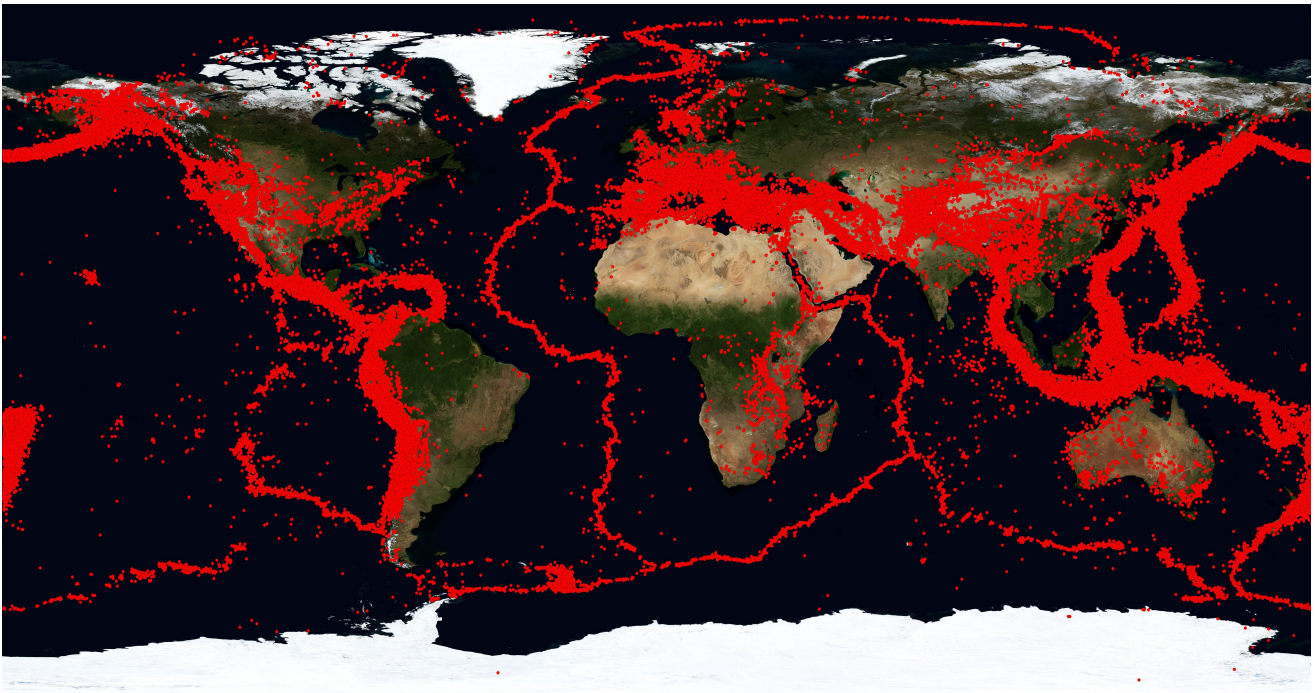


ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΕΙΣΜΟΣ & ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ



ΡΕΝΑ Γ. ΣΤΕΦΑΝΙΔΟΥ
ΣΟΦΙΑ Δ. ΤΣΑΒΔΑΡΙΔΟΥ

ΕΠΟΠΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
κ. ΚΟΝΙΤΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

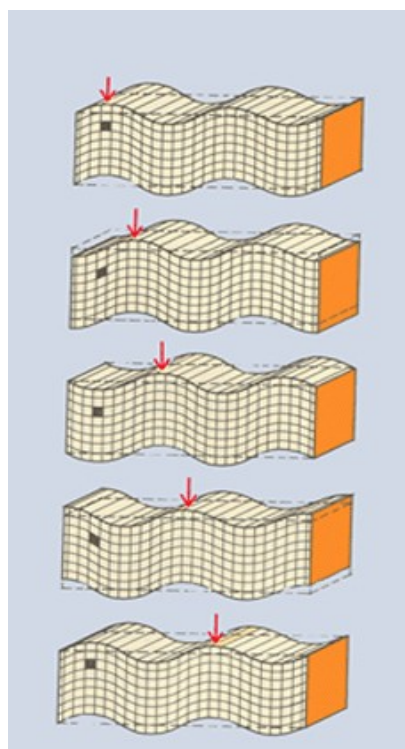
ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΓΛΩΣΣΑΡΙ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10	8
1.1 ΓΕΝΕΣΗ & ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ.....	8
1.2 ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ.....	10
1.3 ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ.....	14
1.4 ΜΕΓΕΘΟΣ & ΕΝΤΑΣΗ ΣΕΙΣΜΟΥ.....	18
1.5 ΠΟΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΝΕΤΑΙ ΣΕ ΕΝΑ ΣΕΙΣΜΟ.....	24
1.6 ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ.....	25
1.7 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 20	31
2.1 ΣΕΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΕΛΛΑΔΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ.....	31
2.2 ΟΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΤΡΙΑΚΟΝΤΑΕΤΙΑ.....	36
2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΡΟΣΦΑΤΩΝ ΙΣΧΥΡΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ.....	43
ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.....	44
ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 30	53
3.1 ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ.....	53
3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ.....	54
3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΝΕΡΟ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣ.....	60
3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ.....	61
3.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.....	68
3.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΟΥΣ ΑΝΘΡΩΠΟΥΣ ΚΑΙ ΤΑ ΖΩΑ.....	76
3.7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 40	78
4.1 ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ.....	78
4.2 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΖΗΜΙΩΝ.....	80
4.3 ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΥΛΙΚΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΖΗΜΙΩΝ.....	90
4.4 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΓΕΦΥΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΣΗΜΕΡΑ.....	102
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	105

Ασθενόσφαιρα (Asthenosphere). Είναι το στρώμα που βρίσκεται κάτω από την άκαμπτη λιθόσφαιρα και έχει πάχος περίπου 300Km. Χαρακτηρίζεται από χαμηλές ταχύτητες σεισμικών κυμάτων και από σημαντική απόσβεση. Θεωρείται ότι βρίσκεται σε κατάσταση μερικής τήξης.

