

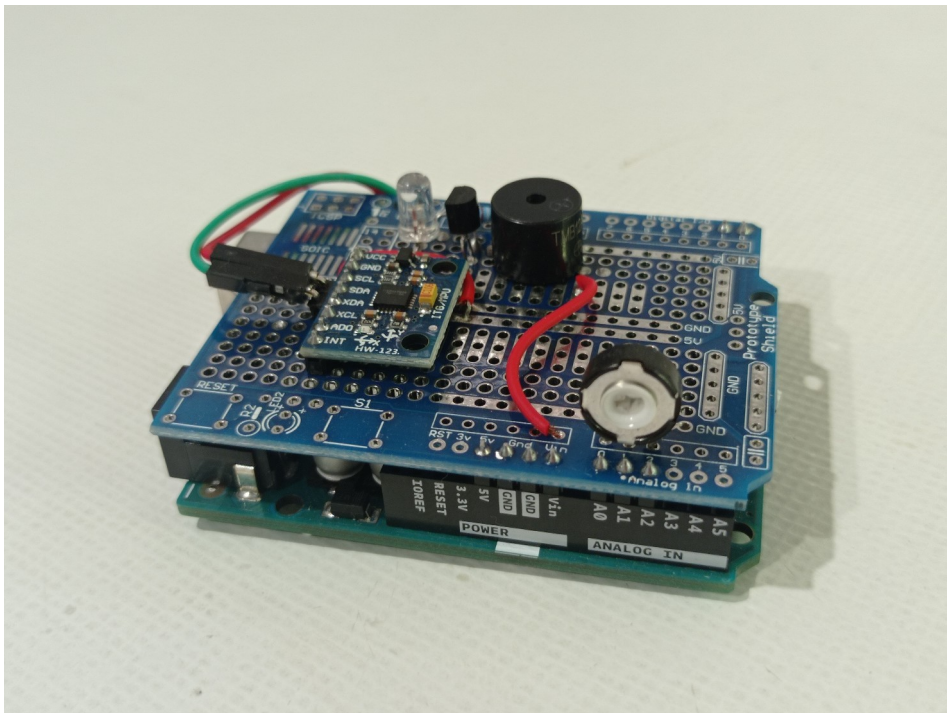


ΔΙΕΘΝΕΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Κατασκευή οργάνου έγκαιρης ειδοποίησης σεισμού»



Του φοιτητή  
Θεόδωρος Γούλας  
Αρ. Μητρώου: 513034

Επιβλέπων  
Ονοματεπώνυμο Άγγελος  
Γιακουμής  
Βαθμίδα Επίκουρος Καθηγητής

Ημερομηνία 30/08/2024

Τίτλος Δ.Ε...

Κωδικός Δ.Ε 23218

Όνοματεπώνυμο φοιτητή Θεόδωρος Γούλας  
Όνοματεπώνυμο εισηγητή Άγγελος Γιακουμής

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε 6/04/2023

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε 30/08/2024

*Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.*

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Θεόδωρου Γούλα που την εκπόνησε/αν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

<<Για κάθε έναν από εμάς που θέλει να μαθαίνει>>

## Πρόλογος:

Σε αυτήν την εργασία επέλεξα τον τίτλο <<Κατασκευή οργάνου πρόληψης σεισμών και η ιστορία τους>>.

Έτσι πήρα την πρωτοβουλία να επικεντρώσω το ενδιαφέρον μου όχι μόνο στο κομμάτι της κατασκευής, αλλά και στην ιστορία των σεισμών και των συστημάτων πρόληψης που υπάρχουν και χρησιμοποιούνται παγκοσμίως, ώστε να μιλήσω για τα προβλήματα που δημιουργούνται από την σεισμική δραστηριότητα, να αναπτύξω τις γνώσεις μου σχετικά με το γιατί ένα τέτοιο σύστημα είναι σημαντικό και πως μπορεί να βοηθήσει την ανθρωπότητα, και εν τέλη να κατασκευάσω ένα έξυπνο σύστημα βασισμένο σε μικροεπεξεργαστή στο κύκλωμα του Arduino, το οποίο θα με βοηθήσει να εξοικειωθώ περισσότερο και να διευρύνω τις γνώσεις μου για μελλοντικά projects.

## **Περίληψη:**

Μελέτη και κατασκευή συσκευής οργάνου έγκαιρης ειδοποίησης σεισμού στα πρότυπα του Early Earthquake Warning (EEW) βασισμένο πάνω σε μικροελεγκτή Atmega328 στο κύκλωμα ανοιχτού κώδικα Arduino με το Uno R3.

Στην ενεργό δράση για τον εντοπισμό και την μέτρηση των κυμάτων P που προηγούνται της σεισμικής δονήσεως θα χρησιμοποιηθεί το επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων MPU-6050 και τα δεδομένα των σημάτων θα επεξεργάζονται στο Arduino.

# <<Construction of an earthquake early warning device>>

<<Theodoros Goulas>>

## **Abstract:**

Study and construction of a device of Early Earthquake Warning (EEW) standards based on an Atmega328 microcontroller on the open source Arduino circuit with Uno R3. In the active action to detect and measure the P-waves that precede the seismic vibrations, the MPU-6050 three-axis accelerometer will be used and the signal data will be processed on the Arduino.

## Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο πριν ξεκινήσω με την εργασία μου θα ήθελα να αφιερώσω λίγο χρόνο να μεταφέρω τις θερμές μου ευχαριστίες, πρώτα από όλα στον καθηγητή μου Άγγελο Γιακουμή που μου ανέθεσε να υλοποιήσω αυτό το ενδιαφέρον θέμα που ήταν ακριβώς μέσα στα ενδιαφέροντα μου και με βοήθησε μέσω αυτού του πρότζεκτ να κατανοήσω περισσότερο τους μικροελεγχτές, καθώς επίσης και για κάθε γνώση που μου προσέφερε όλον αυτόν τον καιρό και τις απορίες και τις ερωτήσεις μου στις οποίες απαντούσε πάντα στα πρότυπα μιας άριστης εκπαιδευτικής οδού.

Επίσης την οικογένεια μου και τους φίλους μου που στάθηκαν στο πλευρό μου τόσα χρόνια αφήνοντας μου μόνο θετικές αναμνήσεις μέσα σε αυτό το ταξίδι της γνώσης.

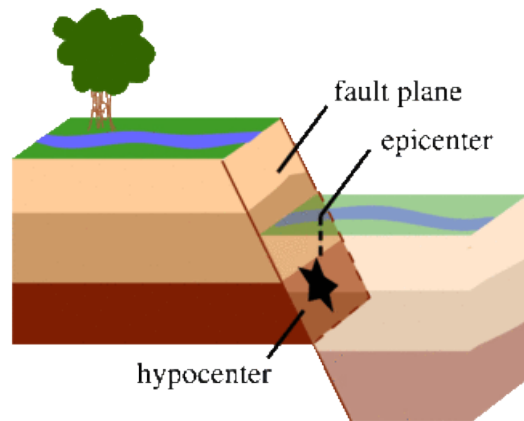
# Περιεχόμενα:

Πρόλογος.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract.....	vii
Ευχαριστίες.....	viii
Περιεχόμενα.....	ix
Κατάλογος σχημάτων .....	x
Κεφάλαιο 1ο:	
1.1 Τι είναι ο σεισμός; .....	1
1.2 Αιτίες σεισμών .....	2
1.3 Διάσημα ρήγματα και αιτίες σεισμών .....	3
1.4 Μονάδες μέτρησης και άλλα χαρακτηριστικά των σεισμών ... ..	5
1.5 Οικονομικό κόστος των σεισμών κάθε χρόνο .....	7
1.6 Ζημιές στις υποδομές .....	8
1.7 Κόστος αποκατάστασης και ανασυγκρότησης .....	9
1.8 Ψυχολογικό και Κοινωνικό Κόστος .....	10
1.9 Παγκόσμιος Οικονομικός Αντίκτυπος .....	11
Κεφάλαιο 2ο:	
2.1 Ιστορία των σεισμών στην ανθρωπότητα.....	13
2.2 Ηφαιστειακή σεισμική δραστηριότητα .....	15
2.3 Θνησιμότητα λόγω σεισμών κάθε χρόνο .....	17
2.4 Σεισμοί στην αρχαιότητα, τεχνολογία οργάνων πρόληψης, και εξήγηση των κοινωνιών του τότε .....	18
Κεφάλαιο 3ο:	
3.1 Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης σεισμών .....	25
3.1.1 Συγκεκριμένα στην Ιαπωνία .....	25
3.1.2 Συμπέρασμα .....	29
Κεφάλαιο 4ο:	
4.1 Κατασκευή οργάνου προειδοποίησης σεισμών σε Arduino .....	29
4.2 Σχετικά με το όργανο του project – Θεωρία λειτουργίας .....	31
4.3 Λεπτομέρειες αρχής λειτουργίας κυκλώματος .....	34
4.4 Κατασκευαστικό κομμάτι .....	37
4.5 Προγραμματίζοντας το .....	40
4.6 Σετάροντας το .....	42
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Υλικά κατασκευής .....	43
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΚΩΔΙΚΑΣ .....	44
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	50

# Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1.1: Διάγραμμα φλοιού της γης και σεισμοί .....	1
Σχήμα 1.2: Κίνηση τεκτονικών πλακών .....	2
Σχήμα 1.3: Ρήγμα Αγίου Ανδρέα – Καλιφόρνια .....	3
Σχήμα 1.4: Κλίμακα Ρίχτερ .....	5
Σχήμα 1.5: Οικονομικό σχεδιάγραμμα μετά των σεισμών .....	7
Σχήμα 1.6: Κρατήρας σε αεροδιάδρομο .....	8
Σχήμα 1.7: Κατανομή εξόδων μετά των σεισμών .....	10
Σχήμα 2.1: Αρχαία λιθοδομή .....	13
Σχήμα 2.2: Κατεστραμένος δρόμος .....	14
Σχήμα 2.3: Ηφαιστειακή έκρηξη .....	15
Σχήμα 2.4: Παρακολούθηση ηφαιστείου .....	16
Σχήμα 2.5: Κατεστραμένος δρόμος με οχήματα .....	17
Σχήμα 2.6: Ακρόπολη .....	18
Σχήμα 2.7: Όργανο Ζανγκ Χενγκ .....	20
Σχήμα 2.8: Μηχανισμός λειτουργίας Ζανγκ Χενγκ .....	20
Σχήμα 2.9: Σεισμογράφος .....	22
Σχήμα 2.10: Διάγραμμα λειτουργίας σεισμογράφου .....	23
Σχήμα 2.11: Ψηφιακό σεισμικό δίκτυο .....	23
Σχήμα 2.12: Ειδοποίηση σεισμού σε κινητό .....	24
Σχήμα 3.1 Σεισμός Ιαπωνίας .....	25
Σχήμα 3.2: Κύματα σεισμών .....	27
Σχήμα 3.3: Δίκτυο επικοινωνίας .....	28
Σχήμα 4.1: Arduino Uno R3 .....	29
Σχήμα 4.2: Κύματα P και S .....	31
Σχήμα 4.3: Κύματα C και D .....	33
Σχήμα 4.4: Ημιτονοειδής κυματομορφή σεισμικού κύματος .....	33
Σχήμα 4.5: Διάγραμμα κυκλώματος Arduino και οργάνου πρόληψης σεισμών .....	34
Σχήμα 4.6: Arduino Uno (Generic) .....	37
Σχήμα 4.7: Μπροστά όψη .....	38
Σχήμα 4.8: Πίσω όψη .....	39
Σχήμα 4.9: Γενική άποψη κυκλώματος συνδεδεμένο στο Arduino .....	39
Σχήμα 4.10: Arduino IDE .....	40
Σχήμα 4.11: Arduino IDE Serial Monitor .....	41

## Κεφάλαιο 1ο:



Σχήμα 1.1 – Διάγραμμα φλοιού της γης και σεισμοί

### 1.1 Τι είναι ο σεισμός;

Ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο που χαρακτηρίζεται από την ξαφνική απελευθέρωση ενέργειας στον φλοιό της Γης, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σεισμικών κυμάτων που προκαλούν δόνηση του εδάφους. Αυτά τα σεισμικά κύματα μπορεί να ποικίλλουν σε ένταση από ήπιους σεισμούς έως καταστροφικούς σεισμούς και συχνά οδηγούν σε μια ποικιλία δευτερευόντων κινδύνων, όπως τσουνάμι, κατολισθήσεις και μετασεισμοί. Οι σεισμοί προκαλούνται κυρίως από την κίνηση των τεκτονικών πλακών κάτω από την επιφάνεια της Γης, όπου το άγχος συσσωρεύεται κατά μήκος των γραμμών ρήγματος μέχρι να απελευθερωθεί με τη μορφή σεισμικής ενέργειας. Η κατανόηση της επιστήμης πίσω από τους σεισμούς είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση και τον μετριασμό των πιθανών επιπτώσεών τους στους ανθρώπινους πληθυσμούς και τις υποδομές.

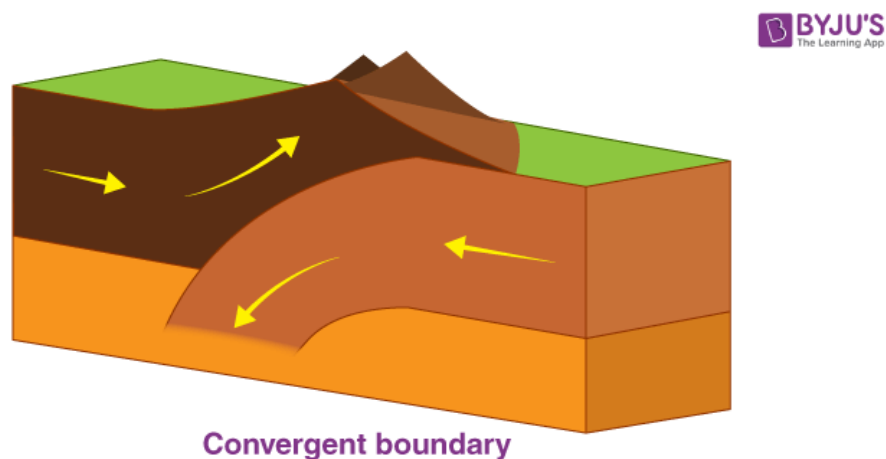
Η μελέτη των σεισμών, γνωστή ως σεισμολογία, περιλαμβάνει τη χρήση σεισμομέτρων για την καταγραφή της κίνησης του εδάφους και την ανάλυση των δεδομένων που προκύπτουν για τον προσδιορισμό της θέσης, του βάθους, του μεγέθους και του εστιακού μηχανισμού του σεισμού. Το μέγεθος του σεισμού τυπικά μετριέται στην κλίμακα Ρίχτερ ή στην κλίμακα του μεγέθους της στιγμής ( $M_w$ ), παρέχοντας μια ποσοτική εκτίμηση του μεγέθους ενός σεισμού. Η επίδραση ενός σεισμού σε ανθρώπους και κτίρια εξαρτάται από παράγοντες όπως το βάθος του, η απόσταση από το επίκεντρο και οι τοπικές γεωλογικές συνθήκες.

Η ετοιμότητα για τους σεισμούς και οι προσπάθειες μετριασμού είναι απαραίτητες για την ελαχιστοποίηση των καταστροφικών επιπτώσεών τους. Αυτό περιλαμβάνει την κατασκευή αντισεισμικών κτιρίων, την εφαρμογή συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και την εκπαίδευση των κοινοτήτων σχετικά με τα μέτρα αντισεισμικής ασφάλειας. Σεισμογενείς περιοχές, όπως το Δαχτυλίδι της Φωτιάς του Ειρηνικού, παρουσιάζουν τακτικά σεισμική δραστηριότητα, καθιστώντας ζωτικής σημασίας για τους κατοίκους να είναι καλά προετοιμασμένοι. [1] [2]

Εκτός από το καταστροφικό δυναμικό τους, οι σεισμοί παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της επιφάνειας της Γης σε γεωλογικές χρονικές κλίμακες. Συμβάλλουν στο σχηματισμό βουνών, κοιλάδων και άλλων γεωλογικών χαρακτηριστικών, καθώς και επηρεάζουν την κατανομή των ηπείρων και των ωκεανικών λεκανών μέσω της διαδικασίας της τεκτονικής πλακών.

Συνολικά, οι σεισμοί είναι ένα σύνθετο και επικίνδυνο γεωλογικό φαινόμενο που έχει τόσο άμεσες όσο και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στον πλανήτη μας, διαμορφώνοντας τοπία και απαιτώντας συνεχή επιστημονική έρευνα και προσπάθειες ετοιμότητας για τη διαφύλαξη ανθρώπινων ζώων και περιουσιακών στοιχείων.

## 1.2 Αιτίες σεισμών



Σχήμα 1.2: Κίνηση τεκτονικών πλακών

Η κύρια αιτία των σεισμών είναι η κίνηση των τεκτονικών πλακών της Γης. Αυτές οι πλάκες είναι σαν κομμάτια παζλ που συνεχώς μετατοπίζονται και αλληλεπιδρούν κατά μήκος των ορίων τους. Όταν κολλήσουν λόγω τριβής, το άγχος συσσωρεύεται μέχρι να απελευθερωθεί ξαφνικά, προκαλώντας σεισμό.

Άλλες αιτίες σεισμών μπορεί να περιλαμβάνουν ηφαιστειακή δραστηριότητα, όπου η κίνηση του μάγματος μέσα σε ένα ηφαίστειο μπορεί να δημιουργήσει σεισμικά κύματα ή ανθρώπινες δραστηριότητες όπως εξόρυξη, σεισμικότητα που προκαλείται από ταμειυτήρες (που προκαλείται από το γέμισμα μεγάλων ταμειυτήρων πίσω από φράγματα) και υδραυλική θραύση (fracking).

Σεισμικά κύματα:

Τα σεισμικά κύματα είναι η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού που ακτινοβολεί προς τα έξω από το σημείο της ρήξης. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι: τα σωματικά κύματα (κύματα P και κύματα S) και τα επιφανειακά κύματα (κύματα αγάπης και κύματα Rayleigh). Αυτά τα κύματα ταξιδεύουν μέσω της Γης και η άφιξή τους σε διαφορετικές χρονικές στιγμές είναι που επιτρέπει στους σεισμολόγους να εντοπίσουν την τοποθεσία ενός σεισμού. [3]

## 1.3 Διάσημα ρήγματα και εστίες σεισμού



Σχήμα 1.3: Ρήγμα Αγίου Ανδρέα - Καλιφόρνια

Μερικά από τα πιο διάσημα ρήγματα και σεισμογενείς περιοχές του κόσμου περιλαμβάνουν το ρήγμα του San Andreas στην Καλιφόρνια, την περιοχή των Ιμαλαΐων, τον Ειρηνικό Δακτύλιο της Φωτιάς (που περικυκλώνει τον Ειρηνικό Ωκεανό) και το Ρήγμα της Ανατολικής Αφρικής. Αυτές οι περιοχές είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς σε σεισμική δραστηριότητα λόγω αλληλεπιδράσεων τεκτονικών πλακών. Προεισμοί και μετασεισμοί:

Οι σεισμοί συχνά προηγούνται από μικρότερους σεισμούς που ονομάζονται προσεισμοί, οι οποίοι μπορεί να είναι ένα προειδοποιητικό σημάδι ότι επίκειται μεγαλύτερος σεισμός. Οι μετασεισμοί, από την άλλη πλευρά, είναι μικρότερα σεισμικά γεγονότα που συμβαίνουν μετά τον κύριο σεισμό, που μερικές φορές συνεχίζονται για ημέρες, εβδομάδες ή και μήνες.

Εκτίμηση σεισμικού κινδύνου:

Οι σεισμολόγοι και οι γεωλόγοι πραγματοποιούν εκτιμήσεις σεισμικής επικινδυνότητας για να εκτιμήσουν την πιθανότητα σεισμών σε συγκεκριμένες περιοχές. Αυτές οι εκτιμήσεις ενημερώνουν τους οικοδομικούς κώδικες και τον σχεδιασμό χρήσης γης για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων μελλοντικών σεισμών.

Μέγεθος και Έκλυση Ενέργειας:

Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού είναι συγκλονιστική. Η κλίμακα Ρίχτερ είναι λογαριθμική, που σημαίνει ότι κάθε αύξηση του ακέραιου αριθμού αντιπροσωπεύει μια δεκαπλάσια αύξηση στο πλάτος και περίπου 31,6 φορές περισσότερη απελευθέρωση ενέργειας. Για παράδειγμα, ένας σεισμός 7 Ρίχτερ απελευθερώνει περίπου 31,6 φορές περισσότερη ενέργεια από έναν σεισμό 6 Ρίχτερ.

Προκαλούμενη σεισμικότητα:

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η υδραυλική ρωγμή (fracking), η βαθιά έγχυση λυμάτων και η εξόρυξη μπορούν να προκαλέσουν σεισμική δραστηριότητα. Αυτοί οι ανθρωπογενείς σεισμοί, συχνά μικρότερου μεγέθους, έχουν εγείρει ανησυχίες για την πιθανότητα πρόκλησης ζημιών.

Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης σεισμών:

Ορισμένες σειсмоγενείς περιοχές έχουν δημιουργήσει συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης που χρησιμοποιούν ένα δίκτυο σεισμομέτρων για να ανιχνεύσουν τα αρχικά, λιγότερο επιβλαβή κύματα P ενός σεισμού πριν φτάσουν τα πιο καταστροφικά κύματα S και επιφανειακά κύματα. Αυτό επιτρέπει στους ανθρώπους και τα συστήματα να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα.

Τσουνάμι και υποθαλάσσιοι σεισμοί:

Πολλά καταστροφικά τσουνάμι προκύπτουν από υποθαλάσσιους σεισμούς, ειδικά εκείνους που συμβαίνουν κατά μήκος των ζωνών καταβύθισης όπου η μία τεκτονική πλάκα ωθείται κάτω από την άλλη. Η ξαφνική κατακόρυφη μετατόπιση του πυθμένα της θάλασσας μπορεί να εκτοπίσει έναν τεράστιο όγκο νερού, προκαλώντας ένα τσουνάμι.

Αντισεισμική Μηχανική:

Οι μηχανικοί σχεδιάζουν κατασκευές για να αντέχουν σε σεισμούς, χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως η απομόνωση βάσης (διαχωρισμός ενός κτιρίου από την κίνηση του εδάφους), εύκαμπτα πλαίσια και αποσβεστήρες για την απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας.

Εφαρμογές έγκαιρης προειδοποίησης σεισμών:

Σε ορισμένες περιοχές, οι εφαρμογές smartphone παρέχουν δημόσιες ειδοποιήσεις σεισμού δευτερόλεπτα πριν από την άφιξη του σεισμού. Αυτές οι εφαρμογές μπορεί να είναι ζωτικής σημασίας για την προσωπική ασφάλεια και είναι ενσωματωμένες σε συστήματα απόκρισης έκτακτης ανάγκης.

Μύθοι για τους σεισμούς:

Υπάρχουν διάφορες παρερμηνείες σχετικά με τους σεισμούς, συμπεριλαμβανομένης της ιδέας ότι τα ζώα μπορούν να προβλέψουν τους σεισμούς (τα επιστημονικά στοιχεία για αυτό είναι ασαφή) και ότι υπάρχει "σεισμός καιρού" (σεισμοί μπορούν να συμβούν υπό οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες).

Παγκόσμια Σεισμικά Δίκτυα:

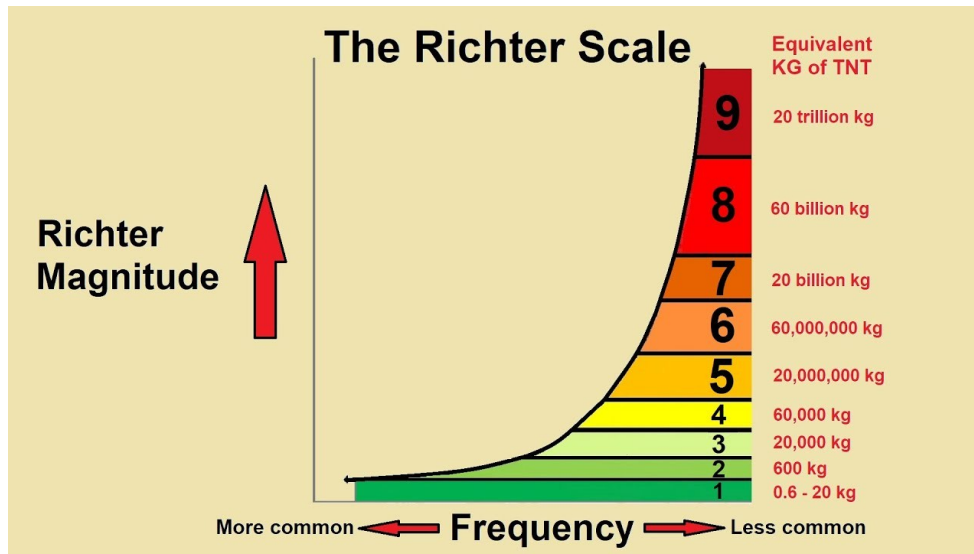
Τα διεθνή δίκτυα σεισμομέτρων παρακολουθούν συνεχώς τη σεισμική δραστηριότητα σε όλο τον κόσμο, συμβάλλοντας στην κατανόησή μας για τα μοτίβα των σεισμών και βοηθώντας στην εκτίμηση των πιθανών κινδύνων.

