίσης να διανύσουν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης αρκετές φορές ώσπου να απορροφηθούν εντελώς.<sup>7</sup>



Εικόνα 2.1 – Σεισμικά κύματα

Υπάρχουν και άλλα είδη σεισμικών κυμάτων που αποτελούν συνδυασμό των προηγούμενων. Για παράδειγμα τα διαυλικά κύματα που διαδίδονται μέσα σε στρώμα μικρής ταχύτητας και τα στάσιμα κύματα που παράγονται από τη συμβολή των Love και Rayleigh και προκαλούν την ελεύθερη ταλάντωση της Γης.<sup>8</sup>

## 2.4. Μέγεθος

Υπάρχει πληθώρα κλιμάκων και διαφόρων σεισμικών μεγεθών (M). Έχει άλλωστε παρατηρηθεί ότι κάθε σεισμολογικό ινστιτούτο, όταν λαμβάνει χώρα ένας σεισμός, ανακοινώνει διαφορετικό μέγεθος. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες για το συγκεκριμένο παράδοξο. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι να μετρηθούν οι διαφορετικές όψεις ενός σεισμού.

Αναλυτικότερα, το μέγεθος M είναι το πιο κοινό μέτρο ενός σεισμού. Επειδή είναι μέτρο του μεγέθους της πηγής του σεισμού, είναι ο ίδιος αριθμός οπουδήποτε και να είμαστε, όπως και να τον αισθανθούμε. Η κλίμακα Richter μετρά τη μεγαλύτερη διαταραχή-κίνηση στην καταγραφή, αλλά υπάρχουν κι άλλες κλίμακες μεγεθών που μετρούν διαφορετικά μέρη του

7

[https://www.wikiwand.com/el/%CE%A3%CE%B5%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82#/%CE%A3%CE%B5%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AC\\_%CE%BA%CF%8D%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1\\_%CF%80%CE%BF%CF%85\\_%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%AF%CE%B4%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%B1%CE%B9\\_%CE%B5%CF%83%CF%89%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AC\\_%CF%83%CF%84%CE%B7\\_%CE%93%CE%B7](https://www.wikiwand.com/el/%CE%A3%CE%B5%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82#/%CE%A3%CE%B5%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AC_%CE%BA%CF%8D%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1_%CF%80%CE%BF%CF%85_%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%AF%CE%B4%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%B1%CE%B9_%CE%B5%CF%83%CF%89%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AC_%CF%83%CF%84%CE%B7_%CE%93%CE%B7)

<sup>8</sup> <https://www.seismoi.gr/seismikakymata.htm>

σεισμού. Μια αύξηση του μεγέθους κατά ένα βαθμό (για παράδειγμα, από 4.6 σε 5.6) αναπαριστά μια δεκαπλάσια αύξηση στο πλάτος του κύματος σε ένα σειсмоγράφο ή περίπου μια αύξηση περίπου κατά 25 φορές της ελευθερωμένης ενέργειας. Με άλλα λόγια, ένας σεισμός μεγέθους 6.7 ελευθερώνει πάνω από 700 φορές (25 επί 25) την ενέργεια ενός σεισμού 4,7.

Τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση ενός σεισμού είναι τα παρακάτω:

- **ML:** Είναι το τοπικό μέγεθος, στα αγγλικά γνωστό ως **Magnitude Local:** τοπικό μέγεθος που παρουσιάστηκε από τον Charle Richter το 1935. Η κλίμακα Richter είναι ένας μαθηματικός τύπος. Το μέγεθος ενός σεισμού καθορίζεται από το λογάριθμο του πλάτους των κυμάτων που καταγράφονται από τους σειсмоγράφους σε μια ορισμένη περίοδο. Το ML είναι αξιόπιστο, όταν υπολογίζεται από σειсмоγράφους που δεν απέχουν περισσότερο από 600 χιλιόμετρα από το επίκεντρο του σεισμού. Ισχύει μόνο για ορισμένη συχνότητα σεισμικών κυμάτων και για ορισμένη απόσταση από το επίκεντρο. Έτσι, για διαφορετικές αποστάσεις από το επίκεντρο του σεισμού, οι σεισμολόγοι βασίζονται σε διαφορετικά σεισμικά κύματα για τους υπολογισμούς τους.
- **Ms:** Γνωστό και ως **Surface magnitude.** Είναι το μέγεθος που λαμβάνεται από τη μέτρηση των κυμάτων επιφανείας. Να σημειώσουμε ότι το Ms είναι μεγαλύτερο από το ML. Για παράδειγμα, αν το μέγεθος ενός σεισμού μετρήθηκε σαν 5 βαθμοί της κλίμακας Ρίχτερ (ML), μπορεί να μετρηθεί και ως 5.5 Ms. Το Ms είναι αξιόπιστο για επιφανειακούς σεισμούς με βάθος μικρότερο από 50 km και για μεγάλες αποστάσεις από το επίκεντρο. Χρησιμοποιείται στην Ελλάδα και προτάθηκε από τον καθηγητή Παπαζάχο. Η ενέργεια που εκλύεται δίνεται σε erg από τον τύπο :  $\log E = 12,24 + 1,40 M_s$ .
- **MB:** Είναι μια επέκταση της κλίμακας Richter και σκοπό την βέλτιστη εκμετάλλευση του δικτύου των σειсмоγράφων. Είναι το μέγεθος που λαμβάνεται από τη μέτρηση των πρωτεύοντων P κυμάτων (Compressional Body Wave Magnitude). Είναι ένα αξιόπιστο μέγεθος σεισμών με μεγαλύτερα εστιακά βάθη και για μεγάλες αποστάσεις από το επίκεντρο.
- **Mw:** Όλα τα προηγούμενα μεγέθη βγαίνουν από τύπους που περιέχουν ένα συγκεκριμένο πλάτος ταλάντωσης ενός σεισμικού κύματος σε κάποια χρονική στιγμή. Το Mw, το οποίο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση μεγάλων σεισμών, υπολογίζεται από ένα πολύπλοκο τύπο και είναι πολύ αξιόπιστο.
- **Md:** Είναι η κλίμακα μεγέθους διάρκειας.
- **Mo:** Η κλίμακα μεγέθους σεισμικής ροπής, που θεωρείται η πιο ακριβής. Προτάθηκε το 1979 και δεν εξαρτάται από την περίοδο των σεισμικών κυμάτων αλλά τη μέτρηση της σεισμικής ροπής.
- **Me:** Το οποίο εκφράζει το δυναμικό καταστροφικότητας ενός σεισμού και χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση εκλυόμενης σεισμικής ενέργειας μεγάλων συμβάντων.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> <https://www.seismoi.gr/klimakestwnseismwn.htm>

## 2.5 Ένταση

Η ένταση του σεισμού εξαρτάται αρχικά από την περιοχή που οι μετρήσεις έχουν παρθεί. Η ένταση του σεισμού περιγράφει την επίδραση του σεισμού σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Παραδοσιακά έχει χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως σαν μια μέθοδος ποσοτικοποίησης του είδους του σεισμού και του βαθμού της καταστροφής που έχει προκληθεί. Η ένταση ενός σεισμού εκφράζεται με εμπειρικό τρόπο είτε σε βαθμούς της αναθεωρημένης κλίμακας **Mercalli** (MM) ή σε βαθμούς της κλίμακας **Mercalli-Sieberg** (MKS) και είναι η φυσική ποσότητα που δίνει το μέτρο των αποτελεσμάτων ενός σεισμού στους ανθρώπους και στις ανθρώπινες κατασκευές.

Η κλίμακα Μερκάλι (γνωστή σε αγγλικούς όσους ως Mercalli intensity scale) είναι μια κλίμακα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της έντασης των σεισμών. Την διαμόρφωσε, και αντίστοιχα πήρε και το όνομα της, από τον Τζουζέπε Μερκάλι, το 1902. Η εν λόγω κλίμακα, εν αντιθέσει με την κλίμακα Ρίχτερ, δε μετρά την ενέργεια που απελευθερώνεται από έναν σεισμό. Η Mercalli intensity scale αντικατοπτρίζει τις επιπτώσεις ενός σεισμού σε μια δεδομένη περιοχή. Αποτελεί, κατά αυτό τον τρόπο, την καταλληλότερη, για την μέτρηση σεισμών σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Αντίθετα, αντενδείκνυται για αραιοκατοικημένες ή ακατοίκητες περιοχές.

Με βάση την κλίμακα, οι σεισμοί ταξινομούνται σε δώδεκα (12) επίπεδα, ανάλογα με την έντασή τους και τις ζημιές που επιφέρουν. Τα επίπεδα αυτά φέρουν λατινικούς αριθμούς και ξεκινούν από το I, δηλαδή επίπεδο 1, μη αισθητός σεισμός, καταγράφεται μόνο από σειсмоγράφους, με αύξουσα σειρά καθώς αυξάνεται η ένταση του σεισμού και οι προκαλούμενες ζημιές.

Στις ασθενείς και μέτριες δονήσεις, χωρίς ζημιές, η κατάταξη γίνεται ανάλογα με το πόσο αισθητές γίνονται από τους ανθρώπους. Αντίθετα, στις ισχυρότερες σεισμικές δονήσεις η μέτρηση αντικατοπτρίζει την έκταση των καταστροφών, τόσο στα αντισεισμικά, όσο και στα λιγότερο ανθεκτικά κτίρια.

Το ύψιστο δυνατό επίπεδο που μπορεί να υπάρξει είναι το XII δώδεκα (12) και ουσιαστικά περιγράφει σε έναν σεισμό που δυνητικά θα επέφερε ολική καταστροφή σε κάθε ανθρώπινη κατασκευή σε συνδυασμό με την αναδιαμόρφωση του γεωγραφικού ανάγλυφου της πληγείσας περιοχής. Η μοναδική περίπτωση τέτοιων καταστροφικών σεισμών έχει καταγραφεί στην Χαϊγιουάν στην Κίνα στις 16 Δεκεμβρίου 1920. Ο συγκεκριμένος απολογισμός είχε ως αποτέλεσμα τον θάνατο περισσότερων από 273.400 ζώων. Τρεις (3) επαρχίες καταστράφηκαν με παραμορφώσεις του εδάφους, οι Χαϊγιουάν, Λιτζουνμπού και Γκανγιαντσι, σε συνδυασμό με ολική καταστροφή επιπέδου XII. Πρέπει να τονιστεί ότι και στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται αναντιστοιχία ως προς το ακριβές μέγεθος με καταγραφή στα 7,8 R έως και 8,5 R.

Αξιίζει να τονιστεί ότι παρατηρείται μια σχετική αντιστοιχία μεταξύ της ενέργειας που απελευθερώνεται, δηλαδή του μεγέθους, στην Κλίμακα Ρίχτερ σε συνδυασμό με την ένταση των σεισμών. Η ένταση παρά ταύτα εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως το εστιακό βάθος του σεισμού, το πόσο ευνοϊκό ή δυσμενές είναι το υπέδαφος, την απόσταση των κατοικιών από το επίκεντρο και από την πυκνότητα του πληθυσμού. Για να κατανοηθεί το συγκεκριμένο γεγονός αξίζει να αναφερθούμε σε ένα παράδειγμα. Το 2011 προκλήθηκε σεισμός στις ΗΠΑ και πιο συγκεκριμένα στην Καλιφόρνια, εξαιρετικά μικρός μόλις 0,7 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ. Παρά ταύτα είχε μικρό εστιακό βάθος μόλις 4 χιλιόμετρα. Αυτό το γεγονός συνετέλεσε στο να ταξινομηθεί σε επίπεδο III της κλίμακας Μερκάλι. Αντιθέτως, στη Κρήτη την ίδια μέρα προκλήθηκε σεισμός 4,9 Ρίχτερ αλλά είχε μεγάλο εστιακό βάθος στα 27 χιλιόμετρα και μακριά από την ακτή με αποτέλεσμα να κατηγοριοποιηθεί στο επίπεδο I.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθούμε στο αντισεισμικό επίπεδο υποδομών της χώρας. Η κλίμακα MKS είναι 12βάθμια και χρησιμοποιείται κυρίως στην Ευρώπη και κατ'επέκταση και στη χώρα μας. Η κλίμακα MM είναι επίσης 12βάθμια και χρησιμοποιείται κυρίως στις ΗΠΑ αλλά και στην Ευρώπη. Η κλίμακα MS είναι 12βάθμια και χρησιμοποιείται κυρίως στη Γερμανία.

Ακολουθούν οι πίνακες κλίμακας MKS καθώς και της τροποποιημένης κλίμακας MM.

Βαθμός	Ισχύς	Συνέπειες σε άτομα	Κτίρια	Φύση
I	απαράτηρητος	ανεπαίσθητος		
II	πολύ ελαφρός	αισθητός σε περιορισμένο αριθμό ατόμων		
III	ελαφρός	σαφώς αισθητός κυρίως από άτομα αναπαυόμενα		
IV	μέσης ισχύος	μέσα στα σπίτια γενικά αισθητός, αφυπνιστικός	τρίζουν τα παράθυρα	
V	σχεδόν ισχυρός	αισθητός γενικά στο ύπαιθρο	ρωγμές σε επιχρίσματα, αιωρούνται τα κρεμαστά αντικείμενα	
VI	ισχυρός	τρομακτικός	ζημιές σε καμινάδες και επιχρίσματα	μεμονωμένες ρωγμές σε υγρά εδάφη
VII	πολύ ισχυρός	πολλοί βγαίνουν στο ύπαιθρο	μέτριες ζημιές, κυρίως σε κακά κτίρια	μεμονωμένες κατολισθήσεις σε εδάφη με απότομες κλίσεις
VIII	προκαλεί καταστροφές	γενικεύεται ο φόβος	παλιά κτίρια εμφανίζουν ζημιές, σπάζουν σωληνώσεις	μεταβολές σε πηγές, κατολισθήσεις
IX	καταστρεπτικός	πανικός	μεγάλες ζημιές, θραύση υπόγειων αγωγών	ρήγματα στο έδαφος, καταπτώσεις βράχων
X	εξοντωτικός	γενικός πανικός	κτίσματα από οπτοκλινοδομές καταρρέουν	στρέβλωση σιδ. τροχ., δημιουργία νέων λιμνών
XI	καταστροφή		λίγα μόνο κτίρια στέκουν όρθια, σπάζουν αγωγοί	εκτεταμένες αλλαγές της επιφ. εδάφους, παλιρροιακό κύμα
XII	ολική καταστροφή		κτίρια και υπόγειες κατασκευές καταστρέφονται ολοσχερώς	σε βάθος μεταμ. της επιφ. της γης, παλιρροιακά κύματα

Εικόνα 3 - Κλίμακα MKS

Βαθμός	Περιγραφή φαινομένων
I	Μη αισθητός
II	Αισθητός από άτομα σε ανάπαυση σε υψηλούς ορόφους
III	Αισθητός σε εσωτερικούς χώρους, κίνηση αναρτημένων αντικειμένων. Ταλάντωση σαν αυτή που προκαλείται από διέλευση ελαφρού φορτηγού.
IV	Κραδασμοί σαν από διέλευση βαρέως φορτηγού. Τρέμουν τα τζάμια των παραθύρων.
V	Αισθητός στο ύπαιθρο, αισθητή η διεύθυνση του σεισμού, μερικά τζάμια σπάζουν. Σποραδικές ρηγματώσεις επιχρισμάτων, ανατροπή μη ευσταθών αντικειμένων.
VI	Αισθητός από όλους. Τα άτομα περπατούν με αστάθεια. Ελαφρές ζημιές.
VII	Δύσκολο να σταθείς όρθιος. Πτώση επιχρισμάτων, ελαφριά ως μέση ζημιά σε καλοχτισμένες κανονικές κατασκευές. Αισθητός και από άτομα που οδηγούν αυτοκίνητα.
VIII	Επιρροή στην οδήγηση αυτοκινήτων. Μερική κατάρρευση κανονικών κτιρίων. Ανατροπή βαρέων επίπλων.
IX	Σημαντικές ζημιές σε ειδικά σχεδιασμένες κατασκευές, καλοσχεδιασμένες πλαίσιωτές κατασκευές παίρνουν μόνιμες παραμορφώσεις, ρήγματα στο έδαφος, θραύση υπογείων σωληνών.
X	Καταστροφή των περισσότερων πλινθόκτιστων των πλαίσιωτων κτιρίων με τις θεμελιώσεις τους. Μεγάλη ρηγμάτωση εδάφους, κάμψη σιδηροτροχιών, σοβαρές κατολισθήσεις.
XI	Ελάχιστα πλινθόκτιστα παραμένουν όρθια. Γέφυρες καταστρέφονται. Μεγάλου εύρους ρήγματα στο έδαφος. Πλήρης αχρήστευση υπογείων δικτύων. Καθιζήσεις εδάφους. Μεγάλη καταστροφή σιδηροτροχιών.
XII	Γενική καταστροφή. Καταστροφή επίπεδων επιφανειών. Εκτίναξη αντικειμένων στον αέρα.

Εικόνα 4 - Κλίμακα MM

Η Κλίμακα Ρίχτερ είναι από τις πιο ευρέως διαδεδομένες λογαριθμικές κλίμακες μέτρησης της ενέργειας που εκλύεται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Η κλίμακα Ρίχτερ αναπτύχθηκε το 1935, στην Νότια Καλιφόρνια των ΗΠΑ από τον Αμερικανό φυσικό και σεισμολόγο Τσαρλς Ρίχτερ (Charles Francis Richter) και τον Γερμανό Μπένο Γκούτενμπεργκ (Benno Gutenberg). Η κλίμακα αυτή, που φέρει προς τιμήν το όνομα του ενός των δημιουργών της.

Επινοήθηκε αρχικά για μέτρηση τοπικών σεισμών. Λόγω όμως της πρωτοτυπίας της, ορίστηκε διεθνώς ως κλίμακα αναφοράς του μεγέθους όλων των σεισμών. Σε συνέχεια της διεθνούς καθιέρωσης της κλίμακας, οι Richter & Gutenberg ωθήθηκαν ώστε να την βελτιώσουν και να υπερκεραστούν οι τυχόν περιορισμοί τόσο της απόστασης όσο και των τύπων σειсмоγράφων που χρησιμοποιούσαν. Συνέχισαν το έργο τους με την δημιουργία νομογραμμάτων, τα οποία αποτέλεσαν την βάση για την άμεση εξαγωγή του μεγέθους των σεισμών. Τα νομογράμματα είχαν ως βάση ορισμένα χαρακτηριστικά του σεισμού, όπως η χρονική διάρκεια και το πλάτος των δευτερευόντων σεισμικών κυμάτων.

Η κλίμακα Ρίχτερ είναι λογαριθμική (Μι), η αύξηση του μεγέθους του σεισμού κατά μία (1) ακέραια μονάδα της κλίμακας αντιπροσωπεύει δεκαπλασιασμό (10) του πλάτους των δονήσεων που καταγράφονται από ένα σειсмоγράφο Wood-Anderson και 31,5 φορές μεγαλύτερη έκλυση ενέργειας, ενώ αύξηση δύο (2) βαθμών αντιπροσωπεύει 1.000 φορές μεγαλύτερη έκλυση ενέργειας.