Αντισεισμικός Κανονισμός (Earthquake Resistant Code). Το σύνολο των νόμων που δίνουν οδηγίες και καθορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των τεχνικών κατασκευών.

Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδος (Geotectonic zones of Greece). Άτυπος όρος, που χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό του Ελληνικού χώρου σε ζώνες κάθε μια από τις οποίες χαρακτηρίζεται από πετρώματα και σχηματισμούς με όμοια ηλικιακά, λιθοστρωματογραφικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά.

Εγκάρσια κύματα ή κύματα S (secondary waves). Φθάνουν δεύτερα στους σεισμολογικούς σταθμούς γιατί η ταχύτητα διάδοσης είναι μικρότερη από την αντίστοιχη ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων. Κατά την διάδοσή τους τα υλικά σημεία του πετρώματος ταλαντώνονται κάθετα προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος προκαλώντας μεταβολή στο σχήμα του πετρώματος.

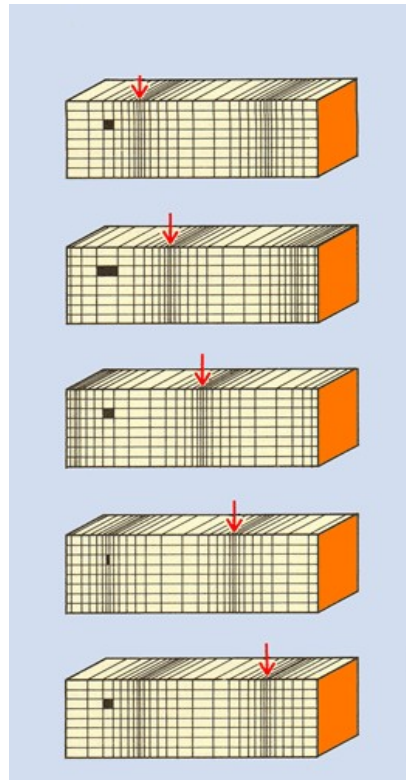


εγκάρσια κύματα

Ένταση (intensity). Η αποτίμηση των συνεπειών του σεισμού πάνω σε μια δωδεκαβάθμια κλίμακα (π.χ. Mercalli-Sieberg).

Επικεντρική απόσταση (Epicentral Distance). Η απόσταση μεταξύ μικροσεισμικού επικέντρου και σταθμού παρατήρησης (σεισμογράφου).

Επιμήκη κύματα ή κύματα P (primary waves). Τα κύματα που αναγράφονται πρώτα από τα σεισμόμετρα. Κατά την διάδοσή τους, τα υλικά σημεία των πετρωμάτων ταλαντώνονται κατά διεύθυνση παράλληλη προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος δημιουργώντας διαδοχικά πυκνώματα και αραιώματα.



επιμήκη κύματα

Επιφανειακά κύματα (surface waves). Τα κύματα που δεν διαδίδονται προς όλες τις διευθύνσεις αλλά ακολουθούν ορισμένα στρώματα του επιφανειακού τμήματος της γης. Διακρίνονται σε κύματα Rayleigh και κύματα Love. Τα επιφανειακά κύματα έχουν μικρότερες ταχύτητες από τα κύματα χώρου για αυτό και καταγράφονται μετά από αυτά από τα σεισμόμετρα. Τα κύματα Rayleigh τα νιώθουμε τελευταία και πιο έντονα από όλα τα σεισμικά κύματα και είναι αυτά που προκαλούν τις περισσότερες καταστροφές στα κτίσματα.

Εστιακό βάθος (focal depth). Η απόσταση μεταξύ της εστίας και του επικέντρου.

Ζώνη καταβύθισης (subduction zone). Η περιοχή στην οποία μια ωκεάνια λιθόσφαιρική πλάκα βυθίζεται προς το εσωτερικό της Γης. Είναι περιοχή όπου εμφανίζονται σεισμοί ενδιαμέσου και μεγάλου εστιακού βάθους οι οποίοι και οριοθετούν τη λεγόμενη ζώνη Benioff.

Θαλάσσια κύματα βαρύτητας (tsunamis). Θαλάσσια κύματα μεγάλου μήκους κύματος που προκαλούνται από μετακινήσεις του ωκεάνιου πυθμένα λόγω ενός σεισμού και προξενούν μεγάλες καταστροφές όταν φθάνουν στις ακτές.

Κατολίσθηση (Landslide). Μετακίνηση εδαφικών μαζών ή πετρωμάτων που λαμβάνει χώρα σε κεκλιμένες μορφολογικές επιφάνειες ή τεχνητά πρανή και οφείλεται στην επίδραση της βαρύτητας. Λόγω των σεισμικών δονήσεων μειώνεται η τριβή των επιφανειακών εδαφικών στρωμάτων τα οποία και χάνουν τη συνοχή τους.

Λιθόσφαιρα (Lithosphere). Είναι το εξωτερικό, σκληρό και άκαμπτο σφαιρικό κέλυφος της γης, πάχους περίπου 80Km. Στο εσωτερικό της λιθόσφαιρας οι παραμορφώσεις είναι πολύ μικρές. Αποτελείται από τον φλοιό και τον ανώτερο μανδύα.

Λιθόσφαιρικές πλάκες (tectonic or lithospheric plates). Μεγάλα, σχετικά στερεά, τεμάχια της γήινης λιθόσφαιρας που κινούνται το ένα σχετικά προς το άλλο πάνω από τη γήινη ασθενόσφαιρα.

Μακροσεισμικά αποτελέσματα ονομάζονται οι επιπτώσεις των σεισμών στο έδαφος, τα νερά (υπόγεια και επιφανειακά), στις κάθε είδους κατασκευές και, εμμέσως, στους ανθρώπους και τα ζώα.

Μακροσεισμικό επίκεντρο (meizoseismal region). Το κέντρο της περιοχής της επιφάνειας της γης στην οποία τα αποτελέσματα του σεισμού (βαθμός αισθητότητας, βλάβες κλπ.) είναι μέγιστα. Το μακροσεισμικό επίκεντρο ενός σεισμού δεν συμπίπτει πάντοτε με το μικροσεισμικό επίκεντρο αυτού.