Κοινοτική Ετοιμότητα:

Πέρα από την ατομική ετοιμότητα, ο σχεδιασμός σε επίπεδο κοινότητας είναι απαραίτητος. Αυτό περιλαμβάνει τη θέσπιση πρωτοκόλλων αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, τη διεξαγωγή ασκήσεων και την εκπαίδευση του κοινού σχετικά με την ασφάλεια από τους σεισμούς.

Οι σεισμοί εξακολουθούν να αποτελούν αντικείμενο έντονης επιστημονικής έρευνας και κρίσιμο επίκεντρο των προσπαθειών ετοιμότητας για καταστροφές παγκοσμίως. Η κατανόηση των γεωλογικών διεργασιών πίσω από τους σεισμούς και τις πιθανές επιπτώσεις τους είναι ζωτικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση της απώλειας ζωής και περιουσίας όταν συμβαίνουν αυτά τα φυσικά γεγονότα. [16]

## 1.4 Μονάδες μέτρησης και άλλα χαρακτηριστικά των σεισμών



Σχήμα 1.4: Κλίμακα Ρίχτερ

Οι σεισμοί μετρώνται χρησιμοποιώντας διάφορες μονάδες και κλίμακες για να ποσοτικοποιηθεί το μέγεθος και η έντασή τους. Οι πιο κοινές μονάδες και κλίμακες για τη μέτρηση των σεισμών περιλαμβάνουν:

Το μέγεθος μετρά το μέγεθος ή την ενέργεια που απελευθερώνεται από έναν σεισμό. Οι πιο γνωστές κλίμακες μεγέθους είναι η κλίμακα Ρίχτερ και η κλίμακα μεγέθους ροπής (συντά αναφέρεται ως "Mw"). Και οι δύο κλίμακες παρέχουν μια αριθμητική τιμή που αντιπροσωπεύει το μέγεθος του σεισμού.

Η κλίμακα Ρίχτερ, που αναπτύχθηκε από τον Charles F. Richter το 1935, μετρά το πλάτος των σεισμικών κυμάτων που καταγράφονται από τους σειсмоγράφους. Είναι μια λογαριθμική κλίμακα, που σημαίνει ότι κάθε αύξηση ακέραιου αριθμού στην κλίμακα αντιπροσωπεύει μια δεκαπλάσια αύξηση στο πλάτος και περίπου 31,6 φορές περισσότερη απελευθέρωση ενέργειας.

Η κλίμακα μεγέθους ροπής (Mw) χρησιμοποιείται ευρύτερα σήμερα, επειδή παρέχει μια πιο ακριβή εκτίμηση των μεγαλύτερων σεισμών και μπορεί να εφαρμοστεί παγκοσμίως. Είναι επίσης λογαριθμικό και λαμβάνει υπόψη τη σεισμική ροπή, η οποία λαμβάνει υπόψη το μήκος του ρήγματος, την ολίσθηση του ρήγματος και την ακαμψία των εμπλεκόμενων πετρωμάτων.

Ένταση:

Η ένταση μετρά τις επιπτώσεις ενός σεισμού σε συγκεκριμένες τοποθεσίες και δεν είναι μια ενιαία αριθμητική τιμή όπως το μέγεθος. Η κλίμακα Τροποποιημένης Έντασης Mercalli (MMI) χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει την ένταση της δόνησης που παρατηρείται σε διαφορετικές τοποθεσίες κατά τη διάρκεια ενός σεισμού.

Η κλίμακα MMI κυμαίνεται από I (δεν γίνεται αισθητή) έως XII (ολική καταστροφή) και λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως οι δομικές ζημιές, η δόνηση του εδάφους και η ανθρώπινη αντίληψη. Για παράδειγμα, ένας σεισμός μπορεί να έχει μέγεθος 7,0 αλλά ποικίλες εντάσεις σε διαφορετικές τοποθεσίες, ανάλογα με παράγοντες όπως η απόσταση από το επίκεντρο και η τοπική γεωλογία.

Σεισμική Έκλυση Ενέργειας:

Η σεισμική ενέργεια ποσοτικοποιείται συχνά σε joules (J) ή συνηθέστερα σε ισοδύναμους τόνους TNT (τρινιτροτολουόλιο). Η απελευθέρωση ενέργειας ενός σεισμού είναι τεράστια και μπορεί να εκφραστεί ως προς την εκρηκτική ισχύ που θα χρειαζόταν για να παραχθεί η ίδια ποσότητα ενέργειας. Για παράδειγμα, η ατομική βόμβα της Χιροσίμα είχε ενεργειακή απόδοση περίπου 15 κιλοτόνων TNT, ενώ ένας σεισμός 7 Ρίχτερ απελευθερώνει ενέργεια που ισοδυναμεί με δεκάδες χιλιάδες ατομικές βόμβες.

Σεισμικά κύματα:

Τα σεισμικά κύματα είναι τα φυσικά κύματα που παράγονται από έναν σεισμό που διαδίδονται στη Γη. Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών των σεισμικών κυμάτων περιλαμβάνουν μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s) για την ταχύτητα κύματος και μικρόμετρα (μm) για μετατόπιση εδάφους. Οι σειсмоγράφοι καταγράφουν το πλάτος (σε μικρόμετρα) και τη συχνότητα (σε Hertz, Hz) αυτών των κυμάτων.

Διάρκεια:

Η διάρκεια ενός σεισμού μετρείται σε δευτερόλεπτα και αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που συμβαίνει η δόνηση. Οι σεισμοί μικρής διάρκειας μπορεί να διαρκέσουν μόνο λίγα δευτερόλεπτα, ενώ τα γεγονότα μεγαλύτερης διάρκειας μπορεί να διαρκέσουν από δεκάδες δευτερόλεπτα έως ένα λεπτό ή περισσότερο.

Συχνότητα:

Η συχνότητα των σεισμικών κυμάτων αναφέρεται στον αριθμό των ταλαντώσεων (δονήσεων) ανά μονάδα χρόνου. Συνήθως μετρείται σε Hertz (Hz). Τα κύματα υψηλής συχνότητας έχουν μικρότερα μήκη κύματος και μπορούν να προκαλέσουν πιο σοβαρή ανακίνηση των δομών, ενώ τα κύματα χαμηλής συχνότητας μπορούν να ταξιδέψουν μεγαλύτερες αποστάσεις.

Αυτές οι μονάδες και οι κλίμακες παρέχουν διάφορους τρόπους για τον χαρακτηρισμό και τον ποσοτικό προσδιορισμό των σεισμών, βοηθώντας τους επιστήμονες και τους μηχανικούς να εκτιμήσουν τις πιθανές επιπτώσεις τους, να μελετήσουν τη συμπεριφορά τους και να αναπτύξουν στρατηγικές για την ετοιμότητα και τον μετριασμό των σεισμών.

Επιπτώσεις σεισμών:

Οι σεισμοί μπορούν να έχουν ένα ευρύ φάσμα επιπτώσεων, από ήπιο τίναγμα που περνά απαρατήρητο έως καταστροφικές καταστροφές. Η έκταση της ζημιάς εξαρτάται από παράγοντες όπως το μέγεθος, το βάθος, η απόσταση από το επίκεντρο και η τοπική γεωλογία.

Οι δευτερεύοντες κίνδυνοι που σχετίζονται με τους σεισμούς περιλαμβάνουν τσουνάμι (μεγάλα κύματα ωκεανού που προκαλούνται από υποθαλάσσιους σεισμούς), κατολισθήσεις, υγροποίηση (όπου το κορεσμένο έδαφος συμπεριφέρεται σαν υγρό) και μετασεισμούς (μικρότεροι σεισμοί που ακολουθούν το κύριο σοκ).

Ετοιμότητα σεισμό και μετριασμός:

Η ετοιμότητα για τους σεισμούς περιλαμβάνει τη δημιουργία σχεδίων έκτακτης ανάγκης, την ασφάλιση επίπλων και αντικειμένων και τη διάθεση κιτ προμήθειας καταστροφών.

Οι οικοδομικοί κώδικες και οι κατασκευαστικές πρακτικές σε σεισμογενείς περιοχές έχουν σχεδιαστεί για να κάνουν τις κατασκευές πιο ανθεκτικές στις σεισμικές δυνάμεις.

Τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, όπως αυτά στην Ιαπωνία, μπορούν να παρέχουν προειδοποίηση από λίγα δευτερόλεπτα έως ένα λεπτό πριν από την εμφάνιση ισχυρών δονήσεων από σεισμό, δίνοντας στους ανθρώπους και τα συστήματα την ευκαιρία να λάβουν προστατευτικά μέτρα.

## Σεισμοί και Τεκτονική Πλακών:

Οι σεισμοί είναι ένα κρίσιμο στοιχείο που υποστηρίζει τη θεωρία της τεκτονικής πλακών. Τα όρια μεταξύ τεκτονικών πλακών είναι συχνά τοποθεσίες συχνής σεισμικής δραστηριότητας.

Οι τύποι ορίων πλακών περιλαμβάνουν αποκλίνοντα όρια (πλάκες που απομακρύνονται), συγκλίνοντα όρια (πλάκες που κινούνται το ένα προς το άλλο) και όρια μετασχηματισμού (πλάκες που ολισθαίνουν το ένα δίπλα στο άλλο). Κάθε τύπος ορίου δημιουργεί διαφορετικούς τύπους σεισμών.

Ιστορικοί σεισμοί:

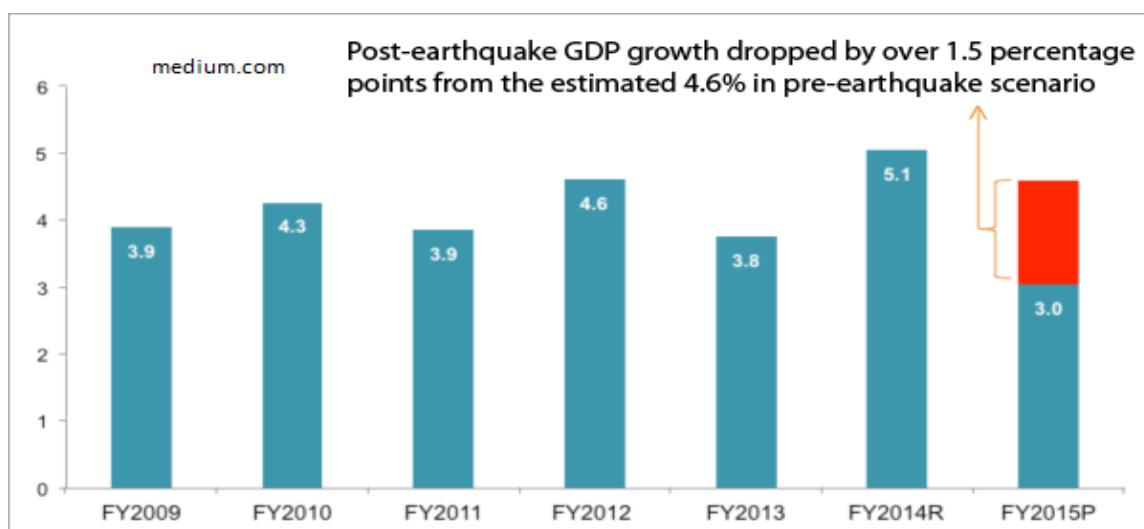
Σε όλη την ιστορία, υπήρξαν πολλοί καταστροφικοί σεισμοί που είχαν βαθιές επιπτώσεις στις ανθρώπινες κοινωνίες. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τον σεισμό του Σαν Φρανσίσκο του 1906, τον σεισμό της Αϊτής του 2010 και τον σεισμό και το τσουνάμι Τōhoku του 2011 στην Ιαπωνία.

Έρευνα σεισμού:

Η συνεχής έρευνα στη σεισμολογία μας βοηθά να κατανοήσουμε καλύτερα τους σεισμούς και να βελτιώσουμε τις προσπάθειες πρόβλεψης και ετοιμότητας. Οι προηγμένες τεχνολογίες, όπως το GPS και οι δορυφορικές εικόνες, επιτρέπουν στους επιστήμονες να παρακολουθούν τις κινήσεις των τεκτονικών πλακών και να μελετούν τη συμπεριφορά των ρηγμάτων.

Η κατανόηση των σεισμών είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των κοινοτήτων και των υποδομών σε σειсмоγενείς περιοχές. Η πρόοδος της τεχνολογίας και της επιστημονικής γνώσης συνεχίζει να ενισχύει την ικανότητά μας να προβλέπουμε και να μετριάσουμε τις επιπτώσεις αυτών των φυσικών γεγονότων. [4] [5] [6] [7] [8]

## 1.5 Οικονομικό κόστος των σεισμών κάθε χρόνο



Σχήμα 1.5: Οικονομικό σχεδιάγραμμα μετά των σεισμών

Οι σεισμοί είναι από τις πιο καταστροφικές φυσικές καταστροφές, με τη δυνατότητα να επιφέρουν τεράστιο οικονομικό κόστος στις κοινωνίες σε όλο τον κόσμο. Το κόστος αυτό περιλαμβάνει άμεσες ζημιές στις υποδομές, έμμεσες οικονομικές απώλειες, μακροπρόθεσμες οικονομικές επιβαρύνσεις

στους πληγέντες πληθυσμούς και δαπάνες για την ετοιμότητα και τον μετριασμό των καταστροφών. Αυτή η ολοκληρωμένη ανάλυση διερευνά τις πολύπλευρες οικονομικές επιπτώσεις των σεισμών, που υποστηρίζονται από δεδομένα, ιστορικές περιπτωσιολογικές μελέτες και τρέχουσες πρακτικές για τον μετριασμό αυτού του κόστους.

Το άμεσο οικονομικό κόστος των σεισμών συνδέεται κυρίως με την άμεση ζημιά σε κτίρια, υποδομές και άλλα φυσικά περιουσιακά στοιχεία. Αυτό περιλαμβάνει την κατάρρευση ή σοβαρή ζημιά σε κτίρια κατοικιών, εμπορικές ιδιοκτησίες, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, γέφυρες, δρόμους και επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας όπως δίκτυα νερού, φυσικού αερίου και ηλεκτρισμού. Το κόστος ανακατασκευής και επισκευής μετά από σεισμό μπορεί να είναι αστρονομικό.

Για παράδειγμα, ο σεισμός και το τσουνάμι του Tōhoku του 2011 στην Ιαπωνία είχαν ως αποτέλεσμα άμεσες οικονομικές απώλειες που εκτιμώνται σε περίπου 235 δισεκατομμύρια δολάρια, καθιστώντας την την πιο δαπανηρή φυσική καταστροφή στην ιστορία. Ο σεισμός κατέστρεψε εκατοντάδες χιλιάδες κτίρια, κατέστρεψε κρίσιμες υποδομές και έπληξε σοβαρά τον πυρηνικό σταθμό Fukushima Daiichi, οδηγώντας σε μια πυρηνική καταστροφή που επιδείνωσε περαιτέρω το οικονομικό κόστος.

Ομοίως, ο σεισμός του 1994 στο Northridge στο Λος Άντζελες προκάλεσε άμεσες ζημιές ύψους περίπου 44 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Αυτός ο σεισμός ανέδειξε την ευπάθεια των αστικών υποδομών, οδηγώντας σε σημαντικές επενδύσεις σε σεισμική μετασκευή και αυστηρότερους οικοδομικούς κώδικες στην Καλιφόρνια.

Αυτά τα κόστη κατηγοριοποιούνται συνήθως σε:

Ζημιές σε κτίρια και υποδομές: οικιστικά, εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια υφίστανται εκτεταμένες ζημιές. Δρόμοι, γέφυρες και υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, όπως τα συστήματα ύδρευσης και αποχέτευσης, επηρεάζονται επίσης σε μεγάλο βαθμό, οδηγώντας σε δαπανηρές προσπάθειες επισκευής και ανοικοδόμησης.

Θύματα και τραυματισμοί: Το άμεσο επακόλουθο συχνά περιλαμβάνει επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης, επείγουσα ιατρική περίθαλψη και μακροπρόθεσμες δαπάνες υγειονομικής περίθαλψης για τους τραυματίες.

Η αποκατάσταση βασικών υπηρεσιών όπως η ηλεκτρική ενέργεια, η ύδρευση και τα δίκτυα επικοινωνίας συνεπάγεται σημαντικές δαπάνες. [33] [34] [35] [36]

## 1.6 Ζημιές στις υποδομές:



## Σχήμα 1.6: Κρατήρας σε αεροδιάδρομο

Τα αεροδρόμια, οι σιδηρόδρομοι και τα συστήματα δημόσιας συγκοινωνίας μπορεί να διαταραχθούν σοβαρά, απαιτώντας σημαντικές προσπάθειες επισκευής και ανακατασκευής.

Οι έμμεσες οικονομικές απώλειες από τους σεισμούς είναι συχνά πιο δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν, αλλά είναι εξίσου σημαντικές. Αυτές οι απώλειες προκύπτουν από τη διακοπή των οικονομικών δραστηριοτήτων, την απώλεια παραγωγικότητας και τον ευρύτερο αντίκτυπο στα οικονομικά συστήματα.

Αυτά περιλαμβάνουν:

Απώλεια επιχειρηματικών λειτουργιών αφού οι σεισμοί μπορούν να σταματήσουν τις επιχειρηματικές δραστηριότητες, οδηγώντας σε απώλειες εσόδων. Για παράδειγμα, ο σεισμός της Αϊτής του 2010 κατέστρεψε την οικονομική βάση της χώρας, προκαλώντας ζημιές περίπου 7,8 δισεκατομμυρίων δολαρίων, που ισοδυναμεί με πάνω από το 120% του ΑΕΠ της χώρας. Η αναστάτωση στις επιχειρήσεις, ειδικά στην πρωτεύουσα, Πορτ-ο-Πρενς, είχε μακροχρόνιες επιπτώσεις στην εθνική οικονομία.

Διαταραχές εφοδιαστικής αλυσίδας: Οι σεισμοί μπορούν να διαταράξουν τις αλυσίδες εφοδιασμού τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Ο σεισμός του Τōhoku διέκοψε τις παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού, ιδιαίτερα στις βιομηχανίες αυτοκινήτων και ηλεκτρονικών ειδών, καθώς οι ιαπωνικές εταιρείες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο σε αυτούς τους τομείς. Αυτό οδήγησε σε προσωρινές διακοπές λειτουργίας και επιβράδυνση της παραγωγής σε διάφορα μέρη του κόσμου, γεγονός που δείχνει τη διασύνδεση των σύγχρονων οικονομιών.

Επίσης η απώλεια ζωής και ο τραυματισμός ατόμων έχουν άμεσο αντίκτυπο στην οικονομική παραγωγικότητα. Το εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό είναι αναντικατάστατο βραχυπρόθεσμα και η απώλεια εργατικού δυναμικού μπορεί να παρεμποδίσει σημαντικά τις προσπάθειες οικονομικής ανάκαμψης.

Άλλος ένας παράγοντας είναι ότι περιοχές που πλήττονται από τους σεισμούς παρουσιάζουν συχνά μείωση του τουρισμού και των ξένων επενδύσεων. Οι πιθανοί επενδυτές μπορεί να είναι επιφυλακτικοί σχετικά με τους κινδύνους που συνδέονται με τη σεισμική δραστηριότητα, οδηγώντας σε μειωμένες προοπτικές οικονομικής ανάπτυξης.

Πέρα από το άμεσο και βραχυπρόθεσμο κόστος, οι σεισμοί επιβάλλουν μακροπρόθεσμα οικονομικά βάρη σε κυβερνήσεις και πληθυσμούς. [33] [34] [35] [36]

## 1.7 Κόστος αποκατάστασης και ανασυγκρότησης:

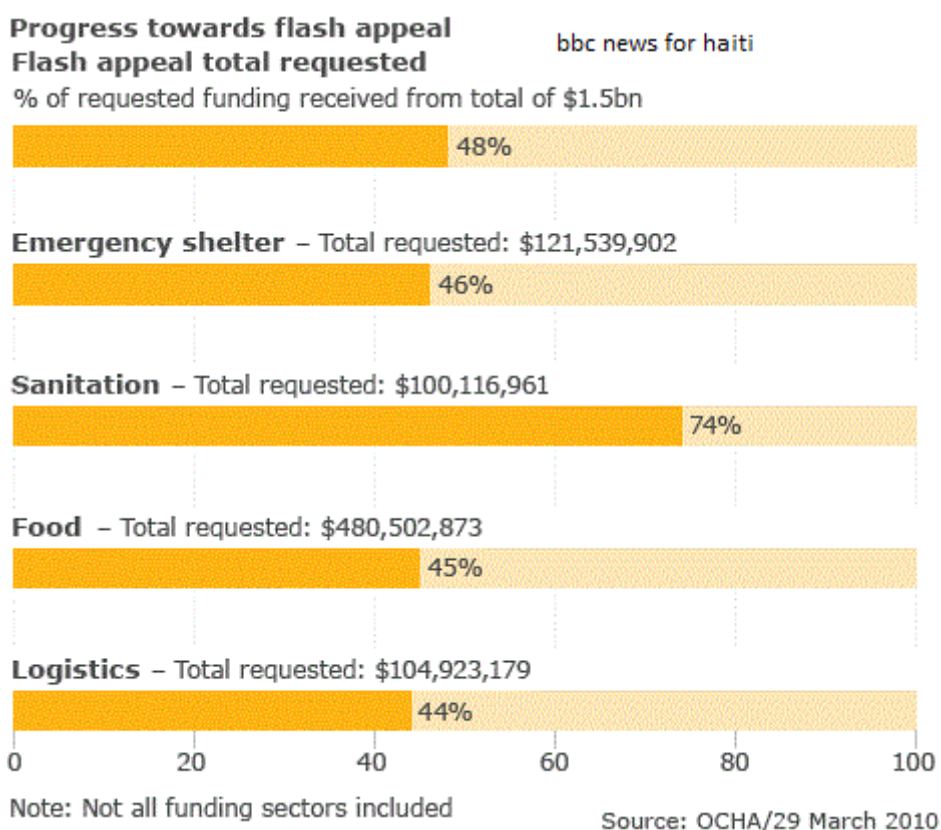
Οι κυβερνήσεις πρέπει να διαθέσουν σημαντικά κονδύλια για τις προσπάθειες αποκατάστασης και ανοικοδόμησης. Αυτό περιλαμβάνει την ανοικοδόμηση υποδομών, κατοικιών και δημόσιων υπηρεσιών. Η μακροπρόθεσμη ανοικοδόμηση μετά τον σεισμό του Τōhoku, για παράδειγμα, έχει διαρκέσει πάνω από μια δεκαετία και συνεχίζει να απαιτεί σημαντικούς οικονομικούς πόρους.

Για να χρηματοδοτήσουν το εκτεταμένο κόστος που σχετίζεται με την ανάκαμψη λόγω σεισμού, οι κυβερνήσεις συχνά καταφεύγουν σε δανεισμό, οδηγώντας σε αύξηση του δημόσιου χρέους. Αυτό

μπορεί να επιβαρύνει τους εθνικούς προϋπολογισμούς και να επηρεάσει άλλους τομείς των δημοσίων δαπανών, όπως η εκπαίδευση και η υγειονομική περίθαλψη.

Οι ασφαλιστικές εταιρείες επίσης αντιμετωπίζουν τεράστια προβλήματα πληρωμής μας μετά από μεγάλους σεισμούς, που μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένα ασφάλιστρα για τους ασφαλισμένους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η οικονομική πίεση στις ασφαλιστικές εταιρείες μπορεί να οδηγήσει σε αφερεγγυότητες ή απόσυρση ασφαλιστικών υπηρεσιών από περιοχές υψηλού κινδύνου.