Ως «βαθμός 0» έχει επιλεγεί η ασθενέστερη δόνηση που μπορούσε να καταγραφεί την εποχή που καθιερώθηκε η κλίμακα. Οι σύγχρονοι σειсмоγράφοι καταγράφουν και ασθενέστερες

δονήσεις από εκείνες που αρχικά είχαν επιλεγεί για να ορίσουν το «0». Οι συγκεκριμένες ασθενείς δυνάμεις πλέον ορίζονται με αρνητικές τιμές. Η πιο ασθενής δόνηση που μπορεί να υπάρξει είναι - 2,0 Ρίχτερ, τόσο όσο το σπάσιμο μίας πέτρας. Μία εμπειρική αντίληψη του βαθμού ένα (1) της κλίμακας είναι η δόνηση που παράγεται από τη διέλευση ενός τρένου με μέση ταχύτητα σε ασφαλτο, ενώ βαθμός δύο (2) είναι η δόνηση που αντιλαμβάνονται οι θεατές παρέλασης όταν διέρχονται τα άρματα μάχης. Στη σύγχρονη πρακτική χρησιμοποιείται ένα πιο σωστά θεμελιωμένο μέτρο για το μέγεθος του σεισμού γνωστό και ως η σεισμική ροπή, η οποία παρέχει πολύ πιο ομοιόμορφη κλίμακα για το σεισμικό γεγονός.

< 0 R	<b>Μικροσεισμός</b>	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σειсмоγράφους.
0 - 0,9 R	<b>Μικροσεισμός</b>	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σειсмоγράφους.
1 - 1,9 R	<b>Μικροσεισμός</b>	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σειсмоγράφους.
2 - 2,9 R	<b>Μικροσεισμός</b>	Σχεδόν πάντα μη αισθητός. Πιθανώς αισθητός από μερικούς ανθρώπους κοντά στο επίκεντρο.
3 - 3,9 R	<b>Ασήμαντος</b>	Αισθητός, χωρίς ζημιές.
4 - 4,9 R	<b>Ασθενής</b>	Αισθητός, με ελαφρές συνήθως ζημιές γύρω από το επίκεντρο.
5 - 5,9 R	<b>Μέτριος</b>	Ζημιές συνήθως εντός 10 km <sup>2</sup>
6 - 6,9 R	<b>Ισχυρός</b>	Σοβαρότατες ζημιές εντός 100 km <sup>2</sup>
7 - 7,9 R	<b>Καταστροφικός</b>	Μεγάλες καταστροφές και ανθρώπινες απώλειες, εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από το επίκεντρο.
8 - 8,9 R	<b>Εξαιρετικά Καταστροφικός</b>	Εξαιρετικά μεγάλες καταστροφές και ανθρώπινες απώλειες, πολλές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από το επίκεντρο.
9 - 9,9 R	<b>Ασύλληπτα Καταστροφικός</b>	Τεράστιες καταστροφές και τεράστιες ανθρώπινες απώλειες, πολλές χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά από το επίκεντρο. Ελάχιστοι αυτού του μεγέθους έχουν καταγραφεί στην παγκόσμια ιστορία. Ο ισχυρότερος ήταν 9,5 R.
≥ 10 R	<b>Μετεωρικός</b>	Δεν υπάρχει τόσο μεγάλου μήκους σεισμογόνο ρήγμα στη Γη για να προκαλέσει κάτι τέτοιο. Μόνο από συμβάν πρόσκρουσης με <b>αστεροειδή</b> ή <b>κομήτη</b> μπορεί να συμβεί. Πρακτικώς, θα ισοδυναμούσε με παγκόσμια κλίμακα καταστροφή.

Εικόνα 5 - μετρήσεις

## 2.6 Διαφορές από την κλίμακα Μερκάλι

Η κλίμακα Ρίχτερ διαφέρει από την κλίμακα Μερκάλι και ορθώς δεν θα πρέπει να συγχέεται. Η κλίμακα κλίμακα Μερκάλι προσδιορίζει όχι το μέγεθος, αλλά την ένταση του σεισμικού φαινομένου σε ορισμένη τοποθεσία και, επομένως, εξαρτάται από το μέγεθος, την απόσταση από το επίκεντρο του σεισμού, το υπέδαφος και από παράγοντες που επηρεάζουν την διάδοση των σεισμικών κυμάτων. Επίσης, η κλίμακα Μερκάλι αντικατοπτρίζει τις επιπτώσεις ενός σεισμικού φαινομένου και δεν ενδείκνυται για μετρήσεις σε ακατοίκητες ή αραιοκατοικημένες περιοχές.<sup>10</sup>

<sup>10</sup>[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1%CE%BA%CE%B1\\_%CE%A1%CE%AF%CF%87%CF%84%CE%B5%CF%81](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1%CE%BA%CE%B1_%CE%A1%CE%AF%CF%87%CF%84%CE%B5%CF%81)  
<https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/understanding-the-fundamentals-of-earthquake-signal->



## 2.7 Η Φασματική ένταση του σεισμού

Η ένταση ενός σεισμού εξαρτάται από την επίδρασή του όπως αυτή γίνεται αισθητή σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Η **φασματική ένταση (SI)** είναι ένα μέτρο του μεγέθους της καταστροφικής ενέργειας που επιβάλλεται από τον σεισμό σε μια συγκεκριμένη κατασκευή. Η τιμή SI υπολογίζεται από το φάσμα απόκρισης ταχύτητας χρησιμοποιώντας την εξίσωση που φαίνεται στην Εξίσωση. Οι πολύ άκαμπτες κατασκευές έχουν κανονική περίοδο ταχύτητας από 1,5 s έως 2,5 s. Δεδομένου ότι η τιμή SI λειτουργεί στο φάσμα της ταχύτητας δόνησης, μπορεί εύκολα να διακρίνει τις σεισμικές δραστηριότητες από τους σεισμούς ή από άλλες πηγές. Έτσι, η τιμή SI μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο της επίδρασης του σεισμού στη δομική υγεία ενός κτιρίου. Επιπλέον, σε σύγκριση με τη σεισμική ένταση JMA, η τιμή SI περιλαμβάνει έναν λιγότερο περίπλοκο υπολογισμό, γεγονός που την καθιστά πιο κατάλληλη για εφαρμογές χαμηλής ισχύος. Η εξίσωση εμφανίζει την εξίσωση φασματικής έντασης χρησιμοποιώντας το φάσμα απόκρισης της ταχύτητας δόνησης που είναι ενσωματωμένο κατά την περίοδο κανονικής ταχύτητας ενός κτιρίου.<sup>11</sup>

$$SI = \frac{1}{2.4} \int_{0.1}^{2.5} Sv(T,h) dT$$

where:

*SI = Spectral Intensity*

*Sv(T,h) = Shaking Velocity Spectrum in  
Frequency Range h and Period T*

Εικόνα 6 - φασματική ένταση

## 2.8 Πόση ενέργεια απελευθερώνεται από έναν σεισμό

Οι σεισμοί απελευθερώνουν ένα τεράστιο ποσό ενέργειας και ως εκ τούτου αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο μπορούν να είναι τόσο καταστρεπτικοί. Η καταγραφή που ακολουθεί παρουσιάζει τα μεγέθη κατά προσέγγιση της ποσότητας TNT που απαιτείται για να αποδεσμεύσει το ίδιο ποσό ενέργειας.

Μέγεθος	Κατά προσέγγιση ισοδύναμη ενέργεια TNT
4.0	1010 τόνοι
5.0	31800 τόνοι
6.0	1.010.000 τόνοι

---

[sensing-networks.html](#)

<https://www.oasp.gr/node/206>

[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1%CE%BA%CE%B1\\_%CE%9C%CE%B5%CF%81%CE%BA%CE%AC%CE%BB%CE%B9](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1%CE%BA%CE%B1_%CE%9C%CE%B5%CF%81%CE%BA%CE%AC%CE%BB%CE%B9)

<sup>11</sup> <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/understanding-the-fundamentals-of-earthquake-signal-sensing-networks.html>



7.0	31.800.000 τόνοι
8.0	1.010.000.000 τόνοι
9.0	31.800.000.000 τόνοι

Τα μεγέθη ταξινομούνται ως εξής:

Μεγάλος:  $M \geq 8$  {προκαλούν απώλειες ανθρώπινων ζωών σε συνδυασμό με μεγάλες καταστροφές}

Σημαντικός:  $7 \leq M < 7.9$  {προκαλούνται σοβαρότατες ζημιές και πέραν των 100 χλμ}

Ισχυρός:  $6 \leq M < 6.9$  {προκαλούνται σοβαρές ζημιές εντός 100 τετραγωνικών χλμ}

Μέτριος:  $5 \leq M < 5.9$  {προκαλούνται ζημιές συνήθως εντός 10 τετραγωνικών χλμ}

Ασθενής:  $4 \leq M < 4.9$  {γίνονται αισθητοί με μικρές υλικές συνήθως ζημιές γύρω από το επίκεντρο}

Ασήμαντος:  $3 \leq M < 3.9$  {γίνονται αισθητοί χωρίς να προκαλέσουν ζημιές}

Μικρός:  $M < 3$  {είναι ανεπαίσθητοι και πολυπληθείς}

Η γεωλογία της περιοχής συνηγορεί στην δημιουργία διορθώσεων στα διάφορα μεγέθη. Επίσης, επιλέγεται εκείνο το μέγεθος που εκφράζει με τη μεγαλύτερη ακρίβεια το σεισμικό συμβάν. Για παράδειγμα, εάν μια σεισμική εστία βρίσκεται σε μεγάλο βάθος, τότε δεν παράγονται επιφανειακά κύματα, όπως γίνεται στους πιο αβαθείς σεισμούς, και δεν θα ανακοινωθεί το μέγεθος  $M_s$ , αλλά το  $M_L$  ή το  $M_B$ .

Στον αντίποδα, αν το επίκεντρο είναι αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά, τότε πιο αξιόπιστο μέγεθος είναι το  $M_B$ . Αν όμως ο σεισμός είναι αρκετά μεγάλος, το μέγεθός του θα το αποδώσει το στιγμιαίο μέγεθος  $M_w$ , γιατί ενώ οι μεγάλοι σεισμοί έχουν μεγαλύτερη διάρκεια από τους μικρότερους, το  $M_B$  προσδιορίζεται από το πλάτος των  $P$  κυμάτων στα πρώτα πέντε (5) δευτερόλεπτα της δόνησης. Έτσι το  $M_B$ , δεν θα αποδώσει με ακρίβεια το πραγματικό μέγεθος μεγάλων σεισμών, οι οποίοι, συνήθως, διαρκούν περισσότερο και δίνουν το πραγματικό μέγεθός τους μετά την πάροδο μερικών δευτερολέπτων.<sup>1213</sup>

Όσον αφορά τώρα τις επιπτώσεις των σεισμών, αυτές ποικίλλουν ανάλογα με το μέγεθος του. Αναλυτικότερα, σαν πρώτη επίπτωση μπορούμε να αναφέρουμε την δόνηση του εδάφους. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ελλοχεύει ο κίνδυνος να προκληθούν ζημιές σε κτιριακές εγκαταστάσεις καθώς και παραμόρφωση του εδάφους κάτω από αυτά. Σε μεγάλου μεγέθους σεισμούς κτίρια μπορούν έως και να οδηγηθούν στην κατάρρευση. Ακόμα και σεισμοί μέτριου μεγέθους μπορούν να συντελέσουν στην υγροποίηση χαλαρών πετρωμάτων, όπως η άμμος ή το χώμα και να τα διαβρώσουν. Τα δυνατά κύματα επιφανείας μπορούν, επίσης, να προκαλέσουν κατολισθήσεις και χιονοστιβάδες σε πιο απότομες πλαγιές ή βουνά λόγω μεγάλων αποθέσεων. Συχνό είναι παράλληλα το φαινόμενο να παρατηρούνται καθιζήσεις ή οριζόντιες μετακινήσεις, να δημιουργούνται μεγάλες ζημιές σε δομές και υποδομές κατά μήκος του ρήγματος. Εάν η ζώνη του ρήγματος φτάνει στην επιφάνεια, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα οι ζημιές να είναι εκτεταμένες.

Αναφορά, πρέπει επίσης, να γίνει και σε τυχόν πλημμυρικά φαινόμενα που μπορεί να

<sup>12</sup> <http://www.physics4u.gr/faq/measureearthquake.html>

<sup>13</sup> [http://epas-n-filad.att.sch.gr/epas\\_earthquake.pdf](http://epas-n-filad.att.sch.gr/epas_earthquake.pdf)

προκληθούν σε φράγματα και αναχώματα ποταμών. Οι πλημμύρες αν δεν ελέγχουν έγκαιρα μπορούν να προκαλέσουν καταστροφές σε κτήρια ενώ θέτουν τη ζωή των ανθρώπων σε κίνδυνο.

Όπως προαναφέρθηκε, μεγάλο ποσοστό σεισμών φέρει ως συνέπεια την εμφάνιση τσουνάμι. Πιο συγκεκριμένα, υποθαλάσσιες σεισμικές δονήσεις που λαμβάνουν χώρα στον πυθμένα της θάλασσας μεταφέρουν την κίνηση στο νερό και έτσι δημιουργούνται μεγάλα κύματα, τα οποία διαδίδονται στη θάλασσα. Στις ακτογραμμές, που χτυπήθηκαν από τσουνάμι υπάρχει πληθώρα καταστροφικών συνεπειών τόσο σε οικονομικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο ανθρώπινων απωλειών.

Σε περιπτώσεις εμφάνισης σεισμών σε οικιστικές περιοχές συχνός είναι ο κίνδυνος πυρκαγιών. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση που οι αγωγοί αερίου και ηλεκτρισμού καταστραφούν από σεισμό μπορεί να προκληθούν πυρκαγιές με όλες τις καταστρεπτικές συνέπειες. Τα συγκεκριμένα γεγονότα έλαβαν χώρα στο Σαν Φρανσίσκο το 1906.

Άλλο μεγάλο κεφάλαιο αποτελούν οι κατολισθήσεις. Είναι γεγονός, ότι οι σεισμικές δονήσεις μπορούν να προξενήσουν κατολισθήσεις. Από τότε που σεισμικά κύματα ενεργούν για να αυξήσουν κατά πολύ την πίεση του νερού μέσα σε αδρανείς και ενεργούς φορείς ολίσθησης, προκαλώντας τη δική τους ξαφνική ενεργοποίηση. Κατ' αντιστοιχία, η ίδια αύξηση της πίεσης του νερού, μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα ρωγμών και υγροποίησης σε χαλαρά αμμώδεις κοιτάσματα, σε ρηχά βάθη κάτω των είκοσι (20) μέτρων εάν είναι κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Τα προαναφερθέντα φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν, δομική αστάθεια σε κτήρια εξαιτίας της διαρροής άμμου και της συνακόλουθης δημιουργίας κενών κάτω από τα θεμέλια.

Εν κατακλείδι, οι σεισμικές δονήσεις δεν αποτελούν άμεσο κίνδυνο για τους ανθρώπους. Σε ανοιχτούς χώρους με απουσία πτώσης αντικειμένων η πιθανή κατάρρευση κτιρίων ο σεισμός δεν μπορεί να έχει σημαντική επίπτωση στους ανθρώπους.<sup>14, 15</sup>

## 2.9 Όργανα καταγραφής σεισμών

Στο συγκεκριμένο κομμάτι της ανάλυσης πρόκειται να παρουσιαστούν διάφορα σειсмоγραφικά όργανα διαχρονικά. Τα σεισμικά κύματα που ξεκινούν από την εστία και οδεύουν μέσα από τα διάφορα στρώματα της Γης φτάνουν στους σταθμούς παρατήρησης και καταγράφονται από τα διάφορα σειсмоγραφικά όργανα.

Για να περιγραφεί πλήρως η κίνηση των υλικών σημείων της Γης απαιτούνται τρία (3) είδη σειсмоγραφικών οργάνων. Τα συγκεκριμένα είδη καταγράφουν την μετάθεση, την περιστροφή και την παραμόρφωση.

---

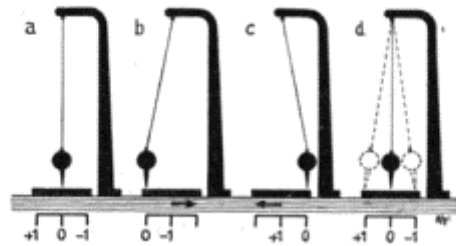
<sup>14</sup> Ποιες είναι οι συνέπειες ενός σεισμού

<sup>15</sup> <https://besafenet.net/el/hazards/earthquakes/>

Πιο σημαντικά για την επιστήμη της Σεισμολογίας είναι τα όργανα που καταγράφουν την μετάθεση και τις παραγώγους της ως προς τον χρόνο, την ταχύτητα και την επιτάχυνση.

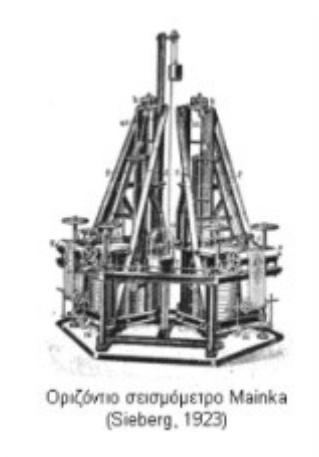
Κατά σειρά ιστορικής εξέλιξης και επιστημονικής αξίας διακρίνουμε:

**Σεισμοσκόπια** είναι όργανα που καταγράφουν την γένεση των σεισμών ή αναγράφουν αυτούς πάνω σε ακίνητη αιθαλωμένη πλάκα δίνοντας έτσι πληροφορίες για την κατεύθυνση και την ένταση της σεισμικής κίνησης.



Εικόνα 7 - Σεισμοσκόπια

**Σεισμογράφοι** είναι όργανα με τα οποία επιτυγχάνεται αυτόματη αλλά όχι πιστή αναγραφή της σεισμικής κίνησης. Η αναγραφή αυτή λέγεται σεισμογράφημα. Γίνεται με γραφίδα πάνω σε αιθαλωμένη ταινία ή με φωτεινή κηλίδα πάνω σε φωτογραφική ταινία. Ο σεισμογράφος αποτελείται από το εκκρεμές, το σύστημα ενίσχυσης (ή μεγέθυνσης) και το σύστημα αναγραφής. Η μάζα του εκκρεμούς πρέπει να είναι σημαντική ώστε η δύναμη της αδράνειας να υπερνικήσει τις τριβές της γραφίδας και των αρθρώσεων των μοχλών. Ωστόσο, επειδή οι σεισμογράφοι δεν διαθέτουν σύστημα απόσβεσης της κίνησης, το οποίο θα επανέφερε γρήγορα το εκκρεμές στη θέση ηρεμίας ώστε να ανταποκριθεί σε νέα δόνηση, οι καταγραφές τους ήταν αποτέλεσμα όχι μόνο της σεισμικής κίνησης αλλά και της αιώρησης του εκκρεμούς. Για τον πλήρη καθορισμό της μετάθεσης σε ένα σταθμό πρέπει να υπάρχουν τρεις (3) σεισμογράφοι, ένας (1) για την κατακόρυφη συνιστώσα και δυο (2) για τις οριζόντιες συνιστώσες της εδαφικής κίνησης.



*Εικόνα 8 - Σεισμογράφοι*

**Σεισμόμετρα** είναι όργανα που καταγράφουν με σημαντική ακρίβεια τις σεισμικές κινήσεις. Η βασική διαφορά μεταξύ σεισμομέτρου και σεισμογράφου είναι ότι το σεισμόμετρο διαθέτει συσκευή με την οποία πετυχαίνεται απόσβεση της αιώρησης του εκκρεμούς και έτσι είναι δυνατή η πιστότερη αναγραφή της σεισμικής κίνησης. Οι αναγραφές των σεισμομέτρων λέγονται σεισμογράμματα.