Μανδύας (Mantle). Είναι το τμήμα της γης μεταξύ στερεού φλοιού και πυρήνα, από τους οποίους διαχωρίζεται από τις ασυνέχειες Mohorovicic και Gutenberg αντίστοιχα. Έχει συνολικό πάχος 2900 χιλιομέτρων και διαχωρίζεται με την ασυνέχεια Repetti στον εξωτερικό μανδύα (πάχος 900Km) και στον εσωτερικό μανδύα (πάχος 2000Km). Αποτελείται από πυριτικά άλατα μεγάλης πυκνότητας.

Μέγεθος M (magnitude). Η ποσότητα που εκφράζει το ποσό της ενέργειας που εκλύεται από την εστία του σεισμού. Το μέγεθος ενός

σεισμού μετριέται με την κλίμακα Richter από το όνομα του Αμερικανού σεισμολόγου που την πρότεινε το 1935.

Μεσοωκεάνια ράχη (Mid-oceanic ridge). Είναι ένα μεγάλο υποθαλάσσιο ύβωμα, που εκτείνεται για αρκετές εκατοντάδες χιλιομέτρων στο μέσον περίπου των ωκεανών. Ομοιάζουν με οροσειρές οι οποίες στο μέσον τους διατέχονται από μια κοιλάδα. Οι μεσοωκεάνιες ράχεις αποτελούν περιοχές σεισμικής και ηφαιστειακής δραστηριότητας και κατά τη θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών θεωρούνται όρια μεταξύ των πλακών και περιοχές δημιουργίας νέου φλοιού.

Μηχανισμός γένεσης (focal mechanism). Ο προσανατολισμός του σεισμικού ρήγματος και η διεύθυνση της σχετικής ολίσθησης των δυο πλευρών του ρήγματος κατά τη γένεση του σεισμού.

Μικροσεισμικό επίκεντρο (epicenter). Η προβολή της μικροσεισμικής εστίας στην επιφάνεια της γης. _

Μικροσεισμική εστία (focus) ή μικροσεισμικό υπόκεντρο (hypocenter). Το σημείο στο εσωτερικό της γης από όπου αρχίζει η διάρρηξη των πετρωμάτων που προκαλεί τον σεισμό.

Πανγαία (Pangaea). Πρόκειται για μία μεγάλη ενιαία ήπειρο, η οποία κατά τη θεωρία του Wegener (1915) αποτελείτο από τις σημερινές Ευρασία, Αφρική, Βόρεια και Νότια Αμερική, Ινδία, Αυστραλία και Ανταρκτική. Ο κατακερματισμός της Παγγαίας άρχισε κατά το τέλος του Ιουρασικού πριν από 160 εκατομ. χρόνια.

Πρόγνωση (Prediction). Η γνώση εκ των προτέρων των τριών παραμέτρων ενός σεισμού: του χώρου όπου θα συμβεί ο σεισμός, του χρόνου γένεσης και του μεγέθους του σεισμού.

Πρόδρομο φαινόμενο (precursory phenomenon). Το φαινόμενο που συμβαίνει πριν από τον κύριο σεισμό και είναι μέρος της φυσικής διαδικασίας προετοιμασίας της διάρρηξης των πετρωμάτων στο εσωτερικό της Γης που προκαλεί το σεισμό.

Πυρήνας (Core). Είναι το τμήμα της Γης κάτω από την ασυνέχεια Gutenberg αρχίζει ο πυρήνας ο οποίος έχει πάχος περίπου 3450 χιλιομέτρων. Αποτελείται από εξωτερικό και εσωτερικό πυρήνα. Σύμφωνα με τις σημερινές απόψεις, ο εξωτερικός πυρήνας θεωρείται ότι βρίσκεται σε κατάσταση τήξης, ενώ ο εσωτερικός σε στερεά κατάσταση. Η γενική σύστασή του είναι κύρια από ενώσεις σιδήρου.

Ρευστοποίηση (Liquefaction). Διεργασία του εδάφους (αργιλλώδους ή αμμώδους) κατά την οποία συμπεριφέρεται περισσότερο ως παχύ ρευστό και λιγότερο ως στερεό, κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Οι ρευστοποιήσεις είναι υπεύθυνες για σημαντικές βλάβες γιατί μειώνεται η ικανότητα του εδάφους να υποστηρίξει τις θεμελιώσεις των τεχνικών κατασκευών.

Ρήγμα (fault). Η επιφάνεια θραύσης ενός πετρώματος κατά την οποία κινούνται τα δυο τεμάχια του πετρώματος, το ένα σχετικά ως προς το άλλο.

Σεισμική ακολουθία (Seismic sequence). Το σύνολο των σεισμών μιας περιοχής για κάποιο χρονικό διάστημα κατά το οποίο η συχνότητα των σεισμών είναι μεγαλύτερη από τη συνηθισμένη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής. Σε μία ακολουθία ξεχωρίζει συνήθως ένας σεισμός, του οποίου το μέγεθος είναι σημαντικά μεγαλύτερο από των υπολοίπων και είναι ο κύριος σεισμός. Όσοι σεισμοί προηγούνται του κύριου σεισμού καλούνται προσεισμοί ενώ όσοι ακολουθούν μετασεισμοί.

Σεισμική επικινδυνότητα (seismic hazard). Η πιθανότητα του να συμβεί μέσα σε δεδομένη χρονική περίοδο και σε δεδομένη περιοχή σεισμός ίσος ή μεγαλύτερος από ένα ορισμένο μέγεθος.

Σεισμικό κενό (seismic gap). Είναι το τμήμα μιας σεισμικής ζώνης, στο οποίο παρατηρείται ασυνέχεια όσον αφορά τη χωρική κατανομή των μεγάλων σεισμών της ή ασυνέχεια όσον αφορά τη συχνότητα εμφάνισης των μικρών σεισμών της.