Οι φτωχότερες κοινότητες, οι οποίες συνήθως κατοικούν σε λιγότερο ανθεκτικές δομές και δεν έχουν πρόσβαση σε επαρκείς πόρους για ανάκαμψη, φέρουν δυσανάλογη επιβάρυνση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μακροπρόθεσμες κοινωνικοοικονομικές ανισότητες και να εμποδίσει τη συνολική οικονομική ανάπτυξη. [33] [34] [35] [36]



Σχήμα 1.7: Κατανομή εξόδων μετά των σεισμών

## 1.8 Ψυχολογικό και Κοινωνικό Κόστος:

Εκτός από το οικονομικό κόστος, οι σεισμοί έχουν βαθιές ψυχολογικές και κοινωνικές επιπτώσεις που μπορούν έμμεσα να επηρεάσουν την οικονομική σταθερότητα και ανάπτυξη. Το τραύμα που βιώνουν οι επιζώντες, η απώλεια αγαπημένων προσώπων και η διαταραχή των κοινοτήτων μπορεί να οδηγήσει σε μακροπρόθεσμα προβλήματα ψυχικής υγείας, μειώνοντας τη συνολική παραγωγικότητα και την ποιότητα ζωής. Ο κοινωνικός ιστός των κοινοτήτων συχνά διαταράσσεται σοβαρά, οδηγώντας σε μακροπρόθεσμες προκλήσεις για την ανοικοδόμηση της κοινωνικής συνοχής και εμπιστοσύνης. [37]

Η εξέταση συγκεκριμένων περιπτώσιολογικών μελετών βοηθά στην απεικόνιση των διαφορετικών οικονομικών επιπτώσεων των σεισμών:

-Ο σεισμός του Κράιστσερτς του 2011

Ο σεισμός 6,3 Ρίχτερ που έπληξε το Κράιστσερτς της Νέας Ζηλανδίας τον Φεβρουάριο του 2011 προκάλεσε εκτεταμένες ζημιές, ιδιαίτερα στην κεντρική επιχειρηματική περιοχή της πόλης. Το εκτιμώμενο οικονομικό κόστος του σεισμού ήταν περίπου 40 δισεκατομμύρια NZD (περίπου 28 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ), που ισοδυναμεί με περίπου το 20% του ΑΕΠ της Νέας Ζηλανδίας εκείνη την εποχή. Οι προσπάθειες ανοικοδόμησης περιλάμβαναν ανοικοδόμηση υποδομών, οικιστικών περιοχών και εμπορικών ακινήτων. Η κυβέρνηση επένδυσε επίσης στη βελτίωση της σεισμικής ανθεκτικότητας των κτιρίων για τον μετριασμό των μελλοντικών κινδύνων. Η διαδικασία ανάκαμψης ανέδειξε τη σημασία της ασφάλισης, καθώς καλύπτονταν πολλοί ιδιοκτήτες ακινήτων, γεγονός που διευκόλυνε την ταχύτερη οικονομική ανάκαμψη. [38]

- Ο σεισμός της Πόλης του Μεξικού το 1985

Ο σεισμός της Πόλης του Μεξικού του 1985, μεγέθους 8,1 βαθμών, προκάλεσε εκτεταμένες ζημιές και είχε ως αποτέλεσμα σημαντικές οικονομικές απώλειες. Το εκτιμώμενο κόστος του σεισμού ήταν περίπου 4 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ, με περισσότερα από 30.000 κτίρια να έχουν υποστεί ζημιές ή να καταστραφούν. Ο σεισμός οδήγησε σε ουσιαστικές μεταρρυθμίσεις στους οικοδομικούς κώδικες και τους πολεοδομικούς κανονισμούς του Μεξικού. Η διαδικασία οικονομικής ανάκαμψης υπογράμμισε την ανάγκη για καλύτερη ετοιμότητα και τη σημασία της ανθεκτικής υποδομής για την ελαχιστοποίηση των μελλοντικών οικονομικών απωλειών. [39]

-Ο σεισμός του Σιτσουάν του 2008

Ο σεισμός του Σιτσουάν στην Κίνα, μεγέθους 7,9 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ, είχε ως αποτέλεσμα οικονομικές ζημιές που υπολογίζονται σε 150 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ. Ο σεισμός προκάλεσε εκτεταμένες ζημιές σε υποδομές, συμπεριλαμβανομένων σχολείων, νοσοκομείων και κτιρίων κατοικιών, και εκτόπισε εκατομμύρια ανθρώπους. Η κινεζική κυβέρνηση επένδυσε πολλά στην ανοικοδόμηση, εστιάζοντας στη βελτίωση της ανθεκτικότητας των υποδομών και στην παροχή υποστήριξης στους πληγέντες πληθυσμούς. Ο μακροπρόθεσμος οικονομικός αντίκτυπος περιλάμβανε σημαντικές δημόσιες δαπάνες για τις προσπάθειες ανοικοδόμησης και την πρόκληση της αντιμετώπισης των αναγκών των εκτοπισμένων κοινοτήτων. [40]

-Ο σεισμός του Κόμπε το 1995

Ο σεισμός του Κόμπε, ή ο μεγάλος σεισμός Hanshin, έπληξε την Ιαπωνία το 1995 με μέγεθος 6,9 Ρίχτερ. Η καταστροφή είχε ως αποτέλεσμα οικονομικές απώλειες που εκτιμώνται σε 100 δισεκατομμύρια δολάρια, που αντιστοιχούσαν περίπου στο 2,5% του ΑΕΠ της Ιαπωνίας εκείνη την εποχή. Ο σεισμός προκάλεσε εκτεταμένες ζημιές στο λιμάνι του Κόμπε, αναστατώνοντας έναν από τους σημαντικότερους οικονομικούς κόμβους της Ιαπωνίας. Η διαδικασία ανάκαμψης περιλάμβανε τεράστιες επενδύσεις στην ανοικοδόμηση υποδομών και υπογράμμισε τη σημασία των αυστηρών οικοδομικών κωδίκων και των μέτρων ετοιμότητας για καταστροφές. [41]

## 1.9 Παγκόσμιος Οικονομικός Αντίκτυπος

Ο παγκόσμιος οικονομικός αντίκτυπος των σεισμών είναι σημαντικός, με το κόστος να ποικίλλει κάθε χρόνο ανάλογα με την εμφάνιση και το μέγεθος των σεισμικών γεγονότων. Σύμφωνα με έκθεση της Παγκόσμιας Τράπεζας και της Παγκόσμιας Διευκόλυνσης για τη Μείωση και την Ανάκτηση

Καταστροφών (GFDRR), το μέσο ετήσιο κόστος των σεισμών εκτιμάται ότι είναι περίπου 34 δισεκατομμύρια δολάρια παγκοσμίως. Ο αριθμός αυτός περιλαμβάνει τόσο τις άμεσες ζημιές όσο και τις έμμεσες οικονομικές ζημιές.

Η κατανομή αυτών των δαπανών είναι άνιση, με τις αναπτυσσόμενες χώρες να φέρουν συχνά μεγαλύτερη σχετική επιβάρυνση. Σε περιοχές με ασθενέστερες υποδομές και περιορισμένους οικονομικούς πόρους, οι οικονομικές επιπτώσεις των σεισμών μπορεί να είναι πιο καταστροφικές, εμποδίζοντας την ανάπτυξη και επιδεινώνοντας τη φτώχεια. Για παράδειγμα, ο σεισμός του 2005 στο Κασμίρ, ο οποίος έπληξε περιοχές του Πακιστάν και της Ινδίας, είχε ως αποτέλεσμα οικονομικές απώλειες περίπου 5 δισεκατομμυρίων δολαρίων, επηρεάζοντας σοβαρά τον κατεξοχήν πληθυσμό με χαμηλό εισόδημα.

#### Μετριασμός και Ετοιμότητα

Η επένδυση σε μέτρα μετριασμού και ετοιμότητας είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση του οικονομικού κόστους των σεισμών.

Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν:

Ενίσχυση των υφιστάμενων κτιρίων και υποδομών για να αντέχουν στη σεισμική δραστηριότητα μπορεί να μειώσει σημαντικά τις άμεσες ζημιές. Για παράδειγμα, η Καλιφόρνια έχει εφαρμόσει αυστηρούς οικοδομικούς κώδικες και προγράμματα μετασκευής που έχουν ενισχύσει την ανθεκτικότητα των κατασκευών, μειώνοντας τις οικονομικές ζημιές.

Η προώθηση της απορρόφησης της ασφάλισης σεισμού μπορεί να βοηθήσει στην κατανομή του οικονομικού βάρους της ανάκαμψης. Οι κυβερνήσεις μπορούν επίσης να διερευνήσουν μηχανισμούς μεταφοράς κινδύνου, όπως ομόλογα καταστροφής, που παρέχουν άμεσα κεφάλαια για προσπάθειες ανάκαμψης μετά από μια καταστροφή.

Προγράμματα κοινοτικής ετοιμότητας: Η εκπαίδευση και η προετοιμασία των κοινοτήτων για τους κινδύνους σεισμών μπορεί να ενισχύσει την ανθεκτικότητα. Τα κοινοτικά προγράμματα που διδάσκουν δεξιότητες αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και προωθούν την ανάπτυξη τοπικών σχεδίων αντιμετώπισης μπορούν να μειώσουν τις άμεσες και μακροπρόθεσμες οικονομικές επιπτώσεις των σεισμών.

Οι αποτελεσματικές οικονομικές πολιτικές και η διεθνής συνεργασία διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση των οικονομικών επιπτώσεων των σεισμών. Οι πολιτικές που προάγουν την ανθεκτικότητα, την ασφαλιστική κάλυψη και την αποτελεσματική αντιμετώπιση καταστροφών είναι απαραίτητες. Επιπλέον, η διεθνής συνεργασία μπορεί να προσφέρει πολύτιμη υποστήριξη στις χώρες που επλήγησαν από τους σεισμούς, μέσω οικονομικής βοήθειας, τεχνικής εμπειρογνωμοσύνης και ανταλλαγής βέλτιστων πρακτικών.

Η εφαρμογή και η επιβολή αυστηρών οικοδομικών κωδίκων που ευθύνονται για τον σεισμικό κίνδυνο είναι θεμελιώδης. [42]

## Κεφάλαιο 2ο:

### 2.1 Ιστορία των σεισμών στην ανθρωπότητα.



Σχήμα 2.1: Αρχαία λιθοδομή

Οι σεισμοί αποτελούν μέρος της ανθρώπινης ιστορίας από την αρχαιότητα. Ακολουθούν μερικοί αξιόλογοι ιστορικοί σεισμοί και οι επιπτώσεις τους:

Αντιόχεια, 526 μ.Χ.: Ένας από τους πιο θανατηφόρους σεισμούς στην καταγεγραμμένη ιστορία, έπληξε την πόλη της Αντιόχειας (σημερινή Antakya, Τουρκία) και τη γύρω περιοχή. Οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι 250.000 άνθρωποι σκοτώθηκαν και η πόλη υπέστη σοβαρές ζημιές.

Λισαβόνα, 1755: Ο σεισμός της Λισαβόνας του 1755, γνωστός και ως Μεγάλος Σεισμός της Λισαβόνας, έπληξε την Πορτογαλία την 1η Νοεμβρίου 1755. Είχε εκτιμώμενο μέγεθος 8,5 έως 9,0 και προκάλεσε ένα τσουνάμι που κατέστρεψε περαιτέρω την πόλη. Δεκάδες χιλιάδες άνθρωποι πέθαναν και ο σεισμός είχε βαθύ αντίκτυπο στην ευρωπαϊκή σκέψη, συμπεριλαμβανομένης της φιλοσοφίας και της θεολογίας.

Αϊτή, 2010: Ο σεισμός της Αϊτής το 2010 ήταν ένα καταστροφικό γεγονός που έπληξε κοντά στην πρωτεύουσα Πορτ-ο-Πρενς. Με μέγεθος 7,0 προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές, με αποτέλεσμα να χάσουν τη ζωή τους περισσότεροι από 230.000 άνθρωποι και να αφήσουν εκατομμύρια άστεγους. Ο σεισμός ανέδειξε την ευπάθεια των υποδομών της περιοχής και οδήγησε σε διεθνείς προσπάθειες βοήθειας.

Πομπηία και Herculaneum, 79 μ.Χ.: Αν και δεν ήταν κυρίως σεισμός, η έκρηξη του Βεζούβιου το 79 μ.Χ. έθαψε τις ρωμαϊκές πόλεις της Πομπηίας και του Herculaneum κάτω από ηφαιστειακή τέφρα και πυροκλαστικές ροές. Η έκρηξη προκάλεσε επίσης σεισμική δραστηριότητα. Αυτή η φυσική καταστροφή διατήρησε τα ερείπια των πόλεων, προσφέροντας ανεκτίμητες γνώσεις για την αρχαία ρωμαϊκή ζωή και τον πολιτισμό.

Shaanxi, 1556: Ο σεισμός του 1556 Shaanxi στην Κίνα θεωρείται συχνά ο πιο θανατηφόρος σεισμός στην καταγεγραμμένη ιστορία. Με εκτιμώμενο μέγεθος 8,0, προκάλεσε τεράστιες καταστροφές και

είχε ως αποτέλεσμα τον θάνατο περίπου 830.000 ανθρώπων.

Σαν Φρανσίσκο, 1906: Ο σεισμός του 1906 στο Σαν Φρανσίσκο, μεγέθους 7,8 βαθμών, παραμένει ένας από τους πιο διάσημους σεισμούς στις Ηνωμένες Πολιτείες. Αυτό οδήγησε σε εκτεταμένες πυρκαγιές που κατέστρεψαν την πόλη. Αν και ο αριθμός των νεκρών είναι αβέβαιος, εκτιμάται ότι πολλές χιλιάδες άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους και μεγάλο μέρος της πόλης καταστράφηκε.

Σμύρνη, Τουρκία, 1999: Ο σεισμός Izmit του 1999, γνωστός και ως σεισμός Kocaeli, είχε μέγεθος 7,6 Ρίχτερ. Έπληξε τη βορειοδυτική Τουρκία, προκαλώντας εκτεταμένες ζημιές και με αποτέλεσμα χιλιάδες νεκρούς. Ο σεισμός επέστησε την προσοχή στην ανάγκη για καλύτερη αντισεισμική ετοιμότητα και οικοδομικά πρότυπα στην Τουρκία.

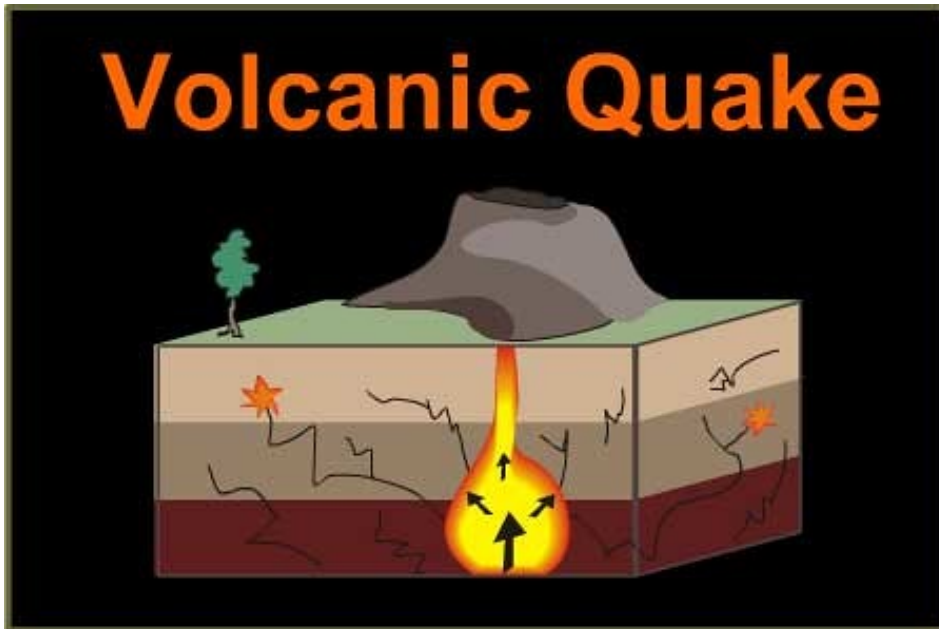


Σχήμα 2.2: Κατεστραμένος δρόμος

Σε όλη την ιστορία, οι σεισμοί είχαν βαθύ αντίκτυπο στις κοινωνίες, προκαλώντας συχνά εκτεταμένες καταστροφές, απώλειες ζών και σημαντικές πολιτιστικές και ιστορικές αλλαγές. Αυτά τα γεγονότα συνέβαλαν επίσης στην ανάπτυξη της επιστήμης των σεισμών και στην εφαρμογή μέτρων για τον μετριασμό των επιπτώσεων μελλοντικών σεισμικών γεγονότων.

Η ηφαιστειακή σεισμική δραστηριότητα, επίσης γνωστή ως ηφαιστειακός σεισμός ή ηφαιστειακός σεισμός, αναφέρεται στην εμφάνιση σεισμών που σχετίζονται με ηφαιστειακές διεργασίες. Αυτοί οι σεισμοί προκαλούνται συνήθως από την κίνηση μάγματος, ηφαιστειακών αερίων και την παραμόρφωση των πετρωμάτων μέσα ή γύρω από ένα ηφαίστειο.

Η ηφαιστειακή σεισμική δραστηριότητα είναι μια κρίσιμη πτυχή της παρακολούθησης και της κατανόησης των ηφαιστειακών εκρήξεων. [43] [44] [45]



Σχήμα 2.3: Ηφαιστειακή έκρηξη

## 2.2 Ηφαιστειακή σεισμική δραστηριότητα

Η ηφαιστειακή σεισμική δραστηριότητα οφείλεται κυρίως στην κίνηση λιωμένου πετρώματος, γνωστού ως μάγματος, κάτω από την επιφάνεια της Γης. Καθώς το μάγμα ανεβαίνει προς την επιφάνεια, μπορεί να συναντήσει εμπόδια, να αλλάξει την πίεση ή να αλληλεπιδράσει με τα υπόγεια ύδατα, οδηγώντας στη δημιουργία σεισμικών κυμάτων.

Τύποι ηφαιστειακών σεισμικών γεγονότων:

Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί μπορούν να λάβουν διάφορες μορφές, όπως:

**Ηφαιστειοτεκτονικοί σεισμοί:** Προκαλούνται από την κίνηση των πετρωμάτων και του μάγματος μέσα και γύρω από το ηφαίστειο.

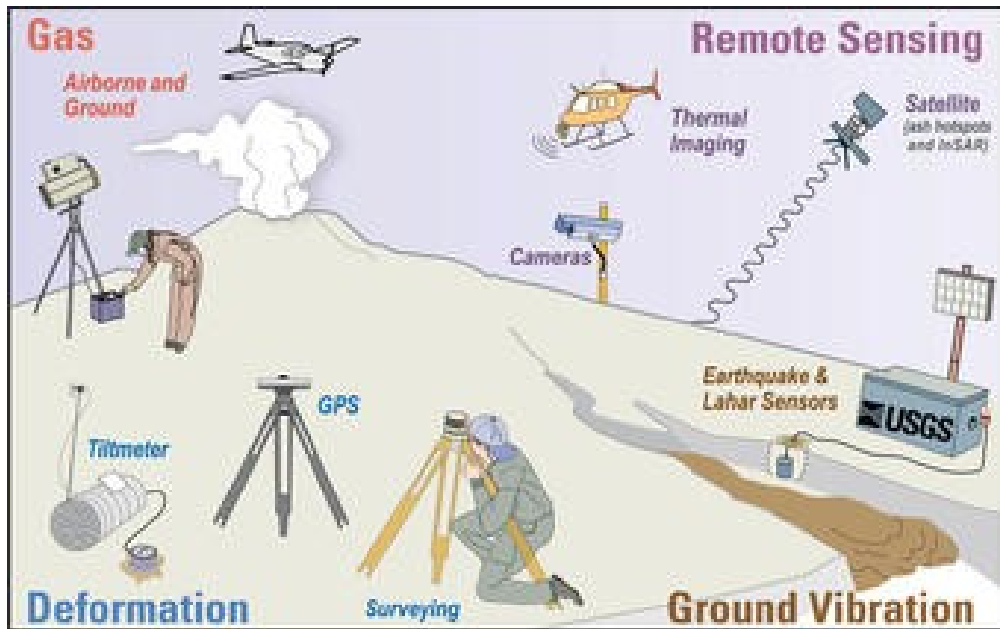
Μοιάζουν με τους κανονικούς τεκτονικούς σεισμούς αλλά σχετίζονται άμεσα με την ηφαιστειακή δραστηριότητα.

**Σεισμοί μακράς περιόδου:** Χαρακτηρίζονται από παρατεταμένη συσσώρευση σεισμικής ενέργειας και σχετίζονται με την κίνηση ρευστών (π.χ. μάγματος ή αερίου) μέσα στο ηφαίστειο.

**Αρμονικές δονήσεις:** Πρόκειται για συνεχείς σεισμικές δονήσεις χαμηλής συχνότητας που μπορεί να είναι ενδεικτικές της κίνησης του μάγματος.

**Εκρηκτικοί σεισμοί:** Αυτοί συμβαίνουν κατά τη διάρκεια εκρηκτικών εκρήξεων και προκύπτουν από την ξαφνική έκλυση πίεσης καθώς το μάγμα και το αέριο αποβάλλονται από το ηφαίστειο.

Παρακολούθηση ηφαιστειακής σεισμικής δραστηριότητας:



Σχήμα 2.4: Παρακολούθηση ηφαιστείου

Σεισμόμετρα και άλλα όργανα παρακολούθησης αναπτύσσονται κοντά σε ενεργά ηφαίστεια για την ανίχνευση και την καταγραφή σεισμικών γεγονότων. Αυτά τα όργανα παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για τη συχνότητα, το μέγεθος και το βάθος των ηφαιστειακών σεισμών.

Οι αλλαγές στο πρότυπο της σεισμικής δραστηριότητας, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης του αριθμού και της έντασης των σεισμών, μπορούν να χρησιμεύσουν ως έγκαιρο προειδοποιητικό σημάδι επικείμενης ηφαιστειακής δραστηριότητας.

Πρόβλεψη έκρηξης ηφαιστείου:

Η παρακολούθηση της ηφαιστειακής σεισμικής δραστηριότητας είναι ένα κρίσιμο συστατικό της πρόβλεψης ηφαιστειακής έκρηξης και της αξιολόγησης κινδύνου. Αναλύοντας σεισμικά δεδομένα, οι επιστήμονες μπορούν να κάνουν τεκμηριωμένες προβλέψεις σχετικά με την πιθανότητα και την κλίμακα μιας ηφαιστειακής έκρηξης.

Ενώ η σεισμική δραστηριότητα είναι ένα ουσιαστικό εργαλείο, συχνά συνδυάζεται με άλλες τεχνικές παρακολούθησης, όπως μετρήσεις αερίων, μελέτες παραμόρφωσης εδάφους και οπτικές παρατηρήσεις, για να παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση της ηφαιστειακής δραστηριότητας.

Παραδείγματα ηφαιστειακής σεισμικής δραστηριότητας:

Της έκρηξης του όρους Αγία Ελένη στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1980 προηγήθηκαν μια σειρά ηφαιστειακών σεισμών και αρμονικών δονήσεων, που οδήγησαν σε μεγάλη έκρηξη.

Η έκρηξη του όρους Pinatubo στις Φιλιππίνες το 1991 συνδέθηκε επίσης με σημαντική ηφαιστειακή σεισμική δραστηριότητα, η οποία επέτρεψε στις αρχές να εκκενώσουν τις κοντινές κοινότητες πριν από την έκρηξη.

Συστήματα προειδοποίησης ηφαιστειών:

Πολλές ηφαιστειακές περιοχές έχουν δημιουργήσει συστήματα προειδοποίησης ηφαιστειών που χρησιμοποιούν δεδομένα από σεισμική παρακολούθηση για να αξιολογήσουν το επίπεδο ηφαιστειακής απειλής. Αυτά τα συστήματα παρέχουν έγκαιρες προειδοποιήσεις στις τοπικές κοινότητες και αρχές, επιτρέποντας την έγκαιρη εκκένωση και την ετοιμότητα για καταστροφές.

Η ηφαιστειακή σεισμική δραστηριότητα παίζει καθοριστικό ρόλο στην κατανόηση και τον μετριασμό των κινδύνων που σχετίζονται με τις ηφαιστειακές εκρήξεις. Η συνεχής παρακολούθηση και ανάλυση των σεισμικών δεδομένων είναι απαραίτητες για την ασφάλεια των κοινοτήτων που ζουν κοντά σε ενεργά ηφαίστεια και για την προώθηση της κατανόησης των ηφαιστειακών διεργασιών. [46] [47]

## 2.3 Θνησιμότητα λόγω σεισμών κάθε χρόνο



Σχήμα 2.5: Κατεστραμένος δρόμος με οχήματα

Τα ετήσια θύματα (θάνατοι και τραυματισμοί) που προκύπτουν από τους σεισμούς μπορεί να ποικίλλουν πολύ από έτος σε έτος και επηρεάζονται από παράγοντες όπως το μέγεθος και το βάθος των σεισμών, η εγγύτητά τους σε κατοικημένες περιοχές, τα πρότυπα κατασκευής κτιρίων, τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης και οι δυνατότητες αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης .

Ο αριθμός των θυμάτων εξαρτάται επίσης από την πυκνότητα του πληθυσμού των πληγείσων περιοχών. Ακολουθεί μια επισκόπηση των θυμάτων του σεισμού:

**Διαφορετικά ετήσια θύματα:** Δεν υπάρχει σταθερός ή σταθερός αριθμός θυμάτων από σεισμούς κάθε χρόνο.

Η συχνότητα και η σφοδρότητα των σεισμών μπορεί να κυμαίνονται, οδηγώντας σε ποικίλους αριθμούς θυμάτων.

**Μέγεθος και τοποθεσία:** Μεγάλοι σεισμοί με μεγαλύτερα μεγέθη μπορούν να προκαλέσουν πιο σημαντικά θύματα, ειδικά εάν συμβαίνουν κοντά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Οι σεισμοί σε απομακρυσμένες ή αραιοκατοικημένες περιοχές έχουν γενικά λιγότερα θύματα.

**Πρότυπα δόμησης:** Η ποιότητα κατασκευής και τα πρότυπα δόμησης σε σειсмоγενείς περιοχές επηρεάζουν σημαντικά τα θύματα. Οι περιοχές με αυστηρούς οικοδομικούς κανόνες και αντισεισμικές υποδομές τείνουν να έχουν λιγότερα θύματα κατά τη διάρκεια σεισμικών γεγονότων.

**Έγκαιρη προειδοποίηση και ετοιμότητα:** Οι περιοχές με αποτελεσματικά συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης και μέτρα ετοιμότητας είναι καλύτερα εξοπλισμένες για την ελαχιστοποίηση των απωλειών. Οι έγκαιρες προειδοποιήσεις μπορούν να παρέχουν στους ανθρώπους πολύτιμα δευτερόλεπτα έως λεπτά για να λάβουν προστατευτικά μέτρα.

**Ιστορικές τάσεις:** Μακροπρόθεσμα, η βελτιωμένη συνειδητοποίηση σεισμών, οι πρακτικές κτιρίων και τα συστήματα αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης έχουν οδηγήσει σε μείωση των

θυμάτων σε ορισμένες σεισμογενείς περιοχές. Ωστόσο, η ευπάθεια ορισμένων περιοχών παραμένει ανησυχητική.