Η αναγραφή των σεισμικών κυμάτων στα σεισμόμετρα γίνεται με τρεις (3) κυρίως τρόπους. Πρώτον, με μηχανική αναγραφή (σεισμόμετρα Mainka, Wiechert). Δεύτερον, με οπτική αναγραφή (σεισμόμετρα Milne - Show, Wood - Anderson). Τρίτον, με ηλεκτρομαγνητική αναγραφή (σεισμόμετρο κινούμενου πηνίου Galitzin και το σεισμόμετρο μεταβαλλόμενης μαγνητικής αντίστασης Benioff).

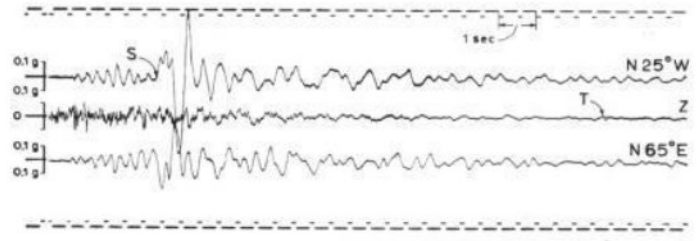


*Εικόνα 9 - Σεισμόμετρα*

Οι **επιταχυνσιογράφοι** αποτελούν ειδική κατηγορία σεισμογραφικών οργάνων. Τα σεισμογραφήματα των οργάνων αυτών παρέχουν τη σεισμική επιτάχυνση σε συνάρτηση με τον χρόνο λόγω της ιδιοσυχνότητάς τους η οποία είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τη δεσπόζουσα συχνότητα του σεισμού. Η βασική τους χρησιμότητα είναι σε εφαρμογές Τεχνικής Σεισμολογίας, γι' αυτό και εγκαθίστανται σε τεχνικές κατασκευές (κτίρια, γέφυρες, φράγματα, πυρηνικούς σταθμούς κλπ). Ένας επιταχυνσιογράφος ιδιαίτερα διαδεδομένος στην εποχή του (1960-1980) υπήρξε ο SMA-1 (Kinemetrics Inc.). Διαθέτει τρία (3) επιταχυνσιόμετρα εξαναγκασμένης ταλάντωσης και η καταγραφή γίνεται σε φωτογραφικό φιλμ. Κατά τη λειτουργία του βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής και όταν δεχθεί ισχυρή δόνηση, ανάβει φωτεινή πηγή που μέσω συστήματος μικρών κατόπτρων που βρίσκονται επί των επιταχυνσιόμετρων, κατευθύνουν την αντίστοιχη φωτεινή δέσμη επί του φιλμ που προωθείται από μικρό ηλεκτροκινητήρα.

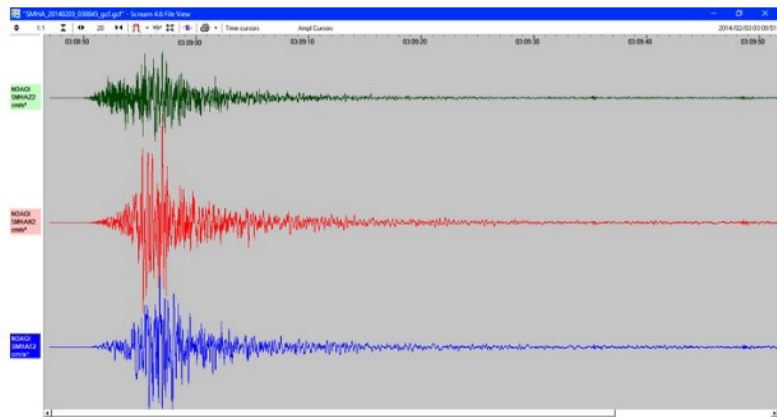
Σε επόμενες χρονικές περιόδους οι επιταχυνσιογράφοι περνούν στη ψηφιακή καταγραφή (μαγνητοταινία, ψηφιακή μνήμη). Σήμερα οι τεχνικές τους προδιαγραφές είναι τέτοιες που επιτρέπουν την καταγραφή ευρείας συχνοτικής περιοχής, ενώ υποστηρίζουν και επιχειρησιακές δραστηριότητες (ανακοίνωση σεισμού, χάρτες αισθητότητας).<sup>16</sup>

<sup>16</sup> <https://www.gein.noa.gr/HTML/WEB-EDU/instruments.htm>



Αναλογικός επιταχυνσιογράφος SMA-1 και η καταγραφή του σεισμού της Λευκάδας (Νοέμβριος 1973) από επιταχυνσιογράφο αυτού του τύπου.

*Εικόνα 10 - Αναλογικός επιταχυνσιογράφος*



Σύγχρονος ψηφιακός επιταχυνσιογράφος CMG-5TDE (Guralp Systems Ltd) και η καταγραφή του σεισμού της Κεφαλονιάς (Ιανουάριος 2014) από επιταχυνσιογράφο αυτού του τύπου.

*Εικόνα 11 - Ψηφιακός επιταχυνσιογράφος*

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## 3.1 Υλικοτεχνικός εξοπλισμός

Original Equipment Manufacturer (OEM)<sup>17</sup> ή πιο κατανοητά κατασκευαστής πρωτότυπου εξοπλισμού (OEM) ορίζεται η εταιρεία της οποίας τα προϊόντα ή μέρη των προϊόντων αυτών χρησιμοποιούνται ως εξαρτήματα στα προϊόντα μιας άλλης εταιρείας. Τα συγκεκριμένα τελικά προϊόντα μεταπωλώνται ως τελικό προϊόν στους καταναλωτές. Το ακρωνύμιο OEM έχει συνδεθεί με τη βιομηχανία και την κατασκευή προϊόντων. Τα προϊόντα χαρακτηριζόμενα ως OEM λειτουργούν συνήθως στις βιομηχανίες αυτοκινήτων και υπολογιστών.

Στον αντίποδα, υπάρχουν τα γνήσια ανταλλακτικά. Σε ορισμένες βιομηχανίες, υπάρχουν ανταλλακτικά που περιγράφονται ως γνήσια ανταλλακτικά. Τα γνήσια ανταλλακτικά είναι συνήθως τα εναπομείναντα ανταλλακτικά από τις σειρές παραγωγής. Συσκευάζονται και μεταπωλώνται ως ανταλλακτικά από την OEM παραγωγή.

Τα γνήσια κατασκευασμένα ανταλλακτικά διαφέρουν λίγο από τα γνήσια ανταλλακτικά. Τα γνήσια κατασκευασμένα ανταλλακτικά είναι συνήθως ανταλλακτικά που διατίθενται μετά τη λήξη μιας σειράς παραγωγής προϊόντος, αλλά δεν είναι ανταλλακτικά που έχουν απομείνει. Αντίθετα, είναι συνήθως πανομοιότυπα ή σχεδόν πανομοιότυπα με τα γνήσια ανταλλακτικά OEM και συχνά κατασκευάζονται από τον ίδιο προμηθευτή ανταλλακτικών OEM. Τα γνήσια ανταλλακτικά, από πολλές απόψεις, είναι όπως όλα τα άλλα ανταλλακτικά και προέρχονται από τον κατασκευαστή του αρχικού τελικού προϊόντος. Είναι πιο πιθανό να είναι της ίδιας ποιότητας με τα ανταλλακτικά OEM ακόμα κι αν δεν είναι πανομοιότυπα με αυτά.

Στη βιομηχανία υλικού, ο κατασκευαστής αρχικού εξοπλισμού (OEM) περιγράφει συνήθως μια εταιρεία που κατασκευάζει ένα προϊόν σχεδιασμένο για τελικούς χρήστες, όπως υπολογιστή ή εκτυπωτή. Οι Apple, HP, Dell & Canon αποτελούν τέτοια παραδείγματα κατασκευαστών πρωτότυπου εξοπλισμού<sup>18</sup>.

Τα υλικά OEM, από την άλλη πλευρά, αναφέρονται στα εξαρτήματα που αποτελούν τα προϊόντα που αναφέρονται παραπάνω. Αυτά περιλαμβάνουν επεξεργαστές, ανεμιστήρες, μητρικές πλακέτες, τσιπ μνήμης, σκληρούς δίσκους και πολλά άλλα. Οι εταιρείες που κατασκευάζουν αυτά τα εξαρτήματα συνήθως τα πωλούν ως υλικά OEM. Οι επεξεργαστές, οι μητρικές πλακέτες και ούτω καθεξής μπορούν να πωληθούν σε ιδιώτες ως προϊόντα λιανικής. Τα υλικά OEM είναι γενικά φθηνότερα σε σύγκριση με τα αντίστοιχα του λιανικού εμπορίου. Υπάρχουν όμως κάποιες διαφορές. Τα υλικά OEM σπάνια συνοδεύονται από τεχνική υποστήριξη, παρατηρείται να έχουν συντομότερες περιόδους εγγύησης, ενώ υπάρχουν

<sup>17</sup> <https://www.onething.gr/original-equipment-manufacturer/>

<sup>18</sup> <https://www.industrialspec.com/about-us/blog/detail/oem-original-equipment-parts-manufacturing-oe-oer-odm>

περιπτώσεις που δεν έχουν καν εγγύηση. Παράλληλα, δεν διαθέτουν κάποια εξαρτήματα που χρειάζονται για να συνδεθούν με άλλα εξαρτήματα οποιουδήποτε συστήματος.

Για παράδειγμα, οι μονάδες DVD ενδέχεται να μην έχουν καλώδια ή κορδέλες για σύνδεση στη μητρική πλακέτα. Αυτό συμβαίνει επειδή τα υλικά OEM έχει σχεδιαστεί κυρίως για OEM και αυτοί οι κατασκευαστές αναμένεται να προσθέτουν πράγματα όπως εγγυήσεις, τεχνική υποστήριξη και άλλα εξαρτήματα όταν κατασκευάζουν πλήρη συστήματα και τα πωλούν σε τελικούς χρήστες.

Για να καταστεί ευκολότερη η κατανόηση των OEM υλικών παρατίθεται παράδειγμα. OEM υλικά σε λογισμικά είναι στην περίπτωση που κατασκευάστριες εταιρείες όπως η HP, η Dell και η Samsung αγοράζουν τα Windows ως λογισμικό OEM από τη Microsoft και στη συνέχεια τα τοποθετούν στον υπολογιστή που πρόκειται να κυκλοφορήσουν. Συχνά παραδείγματα χρήσης OEM προϊόντων έχουμε και από τους εκτυπωτές, σαρωτές και ψηφιακές φωτογραφικές. Η αγορά των προαναφερθέντων συσκευών κατά βάση συνοδεύεται και από μια συνοδευτική εφαρμογή. Η συγκεκριμένη εφαρμογή είναι το λογισμικό OEM.

Πρέπει να αποσαφηνιστεί ότι τα υλικά OEM μπορούν κάλλιστα να αγοραστούν και ως αυτόνομα προϊόντα απλά κατά κύριο λόγο είναι πιο προσιτά στη τιμή.

Το βασικότερο ομολογουμένως μειονέκτημα τους αποτελεί το ότι δεν συνοδεύονται από τεχνική υποστήριξη ή κάποιο εγχειρίδιο χρήστη. Το πρόβλημα άγεται όταν κατά τη χρήση τους παρουσιάσουν κάποιο τεχνικό πρόβλημα.

Τα OEM προϊόντα, όπως τονίστηκε και παραπάνω, παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά στη τιμή τους σε σχέση με τα αυθεντικά. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις οικονομικές κλίμακες. Πιο αναλυτικά, όταν μια εταιρεία συνεργάζεται με άλλους για την παραγωγή αγαθών σε μεγάλο όγκο τότε είναι συνεπακόλουθο η τιμή όσο και ο χρόνος παραγωγής να μειώνονται σημαντικά.

Οι κατασκευαστές OEM προϊόντων κατά γενική ομολογία μεταπωλούν τις άδειες των προϊόντων με τέτοιο τρόπο ώστε τα μέρη τους να μπορούν να χρησιμοποιούνται από τους μεταπωλητές με προστιθέμενη αξία προς τους καταναλωτές.

Άλλο ένα βασικό χαρακτηριστικό των OEM αγαθών είναι η ευρεία αγορά τους από το διαδίκτυο. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να οδηγήσει σε ελλειψίες αποστολές από εξαρτήματα όπως καλώδια και προσαρμοσείς που είναι απαραίτητα για την εγκατάσταση και τη λειτουργία του υλικού.

Τα λογισμικά OEM συνήθως συνοδεύονται από το βασικό λογισμικό και το κλειδί άδειας χρήσης του.

Στο συγκεκριμένο μέρος της ανάλυσης πρόκειται να αναφερθούν τα πλεονεκτήματα από την αγορά και χρήση OEM προϊόντων. Αρχικά, έχουν καλή ποιότητα. Τα OEM αγαθά κατασκευάζονται από τον αρχικό κατασκευαστή. Αν και υπάρχουν φθηνότερες εκδόσεις, η



τιμή του προϊόντος OEM συνήθως αντικατοπτρίζει την ποιότητά του. Επίσης, τα OEM αγαθά είναι καλής ποιότητας και συνοδεύονται από μεγάλη ανθεκτικότητα. Τέλος, τα εξαρτήματα OEM έχουν συχνά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τα ανταλλακτικά aftermarket.<sup>19</sup>

## 3.2 Αισθητήρες

Στο σημείο αυτό πρόκειται να ακολουθήσει η ανάλυση σύνδεσης των γεώφωνων (Geophones) στη μονάδα Adc24.

Τα Geophones συνδέονται απευθείας με το Pin, στη μορφή Theremino Adc24. Στη συνέχεια, στις ρυθμίσεις του Adc24 πρέπει να προσαρμόσουμε το κέρδος που μπορεί να είναι 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 ή 128. Τέλος, το Adc24 συνδέεται με τα pin 7, 8 και 9 το Master.



Εικόνα 12 - ανάλυση σύνδεσης των γεώφωνων

### Σύνδεση των γεώφωνων με GeoPreamp.

Με το GeoPreamp κάθε γεώφωνο (Geophone) συνδέεται σε ένα Master Pin που διέρχεται από έναν GeoPreamp. Αυτή η μέθοδος παρέχει τον ελάχιστο δυνατό θόρυβο, αλλά το κέρδος πρέπει να στερεωθεί εκ των προτέρων με μια αντίσταση και δεν μπορεί να αλλάξει εύκολα..

### Σύνδεση Γεωφώνων με τριπλό προενισχυτή

Ο τριπλός προενισχυτής που είναι σχεδιασμένος για χρήση σε επιταχυνσιόμετρα, μπορεί

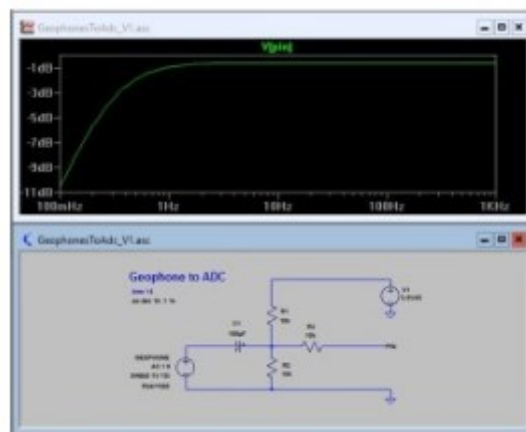
<sup>19</sup> <https://www.theremino.com/en/hardware/inputs/geology-sensors>



επίσης να χρησιμοποιηθεί με τα γεωφώνια (geophones). Με αυτήν τη διαμόρφωση τα χαρακτηριστικά θορύβου είναι χειρότερα συγκριτικά με το GeoPreamp, αλλά υπερτερούν σε κέρδος ενώ καθιστούν εφικτή και την αλλαγή λειτουργίας.

### Σύνδεση Γεωφώνων απευθείας στο master

Όταν τα γεωφώνια είναι απευθείας συνδεδεμένα με το master τότε έχουν περιορισμό ως προς την ανίχνευση συμβάντων "Strong Motion". Μπορούν να συνδεθούν απευθείας στο Master Pin που έχει διαμορφωθεί ως Geophones ADC16. Αντίθετα, δεν είναι δυνατή η σύνδεση τους απευθείας με τα δύο (2) καλώδια του geophone στο Master, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Για τη σύνδεση τους απαιτούνται εξαρτήματα. Για να συνδεθεί κάθε γεωφώνιο (geophone) με το Master, θα πρέπει να έχουμε στη διάθεση μας τρεις (3) αντιστάσεις 10 Kohm και έναν ηλεκτρολυτικό πυκνωτή από 100 uF, με τάση 6 Volt ή και μεγαλύτερη. Με αυτά τα στοιχεία υπάρχει ένα εύρος ζώνης που εκτείνεται σε περίπου 0,2 Hz. Η τάση των 3,3 Volt πρέπει να ληφθεί από ένα από τα σημεία με την ένδειξη "3,3" του Master.



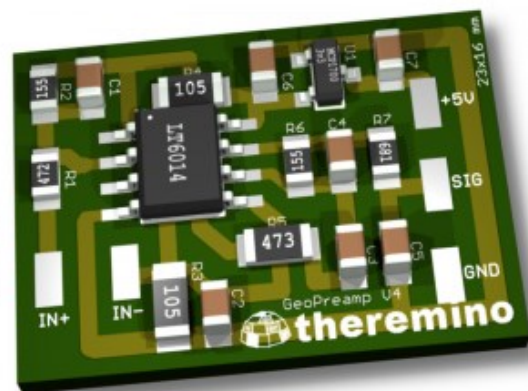
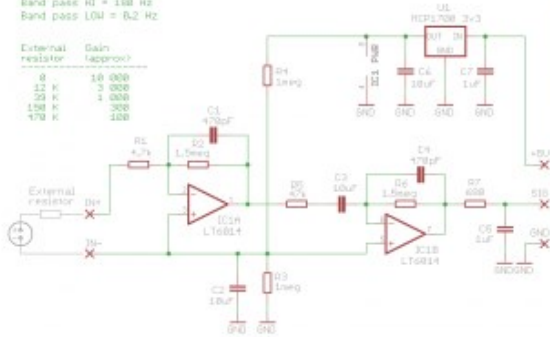
Εικόνα 13 - Σύνδεση Γεωφώνων στο master

### Theremino - Geophone Preamplifier V4

Band pass: HI = 100 Hz  
Band pass: LOW = 0.2 Hz

External resistor Gain Approx:

R	Gain
10 K	10
22 K	3
50 K	1
100 K	0.5
150 K	0.3
170 K	0.2



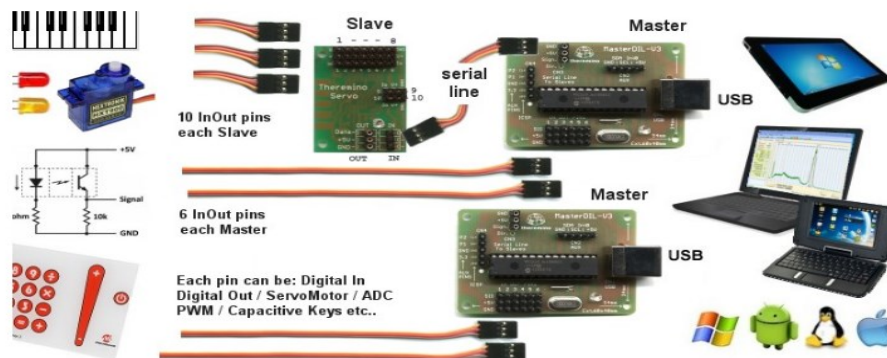
Εικόνα 14 - Geophone Preamplifier V4

Στην προαναφερθείσα εικόνα γίνεται απεικόνιση της τελικής έκδοσης. Η ευαισθησία σε μηχανικές διαταραχές και θόρυβο σε χαμηλές συχνότητες ελαχιστοποιείται. Στην περιοχή κάτω από τα 5 Hz, δηλαδή στην περιοχή όπου τα γεωφώνια είναι πιο ελλιπή, δεν υπάρχουν εξαρτήματα με χαμηλότερο θόρυβο του LT6014. Το μικρό μέγεθος ελαχιστοποιεί τον θόρυβο

και την πρόσληψη μικροφωνικών, λόγω της συστροφής των εξαρτημάτων. Αυτές οι επιπλέον πινελιές, σε συνδυασμό με τη χρήση του LT6014, ελαχιστοποιούν τον θόρυβο, στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων. Από ένα ADC στα 24 bit, το LT6014 έχει πολύ λιγότερο θόρυβο. Ένα ADC στα 24 bit θα πλεονεκτούσε διότι δεν θα απαιτούσε την επιλογή απολαβής, αλλά κατά τη γνώμη μας, το σημαντικό είναι να ελαχιστοποιηθεί ο θόρυβος. Έχοντας προεπιλέξει το κέρδος, πρέπει να πληρώσουμε ένα τμήμα με τον ελάχιστο δυνατό θόρυβο.