Σεισμικός κίνδυνος (seismic risk). Ο αναμενόμενος βαθμός σεισμικών βλαβών που πρόκειται να υποστεί μια τεχνική κατασκευή ή και γενικότερα το σύνολο των επιπτώσεων στις ανθρώπινες δραστηριότητες εξαιτίας ενός σεισμού.

Σεισμικότητα (Seismicity). Ονομάζεται ο αριθμός των σεισμών στο χρόνο και στο χώρο.

Σεισμολογία (seismology). Η επιστήμη που μελετάει τους σεισμούς.

Σεισμόγραμμα (seismogram). Η πιστή αναγραφή της σεισμικής κίνησης από το σεισμόμετρο.

Σεισμογράφημα. Η όχι πιστή αναγραφή της σεισμικής κίνησης από σεισμογράφο, με τη βοήθεια γραφίδας σε αιθαλωμένη ταινία ή φωτεινής πηγής σε φωτογραφικό φιλμ.

Σεισμολογικοί χάρτες (Seismological map). Χάρτες που προκύπτουν από τη χρήση σεισμολογικών δεδομένων και είναι χρήσιμοι στους επιστήμονες διαφόρων ειδικοτήτων. Ένας από τους βασικούς στόχους της σεισμολογίας είναι να εφοδιάσει τους επιστήμονες (γεωλόγους, μηχανικούς) και τις διάφορες υπηρεσίες. Διακρίνουμε: χάρτες σεισμικότητας, χάρτες μακροσεισμικών εντάσεων, χάρτες σεισμικής ενέργειας, χάρτες σεισμικού κινδύνου, χάρτες σεισμικών ζωνών, σεισμοτεκτονικοί χάρτες, νεοτεκτονικοί χάρτες κλπ.

Σεισμοί (earthquakes). Οι εδαφικές δονήσεις οι οποίες γεννιούνται κατά τις διαταράξεις της μηχανικής ισορροπίας των γήινων πετρωμάτων από φυσικά αίτια που βρίσκονται στο εσωτερικό της γης. Στις θέσεις διατάραξης της μηχανικής ισορροπίας των πετρωμάτων απελευθερώνεται μηχανική ενέργεια η οποία διαδίδεται μέσα στη γη με τη μορφή σεισμικών κυμάτων, και εκδηλώνεται με τη μορφή δονήσεων του εδάφους.

Σμηνοσειρά (Swarm earthquakes). Είναι ακολουθία σεισμών μικρού κατά κανόνα μεγέθους που διαρκεί για σημαντικό χρονικό διάστημα. Κανένας σεισμός της σμηνοσειράς δεν ξεχωρίζει για το σημαντικά μεγαλύτερο μέγεθός του.

Υποκεντρική απόσταση (Hypocentral distance). Η απόσταση μεταξύ μικροσεισμικής εστίας και σταθμού παρατήρησης (σεισμογράφου).

Φλοιός (Crust). Το εξωτερικό περίβλημα της γήινης σφαίρας, του οποίου το πάχος κάτω από μια ήπειρο μπορεί να φθάσει τα 80Km, ενώ στους ωκεανούς στα 48Km. Το σύνολο του φλοιού αντιστοιχεί στο 1% του όγκου και στα 0,5% της μάζας της Γης. Διακρίνονται δύο στοιβάδες η Sial (σιαλική) και η Sima (σιματική). Χωρίζεται από τον υποκείμενο μανδύα με την ασυνέχεια Mohorovicic.

Χρόνος γένεσης (origin time). Η χρονική στιγμή κατά την οποία αρχίζει η διάρρηξη των πετρωμάτων στην εστία και η διάδοση των σεισμικών κυμάτων προς όλες τις κατευθύνσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 ΓΕΝΕΣΗ & ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

Σεισμός είναι εδαφικές δονήσεις που οφείλονται κυρίως στη θραύση ή την ξαφνική μετακίνηση κατά μήκος ενός υφιστάμενου ρήγματος στο στερεό φλοιό της γης (τεκτονικοί σεισμοί).

Ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο, το οποίο προκαλείται από ξαφνική απελευθέρωση μηχανικής ενέργειας από το εσωτερικό της γης με συνέπεια τη δημιουργία σεισμικών κυμάτων. Τα κύματα αυτά μεταφέρουν την ενέργεια του σεισμού και προκαλούν ταλαντώσεις και αναταράξεις του εδάφους. Άλλη μια συνέπεια των σεισμών, που προκαλείται από τη μετακίνηση των λιθοσφαιρικών πετρωμάτων κατά την εκδήλωσή τους, είναι η δημιουργία τσουνάμι στη θάλασσα όταν ο σεισμός είναι υποθαλάσσιος και η μετακίνηση μεγάλη.

Ο σεισμός μπορεί να είναι και αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας (όπως για παράδειγμα μιας έκρηξης ή μιας υπόγειας πυρηνικής δοκιμής). Γενικά, η λέξη "σεισμός" περιγράφει κάθε σεισμικό γεγονός -φυσικό φαινόμενο ή αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας- που παράγει σεισμικά κύματα τα οποία διαδίδονται στο εσωτερικό της γης.

Οι σεισμοί **ανάλογα με τα αίτια γένεσής** τους διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- **Τεκτονικοί σεισμοί:** είναι εδαφικές δονήσεις οι οποίες προκαλούνται από την βίαιη διάρρηξη των πετρωμάτων της γης, ως αποτέλεσμα της δράσεως τεκτονικών δυνάμεων συμπίεσης και εφελκυσμού. Είναι οι πιο συνηθισμένοι, δεδομένου ότι το 90% των επιφανειακών σεισμών και το σύνολο των πλουτώνιων είναι τεκτονικοί σεισμοί.
- **Ηφαιστειογενείς σεισμοί:** είναι εδαφικές δονήσεις που είτε προηγούνται είτε συνοδεύουν τις ηφαιστειακές εκρήξεις. Αποτελούν το 7% του συνόλου των επιφανειακών σεισμών.
- **Εγκατακρημνισιογενείς σεισμοί:** είναι εδαφικές δονήσεις που οφείλονται σε καταπτώσεις οροφών φυσικών εγκοίλων και σπηλαίων. Έχουν συνήθως μικρό μέγεθος και αποτελούν το 3% του συνόλου των επιφανειακών σεισμών.