**Καταστροφικά Γεγονότα:** Περιστασιακά, συμβαίνουν εξαιρετικά καταστροφικοί σεισμοί, με αποτέλεσμα σημαντικό αριθμό θυμάτων. Τα ιστορικά παραδείγματα περιλαμβάνουν τον σεισμό Shaanxi του 1556 στην Κίνα, τον σεισμό του Σαν Φρανσίσκο του 1906 στις Ηνωμένες Πολιτείες και τον σεισμό της Αϊτής το 2010.

**Παγκόσμιος αντίκτυπος:** Οι σεισμοί μπορούν να έχουν παγκόσμιο αντίκτυπο στα θύματα, με μεγάλες εκδηλώσεις να λαμβάνουν εκτεταμένη κάλυψη από τα μέσα ενημέρωσης και ανθρωπιστικές απαντήσεις από όλο τον κόσμο.

Για να λάβετε ενημερωμένες και συγκεκριμένες πληροφορίες για την περιοχή σχετικά με θύματα σεισμών, συνιστάται να ανατρέξετε σε αξιόπιστες πηγές όπως κυβερνητικές υπηρεσίες, οργανισμοί παρακολούθησης σεισμών και ανθρωπιστικές οργανώσεις που παρέχουν προσπάθειες αντιμετώπισης καταστροφών και βοήθειας. Αυτές οι πηγές διατηρούν συχνά βάσεις δεδομένων και αναφορές σχετικά με τα θύματα από τους σεισμούς. [48]

## 2.4 Σεισμοί στην αρχαιότητα, τεχνολογία και εξήγηση των κοινωνιών του τότε



Σχήμα 2.6: Ακρόπολη

Στην αρχαιότητα, οι άνθρωποι είχαν περιορισμένη επιστημονική κατανόηση των σεισμών και συχνά απέδιδαν αυτά τα φυσικά γεγονότα σε ενέργειες θεών ή μυθικών όντων. Η ερμηνεία των σεισμών διέφερε μεταξύ διαφορετικών αρχαίων πολιτισμών και οι πεποιθήσεις για τα αίτια και τη σημασία τους ήταν βαθιά ριζωμένες σε θρησκευτικά και πολιτισμικά πλαίσια.

Ακολουθούν μερικές ιδέες για το πώς αντιλαμβάνονταν και ανταποκρίνονταν οι διάφορες αρχαίες κοινωνίες στους σεισμούς:

Αρχαία Ελλάδα:

Στην αρχαία Ελλάδα, οι σεισμοί συνδέονταν με τον θεό Ποσειδώνα, ο οποίος πίστευαν ότι ήταν η αιτία αυτών των αναταραχών. Οι Έλληνες πίστευαν ότι οι σεισμοί ήταν εκδήλωση οργής ή δυσαρέσκειας του Ποσειδώνα.

Ο φιλόσοφος Θαλής της Μιλήτου, ένας από τους Επτά Σοφούς της Ελλάδας, πιστώνεται ότι πρότεινε κάποιες πρώιμες νατουραλιστικές εξηγήσεις για τους σεισμούς. Πρότεινε ότι το νερό ήταν η υποκείμενη ουσία που προκαλούσε σεισμούς.

#### Αρχαία Ρώμη:

Στην αρχαία Ρώμη, οι σεισμοί θεωρούνταν σημάδια θεϊκής δυσαρέσκειας ή επικείμενης καταστροφής. Οι άνθρωποι συχνά αναζητούσαν καθοδήγηση από ιερείς και οιανούς για να ερμηνεύσουν τη σημασία των σεισμικών γεγονότων.

Ο φιλόσοφος και πολιτικός Σενέκας έγραψε για τους σεισμούς στο έργο του «Naturales Quaestiones», συζητώντας τις πιθανές αιτίες και επιπτώσεις αυτών των φαινομένων.

#### Αρχαία Μέση Ανατολή:

Οι αρχαίοι πολιτισμοί της Μεσοποταμίας, όπως οι Βαβυλώνιοι και οι Ασσύριοι, συνέδεαν τους σεισμούς με την οργή των θεών. Πίστευαν ότι οι θεοί ήταν υπεύθυνοι για αυτά τα γεγονότα και ότι μπορούσαν να κατευναστούν με τελετουργίες και προσφορές.

Ορισμένα αρχαία κείμενα από την περιοχή περιέχουν περιγραφές σεισμών και των συνεπειών τους, προσφέροντας πληροφορίες για το πώς οι άνθρωποι αντιλαμβάνονταν και αντιμετώπιζαν τέτοιες φυσικές καταστροφές.

#### Αρχαία Ινδία:

Στην αρχαία ινδική μυθολογία, οι σεισμοί συνδέονταν συχνά με τις κινήσεις των φιδιών ή άλλων μυθικών όντων κάτω από τη γη.

Αρχαία ινδικά κείμενα, όπως το Arthashastra, περιέχουν αναφορές σε σεισμούς και συζητούν τις επιπτώσεις των σεισμικών γεγονότων στις κατασκευές και την κοινωνία.

Συνολικά, ελλείπει σύγχρονης επιστημονικής κατανόησης, οι αρχαίοι πολιτισμοί συχνά εξηγούσαν τους σεισμούς μέσω θρησκευτικών, μυθολογικών ή φιλοσοφικών φακών.

Ενώ ορισμένοι στοχαστές πρότειναν νατουραλιστικές εξηγήσεις, μόνο με την πρόοδο της επιστημονικής γνώσης προέκυψε μια πιο ακριβής κατανόηση της σεισμικής δραστηριότητας.

Ενδιαφέρον επίσης έχει και η ιστορία των σεισμών στον αρχαίο κινέζικο πολιτισμό:

#### Αρχαία Κίνα:

Στην αρχαία Κίνα, οι σεισμοί συχνά συνδέονταν με τις ενέργειες των δράκων κάτω από τη γη. Οι Κινέζοι πίστευαν ότι αυτά τα μυθικά πλάσματα προκαλούσαν τρόμο κινούμενοι ή τσακώνοντας.

[49]

Οι αρχαίοι Κινέζοι ανέπτυξαν επίσης μια πρώιμη μορφή σεισμοσκοπίου, ένα όργανο σχεδιασμένο για την ανίχνευση και τη μέτρηση σεισμών.

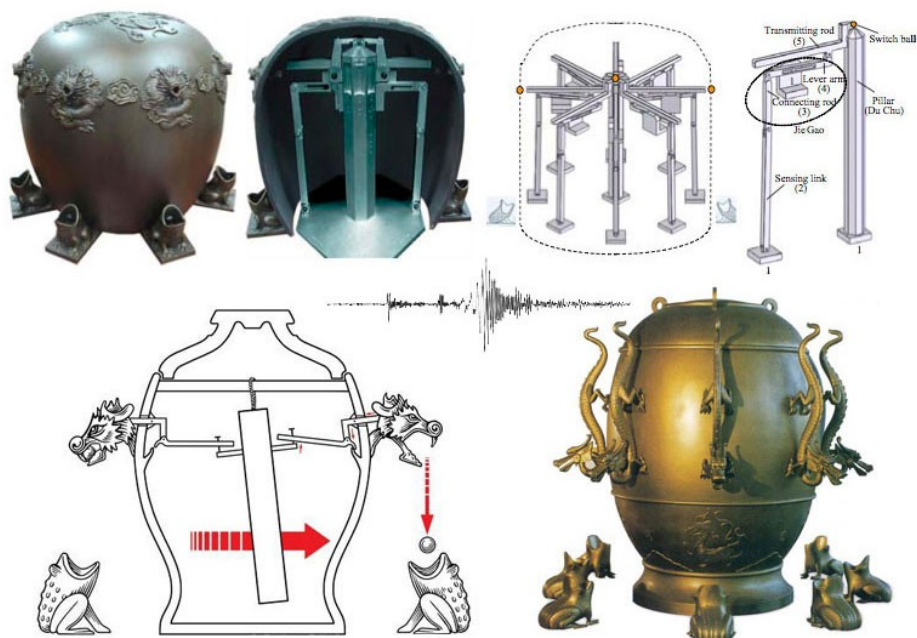


Σχήμα 2.7: Όργανο Ζανγκ Χενγκ

Παρακάτω θα πούμε περισσότερα για αυτό το όργανο που αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης για σύγχρονες μεθόδους ανίχνευσης σεισμών:

Το αρχαίο κινεζικό όργανο για την ανίχνευση σεισμών είναι γνωστό ως σεισμοσκόπιο και μία από τις παλαιότερες και πιο διάσημες εκδοχές δημιουργήθηκε από τον Zhang Heng, έναν πολυμαθή και αστρονόμο που έζησε κατά τη διάρκεια της δυναστείας των Χαν στην Κίνα (περίπου 78–139 μ.Χ.).

Το σεισμοσκόπιο του Zhang Heng ήταν ένα αξιόλογο κομμάτι μηχανικής για την εποχή του. Ήταν ουσιαστικά ένα μεγάλο χάλκινο σκεύος με οκτώ κεφάλια δράκων τοποθετημένα γύρω από την άνω περιφέρειά του, το καθένα κρατώντας μια μπάλα στο στόμα του. Κάτω από τους δράκους, υπήρχαν οκτώ βάτραχοι, τοποθετημένοι ακριβώς κάτω από τα κεφάλια των δράκων με το στόμα ανοιχτό.



## Σχήμα 2.8: Μηχανισμός λειτουργίας Ζανγκ Χενγκ

Το σειсмоσκόπιο σχεδιάστηκε για να ανιχνεύει την κατεύθυνση ενός σεισμού και την κατά προσέγγιση τοποθεσία του επίκεντρου του. Όταν συνέβη ένας σεισμός, η κίνηση προκάλεσε την κλίση του χάλκινου σκάφους και ένας μηχανισμός μέσα θα απελευθέρωσε μια μπάλα από ένα από τα στόματα του δράκου. Στη συνέχεια, η μπάλα έπεφτε στο στόμα ενός από τους βατράχους από κάτω, παράγοντας έναν ήχο.

Η κατεύθυνση της πεσμένης μπάλας έδειχνε την κατεύθυνση του σεισμού, ενώ ο συγκεκριμένος βάτραχος που έπιασε την μπάλα έδωσε πληροφορίες για το επίκεντρο του σεισμού. Σύμφωνα με πληροφορίες, το σειсмоσκόπιο του Zhang Heng θα μπορούσε να ανιχνεύσει σεισμούς που συμβαίνουν εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το σειсмоσκόπιο ήταν μια αξιοσημείωτη εφεύρεση, αλλά η αποτελεσματικότητά του στην πρακτική πρόβλεψη σεισμών συζητείται μεταξύ των μελετητών.

Κάποιοι υποστηρίζουν ότι θα μπορούσε να ήταν περισσότερο μια εννοιολογική ή συμβολική συσκευή παρά ένας πολύ ακριβής ανιχνευτής σεισμών.

Ωστόσο, το σειсмоσκόπιο του Zhang Heng αντιπροσωπεύει μια πρώιμη προσπάθεια δημιουργίας ενός επιστημονικού οργάνου για την κατανόηση και τη μέτρηση των φυσικών φαινομένων.

Οι λεπτομέρειες σχετικά με το σειсмоσκόπιο του Zhang Heng μπορούν να βρεθούν σε ιστορικά κείμενα και γραπτά, και συχνά αναφέρεται ως ένα από τα πρώτα παραδείγματα τεχνολογίας ανίχνευσης σεισμών στον κόσμο. Οι πληροφορίες για το σειсмоσκόπιο και τα επιτεύγματα του Zhang Heng προέρχονται συχνά από αρχαία κινεζικά κείμενα και μεταγενέστερα ιστορικά έργα.

Προτείνεται ότι το σειсмоσκόπιο θα μπορούσε να ήταν περισσότερο μια απόδειξη της ιδέας ή μια τελετουργική συσκευή παρά ένα εξαιρετικά πρακτικό εργαλείο για την πρόβλεψη σεισμών.

Μεταγενέστερες εξελίξεις:

Ενώ το σειсмоσκόπιο του Zhang Heng ήταν μια πρώιμη προσπάθεια ανίχνευσης σεισμών, δεν οδήγησε στην ανάπτυξη μιας διαρκούς παράδοσης σεισμολογικών μελετών στην αρχαία Κίνα.

Η σεισμολογία ως επιστημονικός κλάδος γνώρισε σημαντικές προόδους πολύ αργότερα, ιδιαίτερα στη σύγχρονη εποχή.

Κληρονομιά:

Το σειсмоσκόπιο του Zhang Heng αναφέρεται συχνά ως πρώιμο παράδειγμα επιστημονικού οργάνου για την ανίχνευση σεισμών. Αναδεικνύει τα πλούσια επιστημονικά και τεχνολογικά επιτεύγματα της αρχαίας Κίνας.

Σωζόμενα αντίγραφα:

Ενώ το αρχικό σειсмоσκόπιο δεν επιβίωσε στο πέρασμα του χρόνου, έχουν γίνει προσπάθειες να αναδημιουργηθεί με βάση ιστορικές περιγραφές. Αντίγραφα του σειсмоσκοπίου του Zhang Heng βρίσκονται σήμερα σε μουσεία και εκθέματα.

Σύγκριση του αρχαίου σειсмоσκοπίου με σύγχρονες μεθόδους ανίχνευσης σεισμών:

Το σεισμοσκόπιο του Zhang Heng λειτουργούσε με μηχανική αρχή. Όταν συνέβη ένας σεισμός, η συσκευή ανίχνευσε την κίνηση και απελευθέρωσε μια μπάλα από το στόμα ενός δράκου, υποδεικνύοντας την κατεύθυνση της σεισμικής δραστηριότητας.

Ακρίβεια

ανίχνευσης:

Η ακρίβεια του σεισμοσκοπίου του Zhang Heng όσον αφορά τον εντοπισμό της θέσης και του μεγέθους ενός σεισμού συζητείται μεταξύ των μελετητών. Ήταν περισσότερο ένα ποιοτικό εργαλείο που έδειχνε την εμφάνιση και την κατεύθυνση της σεισμικής δραστηριότητας.

Περιορισμένα

ποσοτικά

δεδομένα:

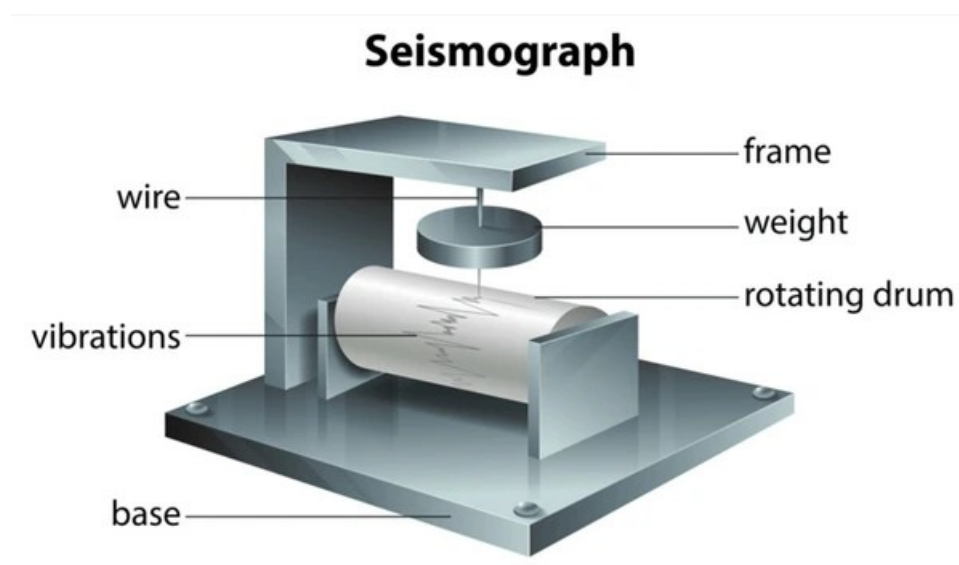
Το σεισμοσκόπιο του Zhang Heng δεν έδωσε ποσοτικά δεδομένα, όπως το μέγεθος του σεισμού για αυτό και έτσι θεωρείται πως ήταν περισσότερο ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης με συμβολική σημασία..

Τοπική

χρήση:

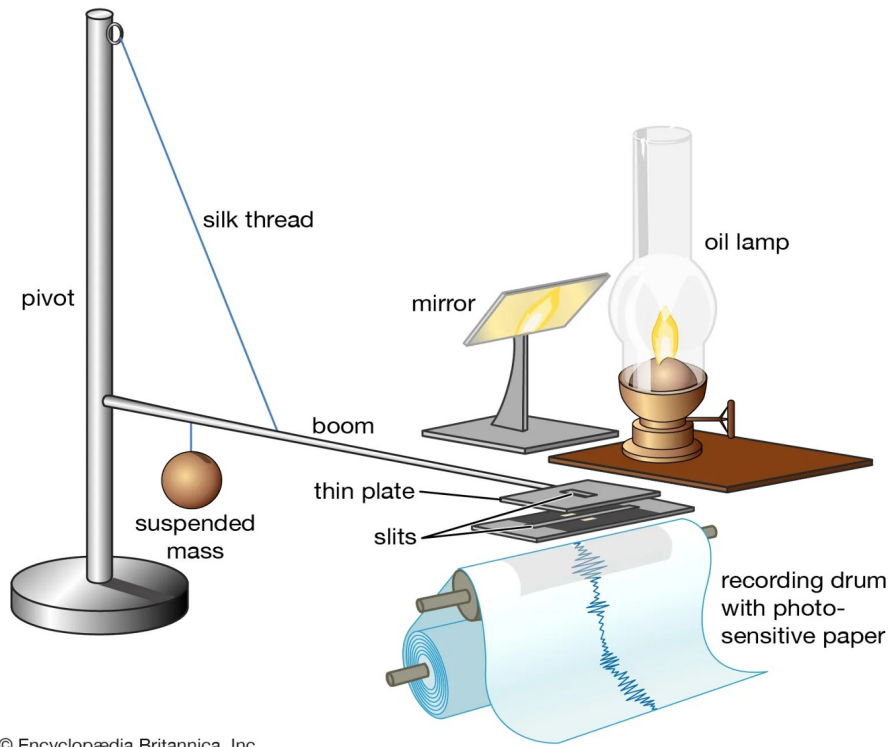
Το σεισμοσκόπιο ήταν μια μεγάλη και ακίνητη συσκευή και πιθανότατα χρησιμοποιήθηκε σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία και η αποτελεσματικότητά του θα είχε περιοριστεί σε άμεση γειτονίαση.

[50] [51] [52]



Σχήμα 2.9: Σεισμογράφος

Η σύγχρονη σεισμολογία βασίζεται σε μια ολοκληρωμένη επιστημονική κατανόηση του εσωτερικού της Γης και της διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Οι σεισμολόγοι χρησιμοποιούν τις αρχές της φυσικής για να ερμηνεύσουν τα σεισμικά δεδομένα. [53]

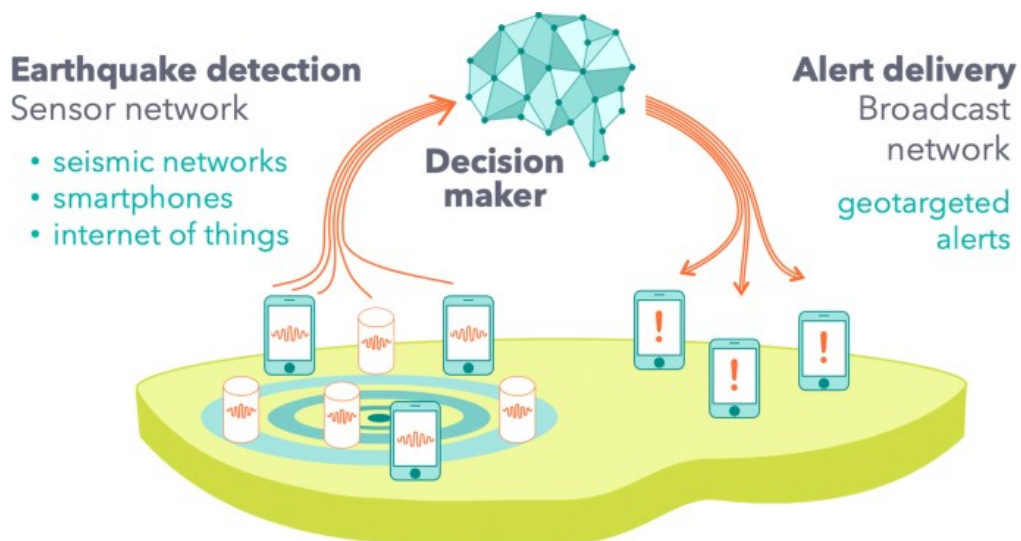


Σχήμα 2.10: Διάγραμμα λειτουργίας σειсмоγράφου

Ενοργάνωση:

Τα σεισμόμετρα είναι εξελιγμένα όργανα που χρησιμοποιούνται σήμερα για την ανίχνευση και τη μέτρηση σεισμών.

Αυτές οι συσκευές μπορούν να καταγράφουν την κίνηση του εδάφους με ακρίβεια και να παρέχουν δεδομένα για το μέγεθος, το βάθος και τη θέση του σεισμού.



## Σχήμα 2.11: Ψηφιακό σεισμικό δίκτυο

Παγκόσμια

Σεισμικά

Δίκτυα:

Τα σύγχρονα σεισμικά δίκτυα, όπως το Παγκόσμιο Σεισμογραφικό Δίκτυο (GSN), αποτελούνται από πολυάριθμους σεισμομετρικούς σταθμούς παγκοσμίως. Αυτά τα δίκτυα επιτρέπουν τον γρήγορο και ακριβή προσδιορισμό των παραμέτρων του σεισμού.

Παρακολούθηση

σε

πραγματικό

χρόνο:

Οι σύγχρονες σεισμολογικές μέθοδοι επιτρέπουν την παρακολούθηση της σεισμικής δραστηριότητας σε πραγματικό χρόνο. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα μπορούν να αξιολογήσουν γρήγορα τον αντίκτυπο ενός σεισμού και να παρέχουν έγκαιρη προειδοποίηση σε ορισμένες περιπτώσεις.

Ποσοτικά

δεδομένα:

Τα σεισμόμετρα παρέχουν ποσοτικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένου του μεγέθους του σεισμού στην κλίμακα Ρίχτερ ή της κλίμακας μεγέθους ροπής. Αυτές οι πληροφορίες είναι ζωτικής σημασίας για την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων του σεισμού.

Τηλεπισκόπηση:

Η δορυφορική τεχνολογία και άλλες μέθοδοι τηλεπισκόπησης συμβάλλουν στην εκτίμηση των ζημιών από σεισμό, της μετατόπισης του εδάφους και άλλων γεωλογικών αλλαγών που σχετίζονται με σεισμικά γεγονότα.

Παγκόσμια

Συνεργασία:

Οι σεισμολόγοι συνεργάζονται παγκοσμίως, ανταλλάσσοντας δεδομένα και τεχνογνωσία. Η διεθνής συνεργασία ενισχύει την ικανότητα παρακολούθησης και κατανόησης της σεισμικής δραστηριότητας σε μεγάλη κλίμακα.

[53]



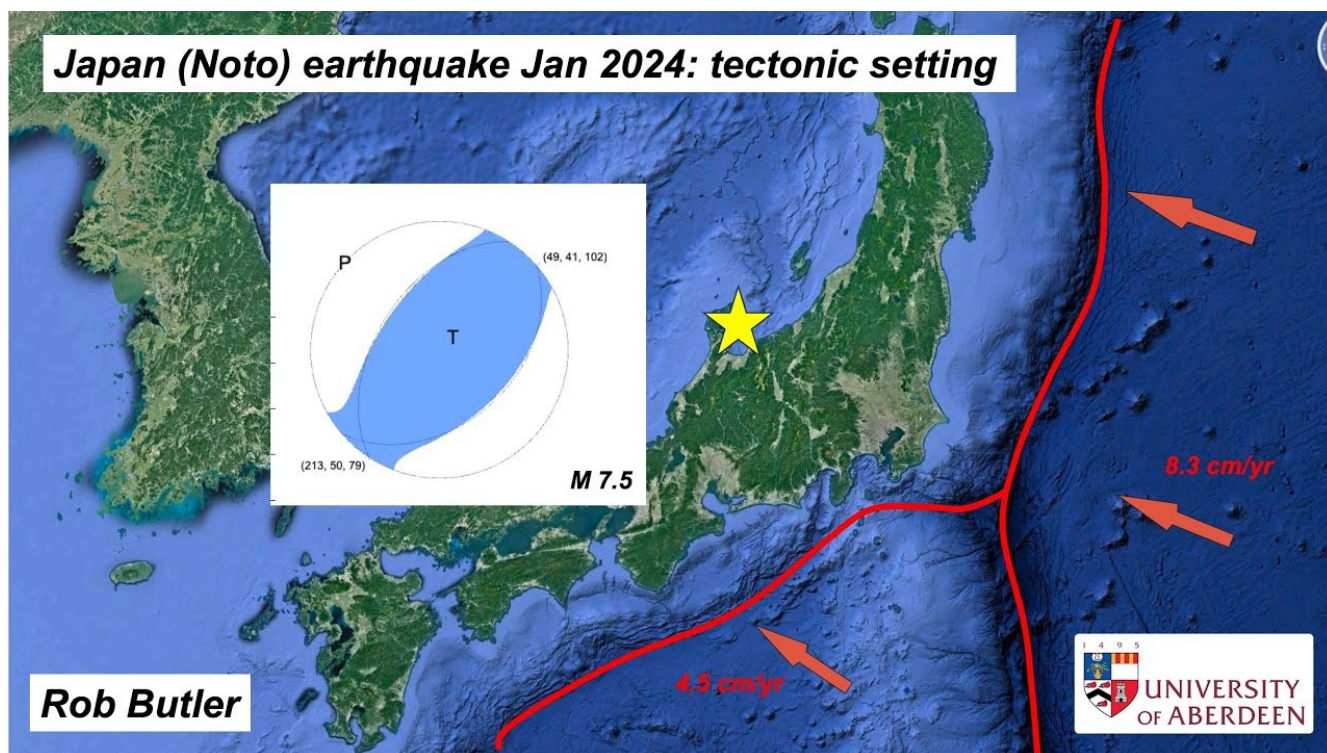
## Κεφάλαιο 3ο:

### 3.1 Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης σεισμών:

Ορισμένες περιοχές με υψηλή σεισμική δραστηριότητα έχουν εφαρμόσει συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης που χρησιμοποιούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για να παρέχουν εκ των προτέρων ειδοποίηση για έναν επικείμενο σεισμό, επιτρέποντας στους ανθρώπους να λαμβάνουν προστατευτικά μέτρα.