### 3.3 Σύστημα Theremino

Παρακάτω πρόκειται να αναλυθεί το σύστημα επεξεργασίας που βασίζεται ο σειсмоγράφος.



Εικόνα 15 - Σύστημα Theremino

Το Theremino είναι ένα σύστημα ανοιχτού κώδικα που αποσκοπεί στην σύνδεση των υπολογιστών με τον πραγματικό κόσμο. Οι εφαρμογές κυμαίνονται από τη μουσική μέχρι τη διδασκαλία και την επιστημονική έρευνα. Σε αντίθεση με παρόμοια συστήματα (π.χ. Arduino), το σύστημα λειτουργεί άμεσα και δεν απαιτεί προγραμματισμό firmware.

Η μορφή Theremino Master δεν είναι μια κάρτα με μικροπρογραμματιζόμενο ελεγκτή (όπως το Arduino), αλλά μια συσκευή εισόδου εξόδου, όπως ένα ποντίκι. Και' μπορεί ακόμα να χρησιμοποιήσει ενότητες Arduino.

Το σύστημα Theremino είναι επίσης εφαρμόσιμο σε συστήματα «ενσωματωμένα», που απαιτούν γρήγορες αντιδράσεις όπως για παράδειγμα τα drones. Η αρχιτεκτονική των επικοινωνιών είναι καινοτόμος, διαφορετική από οποιοδήποτε άλλο παρόμοιο σύστημα. Στις τηλεπικοινωνίες, ακόμα και αν μιλάμε για ένα χρήστη χωρίς γνώσεις προγραμματισμού, δύναται εντούτοις να διαμορφώσει τις μονάδες έτσι ώστε να είναι σε θέση να μετρήσει, φυσικά μεγέθη κάθε είδους όπως για παράδειγμα θερμοκρασίες, ακτινοβολίες, μαγνητικά πεδία, σεισμούς και ρύπους.

Το σύστημα Theremino καθίσταται καινοτόμο λόγω της ισχύος των tablet και των υπολογιστών, την ευελιξία των μονάδων InOut και μέσα από την χρήση ενός ολόκληρου οικοσυστήματος με περισσότερες από εκατό εφαρμογές.

Πρέπει να τονιστεί ότι το σύστημα Theremino, δεν είναι αντίγραφο του Arduino. Πολύς κόσμος πέφτει σε ατυχείς συγκρίσεις λόγω του σχήματος των μονάδων InOut. Οι μονάδες InOut κατά γενική ομολογία, μοιάζουν με κλώνους του Arduino. Το σύστημα Theremino είναι επίσης ένα μέσο για την ανταλλαγή ιδεών. Επίσης είναι ένας κατάλογος αισθητήρων και ενεργοποιητών, ένα εκπαιδευτικό βοήθημα και μια συλλογή τεχνολογιών εισόδου-εξόδου, προγραμματισμού και ηλεκτρονικών ανοιχτού κώδικα.

Στο σημείο αυτό πρόκειται να συγκριθούν τα συστήματα Theremino & Arduino. Αρχικά, οφείλουμε να τονίσουμε εξ αρχής ότι πρόκειται για δύο (2) πολύ διαφορετικά συστήματα. Εν αρχή, το Arduino αποτελεί έναν μικροελεγκτή μιας πλακέτας. Πρέπει να προγραμματίζεται κατά καιρούς με ad hoc firmware. Για να καταστεί πιο σαφές, αν επιθυμούμε να καταγράψουμε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, τότε οφείλουμε να προγραμματίσουμε το υλικολογισμικό με τέτοιο τρόπο ώστε να τη λάβει. Στην περίπτωση που οι θερμοκρασίες είναι δύο (2), κατά αντιστοιχία πρέπει να αλλάζουμε και να επαναπρογραμματίζουμε το firmware ώστε να καταγράψει δυο (2) ενδείξεις. Από την άλλη, το Theremino είναι μια συσκευή εισόδου-εξόδου. Για παράδειγμα όπως ένα ποντίκι ή ένας εκτυπωτής. Αφού έχει προηγηθεί η σύνδεση των μονάδων, δύναται να λειτουργήσει άμεσα, χωρίς να χρειάζεται να προγραμματιστεί το υλικολογισμικό του.

Εν συνεχεία, το Arduino είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να τρέχει μόνο του, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης υπολογιστή και χωρίς λειτουργικό σύστημα. Το Theremino χρησιμοποιεί επίσης τη δύναμη του λειτουργικού συστήματος, του επεξεργαστή του υπολογιστή και του συνεπεξεργαστή. Η συνολική συνδυασμένη ισχύς, είναι περίπου 1000 φορές μεγαλύτερη.

Παράλληλα, το Arduino επικοινωνεί μέσω USB. Γίνεται εικονικό σειριακό, και ο ίδιος ο επεξεργαστής, πρέπει να προετοιμάσει τα δεδομένα για σειριακή σάρωση. Με τον τρόπο αυτό τα δεδομένα υφίστανται τέσσερις (4) μετατροπές: από byte σε σειριακό και σειριακό σε USB, στη συνέχεια στον υπολογιστή μετατρέπονται ξανά από εικονικό σειριακό σε USB. Τέλος, διαβάζονται από την εικονική σειρά και μετατρέπονται ξανά στα αρχικά byte. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιβραδύνει την ταχύτητα επικοινωνίας με τον υπολογιστή.

Το Theremino επικοινωνεί μέσω μητρικού USB και το micro του Master έχει μέσα του δύο (2) ανεξάρτητα τμήματα. Το ένα ασχολείται με το In-Out και το άλλο είναι αφιερωμένο στην επικοινωνία USB. Με τον τρόπο αυτό η σύνδεση μεταξύ υπολογιστή και υλικού είναι πάντα ρευστή.

## **Τι καθιστά δυνατή τη λειτουργία "NO CODE"**

**Τύπος λειτουργίας PLC** (προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής)

Δεδομένου ότι η "κεφαλή" είναι ο υπολογιστής, ο καταλληλότερος τεχνικός όρος είναι "Soft PLC". Η εφαρμογή HAL (Hardware Abstraction Layer) ανανεώνει όλες τις εισόδους και τις εξόδους σε τακτά χρονικά διαστήματα (συνήθως 500 φορές ανά δευτερόλεπτο) και κανονικοποιεί τα δεδομένα, απλοποιώντας την επικοινωνία με το υλικό.

## **Κλιμακωτή οργάνωση**

- Ενότητες λογισμικού - Εφαρμογές υψηλού επιπέδου. Επικεφαλής του συστήματος σκέψης.
- Υποδοχές - Επικοινωνία μεταξύ όλων των στοιχείων του συστήματος.
- Εφαρμογή HAL - Επικοινωνίες μεταξύ του λογισμικού και των μονάδων USB Master - Μονάδες υλικού, συνδεδεμένες στο USB.
- Υποτελείς μονάδες - Μονάδες υλικού, συνδεδεμένες μέσω της σειριακής γραμμής DPM.
- Ακροδέκτες - Υποδοχές εισόδου/εξόδου.
- Προσαρμογείς - Ειδικοί αισθητήρες και αντάπτορες Pin standard, του συστήματος Theremino.
- Μετατροπείς εξόδου - Σερβοκινητήρες, ήχοι, βίντεο, ελεγκτές φωτός, χειριστήρια On/Off κ.λπ.
- Μετατροπείς εισόδου - Αισθητήρες φωτός, θέσης, θερμοκρασίας, τάσης, ρεύματος, ικανότητας κ.λπ.

## **Επικοινωνία μεταξύ των μονάδων, μέσω των υποδοχών**

Οι υποδοχές, δηλαδή η επικοινωνία μεταξύ διεργασιών, αποτελούν τη βάση του συστήματος Theremino και το διαφοροποιούν από όλα τα παρόμοια συστήματα. Με τις υποδοχές όχι μόνο το υλικό αλλά και οι εφαρμογές των μορφών μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους.

## **Διαμορφώσιμο και επεκτάσιμο λογισμικό και υπογραφή σε ανοικτό κώδικα**

Εφαρμογές που διατίθενται σε ανοικτό κώδικα, καλύπτουν συνήθεις λειτουργίες, από πολυμέσα, εργαστηριακές μετρήσεις. Νέες εφαρμογές μπορούν να αναπτυχθούν ξεκινώντας από τον κώδικα ανοικτού κώδικα των υπαρχόντων, ως νέα τούβλα, για να επεκτείνουν τις δυνατότητες του συστήματος.

## **Hardware and software modularity**

Οι εφαρμογές επίσης μπορούν να προστεθούν ως λειτουργικές μονάδες. Πολλές εφαρμογές μπορούν να διαμορφωθούν ώστε να επικοινωνούν μεταξύ τους και να συνεργάζονται, χωρίς επαναπρογραμματισμό.

## **Κύρια χαρακτηριστικά**

Το αρθρωτό λογισμικό είναι μια νέα ιδέα. Το σύστημα Theremino χρησιμοποιεί για πρώτη φορά την επικοινωνία και την αρθρωτική λειτουργία.

Στο σύστημα Theremino, κάθε εφαρμογή ασχολείται μόνο με τις συγκεκριμένες λειτουργίες της και πολλαπλές εφαρμογές συνεργάζονται για να επιτύχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτό καθιστά εφικτό το χτίσιμο πολύπλοκων συστημάτων.

Το Theremino δεν απαιτεί ο χρήστης να είναι έμπειρος προγραμματιστής. Κάθε ειδικότητα θα μπορέσει να κατασκευάσει αυτό που χρειάζεται, συνδυάζοντας τις υπάρχουσες μονάδες υλικού και λογισμικού.

Τα «PIN» του συστήματος μπορούν να διαμορφωθούν μεμονωμένα, με μεγάλο αριθμό

προπρογραμματισμένων λειτουργιών, καλύπτοντας με αυτό τον τρόπο κάθε απαίτηση εισόδου-εξόδου.

Το σύστημα Theremino μας δίνει τη δυνατότητα να συνδέσουμε αισθητήρες και να εκχωρήσουμε νέες λειτουργίες, In-Out pins, ακόμη και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Ο χρήστης μπορεί, επίσης, να προσθέσει λειτουργικές μονάδες και να τις ρυθμίσει σε δευτερόλεπτα. Οι μονάδες αναγνωρίζονται αυτόματα και επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω μιας σειριακής γραμμής μονού καλωδίου. Κάθε γραμμή μπορεί να έχει έως και 200 μονάδες και κάθε ενότητα δέκα Pin. Ο συνολικός αριθμός των InOut είναι ουσιαστικά απεριόριστος και μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους ή με άλλες εφαρμογές μέσω HAL (Hardware Abstraction Layer) και Slots (Interprocess Communication).

Οι μονάδες μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, έως και χιλιόμετρα μακριά με σειριακή γραμμή, σε μεγάλες αποστάσεις με καλώδια δικτύου και στο WEB. Τα χρησιμοποιούμενα λειτουργικά συστήματα είναι τα Windows, UNIX, Linux, Mac OSX και Android.

Η απλότητα, το μικρό μέγεθος και οι μονάδες χαμηλού κόστους, δεν μειώνουν την απόδοσή τους, Η απλότητα καθιστά το σύστημα αξιόπιστο. Τέλος, ο χρήστης μπορεί να ανανεώσει όλα τα InOut ταυτόχρονα και ομαλά, έως 500 με 1000 φορές ανά δευτερόλεπτο.

## Φορητές εφαρμογές

Οι εφαρμογές του συστήματος Theremino είναι φορητές. Η αντιγραφή στην εξωτερική μνήμη και η μεταφορά σε άλλον υπολογιστή, θα συνεχίσει να λειτουργεί ανεμπόδιστα. Ο χρήστης μπορεί, επίσης, να αντιγράψει σε πολλούς ξεχωριστούς φακέλους, και να τους θέσει σε ταυτόχρονη λειτουργία με ξεχωριστές παραμέτρους, χωρίς να αλληλοεπηρεάζονται.

Αυτό συνεπάγεται, επίσης το γεγονός ότι ο υπολογιστής δεν επηρεάζεται. Στο σύστημα μας δεν εγκαθίσταται τίποτα, κανένα πρόγραμμα οδήγησης και καμία κοινόχρηστη βάση δεδομένων. Οι εφαρμογές thereminiche δεν αλλάζουν τίποτα από τους φακέλους τους.

Στο σύστημα Theremino, οι εφαρμογές δεν έχουν σταθερή διεύθυνση, δηλαδή ένας φάκελος τύπου "Programs/Theremino", αλλά μπορούν να μετακινηθούν, χωρίς να χρειάζεται να "καταγράψουν", τη νέα τους διεύθυνση, σε μια κεντρική μονάδα. Οι υποδοχές είναι το μοναδικό σημείο επαφής μεταξύ των εφαρμογών.



Εικόνα 16 - Theremino Connection

Οι μονάδες του συστήματος Theremino είναι πολύ ευέλικτες και διαμορφώσιμες. Ταυτόχρονα,

ωστόσο, είναι σχεδιασμένες με απλή τεχνολογία και λίγα εξαρτήματα. Με την τρέχουσα τεχνολογία, ο χρήστης είναι σε θέση να κατασκευάσει PCB, με μόνωση μερικών δέκατων και μικροσκοπικές διαδρομές. Είναι σε θέση να μπορεί να προσθέσει μερικές δεκάδες μη απαραίτητα στοιχεία, τα οποία δύναται να διευκολύνουν το σχεδιασμό και αντίστοιχα να μειωθεί το κόστος παραγωγής.

Υπάρχουν παρόλα αυτά βάσιμοι λόγοι που οδηγούν στην σχεδίαση μονάδων σε στυλ slow-food thereminico, χρησιμοποιώντας χαμηλή τεχνολογία, με υπερβολικές μονώσεις, μεγάλα ίχνη και PCB μονής όψης.

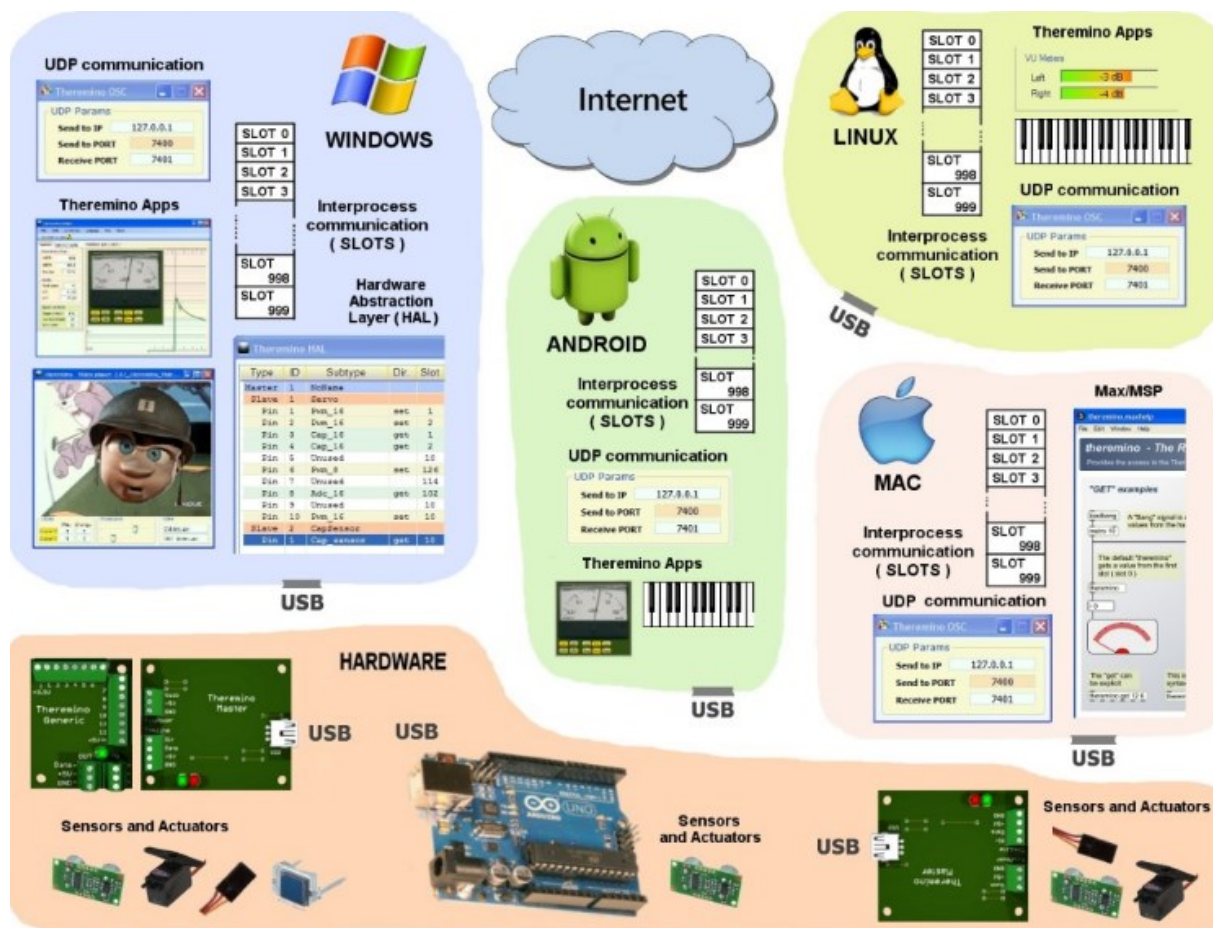
Τα συγκεκριμένα thereminico είναι αρκετά αξιόπιστα σε συνθήκες υγρασίας. Μπορούν, επίσης, να λειτουργούν χωρίς την προστατευτική επίστρωση που ονομάζεται "Solder". Ταυτόχρονα, δεν επιβάλλονται αυστηρές κατασκευαστικές ανοχές. Επιτρέπει, επίσης, την κατασκευή του PCB με τον κόφτη και χρήση ελάχιστης μόνωσης γύρω στα 0,8 mm με μονή όψη και καμία μεταλλική τρύπα. Είναι δε εύκολη η αφαίρεση εξαρτημάτων για αντικαταστάσεις, αλλαγές και πειράματα, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να καταστραφεί το PCB. Ο χρήστης χρησιμοποιεί μόνο απλούς συνδέσμους. Υπάρχουν πολλά συστήματα με micro USB, μη διαθέσιμες μικροϋποδοχές και υπερβολικός αριθμός εξαρτημάτων, που σχεδόν αγγίζουν το ένα το άλλο.