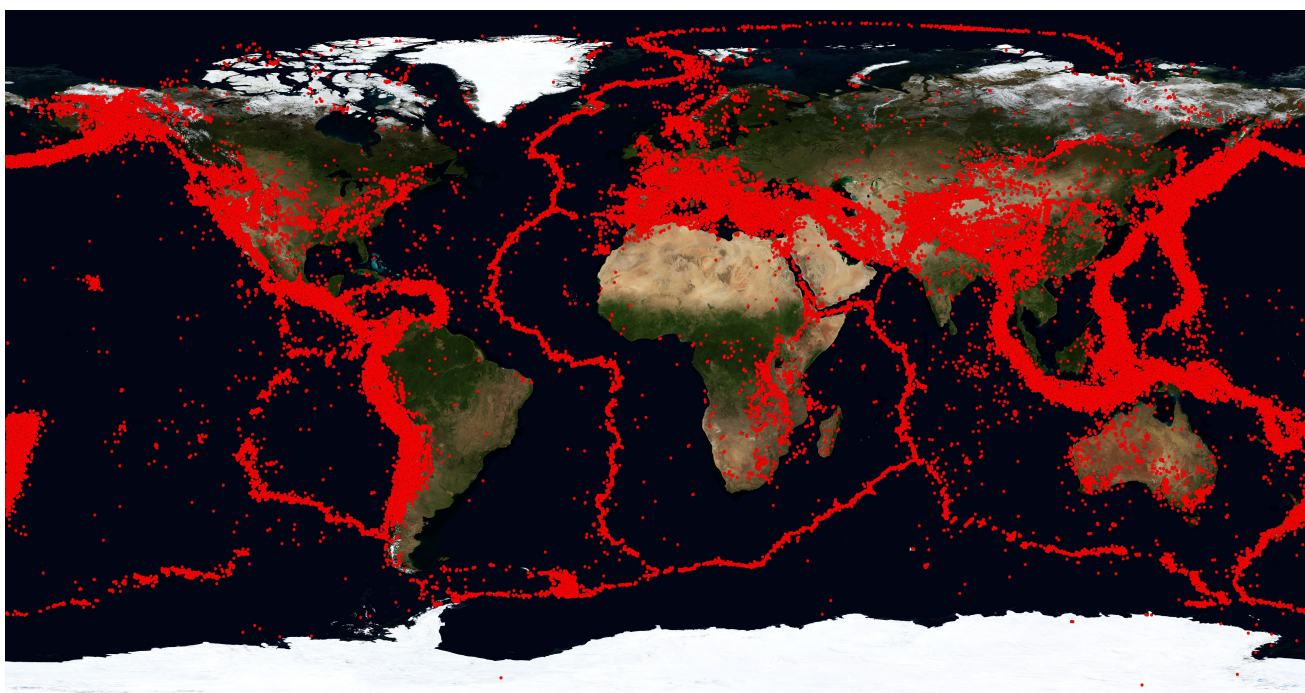
Σεισμοί γεννιούνται μόνο μέσα στη λιθόσφαιρα και οι σεισμικές εστίες φθάνουν περίπου μέχρι 700Km βάθος. Το μεγαλύτερο εστιακό βάθος σεισμού που έχει υπολογιστεί είναι 720Km. **Ανάλογα με το εστιακό τους βάθος** οι σεισμοί διακρίνονται σε:

- **Επιφανειακούς σεισμούς** με εστιακό βάθος μικρότερο από 60Km
- **Σεισμούς ενδιάμεσου βάθους** με εστιακό βάθος μεταξύ 60 - 300 Km.
- **Σεισμούς μεγάλου βάθους** με εστιακό βάθος μεγαλύτερο από 300Km. Οι σεισμοί ενδιάμεσου και μεγάλου βάθους καλούνται πλουτώνιοι σεισμοί.

Στις μεσο-ωκεάνιες ράχεις παρατηρούνται μόνο επιφανειακοί σεισμοί, ενώ στις περιοχές σύγκλισης των πλακών γεννιούνται και σεισμοί ενδιάμεσου ή μεγάλου βάθους.

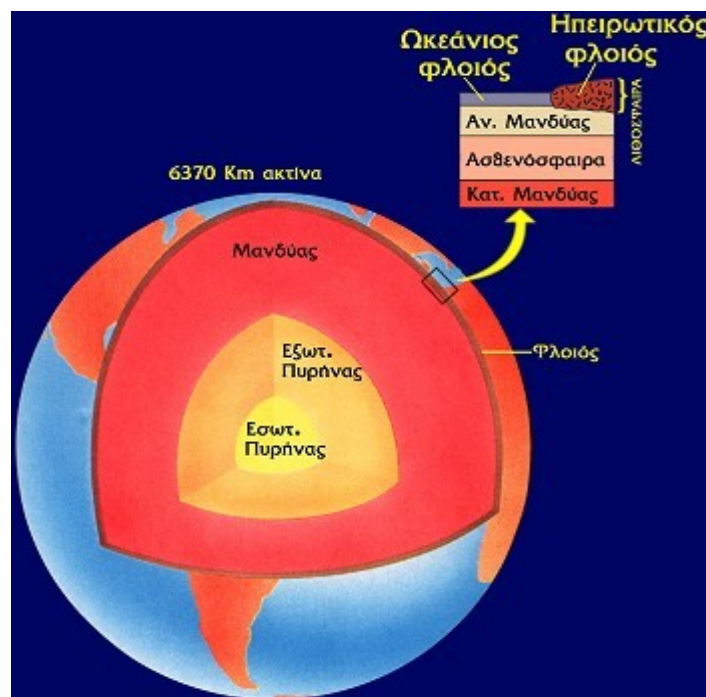
Επιπλέον, υπάρχουν εδαφικές δονήσεις των οποίων τα αίτια είναι είτε φυσικά είτε τεχνητά, αλλά δεν βρίσκονται στο εσωτερικό της γης. Οι δονήσεις αυτές παρόλο που δεν είναι σεισμοί μελετώνται από την σεισμολογία. Φυσικές δονήσεις θεωρούνται όσες οφείλονται σε πτώσεις μετεωριτών, σε μετεωρολογικά αίτια ή σε θαλάσσια κύματα, ενώ τεχνητές δονήσεις όσες προκαλούνται από πυρηνικές ή χημικές εκρήξεις καθώς και από τις μηχανές των εργοστασίων.