Το σεισμοσκόπιο του Zhang Heng ήταν μια έξυπνη εφεύρεση για την εποχή του και αντικατόπτριζε μια πρώτη επίγνωση των σεισμικών φαινομένων, οι σύγχρονες σεισμολογικές μέθοδοι όμως προσφέρουν μια πολύ πιο εξελιγμένη και ακριβή κατανόηση των σεισμών, με δυνατότητα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και παγκόσμιας συνεργασίας.

Οι εξελίξεις στα όργανα, την ανάλυση δεδομένων και τα παγκόσμια δίκτυα έχουν βελτιώσει σημαντικά την ικανότητά μας να μελετάμε και να ανταποκρινόμαστε σε σεισμικά γεγονότα.



Σχήμα 3.1 Σεισμός Ιαπωνίας

#### 3.1.1 Συγκεκριμένα στην Ιαπωνία:

<<Μια χώρα με ίσως το πιο προηγμένο σύστημα πρόληψης σεισμών>>

Η Ιαπωνία που βρίσκεται κατά μήκος του ασταθούς "Δακτυλίου της Φωτιάς" του Ειρηνικού, δεν είναι ξένη στις σεισμικές δραστηριότητες. Οι σεισμοί, ένα συχνό φαινόμενο στη χώρα, έχουν ιστορικά προκαλέσει καταστροφές και απώλειες ζωών, πέρα από αυτά όμως η προληπτική προσέγγιση της Ιαπωνίας στη διαχείριση καταστροφών οδήγησε στην ανάπτυξη ενός από τα πιο εξελιγμένα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης σεισμών που υπάρχουν αυτήν την στιγμή στον κόσμο το οποίο ονομάζεται EEW (Early Earthquake Warning).

Αυτό το σύστημα το οποίο χαρακτηρίζεται από την ταχεία ανίχνευση και τη διάδοση προειδοποιήσεων μέσω ψηφιακών συσκευών παίζει καθοριστικό ρόλο στον μετριασμό των επιπτώσεων των σεισμών στην ανθρώπινη ζωή και τις υποδομές της χώρας.

Παρακάτω θα εμβαθύνουμε στις περιπλοκές του συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης σεισμών της Ιαπωνίας, στην υποκείμενη τεχνολογία του και στον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί για την προστασία ζωών.

Στο ιστορικό πλαίσιο, η Ιαπωνία αντιμετώπιζε διαρκώς την απειλή των σεισμών λόγω της γεωγραφικής της θέσης πάνω από πολλές τεκτονικές πλάκες, η πλούσια ιστορία της χώρας αμαυρώνεται από πολυάριθμα σεισμικά γεγονότα, συμπεριλαμβανομένου του καταστροφικού σεισμού του Μεγάλου Κάντο του 1923 και του πιο πρόσφατου σεισμού της Μεγάλης Ανατολικής Ιαπωνίας του 2011, ο οποίος προκάλεσε τσουνάμι και πυρηνική καταστροφή, αυτά τα καταστροφικά γεγονότα υπογράμμισαν την επείγουσα ανάγκη για ένα αξιόπιστο και αποτελεσματικό σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για τον μετριασμό των επιπτώσεων μελλοντικών σεισμών.

Εξέλιξη του συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης σεισμών της Ιαπωνίας

Το ταξίδι προς το τρέχον υπερσύγχρονο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης σεισμών της Ιαπωνίας ξεκίνησε στα τέλη του 20ου αιώνα, έτσι το 1992, η ιαπωνική κυβέρνηση ξεκίνησε την ανάπτυξη του συστήματος EEW ως απάντηση στον σεισμό του Κόμπε, ο οποίος είχε ως αποτέλεσμα πάνω από 6.000 θύματα. Με τα χρόνια, σημαντικές εξελίξεις στη σεισμολογία, τις τηλεπικοινωνίες και την τεχνολογία επεξεργασίας δεδομένων έχουν ωθήσει την εξέλιξη του συστήματος στην τρέχουσα μορφή του.

Βασικά στοιχεία του συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης σεισμών της Ιαπωνίας:

Δίκτυο Σεισμικής Παρακολούθησης:

Στην καρδιά του συστήματος ΕΕΣΑ της Ιαπωνίας βρίσκεται ένα πυκνό δίκτυο σεισμομέτρων στρατηγικά τοποθετημένο σε όλη τη χώρα. Αυτά τα ευαίσθητα όργανα ανιχνεύουν τα αρχικά σεισμικά κύματα, γνωστά ως κύματα P, που δημιουργούνται από έναν σεισμό.

Ταχεία Επεξεργασία Δεδομένων:

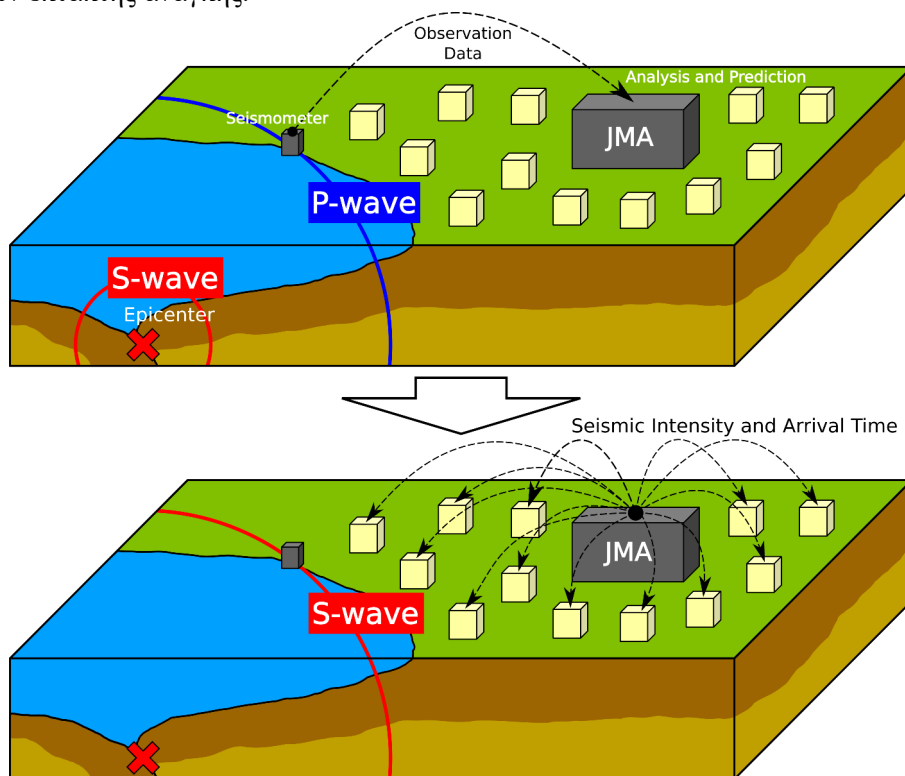
Με την ανίχνευση σεισμικής δραστηριότητας, τα δεδομένα που συλλέγονται από τα σεισμόμετρα μεταδίδονται γρήγορα σε κεντρικά κέντρα επεξεργασίας. Εδώ, ισχυροί υπολογιστές εξοπλισμένοι με εξελιγμένους αλγόριθμους αναλύουν τα δεδομένα για να προσδιορίσουν τη θέση, το μέγεθος και την αναμενόμενη ένταση του σεισμού.

Διάδοση ειδοποιήσεων:

Μόλις ολοκληρωθεί η ανάλυση, το σύστημα ΕΕΣΣ εκδίδει ειδοποιήσεις μέσω διαφόρων καναλιών επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων της τηλεόρασης, του ραδιοφώνου, των σειρήνων και των εφαρμογών για κινητά τηλέφωνα. Αυτές οι ειδοποιήσεις παρέχουν κρίσιμα δευτερόλεπτα έως λεπτά προειδοποίησης σε άτομα και οργανισμούς στις πληγείσες περιοχές.

Αυτοματοποιημένες αποκρίσεις:

Το σύστημα ΕΕW της Ιαπωνίας είναι ενσωματωμένο με συστήματα υποδομής ζωτικής σημασίας, όπως δίκτυα μεταφορών, επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Με τη λήψη μιας ειδοποίησης, ενεργοποιούνται αυτοματοποιημένες απαντήσεις, συμπεριλαμβανομένης της διακοπής των τρένων, της διακοπής λειτουργίας αγωγών αερίου και της ενεργοποίησης των πρωτοκόλλων έκτακτης ανάγκης.



Σχήμα 3.2: Κύματα σεισμών

Πώς λειτουργεί το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης σεισμού της Ιαπωνίας;

Όταν συμβαίνει ένας σεισμός, δημιουργεί σεισμικά κύματα που διαδίδονται στη Γη. Τα πρώτα κύματα που φτάνουν είναι τα κύματα P, τα οποία ταξιδεύουν πιο γρήγορα από τα πιο καταστροφικά κύματα S. Τα σεισμόμετρα που είναι στρατηγικά τοποθετημένα σε όλη την Ιαπωνία ανιχνεύουν αυτά τα αρχικά κύματα P. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τα σεισμόμετρα μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο σε κεντρικά κέντρα επεξεργασίας που λειτουργούν από οργανισμούς όπως η Ιαπωνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (JMA), και έτσι αυτά τα κέντρα χρησιμοποιούν προηγμένα υπολογιστικά συστήματα για την ανάλυση των δεδομένων και την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του σεισμού.

Με τη λήψη των σεισμικών δεδομένων, εξελιγμένοι αλγόριθμοι αναλύουν διάφορες παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένου του πλάτους, της συχνότητας και των χρόνων άφιξης των σεισμικών κυμάτων. Με βάση αυτή την ανάλυση, το σύστημα καθορίζει τη θέση του σεισμού, το μέγεθος και την αναμενόμενη ένταση της δόνησης σε διαφορετικές τοποθεσίες. Μόλις ολοκληρωθεί η ανάλυση, το σύστημα ΕΕΣΑΣ δημιουργεί ειδοποιήσεις προσαρμοσμένες σε συγκεκριμένες περιοχές και επίπεδα

έντασης. Αυτές οι ειδοποιήσεις διαδίδονται γρήγορα μέσω πολλαπλών καναλιών επικοινωνίας για να προσεγγίσουν όσο το δυνατόν περισσότερα άτομα στις πληγείσες περιοχές.

Με τη λήψη μιας προειδοποίησης, τα άτομα και οι οργανισμοί καλούνται να λάβουν άμεσες ενέργειες για την προστασία τους και τον μετριασμό των ζημιών. Οι εκστρατείες δημόσιας εκπαίδευσης προωθούν μέτρα ετοιμότητας για τους σεισμούς, συμπεριλαμβανομένης της πτώσης, της κάλυψης και της διατήρησης των διαδικασιών, των πρωτοκόλλων εκκένωσης και της ασφάλισης βαρέων επίπλων και συσκευών.

Το σύστημα EEW της Ιαπωνίας ενσωματώνεται άψογα με συστήματα υποδομής ζωτικής σημασίας για τη διευκόλυνση των αυτοματοποιημένων αποκρίσεων. Για παράδειγμα, οι αρχές μεταφορών μπορούν να σταματήσουν τις λειτουργίες των τρένων για να αποτρέψουν εκτροχιασμούς, ενώ οι εταιρείες κοινής ωφέλειας μπορούν να κλείσουν τα συστήματα διανομής αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας για να ελαχιστοποιήσουν τους κινδύνους.

Αυτό το σύστημα έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικό στον μετριασμό των επιπτώσεων των σεισμικών γεγονότων και στη διάσωση ζωών. Πολυάριθμες μελέτες περιπτώσεων και παραδείγματα πραγματικού κόσμου πιστοποιούν την επιτυχία του.

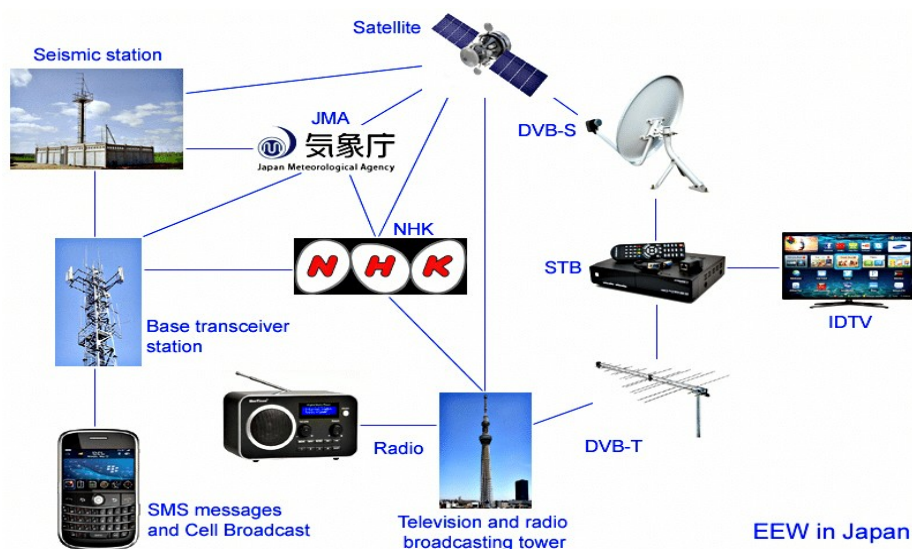
Ο αριθμός μειωμένων θυμάτων στα τελευταία σεισμικά γεγονότα οφείλεται στην προηγμένη προειδοποίηση που παρέχεται από το σύστημα EEW, που επιτρέπει στα άτομα να προβαίνουν σε προστατευτικές ενέργειες, όπως αναζήτηση κάλυψης ή εκκένωση κτιρίων, πριν από την εμφάνιση ισχυρών δονήσεων, αυτή η προληπτική ειδοποίηση μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο τραυματισμών και θανάτων.

Με την ενεργοποίηση αυτοματοποιημένων αποκρίσεων σε συστήματα υποδομής ζωτικής σημασίας, το σύστημα EEW συμβάλλει στην πρόληψη και δευτερογενών κινδύνων, όπως πυρκαγιές, εκρήξεις και ατυχήματα στα μέσα μεταφοράς, που μπορούν να επιδεινώσουν τις επιπτώσεις των σεισμών. Η επένδυση της Ιαπωνίας στην ετοιμότητα έναντι σεισμών και η ευρεία υιοθέτηση τεχνολογιών έγκαιρης προειδοποίησης έχουν καλλιεργήσει μια κουλτούρα ανθεκτικότητας στον πληθυσμό της.

Οι τακτικές ασκήσεις, οι εκστρατείες δημόσιας εκπαίδευσης και η ενσωμάτωση των συστημάτων EEW στην καθημερινή ζωή συμβάλλουν στην ικανότητα του έθνους να αντέχει σε σεισμικά φαινόμενα.

Δεν φτάνει όμως αυτό, το σύστημα EEW της Ιαπωνίας υπόκειται σε συνεχή βελτίωση και βελτίωση με βάση την ανάδραση από γεγονότα του πραγματικού κόσμου και τις εξελίξεις στην τεχνολογία. Οι συνεχείς προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης στοχεύουν στη βελτίωση της ακρίβειας, της αξιοπιστίας και της κάλυψης του συστήματος για περαιτέρω ενίσχυση της αποτελεσματικότητάς του.

[54] [55] [56] [57]



### 3.1.2 Συμπέρασμα:

Το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης σεισμών της Ιαπωνίας αποτελεί απόδειξη της δέσμευσης της χώρας να προστατεύει ζωές και να ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών. Μέσω ενός συνδυασμού προηγμένης τεχνολογίας, αυστηρής παρακολούθησης και προληπτικής δημόσιας συμμετοχής, η Ιαπωνία έχει καθιερώσει ένα μοντέλο για την ετοιμότητα και την απόκριση σε σεισμό που είναι γνωστό σε όλο τον κόσμο. Καθώς οι σεισμικοί κίνδυνοι εξακολουθούν να υφίστανται, η συνεχιζόμενη εξέλιξη και ενίσχυση του συστήματος ΕΕΣΑ της Ιαπωνίας παραμένει ζωτικής σημασίας για την προστασία του πληθυσμού και των υποδομών της χώρας από τις απρόβλεπτες δυνάμεις της φύσης.

Αυξημένης σημαντικότητας ζήτημα είναι να αναφερθεί πως στον σεισμό των 7.6 κλίμακας ρίχτερ τον **Ιανουάριο του 2024** στην χερσόνησο "Νοτο" της Ιαπωνίας, το σύστημα αποτέλεσε μεγάλο παράγοντα πρόληψης κινδύνου, καθώς η χρήση του στην έως τότε τελειότερη μορφή του, επέτρεψε στην άμεση προειδοποίηση του κόσμου και των αρχών ώστε να αποφεχθεί μεγαλύτερη καταστροφή.

## Κεφάλαιο 4ο:

### 4.1 Κατασκευή οργάνου προειδοποίησης σεισμών σε Arduino

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα κατασκευάσουμε ένα όργανο προειδοποίησης σεισμών χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα Arduino.

#### Arduino:



Σχήμα 4.1: Arduino Uno R3

Το Arduino είναι μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που βασίζεται σε εύχρηστο υλικό και λογισμικό. Αποτελείται τόσο από μια φυσική προγραμματιζόμενη πλακέτα κυκλώματος (συντά αναφέρεται ως μικροελεγκτής) όσο και από ένα κομμάτι λογισμικού ή IDE (Integrated Development Environment), που εκτελείται στον υπολογιστή, και χρησιμοποιείται για τη εγγραφή και τη μεταφόρτωση κώδικα υπολογιστή στη φυσική πλακέτα.

Το υλικό μιας πλακέτας Arduino μπορεί να διαφέρει ως προς τα εξαρτήματά της, αλλά συνήθως περιλαμβάνει έναν μικροελεγκτή (ο εγκέφαλος της πλακέτας), ακίδες εισόδου/εξόδου (I/O), τροφοδοτικό και συνδεσιμότητα USB για προγραμματισμό και επικοινωνία με υπολογιστή. Τα κοινά μοντέλα περιλαμβάνουν τα Arduino Uno, Mega και Nano, το καθένα με διαφορετικές προδιαγραφές και δυνατότητες. Ο μικροελεγκτής, συχνά από τη σειρά AVR της Atmel (που ανήκει πλέον στην Microchip Technology), είναι κεντρικός στη λειτουργικότητα της πλακέτας, στην ερμηνεία και την εκτέλεση κώδικα.

Οι πλακέτες Arduino μπορούν να διαβάσουν εισόδους - φως σε έναν αισθητήρα, ένα δάχτυλο σε ένα κουμπί ή ένα μήνυμα Twitter - και να τις μετατρέψουν σε έξοδο - ενεργοποιώντας έναν κινητήρα, ανάβοντας ένα LED ή δημοσιεύοντας κάτι στο διαδίκτυο. Αυτή η δυνατότητα καθιστά τις πλακέτες Arduino κατάλληλες για μια τεράστια γκάμα έργων, από απλές οθόνες LED έως πολύπλοκα συστήματα οικιακού αυτοματισμού.

Η πτυχή του λογισμικού, το Arduino IDE, υποστηρίζει προγραμματισμό σε C και C++ χρησιμοποιώντας ειδικούς κανόνες δόμησης κώδικα. Απλοποιεί τη διαδικασία κωδικοποίησης παρέχοντας μια απλή και φιλική προς το χρήστη διεπαφή. Το IDE περιλαμβάνει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου για τη σύνταξη κώδικα, μια περιοχή μηνυμάτων, μια κονσόλα κειμένου, μια γραμμή εργαλείων με κουμπιά για κοινές λειτουργίες και μια σειρά μενού. Συνδέεται με το υλικό Arduino για να ανεβάσετε τον κώδικα και να επικοινωνήσετε μαζί του.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του Arduino είναι η φύση του ανοιχτού κώδικα, που σημαίνει ότι τα αρχεία σχεδίασης για το υλικό Arduino και ο πηγαίος κώδικας για το λογισμικό του είναι ελεύθερα διαθέσιμα. Αυτό το άνοιγμα έχει ενθαρρύνει μια μεγάλη και ενεργή κοινότητα χρηστών και προγραμματιστών που συμβάλλουν σε ένα εκτεταμένο οικοσύστημα πόρων, συμπεριλαμβανομένων βιβλιοθηκών, σεμιναρίων και φόρουμ. Αυτοί οι πόροι υποστηρίζουν τόσο αρχάριους όσο και έμπειρους προγραμματιστές, επιτρέποντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και καινοτομιών.

Το Arduino χρησιμοποιείται ευρέως στην εκπαίδευση για τη διδασκαλία ηλεκτρονικών, προγραμματισμού και πρωτοτύπων. Διαδραματίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στο κίνημα του δημιουργού, όπου οι χομπίστες και οι επαγγελματίες δημιουργούν διαδραστικά αντικείμενα και περιβάλλοντα. Η προσιτή τιμή, η ευκολία χρήσης και η ευέλικτη λειτουργικότητά του το έχουν καταστήσει ακρογωνιαίο λίθο στους τομείς των ηλεκτρονικών ειδών DIY και της ανάπτυξης ενσωματωμένων συστημάτων. Το Arduino είναι μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που βασίζεται σε εύχρηστο υλικό και λογισμικό. Αποτελείται τόσο από μια φυσική προγραμματιζόμενη πλακέτα κυκλώματος (συντά αναφέρεται ως μικροελεγκτής) όσο και από ένα κομμάτι λογισμικού ή IDE (Integrated Development Environment), που εκτελείται στον υπολογιστή σας, που χρησιμοποιείται για τη εγγραφή και τη μεταφόρτωση κώδικα υπολογιστή στη φυσική πλακέτα.

Το υλικό μιας πλακέτας Arduino μπορεί να διαφέρει ως προς τα εξαρτήματά της, αλλά συνήθως περιλαμβάνει έναν μικροελεγκτή (ο εγκέφαλος της πλακέτας), ακίδες εισόδου/εξόδου (I/O), τροφοδοτικό και συνδεσιμότητα USB για προγραμματισμό και επικοινωνία με υπολογιστή. Τα κοινά μοντέλα περιλαμβάνουν τα Arduino Uno, Mega και Nano, το καθένα με διαφορετικές προδιαγραφές

και δυνατότητες. Ο μικροελεγκτής, συχνά από τη σειρά AVR της Atmel (που ανήκει πλέον στην Microchip Technology), είναι κεντρικός στη λειτουργικότητα της πλακέτας, στην ερμηνεία και την εκτέλεση κώδικα.

Οι πλακέτες Arduino μπορούν να διαβάσουν εισόδους - φως σε έναν αισθητήρα, ένα δάχτυλο σε ένα κουμπί ή ένα μήνυμα Twitter - και να τις μετατρέψουν σε έξοδο - ενεργοποιώντας έναν κινητήρα, ανάβοντας ένα LED ή δημοσιεύοντας κάτι στο διαδίκτυο. Αυτή η δυνατότητα καθιστά τις πλακέτες Arduino κατάλληλες για μια τεράστια γκάμα έργων, από απλές οθόνες LED έως πολύπλοκα συστήματα οικιακού αυτοματισμού.

Η πτυχή του λογισμικού, το Arduino IDE, υποστηρίζει προγραμματισμό σε C και C++ χρησιμοποιώντας ειδικούς κανόνες δόμησης κώδικα. Απλοποιεί τη διαδικασία κωδικοποίησης παρέχοντας μια απλή και φιλική προς το χρήστη διεπαφή. Το IDE περιλαμβάνει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου για τη σύνταξη κώδικα, μια περιοχή μηνυμάτων, μια κονσόλα κειμένου, μια γραμμή εργαλείων με κουμπιά για κοινές λειτουργίες και μια σειρά μενού. Συνδέεται με το υλικό Arduino για να ανεβάσετε τον κώδικα και να επικοινωνήσετε μαζί του.