Ακολουθούν μερικά παραδείγματα:



Εικόνα 17 - μικρόελεγχτές





Εικόνα 18 - λογισμικά επικοινωνίας

Χάρη στη συναρμολόγηση του συστήματος Theremino το HAL (Hardware Abstraction Layer), τις υποδοχές (Interprocess Communication), το UDP (Communications μέσω δικτύου και Internet) και το OSC Protocol (Open Sound Control), όλα τα στοιχεία της παραπάνω εικόνας (εικόνα18) μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, γρήγορα και εύκολα, παρόλο που βρίσκονται σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα, όπως Windows, Android, Linux, UNIX και Mac OSX. Όλα αυτά είναι άμεσα εφαρμόσιμα, ακόμη και από χρήστες που δεν έχουν την εμπειρία ή το χρόνο να γράψουν ένα λογισμικό επικοινωνίας.

Όλο το λογισμικό που χρειάζεται, έρχεται δωρεάν στις σελίδες λήψης. Αυτή η εικόνα δείχνει επίσης ένα Arduino που, όπως κάθε άλλο υλικό, με σύνδεση USB, μπορεί να έχει πρόσβαση στο σύστημα Slot Theremino και επομένως να επωφεληθεί από όλες τις δυνατότητες επικοινωνίας που παρέχονται από το λογισμικό.

Το σύστημα Theremino προέκυψε από την ανάγκη, να υπάρχει εύκολη και άμεση είσοδος-έξοδος για Η/Υ. Όλες οι σχεδιαστικές επιλογές στοχεύουν στο να κάνουν το σύστημα κατάλληλο για τις ακόλουθες εφαρμογές:

- Εκπαιδευτικά συστήματα εισόδου - εξόδου που είναι εύκολα συναρμολογούμενα και κατανοητά.
- Εφαρμογές για επιστημονική έρευνα.

- Εξοπλισμός ελέγχου διεργασιών και δοκιμές.
- Μετρητές εργαστηριακών πάγκων
- Χρονισμός και έλεγχος καλλιτεχνικών εγκαταστάσεων..
- Διοίκηση συστημάτων διεπαφής χρήστη και πολυμέσων..
- Επαγγελματικές εφαρμογές, μουσικές και επιστημονικές που χρειάζονται H/Y.

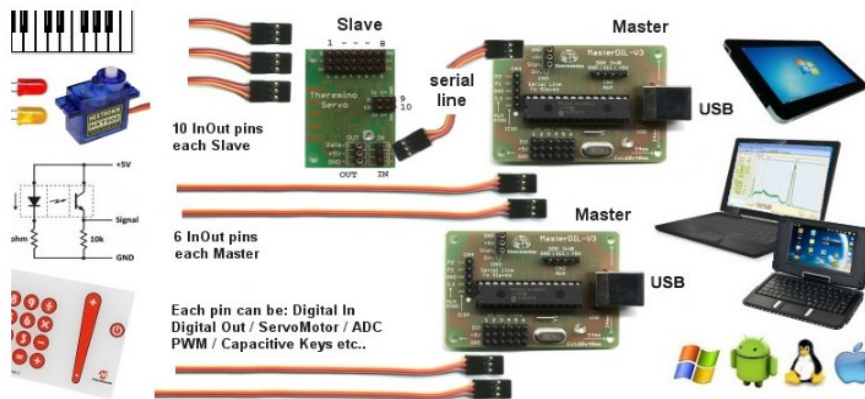
Για άνετη εργασία χρησιμεύουν επίσης ένα πραγματικό λειτουργικό σύστημα, ένας μαθηματικός συνεπεξεργαστής, ένα ποντίκι και πιθανώς περισσότερες από μία οθόνες. Αυτό είναι το περιβάλλον για το οποίο αναπτύχθηκε το σύστημα Theremino.

Μπορεί να επαναπρογραμματιστεί το Master για μια αυτόνομη λειτουργία, χρησιμοποιώντας τη γλώσσα C, όπως ακριβώς και με συστήματα συμβατά με Arduino. Μολονότι, αυτή η λειτουργία, απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις και πολυετή εμπειρία στον προγραμματισμό μικροελεγκτών. Η σύνταξη είναι η ίδια και ο μεταγλωττιστής είναι το ίδιο "Gcc", που ισχύει για επεξεργαστές ATMEΛ σε 8 bit του Arduino, και για τα δύο PIC έως τα 16 bit του Theremino. Το Arduino μεταγλωττίζει με ένα IDE φτιαγμένο για αυτόν, ενώ το Theremino χρησιμοποιεί το MPLAB του Microchip. Από την άλλη, το πρόγραμμα Arduino μεταγλωττίζει μέσω USB, αλλά χρειάζεται προγραμματιστής για να καταγράψει το Bootloader. Αντίθετα, το Theremino απαιτεί πάντα έναν προγραμματιστή (Pickit2, Pickit3 ή παρόμοιο), με επιπλέον χρέωση, αλλά με το πλεονέκτημα, να έχει τον πλήρη έλεγχο του micro, και όχι μόνο των μερών.

Εν συνεχεία, το λογισμικό του συστήματος Theremino είναι αρθρωτό. Οι εφαρμογές μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους δηλαδή είναι αρθρωτές. Οι μονάδες υλικού έχουν σχεδιαστεί για να είναι αρθρωτές και στοιβαζόμενες. Αυτά τα καινοτόμα και ασυνήθιστα χαρακτηριστικά, τα οποία μπορεί να αποπροσανατολίσουν τους χρήστες, στα πρώτα στάδια της εκμάθησης, απαιτούν να εξοικείωση με νέες έννοιες, όπως: η «Υποδοχή», δηλαδή η επικοινωνία μεταξύ διεργασιών (Interprocess Communication και Memory Mapped Files), το HAL (Hardware Abstraction Layer), το UDP (Επικοινωνίες μέσω δικτύου και Διαδικτύου), το Πρωτόκολλο OSC (OpenSound Control) και τυχόν αλληλεπιδράσεις με PureData, Eyesweb, Max-MSP και Processing. Μόλις κατανοηθούν οι βασικές αρχές, που καθιστούν το σύστημα τοποθετημένο στο Theremino, καθίσταται δυνατό να επιτευχθεί, σε λίγα λεπτά, κάθε τύπος διασύνδεσης, χωρίς να γραφτεί ούτε μια γραμμή κώδικα. Το Theremino Automation μπορεί να πραγματοποιηθεί άμεσα, χωρίς να υπάρχουν γνώσεις προγραμματισμού. Για πολύ σύνθετα έργα και για όσους προτιμούν να χρησιμοποιούν τυπικές γλώσσες προγραμματισμού, διατίθεται στο "Theremino\_script", καθώς και οι οδηγίες χρήσης C++, C #, VBNET, VB6, Python και Pascal .



## Hardware components



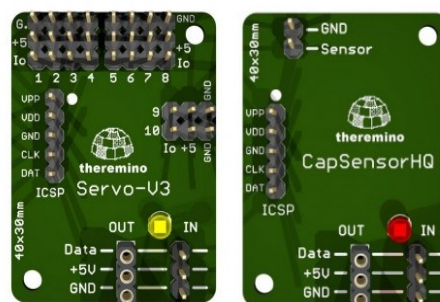
Εικόνα 19 - Hardware components



Εικόνα 20 - MasterDIL - V3

Το Master διαθέτει 6 Generic pin, με αριθμούς από το 1 έως 6. Οι ακροδέκτες είναι διαμορφώσιμοι, ως ψηφιακοί και αναλογικοί, και ως εισερχόμενοι και εξερχόμενοι. Ο master προγραμματίζεται, με την firmware version 3 και τις επόμενες, τις άλλες τέσσερις ακροδέκτες τους, στην κορυφή.

Κάθε "Master" μπορεί να επικοινωνεί με μία ή περισσότερες μονάδες "Slave"



Εικόνα 21 - Servo v3

Το slave "Servant" έχει 10 Generic pin, γενικούς ακροδέκτες, με αριθμούς από το 1 έως το 10. Ακόμη και ακίδες του "Servant" μπορούν να διαμορφωθούν, τόσο ως ψηφιακές όσο και ως αναλογικές, καθώς ως εισερχόμενες και εξερχόμενες. Ο slave "Cap Sensor" έχει generic Pin,

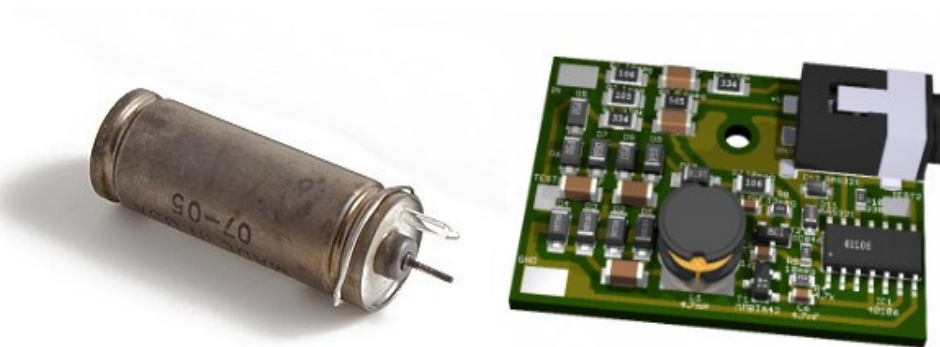
αλλά μόνο τη συντόμευση της επιφάνειας εργασίας για την κεραία.

Τόσο το Master όσο και το "Slave" μπορούν να ελέγχουν αισθητήρες και ενεργοποιητές

Ακολουθούν παραδείγματα αισθητήρων και ενεργοποιητών



Αισθητήρας απόστασης υπερήχων. Αισθητήρες φωτός.



Αισθητήρας ακτινοβολίας, που αποτελείται από σωλήνα Geiger και προσαρμογέα στο τυπικό Theremino.



Κινητήρας χωρίς ψήκτρες. Έλεγχος σερβομηχανισμού.

Εικόνα 22 - Αισθητήρες

## 3.4 Περιγραφή του συστήματος Theremino

Το Theremino επιτρέπει να συνδέομαστε εύκολα με κάθε τύπου αισθητήρα και ενεργοποιητή. Αντίθετα, το Arduino χρειάζεται έναν απαιτητικό προγραμματισμό, που συνεπάγεται χρόνο, εμπειρία και κατάλληλα εργαλεία. Το Theremino έχει όλες τις λειτουργίες, για τη σύνδεση αισθητήρων και ενεργοποιητών, ήδη προγραμματισμένες και έτοιμες για χρήση. Ολόκληρο το σύστημα έχει σχεδιαστεί, ώστε να είναι πλήρως αρθρωτό και να επιτρέπει να συνθέτονται πολύπλοκα συστήματα ελέγχου, μέσω προγραμμάτων υψηλού επιπέδου στον υπολογιστή.

Συνδέσιμες συσκευές, που κυμαίνονται από απλές, όπως ένα ποτενσιόμετρο, έως πολύπλοκες, όπως ένα ρομποτικό βραχίονα. Το Theremino συνδέεται άμεσα, με γνωστά προγράμματα "PureData", "Eyesweb", "Max-MSP" και "Processing". Αυτό επιτρέπει κάθε τύπο διεπαφής, για επιστημονικές εφαρμογές, εκπαιδευτικές δραστηριότητες και καλλιτεχνικά έργα, χωρίς να γράφεται ούτε μια γραμμή κώδικα.

Για τις πιο απαιτητικές εφαρμογές, ο χρήστης δύναται να χρησιμοποιήσει το Theremino Automation, το Theremino Script και όλα τα είδη γλωσσών υψηλού επιπέδου, C++, VBNET, C #, VB6, Python, Pascal κ.λπ. Όποια και αν είναι η γλώσσα της επιλογής του χρήστη, η επικοινωνία με το σύστημα Theremino, είναι πολύ απλή και αποτελεσματική, χάρη στην εφαρμογή HAL (Hardware Abstraction Layer), που χειρίζεται τις λεπτομέρειες των αισθητήρων και τους παρουσιάζει στο λογισμικό, τόσο απλά και ομοιογενώς, χρησιμοποιώντας την «Υποδοχή». Τέλος, μέσω UDP και OSC (Open Sound Control), ο χρήστης είναι σε θέση να συνδεθεί με τη "Slot", με άλλη "Slot", που βρίσκεται σε άλλους υπολογιστές, μέσω τοπικού δικτύου ή Internet, και με οποιαδήποτε εφαρμογή, σε οποιοδήποτε λειτουργικό σύστημα: Windows, Linux, Mac OSX, UNIX και Android.

Αυτές οι δυνατότητες είναι πραγματικές και άμεσα εφαρμόσιμες, κατεβάζοντας το δωρεάν λογισμικό ανοιχτού κώδικα από τις σελίδες του «Λήψη» χωρίς να υπάρχει η ανάγκη γραφής νέου κώδικα.

Το Theremino το σύστημα διακρίνεται από:

1. **Σύστημα εξόδου** με δυνατότητα διαμόρφωσης ακίδων εισόδου. Στο Theremino κάθε ακίδα μπορεί να διαμορφωθεί ξεχωριστά. Άλλοι αντ' αυτού, έχουν τις ακίδες με σταθερό τύπο και θέση.
2. **Τύποι ακίδων.** Οι ακίδες είναι διαμορφώσιμες, σε περισσότερους από είκοσι (20) τύπους προ-προγραμματισμένους ενώ μπορούν να επικοινωνούν απευθείας, με αισθητήρες και ενεργοποιητές, όλων των ειδών. Άλλοι αντ' αυτού, γενικά έχουν μόνο τέσσερις (4) τύπους Pin: Digital-In, Digital-Out, Analogin και PWM.
3. **The modular hardware.** Σε αντίθεση με το άλλο «n» Duini, οι μονάδες του συστήματος Theremino, επικοινωνούν μεταξύ τους και είναι αρθρωτές χωρίς προγραμματισμό.
4. **The modular software.** Το Theremino είναι υψηλού επιπέδου. Όλο το λογισμικό για ήχο, βίντεο και ειδικές δυνατότητες είναι ήδη γραμμένο, με τεχνολογίες υψηλής

απόδοσης.

5. **Επικοινωνία σε ένα μόνο καλώδιο.** Ο χρήστης μπορεί να επικοινωνεί με ένα μόνο καλώδιο, καθιστώντας δυνατή τη χρήση των άνετων καλωδίων τριών (3) συρμάτων, αποτελώντας έτσι πλέον πρότυπο για μοντέλα αεροπλάνων, χειριστήρια Servo, επιταχυνσιόμετρα, πυξίδες, κινητήρες χωρίς ψήκτρες, ελικόπτερα, drones και ρομπότ. Οι δυνατότητες επικοινωνίας είναι προγραμματισμένες εκ των προτέρων, και απλώς συνδέονται οι μονάδες του συστήματος Theremino και επιβεβαιώνουν και διαμορφώνουν αυτόματα.
6. **Επικοινωνία USB.** Σε αντίθεση με το άλλο «n» Duini, το Theremino δεν χρησιμοποιεί εικονική σειρά για επικοινωνία. Αυτό δεν απαιτεί την εγκατάσταση προγράμματος οδήγησης και μπορεί να επικοινωνεί πολύ πιο γρήγορα, δηλαδή είναι εφικτή η ανταλλαγή δεδομένων για όλες τις μονάδες, έως και 500 – 1000 φορές ανά δευτερόλεπτο.
7. **Ευκολία στη χρήση.** Μπορεί να συναρμολογήσει γρήγορα, πολύ σύνθετα συστήματα, με ουσιαστικά απεριόριστες μονάδες υλικού και λογισμικό, που επικοινωνούν μεταξύ τους, χωρίς να χρειαστεί ούτε μια γραμμή, υλικολογισμικού ή λογισμικού.
8. **Προγραμματισμένες λειτουργίες.** Σε αντίθεση με όλες τις άλλες "n" Duini, το σύστημα Theremino έχει όλες τις βασικές λειτουργίες για επικοινωνία και για την προ-προγραμματισμένη είσοδο/έξοδο.
9. **Δυνατότητα προσθήκης νέων χαρακτηριστικών.** Το Theremino περιλαμβάνει λειτουργίες Εισόδου/Εξόδου, για όλα τα είδη εφαρμογών και για όλους τους ευρέως χρησιμοποιούμενους αισθητήρες. Στις σπάνιες περιπτώσεις που απαιτείται πρόσθετο υλικολογισμικό, το σύστημα Theremino είναι ούτως ή άλλως προγραμματιζόμενο. Όλες οι πηγές λογισμικού είναι ελεύθερα διαθέσιμες, καθώς και τα πρωτόκολλα, τα διαγράμματα καλωδίωσης και όλες οι σχετικές πληροφορίες, για την πραγματοποίηση αλλαγών υλικού και λογισμικού.
10. **Δυνατότητα για νέα χαρακτηριστικά.** Ο προγραμματισμός υλικολογισμικού είναι πολύπλοκος, απαιτεί μεγάλη εμπειρία και πρέπει να σχεδιαστεί προσεκτικά. Σε αντίθετη περίπτωση ενέχει ο κίνδυνος υποβάθμισης της αποτελεσματικότητας ολόκληρου του συστήματος. Το ομαδικό σύστημα Theremino είναι διαθέσιμο, για την ανάπτυξη νέων δυνατοτήτων δωρεάν.
11. **Δυνατότητα οπτικής απομόνωσης της γραμμής επικοινωνίας.** Για επαγγελματικές εφαρμογές, πρέπει να εξασφαλιστεί η μόνωση μεταξύ των μαζών των υποσυστημάτων, για παράδειγμα, του υπολογιστή και της εργαλειομηχανής. Εάν οι μάζες είναι κοινές, τα ισχυρά μεταβατικά ρεύματα, που προκαλούνται όπως, από έναν ηλεκτρικό κινητήρα, μπορεί να καταστρέψουν τον υπολογιστή, να καταστρέψουν ηλεκτρονικά εξαρτήματα και να δημιουργήσουν σφάλματα επικοινωνίας. Η οπτική απομόνωση του

USB είναι σχεδόν αδύνατη διότι τα λίγα υπάρχοντα συστήματα είναι ακριβά και πολύπλοκα. Το σύστημα Theremino ξεκινά με το πρωτόκολλο επικοινωνίας, σχεδιασμένο για οπτική απομόνωση, για το οποίο η υλοποίηση είναι απλή και άμεση.

**12. Η δυνατότητα επικοινωνίας σε μεγάλες αποστάσεις.** Οι συνδέσεις USB θα πρέπει να είναι σύντομες, με μέγιστο μήκος τα δέκα (10) μέτρα. Για μεγάλες αποστάσεις ο χρήστης πρέπει να χρησιμοποιήσει μια σειριακή γραμμή. Επίσης, όλα τα άλλα συστήματα «n» Duino μπορούν να επικοινωνούν σειριακά, αλλά πρέπει να δημιουργηθούν ειδικές μονάδες slave, που ονομάζονται shield, Mount και να τις προγραμματίσει ο χρήστης. Αυτές οι μονάδες πρέπει να περιέχουν, τόσο το υλικολογισμικό για την επικοινωνία με τους αισθητήρες, όσο και για την επικοινωνία με το Arduino. Για να εφαρμοστεί ένα τέτοιο σύστημα, χρειάζεται ένας αξιοπρεπής χρόνος ανάπτυξης και σημαντικές γνώσεις υλικού και λογισμικού. Το σύστημα Theremino επικοινωνεί μέσω μιας σειριακής γραμμής, που μπορεί να έχει μήκος εκατοντάδες μέτρα.