Παρακάτω παρατίθεται ο παγκόσμιος χάρτης με την γεωγραφική κατανομή των σεισμών :

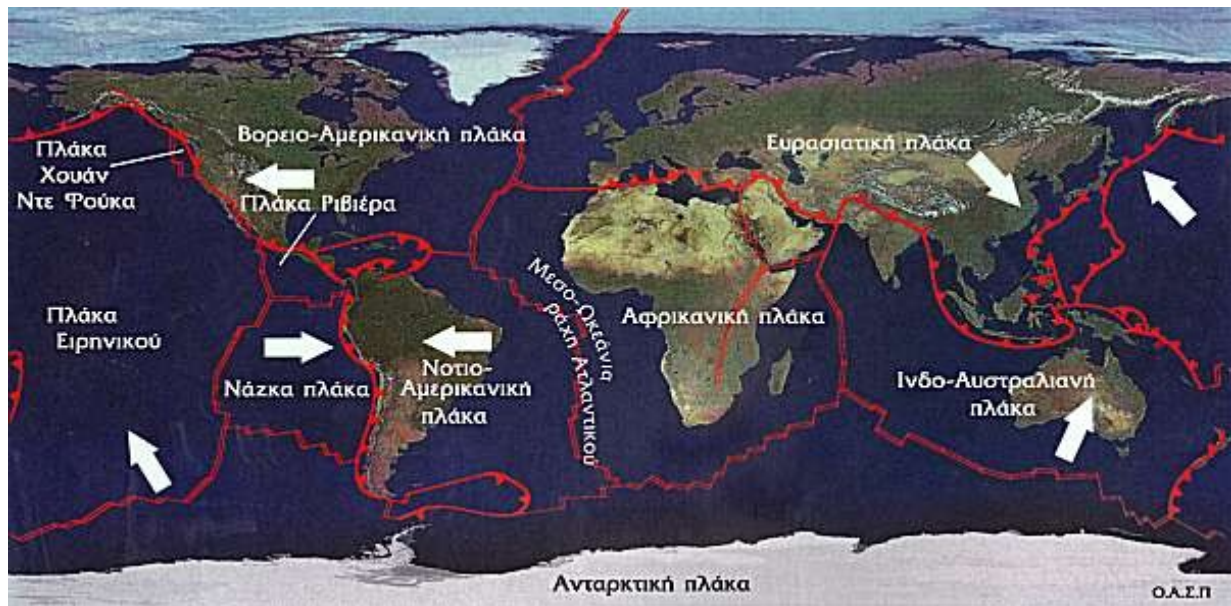


1.2 ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ

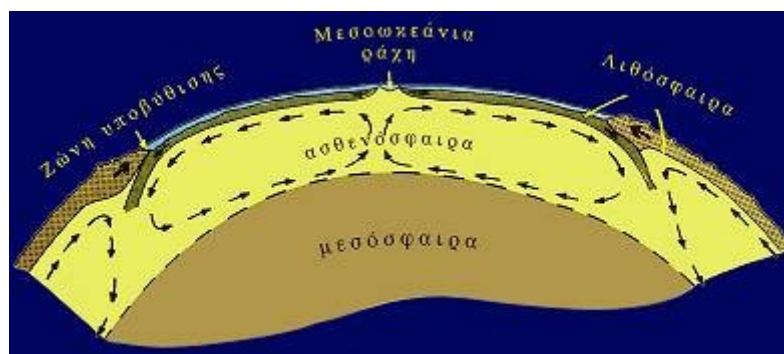
Η Γη αποτελείται από τρία διαφορετικά στρώματα το **φλοιό**, το **μανδύα** και τον **πυρήνα**, συνολικού πάχους 6.370km περίπου. Ο φλοιός είναι το στερεό, εξωτερικό περίβλημα της Γης. Υπάρχουν δύο είδη φλοιού, ο **ηπειρωτικός** και ο **ωκεάνιος**. Το μέσο πάχος του ηπειρωτικού είναι περίπου 35km, κάτω όμως από τις μεγάλες οροσειρές μπορεί να φτάσει τα 60 - 70km. Το μέσο πάχος του ωκεάνιου είναι 7km. Ο μανδύας είναι το αμέσως επόμενο στρώμα και φτάνει μέχρι το βάθος των 2.900km. Η επιφάνεια που χωρίζει το φλοιό από τον μανδύα, είναι γνωστή με το όνομα **ασυνέχεια Mohorovicic**. Ως λιθόσφαιρα χαρακτηρίζεται ένα δύσκαμπτο στρώμα, μέσου πάχους 80km περίπου, που αποτελείται από το στερεό φλοιό και μέρος του στερεού ανώτερου μανδύα. Το τμήμα του μανδύα που βρίσκεται κάτω από τη λιθόσφαιρα είναι γνωστό ως **ασθενόσφαιρα**. Κάτω από το μανδύα υπάρχει ο πυρήνας που φτάνει έως το κέντρο της γης. Ο πυρήνας διακρίνεται σε **εξωτερικό** (υγρή/ρρευστή κατάσταση) και σε **εσωτερικό** (στερεή κατάσταση).



Η λιθόσφαιρα της Γης αποτελείται από επτά μεγάλες πλάκες (Αφρικανική, Ευρασιατική, Ινδο-Αυστραλιανή, Ανταρκτική, πλάκα του Ειρηνικού, Βορειο-Αμερικανική, Νοτιο-Αμερικανική). Υπάρχουν όμως και αρκετές μικρότερες. Οι πλάκες κινούνται προς διαφορετικές διευθύνσεις. Τα βέλη δείχνουν την κίνησή τους.