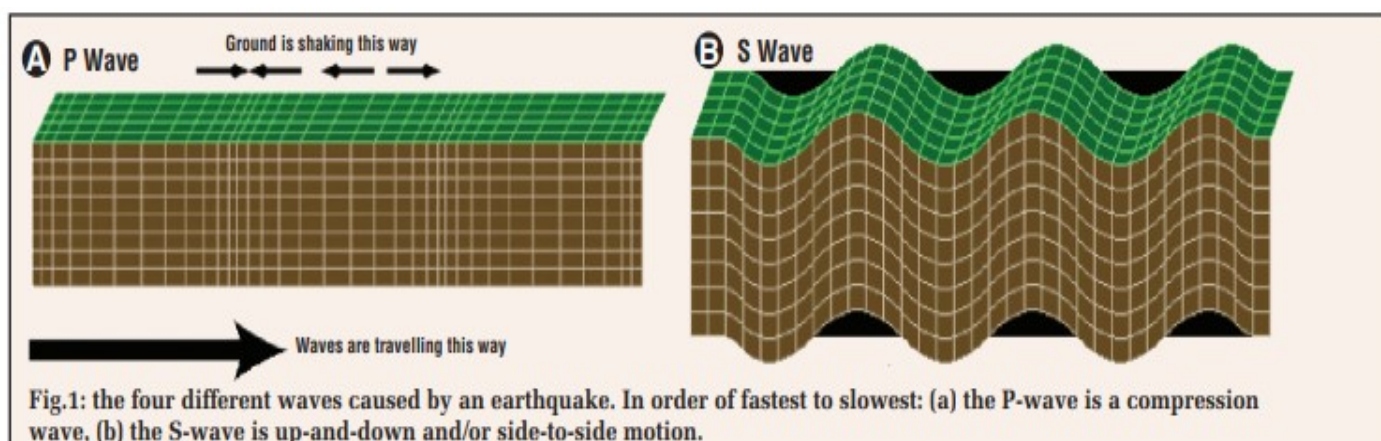
Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του Arduino είναι η φύση του ανοιχτού κώδικα, που σημαίνει ότι τα αρχεία σχεδίασης για το υλικό Arduino και ο πηγαίος κώδικας για το λογισμικό του είναι ελεύθερα διαθέσιμα. Αυτό το άνοιγμα έχει ενθαρρύνει μια μεγάλη και ενεργή κοινότητα χρηστών και προγραμματιστών που συμβάλλουν σε ένα εκτεταμένο οικοσύστημα πόρων, συμπεριλαμβανομένων βιβλιοθηκών, σεμιναρίων και φόρουμ. Αυτοί οι πόροι υποστηρίζουν τόσο αρχάριους όσο και έμπειρους προγραμματιστές, επιτρέποντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και καινοτομιών.

Το Arduino χρησιμοποιείται ευρέως στην εκπαίδευση για τη διδασκαλία ηλεκτρονικών, προγραμματισμού και πρωτοτύπων. Διαδραματίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στο κίνημα του δημιουργού, όπου οι χομπίστες και οι επαγγελματίες δημιουργούν διαδραστικά αντικείμενα και περιβάλλοντα. Η προσιτή τιμή, η ευκολία χρήσης και η ευέλικτη λειτουργικότητά του το έχουν καταστήσει ακρογωνιαίο λίθο στους τομείς των ηλεκτρονικών ειδών DIY και της ανάπτυξης ενσωματωμένων συστημάτων. [58] [59]

## 4.2 Σχετικά με το όργανο του project – Θεωρία λειτουργίας

Μια ιδέα του Allan Linton-Smith - Κύκλωμα και λογισμικό του Nicholas Vinen στο Arduino.

Έγκαιρη προειδοποίηση με χρήση κυμάτων P.



## Σχήμα 4.2: Κύματα P και S

Οι σεισμοί προκαλούν αναστάτωση στο τον φλοιό της γης που μπορείτε να νιώσετε.

Γενικά προκαλούνται από μια ξαφνική θραύση βράχου όπου υπάρχει αυξημένη πίεση στη συμβολή δύο τεκτονικών πλάκων λόγω ηπειρωτικής μετατόπισης. Όταν αυτή η ενέργεια ξαφνικά απελευθερώνεται, κάνει τα κύματα να ταξιδεύουν μέσω του φλοιού της Γης μακριά από τη θέση του ρήγματος. Μπορεί να μην το συνειδητοποιείτε, αλλά ένα μόνο σεισμικό γεγονός μπορεί να προκαλέσει τουλάχιστον τέσσερα διαφορετικά κύματα για να ταξιδέψουν μέσα από την Γη και να κουνήσει το έδαφος κάτω από τα πόδια σας.

Εκτός αν είστε πολύ κοντά στο επίκεντρο, αυτά τα κύματα θα φτάσουν διαφορετικές χρονικές στιγμές και θα έχουν διαφορετικές δυνάμεις και αποτελέσματα.

Το πρώτο κύμα που φτάνει είναι το κύμα πίεσης ή το κύμα P.

Αυτό ταξιδεύει μέσα στον φλοιό με παρόμοιο τρόπο με τον ήχο που ταξιδεύει μέσω του αέρα.

Μέρος του λόγου για τον οποίο φτάνει πρώτο είναι ότι μπορεί να ταξιδέψει μέσα από στερεά και υγρά, ώστε να μπορεί να πάρει μια άμεση διαδρομή μέσω της Γης στην τοποθεσία σας (δηλαδή, δεν χρειάζεται να ακολουθεί την καμπυλότητα της Γης, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν υγρά στρώματα κάτω από το Φλοιό της γης).

Το κύμα P συνήθως δεν είναι τρομερά ισχυρό ούτε καταστροφικό, αλλά σίγουρα μπορεί να ανιχνευθεί χρησιμοποιώντας εξοπλισμό σεισμικής παρακολούθησης και αυτό θα σας δώσει την προειδοποίηση πριν φτάσουν τα καταστροφικά κύματα στην τοποθεσία σας.

Το δευτερεύον κύμα είναι γνωστό ως το κύμα S, και αυτό προκαλείται από την ρήξη των βράχων του ρήγματος από σωματίδια που κινούνται πλάι-πλάι ή πάνω και κάτω, παρόμοια με τον τρόπο που το κύμα ταξιδεύει στα βαθιά νερά.

Επειδή το κύμα S δεν μπορεί ταξιδεύει μέσα στο υγρό, δεν μπορεί να περάσει μέσω του εξωτερικού πυρήνα της Γης και ούτω καθεξής.

Γενικά φτάνει μετά το κύμα P, και είναι συνήθως αρκετά δυνατό για να γίνει αισθητό αλλά δεν είναι το πιο καταστροφικό κύμα.

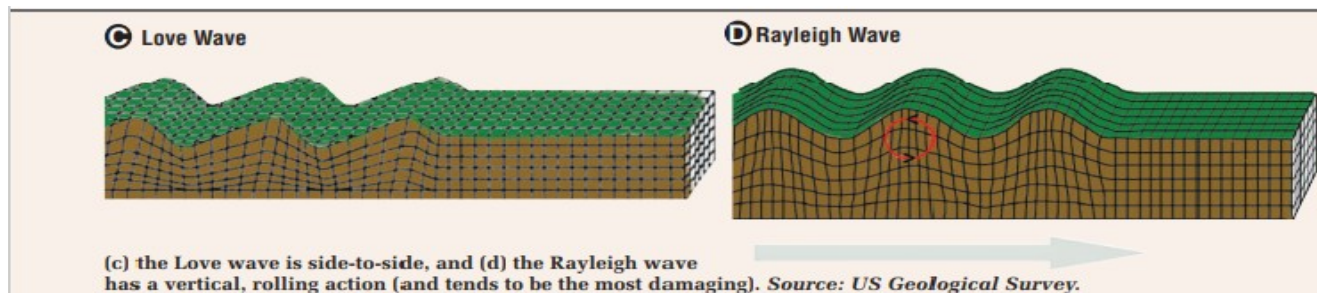
Το τρίτο κύμα που φτάνει είναι το "κύμα Αγάπης" (που πήρε το όνομά του από την ΑΕΗ Love), αυτό είναι το πιο γρήγορα κινούμενο κύμα στην επιφάνεια της Γη καθώς το έδαφος κινείται δίπλα-δίπλα.

Επειδή πρέπει να ταξιδέψει κατά μήκος του στην επιφάνεια, παίρνει το μεγαλύτερο μονοπάτι και επομένως φτάνει μετά το κύμα S και Κύμα P.

Λίγο μετά το "κύμα αγάπης" έρχεται το κύμα Rayleigh (Ράιλεϋ), το οποίο επίσης ταξιδεύει κατά μήκος της επιφάνειας. Αυτό προκαλεί κάθετη κίνηση καθώς το έδαφος «κυλάει», παρόμοια σαν κύματα σε ρηγά νερά.

Αυτό είναι το κύμα που κανονικά αντιλαμβάνεστε περισσότερο και προκαλεί τις περισσότερες καταστροφές.

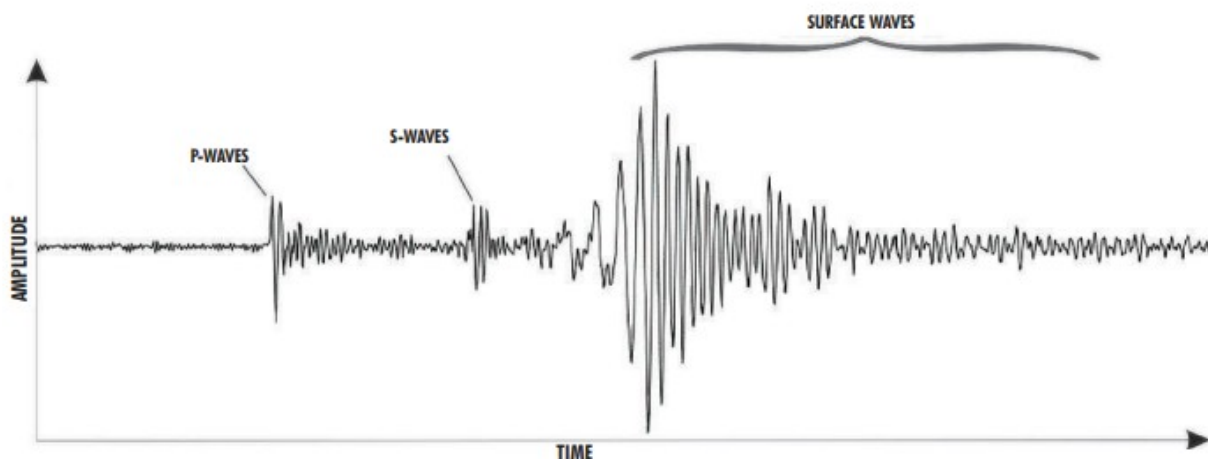
Οι σχετικές ταχύτητες των κυμάτων P:



Σημια 4.3: Κύματα C και D

Οι εικόνες δίνουν πιο λεπτομερείς πληροφορίες στις σχετικές ταχύτητες των κυμάτων P και Κύματα S, δείχνει επίσης πώς τα κύματα P και τα κύματα S ταξιδεύουν με διαφορετικές ταχύτητες μέσα από διαφορετικά μέρη στον φλοιό της γης.

Παρατηρήστε ότι η ταχύτητα του κύματος P είναι πάντα υψηλότερη από την τοποθεσία νε του κύματος S, επομένως στις περισσότερες περιπτώσεις θα φτάσει πολύ νωρίτερα.



Σημια 4.4: Ημιτονοειδής κυματομορφή σεισμικού κύματος

Βλέπουμε επίσης πόσο χρόνο ένα τυπικό κύμα P και το κύμα S χρειάζονται για να φτάσουν κάποια απόσταση από το επίκεντρο, όπως και μπορείτε να δείτε, το κύμα S περιβάλλει διπλάσιο χρόνο για να φτάσει σε ένα δεδομένο σημείο σε σύγκριση με το κύμα P.

Εάν μπορούμε να ανιχνεύσουμε τη διέλευση του κύματος P, τότε το διάστημα μεταξύ αυτών δύο γραμμών είναι το ποσό της προειδοποίησης που έχουμε πάρει πριν φτάσει το μεγαλύτερο κύμα S.

Για παράδειγμα, εάν είστε 200 χλμ μακριά από το επίκεντρο, θα έφτανε αρκετά γρήγορα προς εσάς για να ειδοποιηθείτε εντός 30 δευτερολέπτων, ενώ αν είστε 2000 χλμ μακριά, θα φτάσει και θα προειδοποιηθείτε γύρω στα πέντε λεπτά.

Δυστυχώς, όσο πιο κοντά βρίσκεστε, τόσο λιγότερη προειδοποίηση θα λαμβάνετε και τόσο περισσότερες καταστροφές θα προκαλέσει ο σεισμός (τα κύματα μειώνουν την ισχύ τους καθώς απομακρύνονται από το επίκεντρο και επεκτείνεται).

Για τους πιο επιζήμιους σεισμούς, πιθανότατα δεν θα λάβετε περισσότερο από ένα λεπτό προειδοποίησης.

Η ηλεκτρονική συσκευή οργάνου προειδοποίησης σεισμών που περιγράφουμε εδώ χρησιμοποιεί ένα σχετικά φθηνό αλλά πολύ ευαίσθητο επιταχυνσιόμετρο σε συνδυασμό με μια κανονική πλακέτα Arduino.

Ανάλογα με το πού ζείτε, μπορεί να σας δώσει αρκετή προειδοποίηση για να βρείτε ένα ασφαλές μέρος εάν εντοπίσει επερχόμενο σεισμό ή μετασεισμό.

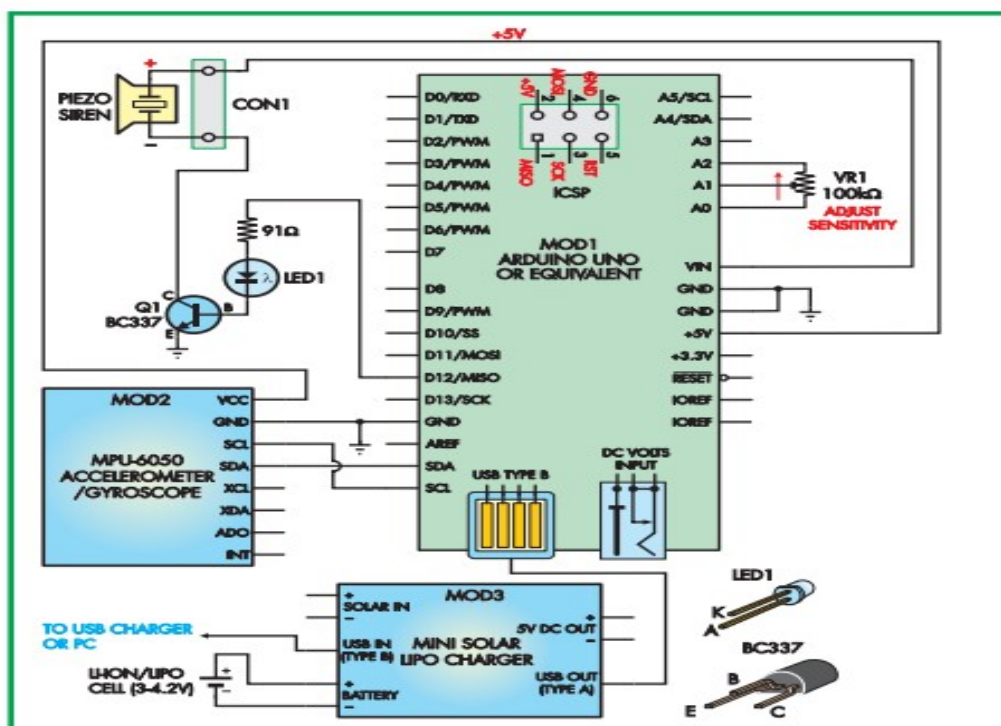
Και μπορεί να είναι χρήσιμο εάν ζείτε κοντά σε ένα ενεργό ηφαίστειο. τα ηφαίστεια μπορούν να δημιουργήσουν κύματα P πριν από την έκρηξη.

Χωρίς υποσχέσεις, φυσικά: αλλά είναι πολύ καλύτερο να έχετε έναν ανιχνευτή που θα μπορούσε να σας προειδοποιήσει από το να μην έχετε ανιχνευτή και να μην έχετε καμία πιθανότητα!

Επιπλέον, είναι φθηνό, εύκολο στην κατασκευή και απαιτεί πολύ λίγη συγκόλληση, μπορείτε να το συναρμολογήσετε σε περίπου μία ώρα, ακόμα κι αν δεν είστε πολύ έμπειροι.

Σκεφτήκαμε να σχεδιάσουμε τη συσκευή γύρω από αναλογικά κυκλώματα, αλλά τα κύματα P μπορούν να προέρχονται από οποιαδήποτε κατεύθυνση και επομένως απαιτείται κάποια αρκετά έντονη επεξεργασία σήματος. Αυτό είναι πολύ πιο εύκολο να γίνει με λογισμικό και δεν απαιτεί προσαρμοσμένο PCB.

### 4.3 Λεπτομέρειες αρχής λειτουργίας κυκλώματος



Σχήμα 4.5: Διάγραμμα κυκλώματος Arduino και οργάνου πρόληψης σεισμών

Τα δύο κύρια εξαρτήματα είναι η πλακέτα Arduino Uno (ή ισοδύναμη) (module 1) και το ψηφιακό επιταχυνσιόμετρο/γυροσκόπιο MPU-6050, module 2.

Το Module 2 (MOD2) χρησιμοποιεί το IC MPU-6050 και επιλέχτηκε αυτό ειδικά επειδή διαθέτει ενσωματωμένο μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό 16-bit (ADC).

Λάβετε υπόψη ότι δεν χρησιμοποιούμε τη λειτουργία roscope gy, μόνο το επιταχυνσιόμετρο.

Στη μέγιστη ευαισθησία, η ένδειξη πλήρους κλίμακας αυτής της συσκευής είναι  $\pm 2$  g σε κάθε έναν από τους τρεις άξονες και το DAC 16-bit δίνει ανάλυση 0,00006 g ( $2 \div 32768$ ).

Αυτό είναι που χρειαζόμαστε για να ανιχνεύσουμε τις πολύ μικρές δονήσεις ενός κύματος P από μια μακρινή πηγή. Τα κύματα P είναι συχνά τόσο αδύναμα που δεν μπορείτε να τα νιώσετε με την αίσθηση της αφής, αλλά αυτή η συσκευή μπορεί ενδεχομένως να ανιχνεύσει τόσο μικρές δονήσεις.

Ένα από τα χρήσιμα πράγματα για το MPU-6050 είναι ότι διαθέτει διαμορφώσιμα ψηφιακά φίλτρα χαμηλοπερατών και υψηλής διέλευσης.

Το φίλτρο χαμηλής διέλευσης μπορεί να διαμορφωθεί με σημείο  $-3$ dB των 5Hz, 10Hz, 21Hz, 44Hz, 94Hz, 184Hz ή 260Hz.

Επιλέχθηκαν τα 5Hz γιατί αυτό ταιριάζει στην εφαρμογή του οργάνου για χρήση σεισμού. Ομοίως, μπορείτε να το διαμορφώσετε για ένα υψηλοπερατό φίλτρο 5Hz, 2,5Hz, 1,25Hz ή 0,625Hz.

Χρησιμοποιήθηκε η τελευταία επιλογή, δίνοντας απόκριση 0,625-5Hz, έτσι παρέχουμε στο κύκλωμα ένα επιπλέον υψηλοπερατό φίλτρο 1Hz στο λογισμικό (το οποίο βοηθά επίσης στην αφαίρεση τυχόν υπολειπόμενης βαρύτητας από τις ενδείξεις, για παράδειγμα, εάν η μονάδα δεν είναι τοποθετημένη τέλεια οριζόντια).

Το Arduino κάνει μερικές δεκάδες μετρήσεις των αριθμών επιτάχυνσης του άξονα X, Y και Z κάθε δευτερόλεπτο και μετά την επεξεργασία τους χρησιμοποιεί έναν τύπο RMS για να υπολογίσει το μέγεθος του προκύπτοντος διανύσματος χαμηλής συχνότητας X/Y. Αυτό πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή ευαισθησίας, ο οποίος ρυθμίζεται χρησιμοποιώντας το trimpot VR1, και εάν υπερβεί ένα αυθαίρετο όριο για περισσότερα από περίπου 200 ms, ενεργοποιείται ο συναγερμός.

Για να ηχήσει ο συναγερμός, η ακίδα εξόδου D12 παλμοποιείται ψηλά και χαμηλά σε περίπου 1 Hz.

Όταν ανάβει η υψηλή, το φωτεινό μπλε LED1 και το τρανζίστορ NPN Q1 είναι ενεργοποιημένο.

Αυτό ενεργοποιεί την πολύ δυνατή πιεζοηλεκτρική σειρήνα (buzzer), η ένταση και ο τόνος της είναι παρόμοια με έναν συναγερμό καπνού.

Εάν ανιχνευθεί κύμα S ή επιφανειακό κύμα (από μια παρόμοια μεγάλη εκδρομή στο μέγεθος του άξονα Z μέτρηση), το LED1 και η πιεζοηλεκτρική σειρήνα ανάβουν επίσης, **αλλά ανάβουν συνεχώς**, αντί να παλμούν.

Αυτό θα πρέπει να σας προειδοποιήσει για το γεγονός ότι αυτή τη στιγμή αντιμετωπίζετε σεισμό, σε περίπτωση που τα άλλα σημάδια (τράνταγμα, πτώση αντικειμένων κλπ) δεν είναι αρκετά εμφανή.

Η μονάδα μπορεί να τροφοδοτηθεί από το δίκτυο ρεύματος, μέσω θύρας USB σε υπολογιστή, από ένα βύσμα DC ή μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το προαιρετικό τροφοδοτικό με υποστήριξη μπαταρίας (εμφανίζεται ως MOD3).

Το MOD3 είναι προαιρετικό και αποτελείται απλώς από μια κυψέλη Li-ion/LiPo σε συνδυασμό με μια μικρή πλακέτα φορτιστή/τροφοδοσίας. Η μπαταρία διατηρείται φορτισμένη από το τροφοδοτικό USB όταν υπάρχει ρεύμα και να τροφοδοτήσει το υπόλοιπο κύκλωμα για μερικές ώρες εάν υπάρχει μπακ άουτ.

Αν και δεν δείξαμε συνδεδεμένο ηλιακό πάνελ, υπάρχει πρόβλεψη για ένα - αυτό θα μπορούσε να καταστήσει το όλο έργο πλήρως αυτοτελές με ηλιακή ενέργεια, εάν θέλετε να το χρησιμοποιήσετε εξ αποστάσεως. Σχεδόν οποιοδήποτε ηλιακό πάνελ 6V-12V θα μπορούσε να τεθεί σε λειτουργία.

Για να γίνει εύκολη την κατασκευή, συνδέθηκε το trimpot VR1 απευθείας στις ακίδες A0, A1 και A2., όπου το A1 χρησιμοποιείται ως είσοδος, ενώ το A0 και το A2 προγραμματίζονται ως ψηφιακές έξοδοι. Έτσι απλά τραβάμε το A2 ψηλά (στα +5V) και το A0 χαμηλά (στα 0V) λίγο πριν μετρήσουμε το A1.

Επομένως, διαβάζουμε τη θέση του trimpot ως ψηφιακή τιμή και τη χρησιμοποιούμε για να προσδιορίσουμε την ευαισθησία. Αυτό υπολογίζεται εκθετικά έτσι ώστε το πλήρες εύρος περιστροφής του VR1 να δίνει περίπου μια αναλογία 100:1 μεταξύ του επιπέδου των κραδασμών που απαιτούνται για την ενεργοποίηση του συναγερμού στα δύο άκρα του.

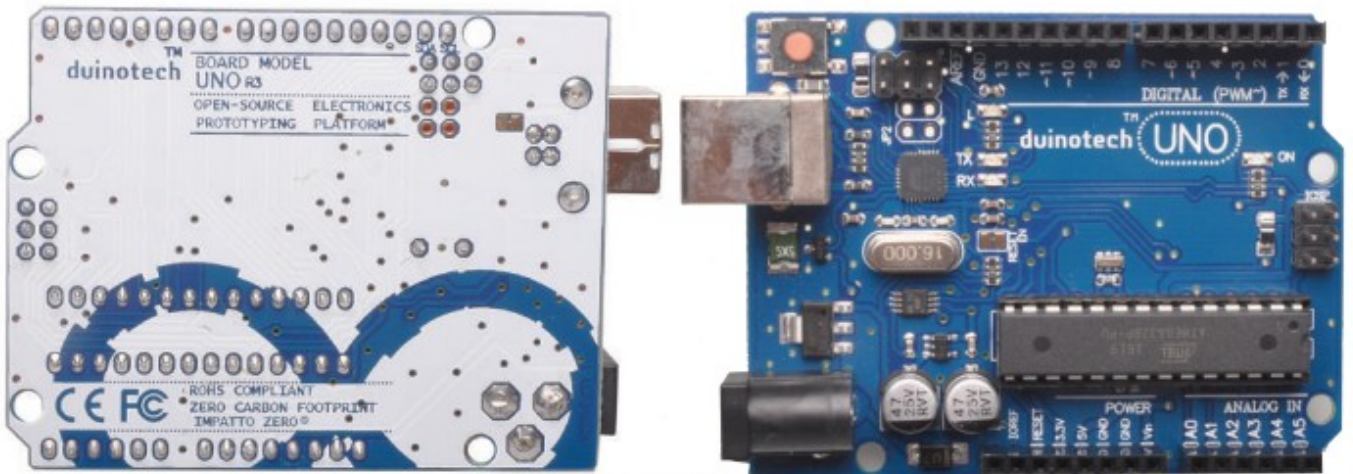
Η ευαισθησία ρυθμίστηκε έτσι ώστε στο μέγιστο, η μονάδα να ενεργοποιεί τον παραμικρό τρέμουλο, ενώ στη ρύθμιση minimum, πιθανότατα θα πρέπει να χτυπήσετε το κύκλωμα με ένα σφυρί για να ενεργοποιηθεί.