**13. Το μέγεθος.** Οι μονάδες του συστήματος Theremino είναι πολύ συμπαγείς και η διάταξη Pin έχει σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιεί το μέγεθος της καλωδίωσης.

**14. Αξιοπιστία και κόστος.** Το σύστημα Theremino είναι το αποτέλεσμα 30 χρόνων εμπειρίας στην είσοδο-έξοδο για υπολογιστή. Τα πρώτα συστήματα Out, αναπτύχθηκαν το 1981, με πατέντες και καινοτόμες λύσεις, στην εφαρμογή των πρώτων συστημάτων ελέγχου φωτισμού για ντίσκο, με δεκάδες modules, και εκατοντάδες κανάλια στο διαδίκτυο. Όλα αυτά τα χρόνια, μέσα από τη συνεχή επανάληψη σχεδίων, αναθεωρήσεων και βελτιώσεων, τελικά διαμορφώθηκε ένα απλό υλικό, αξιόπιστο και με ελάχιστο κόστος.

Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά του Theremino:

- Ατομικά διαμορφώσιμος ακροδέκτης εισόδου-εξόδου..
- Ευρεία επιλογή τύπων προ-προγραμματισμένων Pin, για αισθητήρες και ενεργοποιητές, όλων των ειδών.
- Αμφίδρομη σειριακή επικοινωνία, σε ένα μόνο καλώδιο.
- Αυτόματη διαμόρφωση.
- Αυτόματος εντοπισμός συνδεδεμένων συσκευών.
- Αριθμός συσκευών που κυμαίνεται από 1 έως 200.
- Αριθμός μεταδιδόμενων και λαμβανόμενων bytes μεταβλητός, ανάλογα με τον τύπο των συσκευών.
- Ταχύτητα μετάδοσης έως 4 Megabits/sec, για μετάδοση πολλών δεδομένων με κοντά καλώδια.
- Ταχύτητα μετάδοσης έως 100 Kilobits/sec, για μεγαλύτερα μήκη καλωδίων (έως 10 Km).
- Υψηλή αποδοτικότητα της επικοινωνίας (από 10 έως 20 φορές μεγαλύτερη από ότι στο

CAN).

- Αρθρωτότητα όλων των στοιχείων, υλικού, υλικολογισμικού και λογισμικού.
- Ελάχιστες διαστάσεις της μονάδας και συμπαγές μέγεθος, η διάταξη των ακίδων.
- Απλότητα και χαμηλό κόστος.<sup>20</sup>

### 3.5 Χαρακτηριστικά του Theremino Adc24

Το Theremino Adc24 βασίζεται στον μετατροπέα αναλογικών συσκευών AD7124-8. Είναι ένας μετατροπέας Sigma Delta πολύ υψηλής απόδοσης, σχεδιασμένος το 2015. Εκτός από το χαμηλό θόρυβο και τη μεγάλη ευελιξία, αυτό το Adc καταναλώνει πολύ λίγη ενέργεια, περίπου 900 micro Amps.

Επιπλέον, ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι επιλέξιμος σε πολύ ευρύ φάσμα, δηλαδή από 10 έως 19200 δείγματα ανά δευτερόλεπτο. Επίσης, οκτώ (8) επίπεδα φιλτραρίσματος είναι διαθέσιμα με τέτοιο τρόπο ώστε ο χρήστης να επιλέξει τον καλύτερο συμβιβασμό μεταξύ ταχύτητας απόκρισης και μείωσης θορύβου. Οι διάφορες διαμορφώσεις εισόδου επιτρέπουν τη σύνδεση αισθητήρων οποιουδήποτε τύπου.

Το Adc24 είναι μια μονάδα συμβατή με το σύστημα Theremino, δηλαδή εγγενώς αρθρωτό και συνθετικό. Αυτό επιτρέπει στον εξοπλισμό να επαναξιολογηθεί με την πάροδο του χρόνου και να τροποποιηθεί όπως επιθυμεί ο τελικός χρήστης, προσθέτοντας νέες μονάδες και νέες λειτουργίες. Το λογισμικό, το υλικολογισμικό, τα σχήματα και τα έργα είναι εντελώς δωρεάν και ανοιχτού κώδικα.

Ταυτόχρονα, το Theremino Adc24 στοχεύει στην ανίχνευση και την εγγραφή σημάτων χαμηλής και μέσης συχνότητας. Η ευελιξία του και η αναλογία σήματος προς τον θόρυβο είναι ανώτερη από οποιοδήποτε άλλο παρόμοιο όργανο. Ως εκ τούτου, είναι το ιδανικό όργανο για την καταγραφή microtremors (HVSR) και σεισμών, αλλά και για σήματα από άλλους μετατροπείς όπως: γραμμικά ποτενσιόμετρα για ανίχνευση μετατοπίσεων και θραυσμάτων, τη φόρτωση, τις αναλυτικές ζυγαριές, τη μετρητές πίεσης, την κάμψη, τα μαγνητόμετρα, τα μικροβαρόμετρα, τους αναλυτές φάσματος σχισμής, τα θερμοστοιχεία, τους μετρητές pH και τους καταγραφείς δεδομένων.

Τέλος, εάν απαιτείται, ο συγχρονισμός με την ώρα UTC πραγματοποιείται με τον δέκτη GPS, συνδεδεμένο μέσω USB. Το λογισμικό που διαβάζει το Adc, διαβάζει επίσης το GPS και συνδυάζει τα δύο (2) δεδομένα.

Όσον αφορά τις τεχνικές προδιαγραφές:

- Τροφοδοσία: 5 Vdc
- Κατανάλωση ισχύος: 5 χιλιοστά του Watt (900 uA στα 5 Volt)

---

<sup>20</sup> <https://comunitadigeologia.blogspot.com/2018/04/tromografo-sperimentale-24-bit-reali.html>

- Αριθμός καναλιών: 1 έως 16 κανάλια 24-bit (Σ-Δ) (8 διαφορικά, 15 ψευδο ή 16 μονού τερματισμού)
- Δυναμική περιοχή: 127 dB @ 100 SPS (με τρία ταυτόχρονα κανάλια και απολαβή 1)
- Δειγματοληψία: Δυνατότητα διαμόρφωσης από 1 έως 16 κανάλια "Differential", "Pseudo" ή "Single Ended"
- Ρυθμός δειγματοληψίας: 10 έως 19200 δείγματα ανά δευτερόλεπτο
- Πλήρης κλίμακα: +/- 3,3 Vpp (Διαφορικό) ή από 0 έως 3,3 Volt (ψευδο και μονό)
- Adc step (x 1): 0,4 uV (Διαφορικό) - 0,2 uV (ψευδο και μονό)
- Adc step (x 128) : 3,2 nV (Διαφορικό) - 1,6 nV (ψευδο και μονό)
- Αντίσταση εισόδου: Ουσιαστικά άπειρη (> 100 mega ohms)
- Ρεύμα εισόδου: Λιγότερο από +/- 4 nA
- Ρεύμα εισόδου: Διακύμανση με θερμοκρασία +/- 25 pA / ° C
- Μέγιστη τάση: Από -0,3 Volt έως +3,6 Volt (μέγιστη τάση που ισχύει για τις εισόδους)
- Μέγιστο ρεύμα: +/- 10 mA (μέγιστο ρεύμα που ισχύει για τις εισόδους)
- ESD Rating HBM: Μοντέλο ανθρώπινου σώματος = 4 kV ESD
- FICDM Rating: Μοντέλο φορτισμένης συσκευής που προκαλείται από πεδίο = 1250 V ESD Rating MM: Μοντέλο μηχανής = 400 V
- Έξοδος 3,3 Volt: Έως 300 mA, ακρίβεια (1%), σταθερότητα (48 ppm / ° C).
- Έξοδος 2,5 Volt: Έως 10 mA, ακρίβεια (0,2%), σταθερότητα (2 ppm / ° C τυπική).
- Έξοδος 1,6 Volt: Μόνο για πόλωση των αισθητήρων (ακρίβεια και σταθερότητα ίση με 3,3 Volt / 2).
- Διεπαφή δεδομένων: SPI, QSPI™, MICROWIRE™ και DSP
- Μορφή δεδομένων: Πρωτόκολλο αναλογικών συσκευών (βλ. φύλλο δεδομένων AD7124-8)
- Ταχύτητα σειριακής γραμμής: Από 30 baud έως 5 mega baud
- Ακρίβεια χρόνου: Περίπου 500 uS ή λιγότερο
- Θερμοκρασία: -40 ° C έως + 105 ° C
- Θερμοκρασία: -65 ° C έως + 150 ° C
- Διαστάσεις: 60 x 34 x 12 mm



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## 4.1 Υλοποίηση συστήματος - οδηγίες κατασκευής

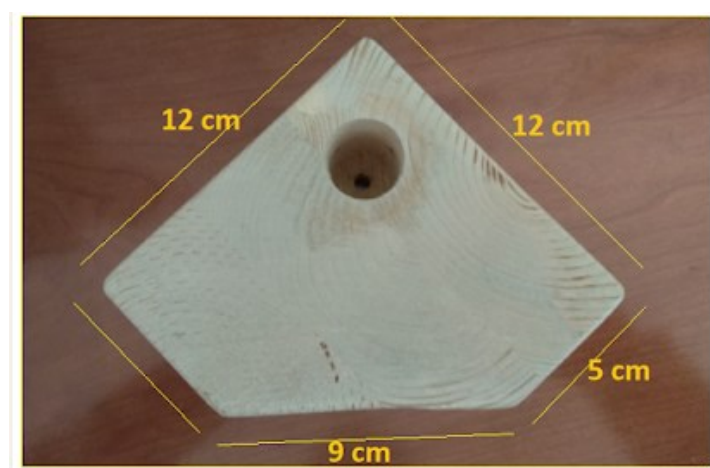
1) Master Theremino

2) Κάρτα ADC 24 BIT - 16 CHANNELS, ένας μετατροπέας πολύ πιο ευαίσθητος από τον adc που περιέχεται στην εικόνα του Theremino Master και έχει τη δυνατότητα ενίσχυσης κάθε καναλιού με κέρδος 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 x έτσι ώστε το σήμα να μην χρειάζεται περαιτέρω ενίσχυση.



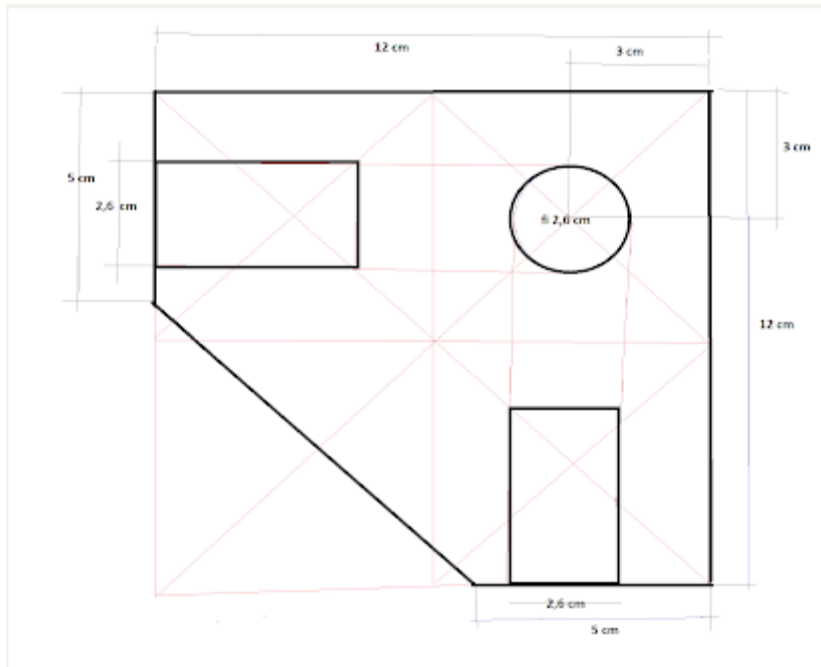
Εικόνα 23 - Πειραματικός 24 bit Σεισμογράφος

Χρησιμοποιούμε (τρεις γεωφωνικές κάψουλες) εκ των οποίων μια (1) κάθετη και δύο (2) οριζόντιες με φυσική συχνότητα 4.5 HZ.



Εικόνα 24 - Οδηγίες συναρμολόγησης 1

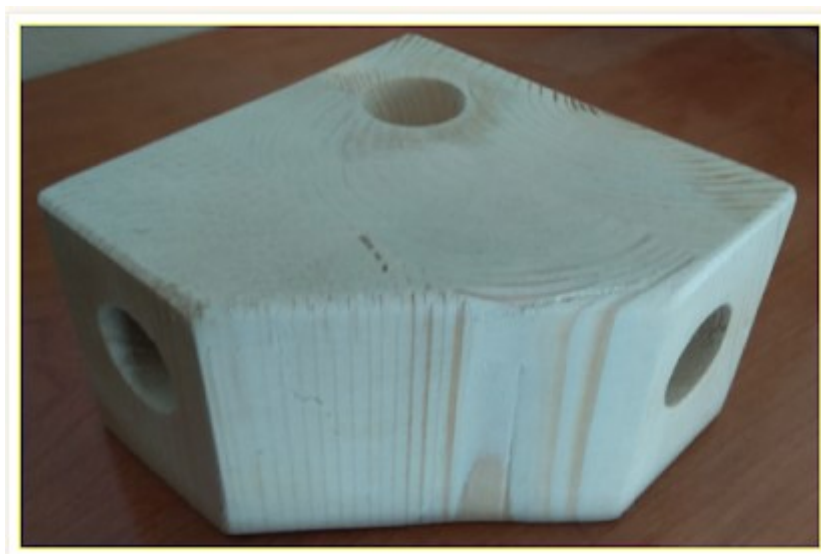




Εικόνα 25 - Οδηγίες συναρμολόγησης 2

Είναι σημαντικό ο άξονας των δύο (2) οριζόντιων γεωφώνων να τέμνει τον κατακόρυφο άξονα

Η πλευρά πλάτους 9 cm κατασκευάστηκε για να παρέχει περισσότερο χώρο για τα καλώδια, τα οποία γενικά παραμένουν συγκεντρωμένα σε προηγούμενα σχέδια μεταξύ των πλαϊνών δίσκων, στη μακρά πλευρά του κουτιού. Η τρύπα των 26 mm θα πρέπει να λειανθεί ώστε να συγκρατεί το κάθετο γεώφωνο χωρίς πλευρική τριβή, διαφορετικά ο κύλινδρος του γεώφωνου θα παραμορφωθεί και θα δυσλειτουργήσει.



Εικόνα 26 - Οδηγίες συναρμολόγησης 3

Στην εικόνα 26 βλέπουμε τη θέση των τριών (3) οπών που θα περιέχουν τα τρία (3) γεώφωνα. Ο άξονας των δύο (2) οριζόντιων οπών πρέπει να συγκλίνει στο κέντρο του άξονα της οπής που θα περιέχει το κατακόρυφο γεώφωνο. Επίσης, σε αυτή την περίπτωση οι δύο (2) οριζόντιες

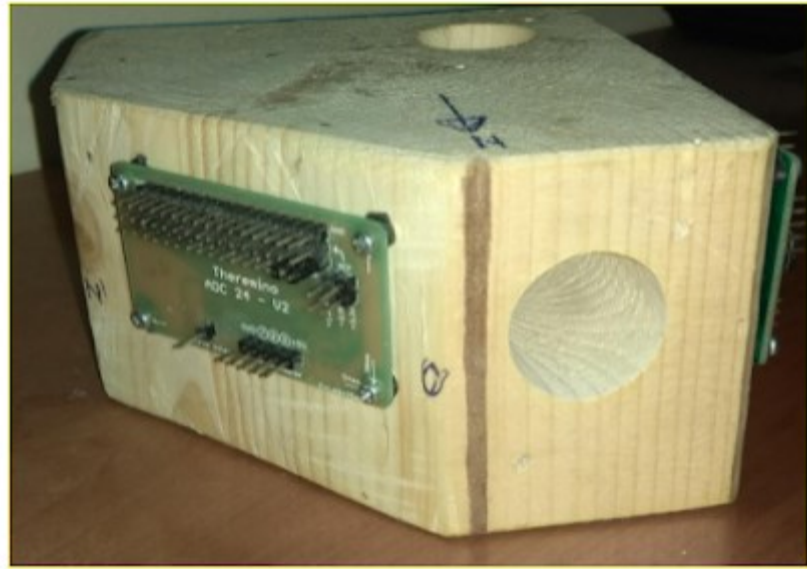
οπές πρέπει να λειανθούν έτσι ώστε τα γεώφωνα να εισέλθουν χωρίς πλευρικές τριβές (Βάθος οπών 4,5 -5 cm, διάμετρος 26 mm)



*Εικόνα 27 - Οδηγίες συναρμολόγησης 4*

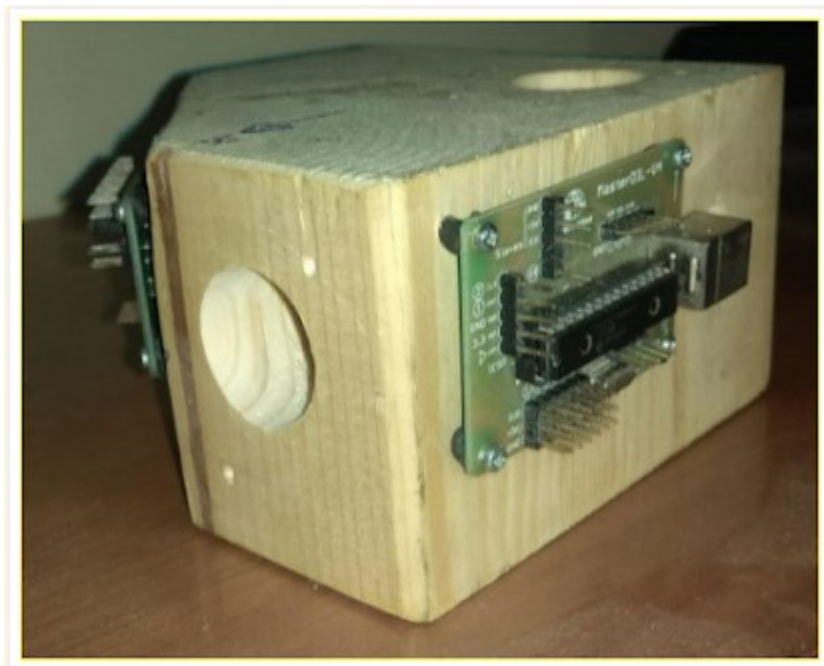
Στη εικόνα 27 βλέπουμε ότι είναι σημαντικό οι τρύπες να διανοίγονται με τρυπάνι, ώστε να είναι απόλυτα ορθογώνιες. Στις απέναντι πλευρές του κύβου **εικόνα 26** είναι ορατές οι οπές με διάμετρο περίπου 8 mm, οι οποίες αποτελούν τη συνέχεια των δύο οριζόντιων οπών των 26 mm, εισάγοντας ένα κομμάτι ξύλου 6 mm στην οπή δίνει την δυνατότητα το γεώφωνο να βγει από το περίβλημά του, το κάθετο γεώφωνο στην πλευρά της βάση του κύβου έχει μια κάθετη οπή, σε αυτή την περίπτωση μήκους μικρότερου από 1 - 2 cm. Το ύψος του κύβου πρέπει να είναι 0,6-1 cm μικρότερο από τον εσωτερικό χώρο του κουτιού, είναι καλύτερα να χρησιμοποιηθούν ξύλινα δοκάρια 12 cm σε κάθε πλευρά, 6,5- 7 cm πάχους ανάλογα με το κουτί που χρησιμοποιείται. αγοράζεται εκ των προτέρων για να προσδιοριστεί ο ακριβής ωφέλιμος εσωτερικός χώρος με μέγιστο ύψος κουτιού 7 - 9 cm. Άλλες εξωτερικές διαστάσεις ενδεικτικό μέτρου είναι 16 x 18 σε χυτοπρεσσαριστό αλουμίνιο που διατίθεται από καταστήματα οικοδομικών υλικών.

## ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ



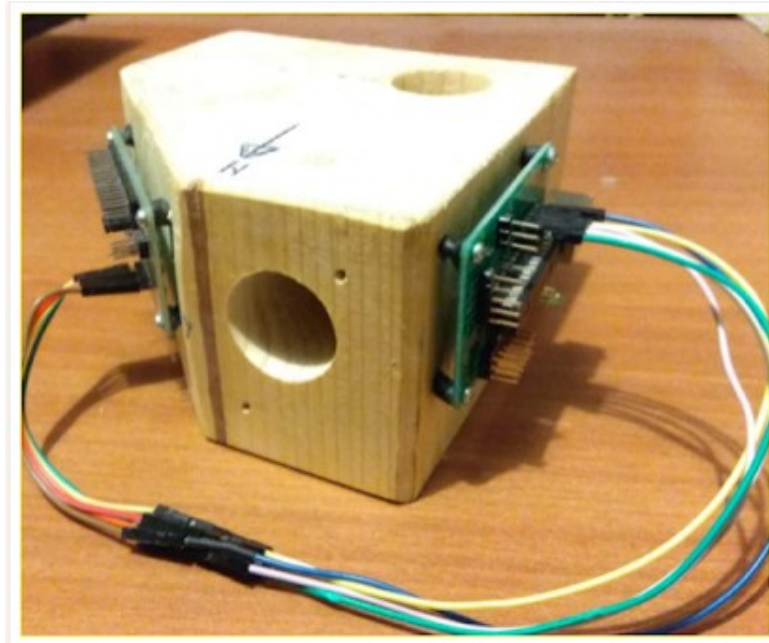
Εικόνα 28 - Οδηγίες συναρμολόγησης 5

Στην εικόνα 28 απεικονίζεται ο τρόπος που στερεώθηκε το Master Theremino με τέσσερις (4) ξύλινες βίδες, διαμέτρου 2 mm μήκος 1,5 cm ενώ τοποθετήθηκε ένα κομμάτι ηλεκτρικού καλωδίου 5 mm μεταξύ της βίδας και του ξύλου. Χρησιμοποιήθηκε μόνο το εξωτερικό περίβλημα ως αποστάτης για να μην ακουμπήσει η κόλληση κάτω από το κύκλωμα. .



Εικόνα 29 - Οδηγίες συναρμολόγησης 6

Όπως στην εικόνα 28 και στην εικόνα 29 , στερεώθηκε η κάρτα ADC24 bit με τις βίδες και αποστάτες όπως στην προηγούμενη φωτογραφία. Με το κόψιμο του κύβου, ανακτάται περισσότερος χώρος για τα καλώδια σύνδεσης των τριών γεωφώνων και τα καλώδια μπορούν να είναι μικρότερα σε μήκος



Εικόνα 30 - Οδηγίες συναρμολόγησης 7

- **ΣΥΝΔΕΣΗ MASTER - ADC 24 BIT**

Στην **εικόνα 31** παρουσιάζεται η σύνδεση με καλώδια 20 cm του Mater Theremino με το Adc 24 bit. Στις (2) δύο πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων θα βρείτε (5) αριθμοί που αντιστοιχούν στα πέντε (5) καλώδια, θα πρέπει να συνδέσετε τα επιμέρους καλώδια ακίδα με ακίδα.



Εικόνα 31 - Οδηγίες συναρμολόγησης 8

- **ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΦΩΝΩΝ**

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν καλώδια που είναι ήδη κολλημένα στο γεώφωνο. Κατά σύμβαση υπάρχει μια κουκίδα στο μαύρο μέρος του γεωφώνου. Εν συνεχεία, συνδέουμε το κόκκινο καλώδιο στην πλησιέστερη ακίδα του γεωφώνου και το λευκό στην αντίθετη πλευρά. Το καλώδιο γείωσης της πλεξούδας πρέπει να συγκολληθεί στον κασσίτερο που υπάρχει στην άκρη του κυλίνδρου του γεωφώνου. Στην απέναντι πλευρά, το γεώφωνο συνοδεύεται από πυκνωτές ήδη κολλημένους.



*Εικόνα 32 - Οδηγίες συναρμολόγησης 9*

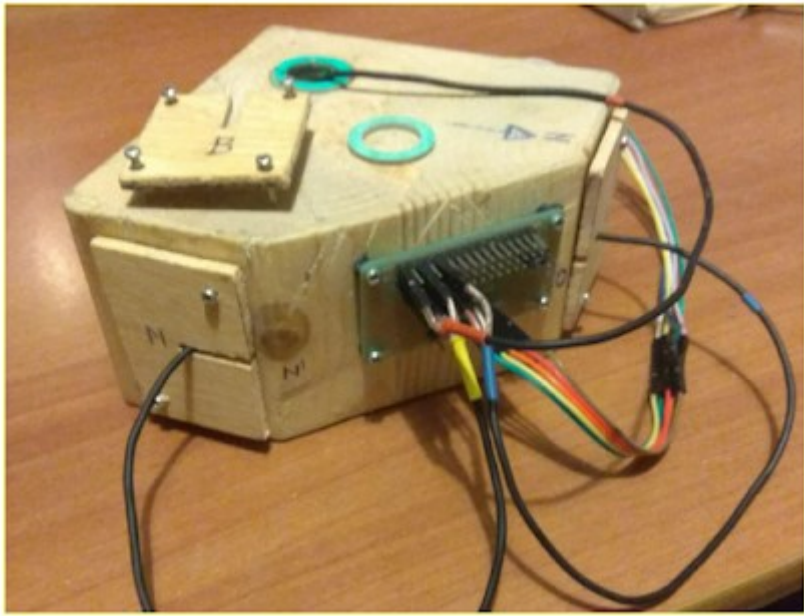


*Εικόνα 33 - Οδηγίες συναρμολόγησης 10*





Εικόνα 34 - Οδηγίες συναρμολόγησης 11



Εικόνα 35 - Οδηγίες συναρμολόγησης 12

Όπως φαίνεται στην **εικόνα 35** τα γεώφωνα τοποθετήθηκαν στις τρεις (3) οπές των 26 mm που έχουν λειανθεί και εξομαλυνθεί έτσι ώστε τα γεώφωνα να μπορούν να εισέλθουν χωρίς

τριβές . Πάνω από τα γεώφωνα προστέθηκαν παρεμβύσματα 1 ίντσας μέχρι να γεμίσει η οπή με συγκρατητήρες γεωφώνων βιδώνοντας τις αυτοκόλλητες 2 mm 1,5 cm μέχρι το κόντρα πλακέ 4 x 4 x 0,5 cm να πιέζει μέσα από τα παρεμβύσματα στον πυθμένα της οπής.

- **ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΣΙΔΕΡΟ ΠΛΑΚΑΣ 20 X 20 ΠΕΡΙΠΟΥ ΠΑΧΟΣ 0,5-1 cm**



*Εικόνα 36 - Οδηγίες συναρμολόγησης 13*

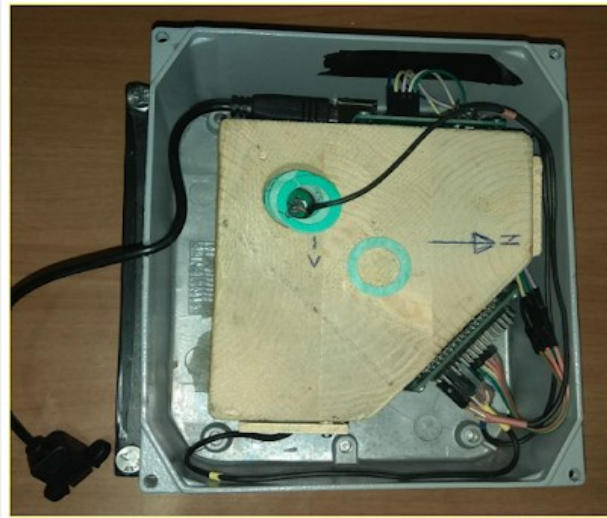
Στην **εικόνα 36** απεικονίζεται η πλάκα έχει την κύρια λειτουργία της έγχυσης του συστήματος για να φέρει το κέντρο βάρους του οργάνου πιο κοντά στο έδαφος και μετακινούνται τα τρία (3) στηρίγματα στήριξης σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους για να εξασφαλιστεί η μέγιστη σταθερότητα του συστήματος .Η πλάκα βάφεται με χρώμα κατά της σκουριάς ενώ χρησιμοποιήθηκαν κοίλες βίδες αντί για μπουλόνια.



*Εικόνα 37 - Οδηγίες συναρμολόγησης 14*

- **ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΚΟΥΤΙ ΧΥΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ**

Η εργασία γίνεται με τη χρήση τεσσάρων (4) βιδών Allen των 6 mm- τόσο οι βίδες Allen όσο και οι τρεις βίδες( των 8 mm μεταξύ της μεταλλικής πλάκας και του σημείου αναφοράς πρέπει να ασφαλιζονται με αυτοασφαλιζόμενες ροδέλες). Στη μικρή εγκοπή που φαίνεται στο πάνω μέρος της άκρης του κουτιού επιτρέπει την εξωτερική έξοδο του καλωδίου USB.



Εικόνα 38 - Οδηγίες συναρμολόγησης 15

- **ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ**

Τοποθετούμε τον κύβο με τις πλευρές του παράλληλες προς το κουτί. το κάθετο γεωφόνιο μπορεί να μην ασφαλιστεί με τη βάση του γεωφώνου και τις 4 βίδες, καθώς το σφουγγάρι θα δράσει στα παρεμβύσματα με επαρκή πίεση κατά το σφίξιμο των βιδών του καπακιού

Τοποθετήτε το case και συνδέουμε το καλώδιο USB τύπου B αρσενικού - θηλυκού 30 cm ή το καλώδιο πίνακα, εκμεταλλευόμενοι το μικρό ένθετο που έχει κατασκευαστεί στο κουτί βλέπε προηγούμενη φωτογραφία **εικόνα 38**. **Στην εικόνα 39** είναι ενδεικτικός ο χώρος που προορίζεται για τα καλώδια δεν είναι πλέον περιορισμένος, όπως συνέβαινε προηγουμένως με τους κύβους 12 x 12, οπότε οι σύνδεσμοι δεν υπόκεινται πλέον σε μεγάλη πίεση και εγγυώνται άριστη επαφή,



Εικόνα 39 - Οδηγίες συναρμολόγησης 16



- ΠΩΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ



*Εικόνα 40 - Οδηγίες συναρμολόγησης 17*

Στη **εικόνα 40** παρουσιάζεται το τελικό στάδιο της συναρμολόγησης και παραθέτονται οι προδιαγραφές του:

Διαστάσεις :20 x 20 Υ από το έδαφος 11 cm

Μήκος διάτρησης: 3 - 4 cm

Βάρος: περίπου 4,5 kg με πλάκα πάχους 1 cm

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

## 5.1 Μετρήσεις

Για την αξιολόγηση των επιδόσεων της προτεινόμενης διάταξης καταγράφηκε μια σειρά από σεισμικά γεγονότα και πραγματοποιήθηκε σύγκριση των κυματομορφών με αυτές από σεισμολογικό σταθμό αναφοράς. Ο σταθμός αναφοράς αποτελείται από καταγραφικό Reftek DAS-130 και αισθητήρα Geacalr GMG-40T. Τα γεγονότα που επελέγησαν θα έπρεπε να ικανοποιούν δύο βασικά κριτήρια:

- α) Τα αντίστοιχα γεγονότα πρέπει να ανιχνευθούν επίσης από ένα άλλο έγκυρο Σεισμολογικό Ινστιτούτο.
- β) Οι καταγραφές πρέπει να παρουσιάζουν τις εμφανείς διαφορές στην ποιότητά τους.

Για τον έλεγχο της ομοιότητας των κυματομορφών εστίασαμε μόνο στη φάση P του σεισμικού κύματος δεδομένης της στόχευσης της διάταξης για συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης

## 5.2 Μεθοδολογία

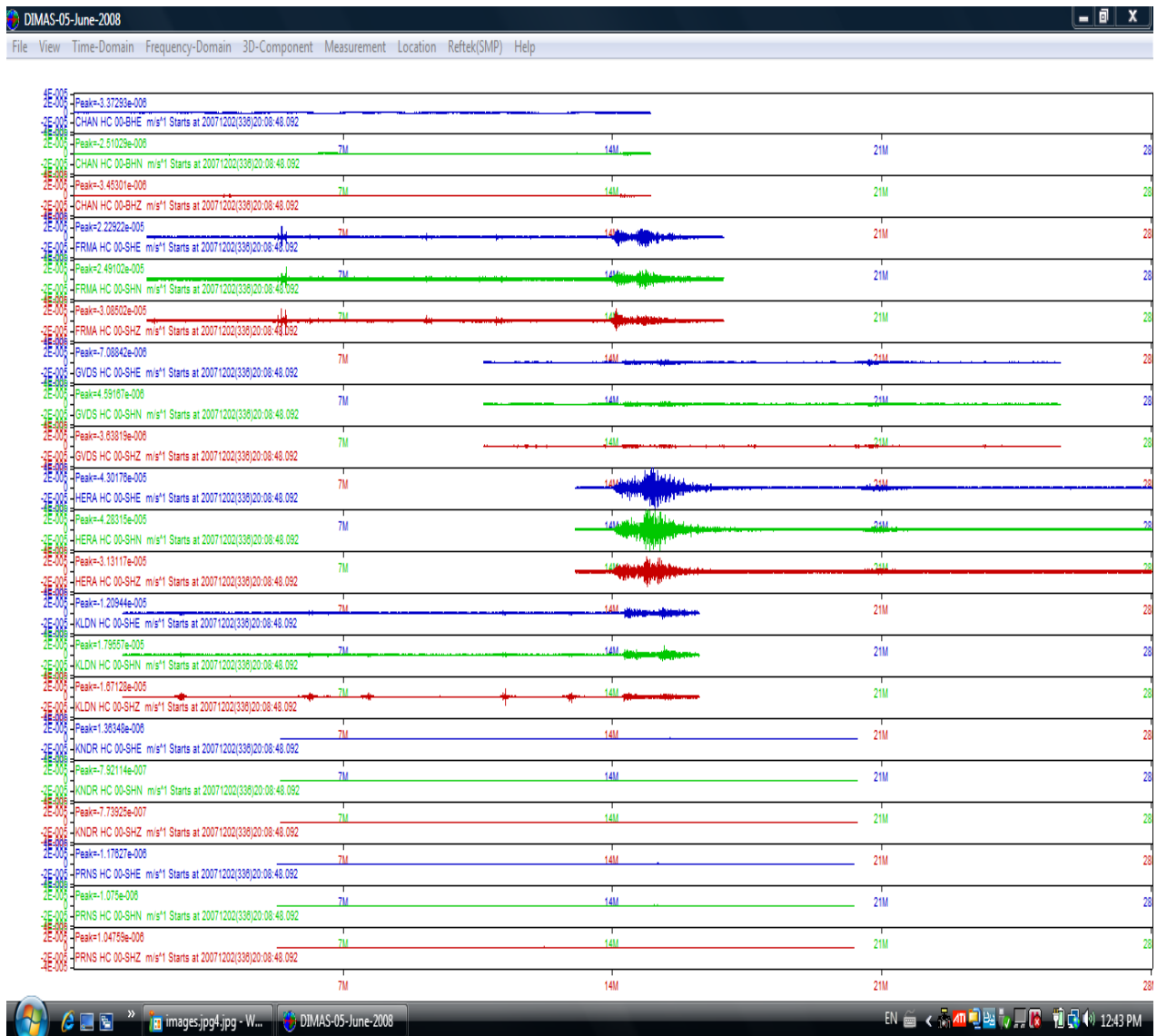
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η παρακάτω:

- Εντοπισμός σεισμικών γεγονότων
- Απόρριψη από τα ανωτέρω όσων γεγονότων δεν έχουν καταγραφεί από άλλα σεισμολογικά ινστιτούτα
- Εξαγωγή των κυματομορφών από όλους τους σταθμούς
- Αποθρομβοποίηση με συμβατικά φίλτρα ( BP Butterworth, BP Chebychev και HP Chebychev)
- Εντοπισμός άφιξης P-κυμάτων.
- Υπολογισμός διαφορών χρόνων άφιξης P κυμάτων

Όλες οι παραπάνω διαδικασίες υλοποιήθηκαν σε περιβάλλον Matlab και με το software Dimas.