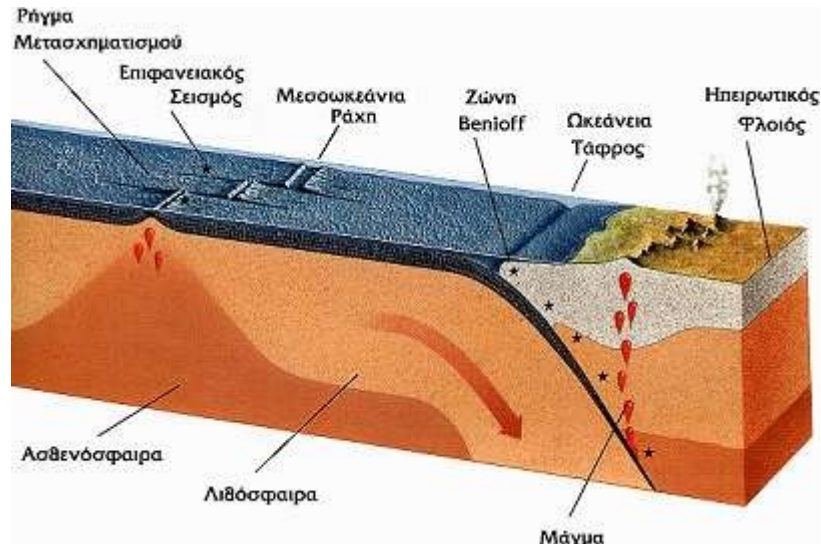
Η λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία αλλά απαρτίζεται από ένα σύνολο μεγάλων και μικρότερων πλακών που ολισθαίνουν πάνω στο υποκείμενο παχύρρευστο μανδυακό υλικό (ασθενόσφαιρα) πραγματοποιώντας σχετικές μεταξύ τους κινήσεις. Οι πλάκες αυτές λέγονται **λιθοσφαιρικές πλάκες**. Τα αίτια κίνησής τους πιθανόν να είναι οι οριζόντιες εφραπτομενικές κινήσεις που ασκούνται στον πυθμένα τους από τα θερμικά **ρεύματα μεταφοράς** τα οποία δημιουργούνται στον ασθενοσφαιρικό μανδύα. Η θεωρία που ερμηνεύει ικανοποιητικά το σύνολο των γεωλογικών και γεωφυσικών παρατηρήσεων, που σχετίζονται με την ενεργό τεκτονική δράση και κατά συνέπεια και με τη σεισμική δράση, είναι αυτή που περιγράφει την **κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών**.



Κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών πάνω στην ασθενόσφαιρα.

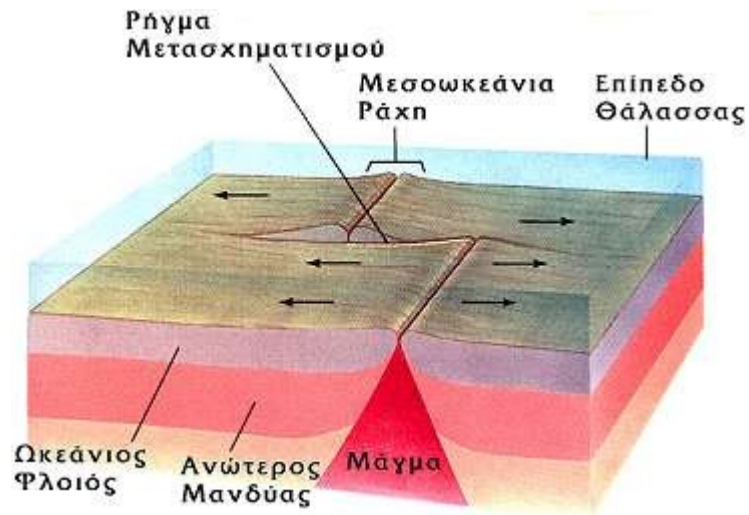
Οι λιθοσφαιρικές πλάκες αλλού **αποκλίνουν**, αλλού **συγκλίνουν** και αλλού η μία κινείται **παράλληλα - εφραπτομενικά** σε σχέση με τη διπλανή της. Στις περιοχές που αποκλίνουν οι λιθοσφαιρικές πλάκες **-μεσοοκεάνιες ράχεις-** θερμό

ασθενοσφαιρικό υλικό βγαίνει στην επιφάνεια, ψύχεται, στερεοποιείται και οδηγεί έτσι στη δημιουργία νέας λιθόσφαιρας κατά μήκος των δύο πλευρών των ράχων (π.χ. μεσοωκεάνια ράχη Ατλαντικού ωκεανού, απομάκρυνση Αμερικανικής - Αφρικανικής πλάκας).

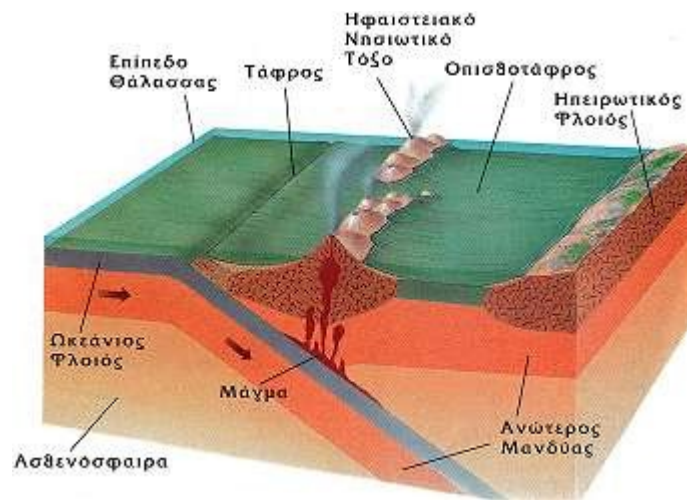


Στις περιοχές που ολισθαίνουν οριζόντια η μία πλάκα σε σχέση με την άλλη, η κίνηση γίνεται κατά μήκος κατακόρυφων **ρηγμάτων μετασχηματισμού**. Στην περίπτωση της σύγκλισης των πλακών η **πυκνότερη από τις δύο βυθίζεται κάτω από την άλλη** μέχρις ότου λιώσει η πρώτη μέσα στο θερμό μανδουακό υλικό κι έτσι καταστρέφεται λιθοσφαιρικό υλικό. Η δημιουργία νέου ωκεάνιου φλοιού στις μεσοωκεάνιες ράχες αντισταθμίζεται λοιπόν με την καταστροφή αντίστοιχης ποσότητας στις περιοχές σύγκλισης πλακών, οπότε η συνολική επιφάνεια της Γης παραμένει "σταθερή".