Σημειώστε επίσης ότι για εξοικονόμηση ενέργειας και απλοποίηση του κυκλώματος, το προειδοποιητικό LED είναι συνδεδεμένο σε σειρά με την αντίσταση περιορισμού ρεύματος βάσης για το Q1.

Το ρεύμα LED είναι περίπου 11mA  $[(5V-3,3V-0,7V) \div 91\Omega]$ .

Εάν χρησιμοποιηθεί διαφορετικό χρώμα LED, θα κινείται το κύκλωμα του LED με ελαφρώς υψηλότερο ρεύμα, λόγω της χαμηλότερης τάσης προς τα εμπρός (forward voltage), αλλά δεν θα χρειαζόταν να αλλάξει η τιμή της αντίστασης.

Η αντίσταση που χρησιμοποιήθηκε είναι ακριβείας στα 91Ω για την μέγιστη απόδοση του κυκλώματος, ωστόσο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και κάποια γενικής χρήσεως στα 100Ω χωρίς παρενέργειες στο κύκλωμα.



Οι δύο πλευρές της πλακέτας Arduino Uno, φαίνονται εδώ κοντά στο φυσικό μέγεθος (στην περίπτωση αυτή η duinotech UNO από την Jaycar – εκεί είναι αρκετές συμβατές πλακέτες). Η πρωτοπλάκα (κάτω) απλώς συνδέεται στις υποδοχές στις άκρες της πλακέτας (απέναντι).

Σχήμα 4.6: Arduino Uno (Generic)

#### 4.4 Κατασκευαστικό κομμάτι:

Ενώ θα μπορούσε να κατασκευαστεί το όργανο συνδέοντας τα διάφορα εξαρτήματα με καλώδια τύπου <<κροκοδειλάκια>>, χρησιμοποιήσαμε ένα πρωτόκολλο για να δώσουμε ένα πιο καθαρό αποτέλεσμα, όπως μπορείτε να δείτε από τις φωτογραφίες.

Δεν εμφανίζεται καμία επικάλυψη εξαρτημάτων για το πρωτόπλοιο, καθώς εμπλέκονται τόσο λίγα εξαρτήματα - όλες οι λεπτομέρειες της διασύνδεσης φαίνονται ξεκάθαρα στη φωτογραφία.

Με τη συγκόλληση συνδεδεμένων εξαρτημάτων κοντά μεταξύ τους, χρειάζομασταν μόνο πέντε καλώδια, τα οποία μπορείτε να τα δείτε στο επάνω μέρος της πλακέτας (δύο αντιστάσεις 0Ω και τρία μήκη σύρματος σύνδεσης, μπλε, πράσινο και κόκκινο).

Το πρότζεκτ ξεκίνησε κολλώντας headers στην πλακέτα του επιταχυνσιόμετρου MPU-6050 και, στη συνέχεια, στο <<shield>> του πρωτοτύπου pcb.

Θα χρειαστούν τέσσερις συνδέσεις μεταξύ αυτής της μονάδας και των κεφαλίδων ασπίδας: VCC σε +5V, GND σε GND, SDA σε SDA και SCL σε SCL.

Αφού έγινε αυτό, χρησιμοποιήθηκε μια αντίσταση ακριβείας 91Ω από τον πείρο D12 σε μια θέση κοντά στην άκρη της πλακέτας και μετά συνδέθηκε στην άνοδο LED.

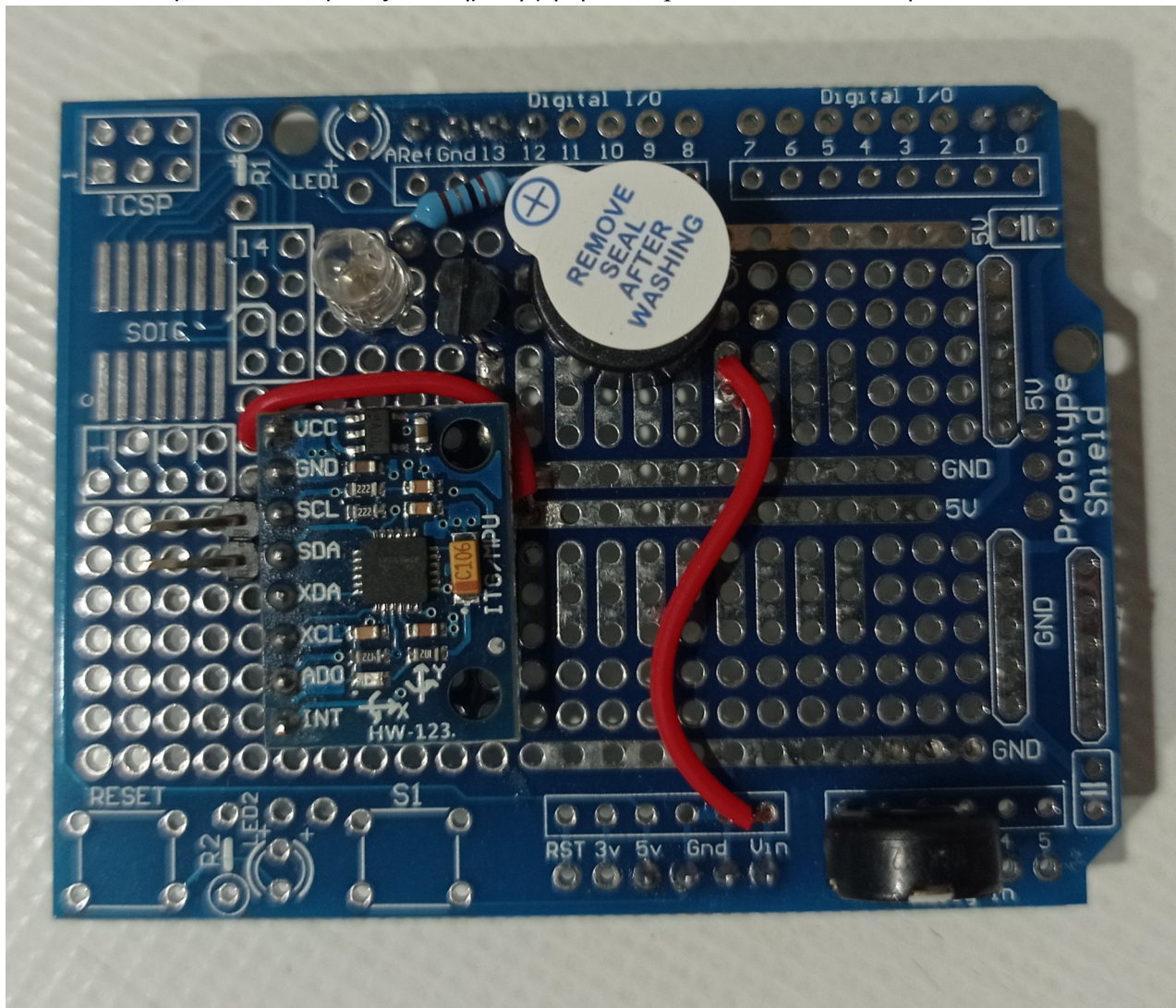
Η κάθοδος του LED συνδέθηκε στη βάση (μεσαία ακίδα) του Q1.

Ο συλλέκτης του Q1 είναι ο δεξιότερος ακροδέκτης όταν κοιτάξετε την επισημασμένη όψη του και είναι συνδεδεμένος σε 5V. Ο βασικός ακροδέκτης του Q1 πηγαίνει στον αρνητικό πείρο της πιεζοηλεκτρικής σειρήνας μέσω του CON1, με τον θετικό ακροδέκτη συνδεδεμένο στο VIN.

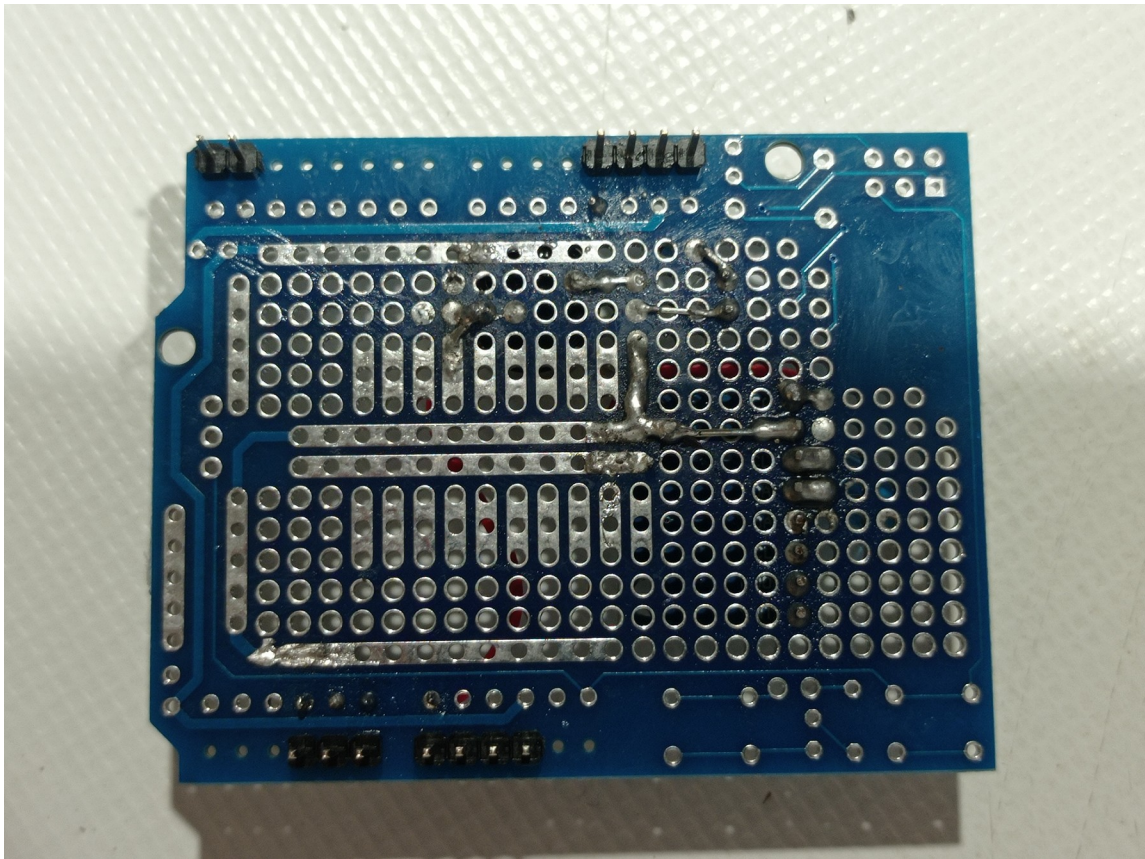
Συνδέσαμε την πιεζοηλεκτρική σειρήνα κατευθείαν στο pcb, αυτό είναι βολικό αλλά για δοκιμή αφού η σειρήνα είναι πολύ δυνατή, κατά την ρύθμιση, μπορεί να απενεργοποιηθεί προσωρινά τοποθετώντας κάτι πάνω από το άνοιγμά της (ένα κομμάτι κολλητική ταινία ή μονωτική ταινία, για παράδειγμα).

Τέλος, κολλήθηκε το τρίτο VR1 στις ακίδες A0, A1 και A2.

Το αποτέλεσμα του κυκλώματος που δημιουργήθηκε στο protoboard είναι το παρακάτω:

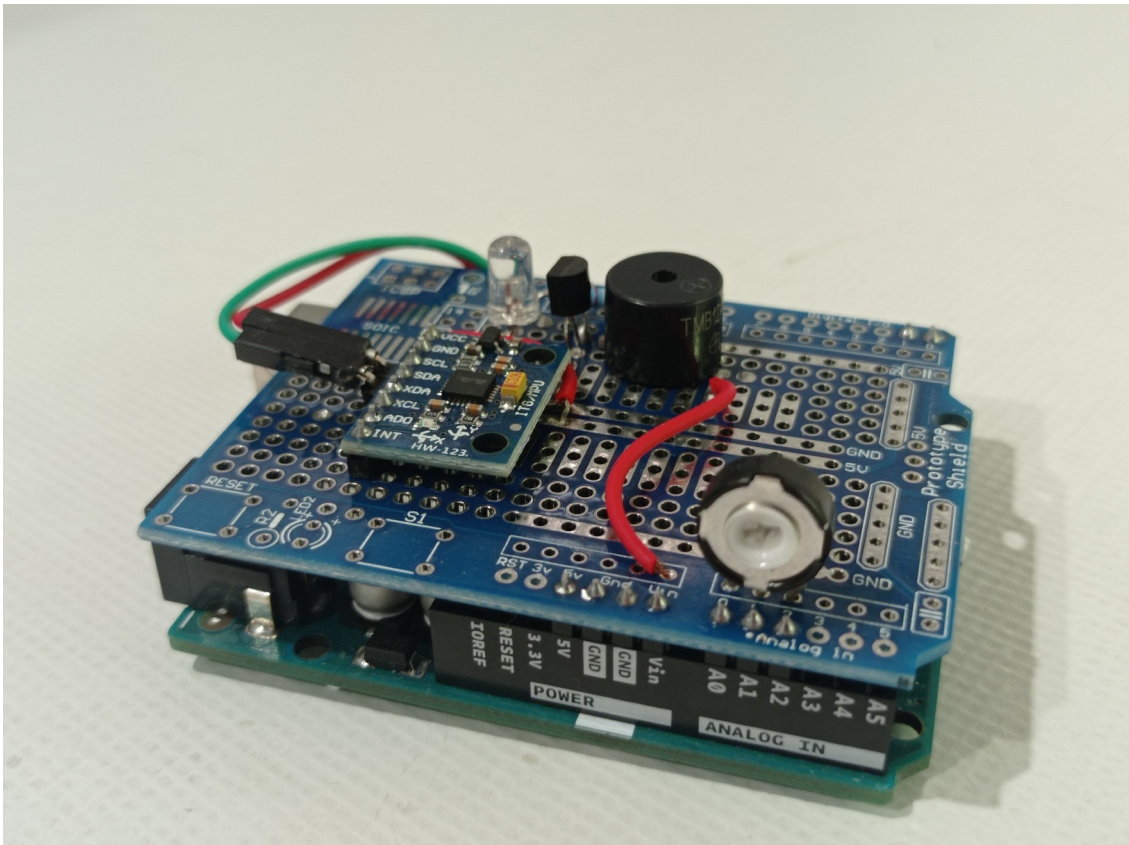


Σχημα 4.7 – Μπροστά όψη.



Σχήμα 4.8: Πίσω όψη

Στο κύκλωμα κολλήθηκαν επίσης αχρησιμοποίητα headers σε στρατηγικά γεωμετρικά σημεία για την στήρηξή του στο Arduino Uno.



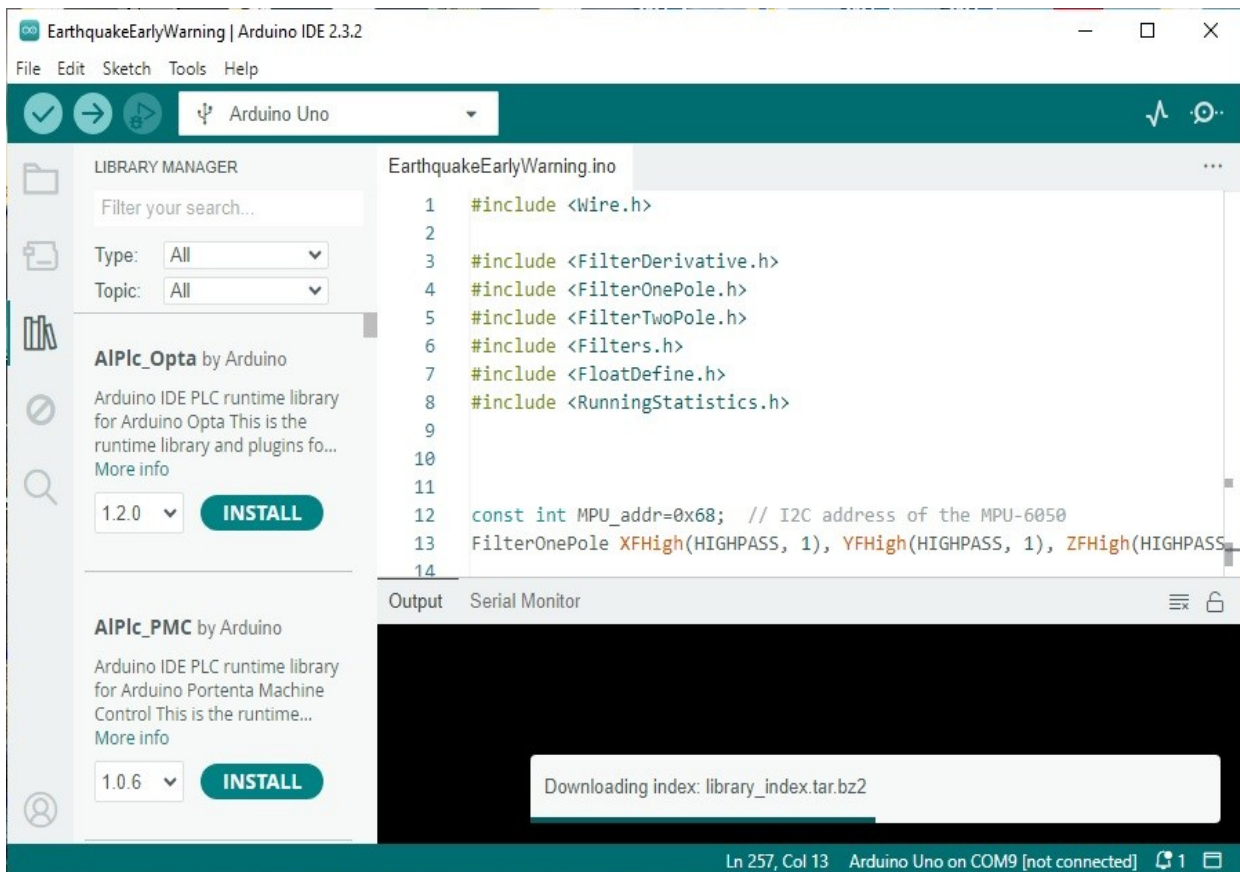
Σχήμα 4.9 – Γενική άποψη κυκλώματος συνδεδεμένο στο Arduino

## 4.5 Προγραμματίζοντας το

Σε αυτό το κομμάτι χρειαζόμαστε να φορτώσουμε το Sketch του Arduino, με το όνομα EarthquakeEarlyWarning.ino, στο πακέτο λογισμικού του έργου από τον ιστότοπο του ΕΡΕ. Θα χρειαστεί επίσης να είναι εγκατεστημένο το Arduino IDE στον υπολογιστή.

Θα το βρούμε στην πιο πρόσφατη έκδοση για Windows, macOS και Linux από τη διεύθυνση: [www.arduino.cc/en/Main/Software](http://www.arduino.cc/en/Main/Software)

Μόλις εγκατασταθεί θα δούμε το παρακάτω παράθυρο όταν ανοίξει:



Σχήμα 4.10: Arduino IDE

Υπάρχει μια επιπλέον βιβλιοθήκη που πρέπει να εγκατασταθεί. Ονομάζεται «Filters» και περιλαμβάνεται ένα αρχείο zip στο πακέτο.

Με την επιλογή του μενού Sketch -> Include Library -> Add .ZIP Library εγκαθιστάμε αυτό το library στον υπολογιστή μας.

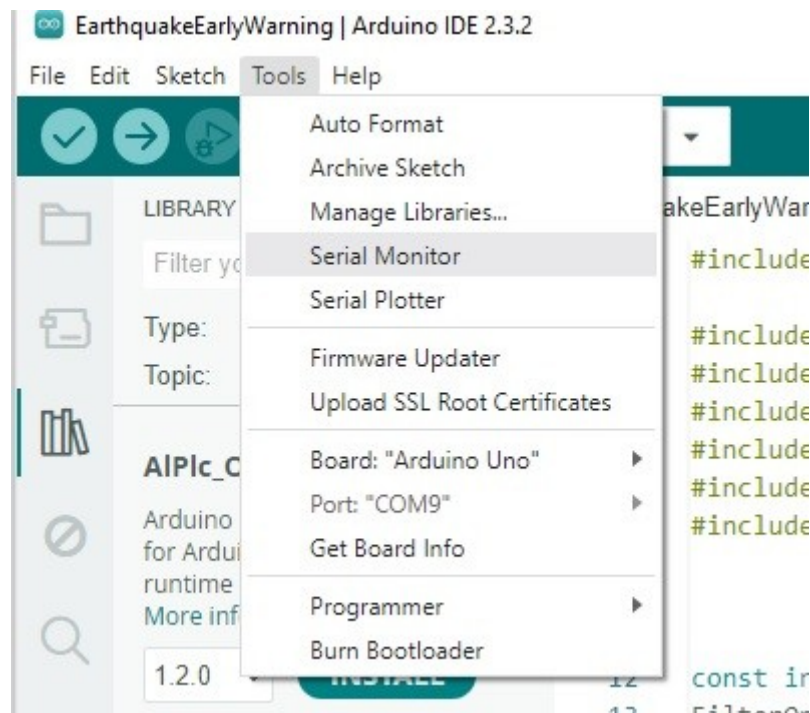
Τώρα συνδέουμε το Arduino στον υπολογιστή χρησιμοποιώντας ένα καλώδιο USB (χωρίς το shield, προς το παρόν) και μετά το επόμενο βήμα βρίσκεται στο μενού Εργαλεία και αφού επιλεγεί η σωστή θύρα.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιούμε την εντολή Sketch -> Upload για να ανεβεί ο κώδικας στη μονάδα Arduino.

Ελέγξτε την έξοδο στο κάτω μέρος της οθόνης για να βεβαιωθείτε ότι έχει γίνει compiled σωστά και έχει μεταφορτωθεί χωρίς σφάλματα.

Τώρα στο Arduino είναι όλα έτοιμα για να συνδεθεί το shield του οργάνου πρόληψης σεισμών.

Στη συνέχεια μπορεί να δοκιμαστεί η λειτουργία του με το serial interface στο Arduino IDE που είναι διαθέσιμο στο μενού Εργαλεία.



Σχήμα 4.11: Arduino IDE Serial Monitor

Πολύ σύντομα θα δώσει μια έξοδο σαν αυτή:

```
|XY| = 0,05, |Z| = 0,11  
|XY| = 0,37, |Z| = 0,05  
|XY| = 0,17, |Z| = 0,04  
|XY| = 0,22, |Z| = 0,29  
|XY| = 0,20, |Z| = 0,08  
|XY| = 0,27, |Z| = 0,20  
|XY| = 0,16, |Z| = 0,21  
|XY| = 0,02, |Z| = 0,25  
|XY| = 0,42, |Z| = 0,04
```

Αυτές είναι οι ενδείξεις από το επιταχυνσιόμετρο.

$|XY|$  είναι η διάσταση μικρότερο μέγεθος του οριζόντιου διανύσματος AC,  $|Z|$  είναι το μέγεθος του AC στοιχείου του κατακόρυφου διανύσματος.

Εάν κουνηθεί μονάδα, θα πρέπει αυτές οι τιμές να αυξάνονται προσωρινά και, στη συνέχεια, να επιστρέφουν στο μηδέν.

Η περιστροφή του VR1 δεξιόστροφα θα πρέπει να προκαλέσει την αύξηση τους και με το VR1 πλήρως δεξιόστροφα, ακόμη και η παραμικρή ώθηση θα πρέπει να κάνει το LED1 να ανάβει και να αναβοσβήνει.

Εφόσον διαπιστώθηκε πως το shield λειτουργεί, το VR1 μηδενίστηκε δεξιόστροφα όσο πιο κοντά στο μηδέν γινόταν, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα ότι το LED1 παραμένει σβηστό όταν η μονάδα κάθεται ανέγγιχτη σε μια σταθερή επιφάνεια.

Σημειώστε ότι η κατάσταση συναγερμού παραμένει για αρκετά δευτερόλεπτα μετά από οποιοδήποτε σοκ, επομένως θα χρειαστεί κάποιες μικρές ρυθμίσεις και να αφηθεί η μονάδα μόνη της για μερικά δευτερόλεπτα ώστε να ρυθμιστεί η ευαισθησία στην σωστή.

## 4.6 Σετάροντας το

Η όλη κατασκευή μπορεί να στερεωθεί κάπου μόνιμα όπως σε ένα κουτί και σε έναν τοίχο, για τις δοκιμές οι οποίες έγιναν το να βρίσκεται σε έναν πάγκο εργασίας ήταν αρκετό.

Για βέλτιστα αποτελέσματα:

- 1) Η οπή εξόδου της πιεζοηλεκτρικής σειρήνας θα πρέπει να ευθυγραμμιστεί με το πεδίο στο οποίο θέλουμε να κατευθύνουμε τον ήχο της.
- 2) Ο προσανατολισμός των ηλεκτρονικών δεν έχει σημασία, εφόσον όταν η συσκευή είναι τοποθετημένη σε τοίχο (η προτιμώμενη θέση), το επιταχυνσιόμετρο PCB είναι οριζόντιο.
- 3) Η συσκευή θα πρέπει να είναι σταθερά στερεωμένη σε έναν συμπαγή τοίχο και εάν έχει ρυθμιστεί σωστά, θα ηχήσει η σειρήνα όταν βιώσει σημαντική οριζόντια κίνηση σε οποιοδήποτε κατεύθυνση.