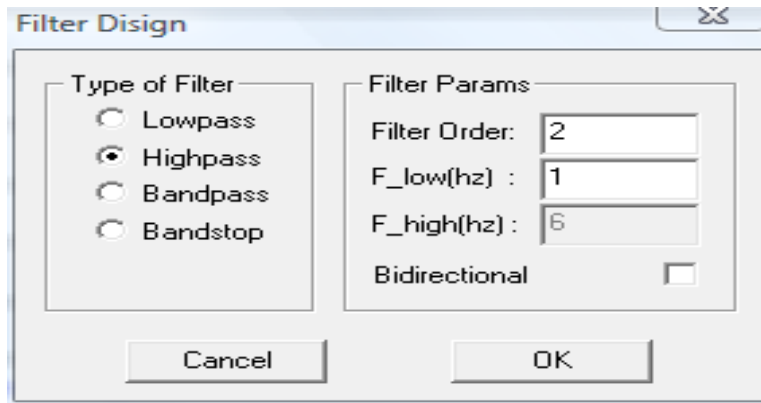
Τα παραπάνω βήματα παρουσιάζονται παρακάτω:

- Αρχικά τα δεδομένα φορτώθηκαν στο πρόγραμμα Dimas, με μορφή reftek αρχείων.
- Αποθηκεύτηκαν αφιλτράριστα σε αρχείο μορφής .asc (File-Save Data), με την ίδια ακριβώς ονομασία



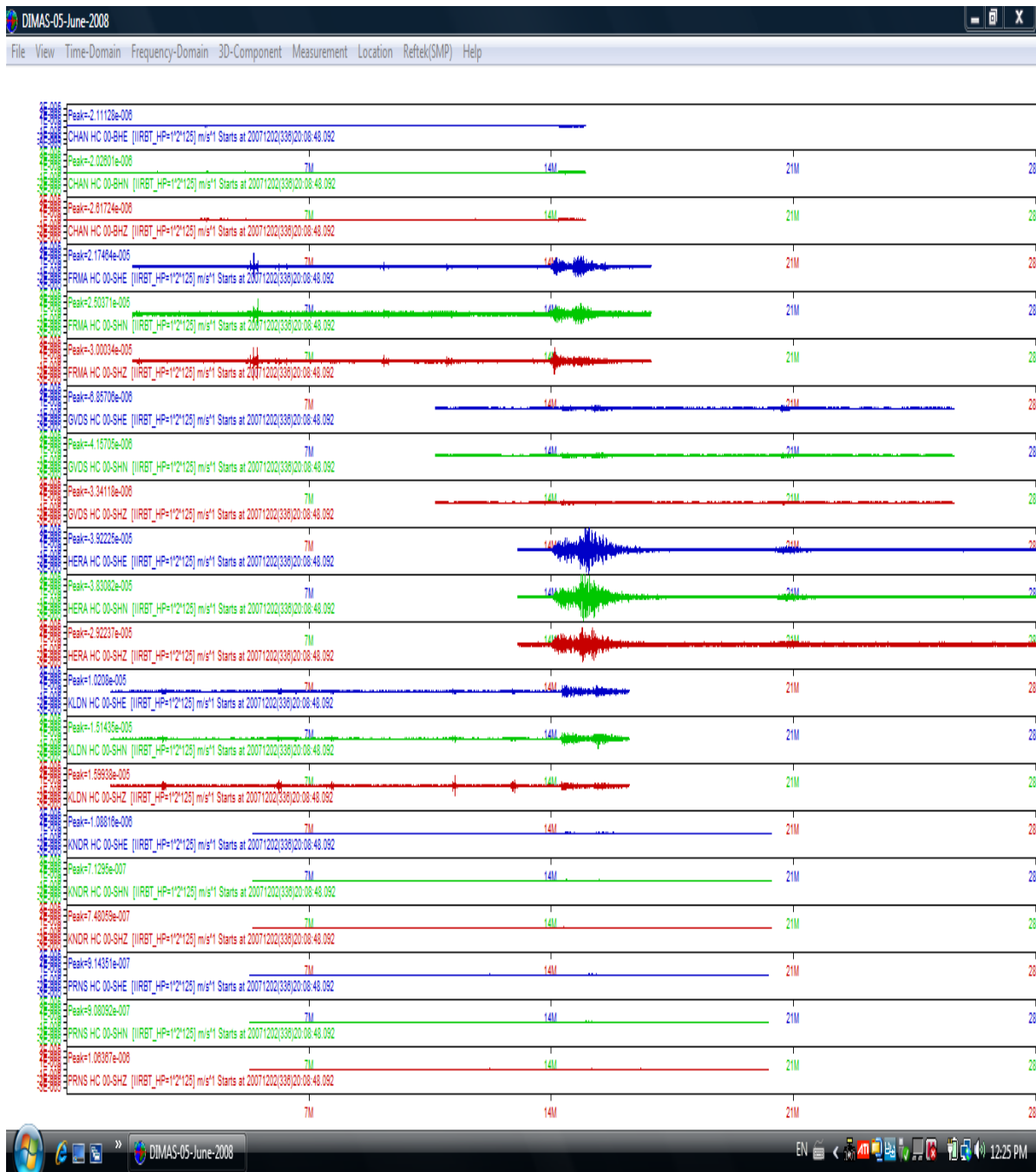
Εικόνα 41 - DIMAS

- Έπειτα αφαιρέσαμε την μέση τιμή (Time Domain-Mean Removal).
- Στην συνέχεια εφαρμόσαμε φίλτρο IIR Butterworth Highpass με παράμετρο  $F_{low}(Hz)$  την τιμή της μονάδας(1).



Εικόνα 42 - Filter Design

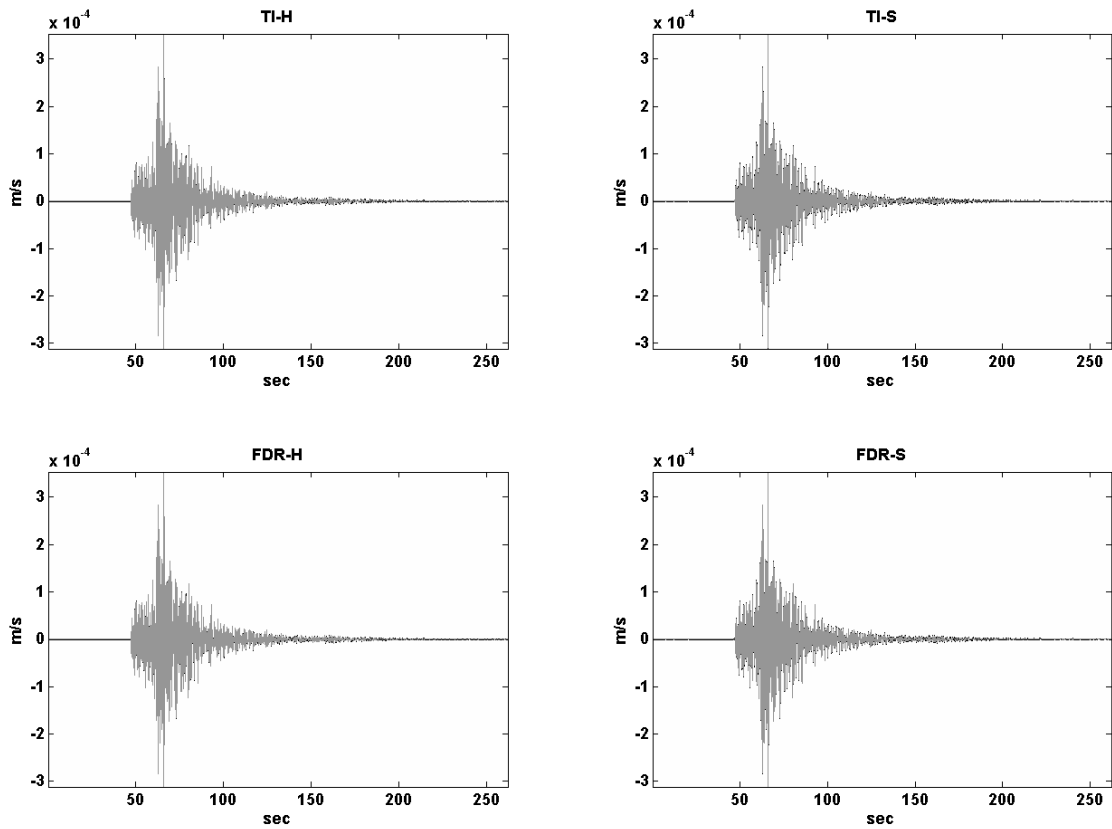
- Τα δεδομένα μετά το φιλτράρισμα παρατηρούμε ότι έχουν καθαρίσει αρκετά..



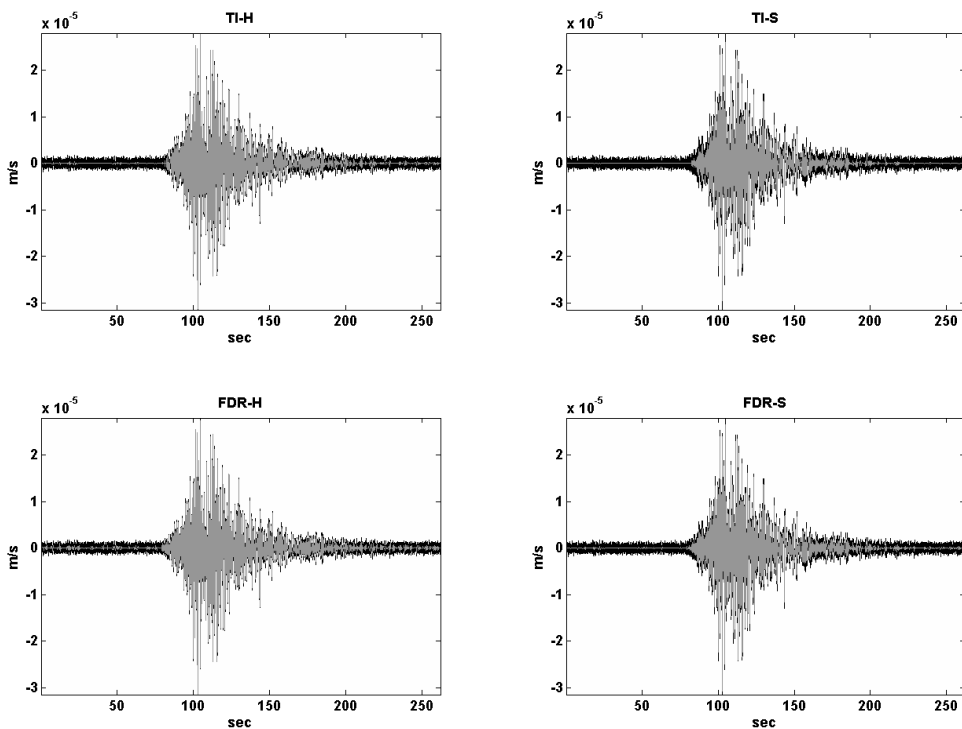
Εικόνα 43

- Μετά από το φιλτράρισμα των δεδομένων επιλέγουμε την Z συνιστώσα για όλους τους σταθμούς που έχει καταγραφεί ο σεισμός.
- Αφού απομονώσουμε όλες τις Z συνιστώσες δουλεύουμε πάνω στο αρχείο , επιλέγοντας τους χρόνους άφιξης των P κυμάτων.

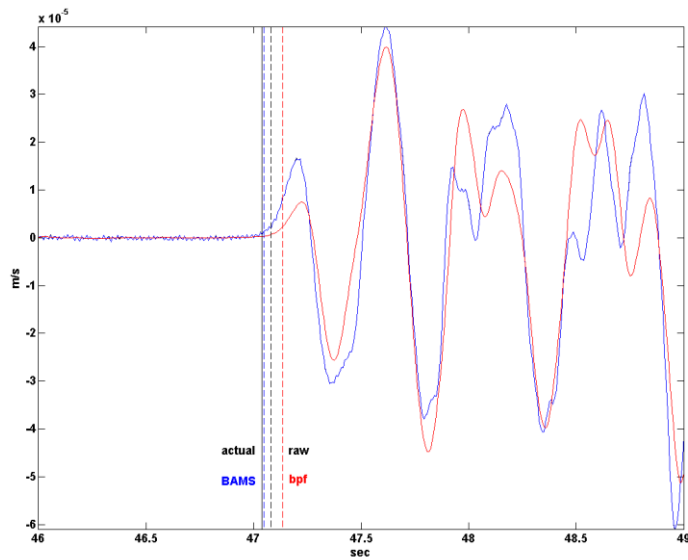
Από το σημείο αυτό και μετα είμαστε σε θέση να αντιπαραβάλλουμε τις καταγραφές από την προτεινόμενη συσκευή με τις καταγραφές του σταθμού αναφοράς, όπως παρακάτω



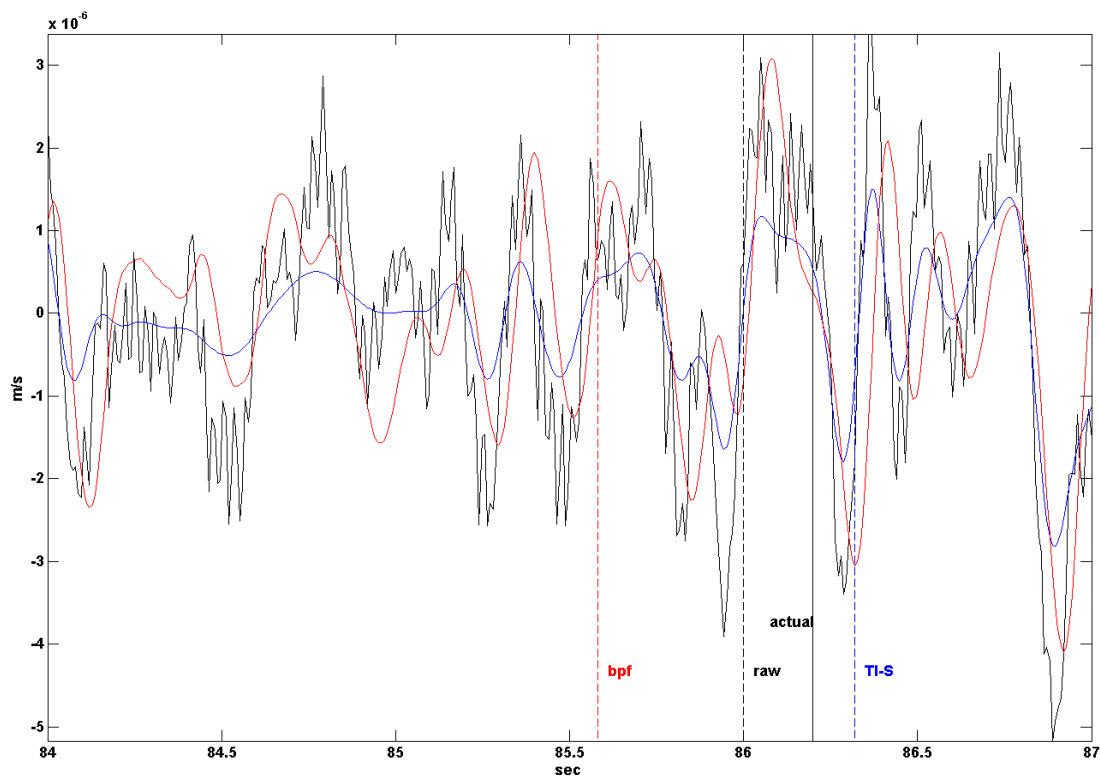
**Εικόνα 44** κυματομορφες προτεινόμενης συσκευής (μαύρη) και κυματομορφές σταθμού αναφοράς για σεισμικό γεγονός με μεγεθος 4.3



**Εικόνα 45** κυματομορφες προτεινόμενης συσκευής (μαύρη) και κυματομορφές σταθμού αναφοράς για σεισμικό γεγονός με μεγεθος 3



**Εικόνα 46** Διαφορες στα Ρ κύματα μεταξύ προτεινόμενης συσκευης (κόκκινη) και σταθμού αναφοράς (μπλε) για το γεγονός με μέγεθος 4.3



**Εικόνα 47** Διαφορες στα Ρ κύματα μεταξύ προτεινόμενης συσκευης (κόκκινη) και σταθμού αναφοράς (μπλε) για το γεγονός με μέγεθος 3

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Ερμηνεία αποτελεσμάτων – συμπεράσματα

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας πραγματεύεται τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός σεισμολογικού σταθμού χαμηλού κόστους με χρήση OEM εξαρτημάτων. Αφου αναλύθηκαν οι σχεδιαστικές απαιτήσεις, έγινε παρουσίαση των διαθέσιμων λύσεων αλλά και τεκμηριώθηκε η αναγκαιότητα επιλογής συγκεκριμένων εξαρτημάτων.

Στη συνέχεια, υπο μορφή οδηγού (προκειμένου να είναι εφικτή και εύκολη η αναπαραγωγή του πρωτοτύπου) δόθηκαν τα βήματα συναρμολόγησης και η διαδικασίες ρύθμισης . Στο τελικό στάδιο παρουσιάστηκαν οι μετρήσεις από δύο σεισμικά γεγονότα που καταγραφηκαν προκειμένου να γίνουν αντιληπτές οι διαφορες με έναν σταθμό αναφοράς.

Η συγκεκριμένη πρόταση τεκμηριώνει ότι είναι δυνατή η χρήση σταθμών χαμηλού κόστους για βασικές ενέργειες ενός σεισμολογικού δικτύου (π.χ. έγκαιρη προειδοποίηση) σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις σταθμων αναφοράς, αυξάνοντας έτσι την διακριτική ικανότητα ενός σεισμολογικού δικτύου.

Στις μελλοντικές επεκτάσεις ενός τέτοιου συστήματος θα πρεπει να τονίσουμε ότι λόγω της ραγδαίας εξέλιξης των ηλεκτρονικών συστημάτων πρωτυποποίησης (όπως αυτό που χρησιμοποιούμε) θα πρέπει οι χρήστες να επικαιροποιούν τις εκδόσεις του υλισμικού . Παρ' όλα αυτά είναι σίγουρο ότι η γενική σχεδιαστική προσέγγιση της προτεινόμενης διάταξης θα παραμένει ενεργή ακόμα και αν υπάρχουν αλλαγες ή ενσωματώσεις στα βασικά δομικά στοιχεία της.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Hellenic Unified Seismological Network.
- Aftodioikisi.gr. (n.d.). Οι μεγαλύτεροι σεισμοί που έχουν συμβεί στον κόσμο. <https://www.aftodioikisi.gr/diethni/oi-megalyteroi-seismoi-poy-echoyn-symvei-ston-kosmo/>
- BeSafeNet. (n.d.). Σεισμοί. <https://besafenet.net/el/hazards/earthquakes/>
- Hellenic Weather. (n.d.). Οι κατηγορίες των σεισμών. <https://hellenicweather.com/oi-kathories-ton-seismon/>
- Wikipedia. (n.d.). Σεισμός. <https://el.wikipedia.org/wiki/Σεισμός>
- BeSafeNet. (n.d.). Σεισμοί. <https://besafenet.net/el/hazards/earthquakes/>
- Analog Devices. (n.d.). Understanding the fundamentals of earthquake signal sensing networks. <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/understanding-the-fundamentals-of-earthquake-signal-sensing-networks.html>
- Wikiwand. (n.d.). Σεισμός. [https://www.wikiwand.com/el/Σεισμός#/Σεισμικά\\_κύματα\\_που\\_διαδίδονται\\_εσωτερικά\\_στη\\_Γη](https://www.wikiwand.com/el/Σεισμός#/Σεισμικά_κύματα_που_διαδίδονται_εσωτερικά_στη_Γη)
- Seismoι.gr. (n.d.). Σεισμικά κύματα. <https://www.seismoι.gr/seismikakymata.htm>
- Seismoι.gr. (n.d.). Κλίμακες των σεισμών. <https://www.seismoι.gr/klimakestwnseismwn.htm>
- Wikipedia. (n.d.). Κλίμακα Ρίχτερ. [https://el.wikipedia.org/wiki/Κλίμακα\\_Ρίχτερ](https://el.wikipedia.org/wiki/Κλίμακα_Ρίχτερ)
- ΟΑΣΠ. (n.d.). Αντισεισμική προστασία. <https://www.oasp.gr/node/206>
- Wikipedia. (n.d.). Κλίμακα Μερκάλι. [https://el.wikipedia.org/wiki/Κλίμακα\\_Μερκάλι](https://el.wikipedia.org/wiki/Κλίμακα_Μερκάλι)
- Analog Devices. (n.d.). Understanding the fundamentals of earthquake signal sensing networks. <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/understanding-the-fundamentals-of-earthquake-signal-sensing-networks.html>
- Physics4u.gr. (n.d.). Πώς μετράμε το μέγεθος ενός σεισμού. <http://www.physics4u.gr/faq/measureearthquake.html>

- ΕΠΙΑΣ Ν. Φιλαδέλφειας. (n.d.). Σεισμός. [http://epas-n-filad.att.sch.gr/epas\\_earthquake.pdf](http://epas-n-filad.att.sch.gr/epas_earthquake.pdf)
- BeSafeNet. (n.d.). Σεισμοί. <https://besafenet.net/el/hazards/earthquakes/>
- National Observatory of Athens. (n.d.). Instruments.
- <https://www.gein.noa.gr/HTML/WEB-EDU/instruments.htm>
- OneThing.gr. (n.d.). OEM. <https://www.onething.gr/original-equipment-manufacturer/>
- Industrial Spec. (n.d.). OEM, OE, OER, ODM. <https://www.industrialspec.com/about-us/blog/detail/oem-original-equipment-parts-manufacturing-oe-oer-odm>
- Theremino. (n.d.). Geology sensors. <https://www.theremino.com/en/hardware/inputs/geology-sensors>
- Theremino. (n.d.). Theremino System. <https://www.theremino.com/en/>
- Theremino. (n.d.). Communications. <https://www.theremino.com/en/introduction/communications>
- Comunità di Geologia. (2018). Tromografo sperimentale 24 bit reali. <https://comunitadigeologia.blogspot.com/2018/04/tromografo-sperimentale-24-bit-reali.html>