Δεδομένου ότι ο τοίχος πρέπει να είναι σταθερά στερεωμένος στο έδαφος, αυτό συνήθως συμβαίνει μόνο εάν το έδαφος κινηθεί.

### **ΠΡΟΣΟΧΗ:**

Δεν μπορούμε να αποκλείσουμε τον περιστασιακό ψευδή συναγερμό λόγω βαρέων οχημάτων, τρένων, κοντινών χτυπημάτων σφυριού ή παρόμοιων, αλλά μπορεί να ρυθμιστεί το VR1 αριστερόστροφα ελαφρώς εάν παράγονται ψευδείς συναγερμοί, μειώνοντας την ευαισθησία του μέχρι να σταματήσουν.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Υλικά κατασκευής

### Όνομα υλικού:

### Τιμή:

1X - Arduino Uno or ή συμβατό (MOD1)	22 ευρώ
1X - MPU-6050 based accelerometer (MOD2; Altronics Z6324)	3.5 Ευρώ
1X - 1-13V πιεζοηλεκτρική σειρήνα	0.90 Ευρώ
1X - Arduino prototyping shield PCB and header set	2.70 Ευρώ
1X - Υψηλής φωτεινότητας 5mm LED (LED1)	0.15 Ευρώ
1X - BC337 NPN transistor (Q1)	0.27 Ευρώ
1X - 100kΩ μίνι οριζόντιο trimpot (VR1)	0.19 Ευρώ
1X - 91Ω 0.25W αντίσταση ακριβείας	0.10 Ευρώ
1X - 2-pin polarised header και ένα ανάλογο βύσμα (CON1)	1.22 Ευρώ
1X - Φορτιστής USB ή ανάλογο τροφοδοτικό	7.00 Ευρώ

Σύνολο: 38.00 Ευρώ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΚΩΔΙΚΑΣ

Των Allan Linton-Smith και Nicholas Vinen.

-----Διαχωριστική γραμμή, δεν περιλαμβάνεται-----

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <FilterDerivative.h>
```

```
#include <FilterOnePole.h>
```

```
#include <FilterTwoPole.h>
```

```
#include <Filters.h>
```

```
#include <FloatDefine.h>
```

```
#include <RunningStatistics.h>
```

```
const int MPU_addr=0x68; // I2C address of the MPU-6050
```

```
FilterOnePole XFHigh(HIGHPASS, 1), YFHigh(HIGHPASS, 1), ZFHigh(HIGHPASS, 1);
```

```
#define MPU6050_AUX_VDDIO      0x01 // R/W
```

```
#define MPU6050_SMPLRT_DIV     0x19 // R/W
```

```
#define MPU6050_CONFIG         0x1A // R/W
```

```
#define MPU6050_GYRO_CONFIG    0x1B // R/W
```

```
#define MPU6050_ACCEL_CONFIG   0x1C // R/W
```

```
#define MPU6050_FF_THR         0x1D // R/W
```

```
#define MPU6050_FF_DUR         0x1E // R/W
```

```
#define MPU6050_MOT_THR        0x1F // R/W
```

```
#define MPU6050_MOT_DUR        0x20 // R/W
```

```
#define MPU6050_ZRMOT_THR      0x21 // R/W
```

```
#define MPU6050_ZRMOT_DUR      0x22 // R/W
```

```
#define MPU6050_FIFO_EN        0x23 // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_MST_CTRL    0x24 // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV0_ADDR  0x25 // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV0_REG    0x26 // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV0_CTRL  0x27 // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV1_ADDR  0x28 // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV1_REG    0x29 // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV1_CTRL  0x2A // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV2_ADDR  0x2B // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV2_REG    0x2C // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV2_CTRL  0x2D // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV3_ADDR  0x2E // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV3_REG    0x2F // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV3_CTRL  0x30 // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV4_ADDR  0x31 // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV4_REG    0x32 // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV4_DO     0x33 // R/W
```

```
#define MPU6050_I2C_SLV4_CTRL  0x34 // R/W
```

```

#define MPU6050_I2C_SLV4_DI    0x35 // R
#define MPU6050_I2C_MST_STATUS 0x36 // R
#define MPU6050_INT_PIN_CFG    0x37 // R/W
#define MPU6050_INT_ENABLE     0x38 // R/W
#define MPU6050_INT_STATUS     0x3A // R
#define MPU6050_ACCEL_XOUT_H    0x3B // R
#define MPU6050_ACCEL_XOUT_L    0x3C // R
#define MPU6050_ACCEL_YOUT_H    0x3D // R
#define MPU6050_ACCEL_YOUT_L    0x3E // R
#define MPU6050_ACCEL_ZOUT_H    0x3F // R
#define MPU6050_ACCEL_ZOUT_L    0x40 // R
#define MPU6050_TEMP_OUT_H      0x41 // R
#define MPU6050_TEMP_OUT_L      0x42 // R
#define MPU6050_GYRO_XOUT_H     0x43 // R
#define MPU6050_GYRO_XOUT_L     0x44 // R
#define MPU6050_GYRO_YOUT_H     0x45 // R
#define MPU6050_GYRO_YOUT_L     0x46 // R
#define MPU6050_GYRO_ZOUT_H     0x47 // R
#define MPU6050_GYRO_ZOUT_L     0x48 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_00 0x49 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_01 0x4A // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_02 0x4B // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_03 0x4C // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_04 0x4D // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_05 0x4E // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_06 0x4F // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_07 0x50 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_08 0x51 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_09 0x52 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_10 0x53 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_11 0x54 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_12 0x55 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_13 0x56 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_14 0x57 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_15 0x58 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_16 0x59 // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_17 0x5A // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_18 0x5B // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_19 0x5C // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_20 0x5D // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_21 0x5E // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_22 0x5F // R
#define MPU6050_EXT_SENS_DATA_23 0x60 // R
#define MPU6050_MOT_DETECT_STATUS 0x61 // R
#define MPU6050_I2C_SLV0_DO     0x63 // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV1_DO     0x64 // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV2_DO     0x65 // R/W
#define MPU6050_I2C_SLV3_DO     0x66 // R/W
#define MPU6050_I2C_MST_DELAY_CTRL 0x67 // R/W
#define MPU6050_SIGNAL_PATH_RESET 0x68 // R/W

```

```

#define MPU6050_MOT_DETECT_CTRL 0x69 // R/W
#define MPU6050_USER_CTRL      0x6A // R/W
#define MPU6050_PWR_MGMT_1     0x6B // R/W
#define MPU6050_PWR_MGMT_2     0x6C // R/W
#define MPU6050_FIFO_COUNTH    0x72 // R/W
#define MPU6050_FIFO_COUNTL    0x73 // R/W
#define MPU6050_FIFO_R_W      0x74 // R/W
#define MPU6050_WHO_AM_I       0x75 // R

#define MPU6050_D0 0
#define MPU6050_D1 1
#define MPU6050_D2 2
#define MPU6050_D3 3
#define MPU6050_D4 4
#define MPU6050_D5 5
#define MPU6050_D6 6
#define MPU6050_D7 7

#define MPU6050_DLPF_CFG0 MPU6050_D0
#define MPU6050_DLPF_CFG1 MPU6050_D1
#define MPU6050_DLPF_CFG2 MPU6050_D2
#define MPU6050_EXT_SYNC_SET0 MPU6050_D3
#define MPU6050_EXT_SYNC_SET1 MPU6050_D4
#define MPU6050_EXT_SYNC_SET2 MPU6050_D5

#define MPU6050_EXT_SYNC_SET_0 (0)
#define MPU6050_EXT_SYNC_SET_1 (bit(MPU6050_EXT_SYNC_SET0))
#define MPU6050_EXT_SYNC_SET_2 (bit(MPU6050_EXT_SYNC_SET1))
#define MPU6050_EXT_SYNC_SET_3 (bit(MPU6050_EXT_SYNC_SET1)|
bit(MPU6050_EXT_SYNC_SET0))
#define MPU6050_EXT_SYNC_SET_4 (bit(MPU6050_EXT_SYNC_SET2))
#define MPU6050_EXT_SYNC_SET_5 (bit(MPU6050_EXT_SYNC_SET2)|
bit(MPU6050_EXT_SYNC_SET0))
#define MPU6050_EXT_SYNC_SET_6 (bit(MPU6050_EXT_SYNC_SET2)|
bit(MPU6050_EXT_SYNC_SET1))
#define MPU6050_EXT_SYNC_SET_7 (bit(MPU6050_EXT_SYNC_SET2)|
bit(MPU6050_EXT_SYNC_SET1)|bit(MPU6050_EXT_SYNC_SET0))

#define MPU6050_EXT_SYNC_DISABLED MPU6050_EXT_SYNC_SET_0
#define MPU6050_EXT_SYNC_TEMP_OUT_L MPU6050_EXT_SYNC_SET_1
#define MPU6050_EXT_SYNC_GYRO_XOUT_L MPU6050_EXT_SYNC_SET_2
#define MPU6050_EXT_SYNC_GYRO_YOUT_L MPU6050_EXT_SYNC_SET_3
#define MPU6050_EXT_SYNC_GYRO_ZOUT_L MPU6050_EXT_SYNC_SET_4
#define MPU6050_EXT_SYNC_ACCEL_XOUT_L MPU6050_EXT_SYNC_SET_5
#define MPU6050_EXT_SYNC_ACCEL_YOUT_L MPU6050_EXT_SYNC_SET_6
#define MPU6050_EXT_SYNC_ACCEL_ZOUT_L MPU6050_EXT_SYNC_SET_7

#define MPU6050_DLPF_CFG_0 (0)
#define MPU6050_DLPF_CFG_1 (bit(MPU6050_DLPF_CFG0))
#define MPU6050_DLPF_CFG_2 (bit(MPU6050_DLPF_CFG1))

```

```

#define MPU6050_DLPF_CFG_3 (bit(MPU6050_DLPF_CFG1)|bit(MPU6050_DLPF_CFG0))
#define MPU6050_DLPF_CFG_4 (bit(MPU6050_DLPF_CFG2))
#define MPU6050_DLPF_CFG_5 (bit(MPU6050_DLPF_CFG2)|bit(MPU6050_DLPF_CFG0))
#define MPU6050_DLPF_CFG_6 (bit(MPU6050_DLPF_CFG2)|bit(MPU6050_DLPF_CFG1))
#define MPU6050_DLPF_CFG_7 (bit(MPU6050_DLPF_CFG2)|bit(MPU6050_DLPF_CFG1)|
bit(MPU6050_DLPF_CFG0))

#define MPU6050_DLPF_260HZ MPU6050_DLPF_CFG_0
#define MPU6050_DLPF_184HZ MPU6050_DLPF_CFG_1
#define MPU6050_DLPF_94HZ MPU6050_DLPF_CFG_2
#define MPU6050_DLPF_44HZ MPU6050_DLPF_CFG_3
#define MPU6050_DLPF_21HZ MPU6050_DLPF_CFG_4
#define MPU6050_DLPF_10HZ MPU6050_DLPF_CFG_5
#define MPU6050_DLPF_5HZ MPU6050_DLPF_CFG_6
#define MPU6050_DLPF_RESERVED MPU6050_DLPF_CFG_7

#define MPU6050_ACCEL_HPF0 MPU6050_D0
#define MPU6050_ACCEL_HPF1 MPU6050_D1
#define MPU6050_ACCEL_HPF2 MPU6050_D2
#define MPU6050_AFS_SEL0 MPU6050_D3
#define MPU6050_AFS_SEL1 MPU6050_D4
#define MPU6050_ZA_ST MPU6050_D5
#define MPU6050_YA_ST MPU6050_D6
#define MPU6050_XA_ST MPU6050_D7

#define MPU6050_ACCEL_HPF_0 (0)
#define MPU6050_ACCEL_HPF_1 (bit(MPU6050_ACCEL_HPF0))
#define MPU6050_ACCEL_HPF_2 (bit(MPU6050_ACCEL_HPF1))
#define MPU6050_ACCEL_HPF_3 (bit(MPU6050_ACCEL_HPF1)|bit(MPU6050_ACCEL_HPF0))
#define MPU6050_ACCEL_HPF_4 (bit(MPU6050_ACCEL_HPF2))
#define MPU6050_ACCEL_HPF_7 (bit(MPU6050_ACCEL_HPF2)|bit(MPU6050_ACCEL_HPF1)|
bit(MPU6050_ACCEL_HPF0))

#define MPU6050_ACCEL_HPF_RESET MPU6050_ACCEL_HPF_0
#define MPU6050_ACCEL_HPF_5HZ MPU6050_ACCEL_HPF_1
#define MPU6050_ACCEL_HPF_2_5HZ MPU6050_ACCEL_HPF_2
#define MPU6050_ACCEL_HPF_1_25HZ MPU6050_ACCEL_HPF_3
#define MPU6050_ACCEL_HPF_0_63HZ MPU6050_ACCEL_HPF_4
#define MPU6050_ACCEL_HPF_HOLD MPU6050_ACCEL_HPF_7

#define MPU6050_AFS_SEL_0 (0)
#define MPU6050_AFS_SEL_1 (bit(MPU6050_AFS_SEL0))
#define MPU6050_AFS_SEL_2 (bit(MPU6050_AFS_SEL1))
#define MPU6050_AFS_SEL_3 (bit(MPU6050_AFS_SEL1)|bit(MPU6050_AFS_SEL0))

#define MPU6050_AFS_SEL_2G MPU6050_AFS_SEL_0
#define MPU6050_AFS_SEL_4G MPU6050_AFS_SEL_1
#define MPU6050_AFS_SEL_8G MPU6050_AFS_SEL_2
#define MPU6050_AFS_SEL_16G MPU6050_AFS_SEL_3

```

```

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(115200);
  pinMode(12, OUTPUT);
  digitalWrite(12, LOW);
  pinMode(A0, OUTPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A2, OUTPUT);
  digitalWrite(A0, LOW);
  digitalWrite(A2, LOW);

  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(MPU_addr);
  Wire.write(MPU6050_CONFIG);
  Wire.write(MPU6050_DLPF_5HZ|MPU6050_EXT_SYNC_DISABLED);
  Wire.write(MPU6050_ACCEL_CONFIG);
  Wire.write(MPU6050_ACCEL_HPF_0_63HZ|MPU6050_AFS_SEL_2G);
  Wire.write(MPU6050_PWR_MGMT_1); // PWR_MGMT_1 register
  Wire.write(0); // set to zero (wakes up the MPU-6050)
  Wire.endTransmission(true);
}

int Pwave_alarm_time, Pwave_alarm_going, Swave_alarm_time, Swave_alarm_going, alarm_counter,
alarm_delay = 10;

void loop() {
  int16_t AcX,AcY,AcZ;
  unsigned short trimpot_val;
  float xy_vector_mag, z_vector_mag, scale_factor;

  // put your main code here, to run repeatedly:
  digitalWrite(A2, HIGH);
  trimpot_val = analogRead(A1);
  digitalWrite(A2, LOW);

  Wire.beginTransmission(MPU_addr);
  Wire.write(0x3B); // starting with register 0x3B (ACCEL_XOUT_H)
  Wire.endTransmission(false);
  Wire.requestFrom(MPU_addr,14,true); // request a total of 14 registers
  AcX=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3B (ACCEL_XOUT_H) & 0x3C (ACCEL_XOUT_L)
  AcY=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3D (ACCEL_YOUT_H) & 0x3E (ACCEL_YOUT_L)
  AcZ=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3F (ACCEL_ZOUT_H) & 0x40 (ACCEL_ZOUT_L)
  // Tmp=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x41 (TEMP_OUT_H) & 0x42 (TEMP_OUT_L)
  // GyX=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x43 (GYRO_XOUT_H) & 0x44 (GYRO_XOUT_L)
  // GyY=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x45 (GYRO_YOUT_H) & 0x46 (GYRO_YOUT_L)
  // GyZ=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x47 (GYRO_ZOUT_H) & 0x48 (GYRO_ZOUT_L)
  XFHigh.input(AcX / 16384.0);
  YFHigh.input(AcY / 16384.0);
  ZFHigh.input(AcZ / 16384.0 - 1.0);
  scale_factor = pow(2, trimpot_val / 100.0);
}

```

```

xy_vector_mag = sqrt(XFHigh.output() * XFHigh.output() + YFHigh.output() * YFHigh.output()) *
scale_factor;
z_vector_mag = abs(ZFHigh.output() * scale_factor);
Serial.print("|XY| = "); Serial.print(xy_vector_mag); Serial.print(", |Z| = ");
Serial.println(z_vector_mag);

if( alarm_delay ) {
  --alarm_delay;
} else {
  if( xy_vector_mag >= 1 )
    ++Pwave_alarm_time;
  else if( Pwave_alarm_time > 0 )
    --Pwave_alarm_time;
  if( z_vector_mag >= 1 )
    ++Swave_alarm_time;
  else if( Swave_alarm_time > 0 )
    --Swave_alarm_time;
}

if( Pwave_alarm_time > 5 ) {
  if( !Pwave_alarm_going )
    alarm_counter = 0;
  Pwave_alarm_going = 80;
} else if( Swave_alarm_time > 5 ) {
  Swave_alarm_going = 80;
}

if( Pwave_alarm_going || Swave_alarm_going ) {
  digitalWrite(12, alarm_counter < 10 || Swave_alarm_going ? HIGH : LOW);
  if( ++alarm_counter == 20 )
    alarm_counter = 0;
  if( Pwave_alarm_going )
    Pwave_alarm_going--;
  if( Swave_alarm_going )
    Swave_alarm_going--;
} else {
  digitalWrite(12, LOW);
}
delay(40);
}

```

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Internet Site:

Τι είναι ο σεισμός;

- [1] "Plate Tectonics" - U.S. Geological Survey  
<https://www.usgs.gov/media/images/plate-tectonics>  
[2] Earthquake – Wikipedia  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Earthquake>

Αιτίες σεισμών:

- [3] Seismic waves and earthquake magnitude - IRIS  
[https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/seismic\\_waves\\_and\\_earthquake\\_magnitude](https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/seismic_waves_and_earthquake_magnitude)

Μονάδες μέτρησης σεισμών:

- [4] <https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/magnitude-energy-release>  
[5] <https://www.fema.gov/media-library/assets/videos/178544>  
[6] <https://www.ready.gov/earthquakes>  
[7] <https://www.fema.gov/how-mitigate-earthquake-damage>  
[8] <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/plate-tectonics/>

Ιστορία των σεισμών στην ανθρωπότητα:

- [9] <https://www.history.com/topics/natural-disasters/history-of-earthquakes>  
[10] <https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/earthquake-research-and-analysis>  
[11] <https://earthquake.usgs.gov/learn/topics/faults.php>  
[12] <https://www.britannica.com/science/foreshock>  
[13] <https://www.tsunami.noaa.gov/>  
[14] <https://www.popularmechanics.com/science/a29236497/how-earthquake-resistant-buildings-work/>  
[15] <https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/earthquake-early-warning-systems>

-----  
Διάσημα ρήγματα:

- [16] <https://earthquake.usgs.gov/learn/topics/earthquake-faults.php>  
[17] <https://geologyscience.com/natural-hazards/earthquakes/10-biggest-earthquake-faults/>

-----  
Ιστορία σεισμών στην ανθρωπότητα:

- [18] Antioch, 526 AD  
[https://en.wikipedia.org/wiki/526\\_Antioch\\_earthquake](https://en.wikipedia.org/wiki/526_Antioch_earthquake)
- [19] 1755 Lisbon Earthquake  
<https://www.britannica.com/event/1755-Lisbon-earthquake>
- [20] Lisbon earthquake and tsunami of 1755  
<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/events/1755lisbon/>
- [21] Haiti earthquake of 2010  
<https://www.britannica.com/event/Haiti-earthquake-of-2010>
- [22] Haiti earthquake fast facts  
<https://www.cnn.com/2013/12/12/world/haiti-earthquake-fast-facts/index.html>
- [23] Pompeii and Herculaneum, 79 AD:  
<https://whc.unesco.org/en/list/829>
- [24] Shaanxi (Σανζί) earthquake 1556:  
<https://www.britannica.com/event/1556-Shaanxi-earthquake>
- [25] San Francisco earthquake 1906:  
<https://www.history.com/topics/early-20th-century/san-francisco-earthquake>
- [26] M 7.9 April 18, 1906 San Francisco Earthquake  
<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/events/1906calif/>
- [27] Izmir earthquake 1999:  
<https://www.britannica.com/event/1999-Izmit-earthquake>

Ηφαιστιακή σεισμική δραστηριότητα

- [28] <https://www.usgs.gov/natural-hazards/volcano-hazards/volcanic-earthquakes>

Η πληροφορία για τα θύματα των σεισμών αντλήθηκε μετά από έρευνα στα άρθρα των:

- [29] <https://earthquake.usgs.gov/>  
 [30] <https://www.iris.edu/>  
 [31] <https://www.emsc-csem.org/>  
 [32] <https://www.iris.edu/hq/gsn/>

Πηγές οικονομικού κόστους:

- [33] <https://www.livescience.com/39110-japan-2011-earthquake-tsunami-facts.html>
- [34] <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2012/01/10/haiti-earthquake-facts>
- [35] <https://www.bbc.com/news/world-asia-china-18061689>
- [36] <https://www.iii.org/fact-statistic/facts-statistics-earthquakes-and-tsunamis>
- [37] [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305750X23001018#:~:text=In%20addition%2C%20people%20exposed%20to,et%20al.%2C%202002\).](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305750X23001018#:~:text=In%20addition%2C%20people%20exposed%20to,et%20al.%2C%202002).)
- [38] Lessons from Christchurch 2011  
[https://www.swissre.com/dam/jcr:57469cc6-0a23-4100-8fe4-00663af35ad0/lessons\\_from\\_christchurch\\_web.pdf](https://www.swissre.com/dam/jcr:57469cc6-0a23-4100-8fe4-00663af35ad0/lessons_from_christchurch_web.pdf)
- [39] The 1985 Mexico City Earthquake  
<https://adst.org/2014/09/the-1985-mexico-city-earthquake/>
- [40] Sichuan Earthquake 2008  
[https://www.cgdev.org/sites/default/files/Sichuan%20earthquake%20-%20Social%20capital\\_1.pdf](https://www.cgdev.org/sites/default/files/Sichuan%20earthquake%20-%20Social%20capital_1.pdf)
- [41] Economic Lessons of the Kobe Earthquake 1995  
<https://www.jstor.org/stable/10.1086/452609>

[42] Earthquakes and economic growth

<https://www.fiw.ac.at/en/publications/earthquakes-and-economic-growth/#:~:text=A%20typical%20earthquake%20reduces%20GDP,%E2%80%9Cbuilding%20back%20better%E2%80%9D%20effects.>

Σεισμοί στην αρχαιότητα

[43] <https://www.worldhistory.org/timeline/earthquake/>

[44] <https://www.ancient-origins.net/history-important-events/ancient-cataclysms-0011918>

[45] <https://etc.worldhistory.org/education/the-115-ad-earthquake-in-antioch/>

Ηφαιστιακή σεισμική δραστηριότητα:

[46] Volcanic Seismicity

<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/volcanic-earthquake#:~:text=Volcanic%20earthquakes%2C%20discovered%20by%20L,of%20magma%2C%20and%20so%20on.>

[47] Volcano tectonic earthquake – Wikipedia

[https://en.wikipedia.org/wiki/Volcano\\_tectonic\\_earthquake](https://en.wikipedia.org/wiki/Volcano_tectonic_earthquake)

Θνησιμότητα λόγω σεισμών κάθε χρόνο:

[48] Why Do People Die in Earthquakes?

<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/4042/WPS4823.pdf>

Σεισμοί στην αρχαιότητα, τεχνολογία και εξήγηση των κοινωνιών του τότε:

[49] Flood and Earthquake as Punishment of Gods in Antiquity

<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2874585#:~:text=In%20Greek%20society%2C%20similar%20to,and%20wanted%20to%20destroy%20humanity.>

Σεισμοσκόπιο ζανγκ χενγκ:

[50] [https://en.wikipedia.org/wiki/Zhang\\_Heng](https://en.wikipedia.org/wiki/Zhang_Heng)

[51] <https://seismoscope.allshookup.org/>

[52] <https://www.britannica.com/biography/Zhang-Heng>

[53] <https://www.britannica.com/science/seismograph>

Ιαπωνικό σύστημα πρόληψης σεισμών - Japan EEW system:

[54] <https://www.theguardian.com/world/2018/jun/29/japan-earthquake-warning-systems>

[55] <https://www.japantimes.co.jp/news/2016/04/14/national/japans-early-warning-system-gives-people-vital-seconds-prepare-earthquakes/>

[56]

[https://www.jma.go.jp/bosai/map.html#5/34.5/137/&elem=int&contents=earthquake\\_map&lang=en](https://www.jma.go.jp/bosai/map.html#5/34.5/137/&elem=int&contents=earthquake_map&lang=en)

Wikipedia "Earthquake Early Warning"

[57] [https://en.wikipedia.org/wiki/Earthquake\\_Early\\_Warning\\_\(Japan\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Earthquake_Early_Warning_(Japan))

Τι είναι το arduino:

[58] <https://www.arduino.cc/>

[59] <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>

Κατασκευή όργανου προειδοποίησης σεισμών:

Των Allan Linton-Smith και Nicholas Vinen για το Arduino.

Όπως παραδόθηκε από τον καθηγητή.