Αποτέλεσμα της σχετικής κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών είναι η αργή παραμόρφωση των πετρωμάτων στις παρυφές τους. Για το λόγο αυτό, στα πετρώματα που βρίσκονται κοντά στις περιοχές αυτές συσσωρεύονται τεράστια ποσά δυναμικής ενέργειας (ενέργεια ελαστικής παραμόρφωσης πετρωμάτων), και αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις που συνεχώς αυξάνουν. Όταν οι τάσεις αυξηθούν τόσο πολύ, ώστε να υπερβούν το όριο αντοχής του λιθοσφαιρικού υλικού στο σημείο αυτό επέρχεται **θραύση**. Ταυτόχρονα πραγματοποιείται απότομη σχετική κίνηση των δύο τμημάτων που έχουν προκύψει κατά μία επιφάνεια έως ότου ισορροπήσουν σε νέες θέσεις. Η επιφάνεια αυτή είναι το **σεισμικό ρήγμα**. Τη χρονική αυτή στιγμή γεννιέται ένας σεισμός.



Δημιουργία μεσοωκεάνιας ράχης σε περιοχή απόκλισης των λιθосφαιρικών πλακών και άνοδος θερμού υλικού (μάγματος). Η οριζόντια κίνηση των πλακών συμβαίνει κατά μήκος ενός ρήγματος μετασχηματισμού.



Δημιουργία τόξου που αποτελείται από ωκεάνια τάφρο, ηφαιστειακό - νησιωτικό τόξο και οπισθοτάφρο σε περιοχή υποβύθισης μιας ωκεάνιας λιθосφαιρικής πλάκας κάτω από την άλλη.

1.3 ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Για να εκτιμηθούν τα αποτελέσματα των σεισμών πρέπει να καθοριστούν διάφορα στοιχεία, που χρησιμεύουν σαν βάση εκτιμήσεως. Πρώτο στοιχείο είναι η **εστία** του σεισμού, η υπόγεια θέση στην οποία γεννιέται ο σεισμός. Δεύτερο στοιχείο είναι το **επίκεντρο** του σεισμού, δηλαδή η περιοχή της επιφάνειας της Γης που βρίσκεται κάθετα πάνω από την εστία. Έπειτα πρέπει να διακρίνουμε τα διάφορα σεισμικά κύματα, καθώς και τα αποτελέσματα των σεισμών (καταστροφές, πλημμύρες, πυρκαγιές, ανθρώπινα θύματα). Τα αποτελέσματα ποικίλλουν ανάλογα με τις συνθήκες (αντοχή υπεδάφους, κατασκευή σπιτιών, πυκνότητα πληθυσμού, τοπική ώρα, συνήθειες πληθυσμού).

Η ενέργεια που παράγεται κατά την εκδήλωση ενός σεισμού διαδίδεται με τα σεισμικά κύματα. Μετρώντας τα χαρακτηριστικά των κυμάτων είναι δυνατή η εκτίμηση της ταυτότητας του σεισμικού γεγονότος (θέση - μέγεθος).

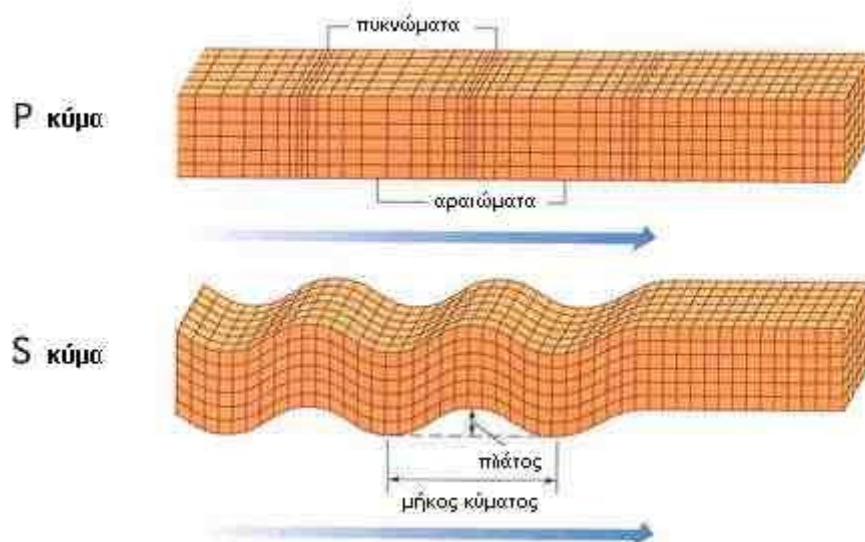
Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη σεισμικών κυμάτων, και όλα κινούνται με διαφορετικούς τρόπους. Οι δύο κύριοι τύποι κυμάτων είναι τα κύματα χώρου και τα επιφανειακά κύματα. Τα κύματα χώρου διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις στο εσωτερικό της Γης, αλλά τα επιφανειακά κύματα διαδίδονται μόνο κατά μήκος των επιφανειακών στρωμάτων της Γης. Οι σεισμοί ακτινοβολούν τη σεισμική ενέργεια ως κύματα χώρου και επιφανειακά κύματα.

Διακινούμενα μέσω του εσωτερικού της γης, τα κύματα χώρου φθάνουν σε ένα σεισμολογικό σταθμό πριν από τα επιφανειακά κύματα που εκπέμπονται από το σημείο της εστίας ενός σεισμού. Επίσης αυτά τα κύματα είναι υψηλότερης συχνότητας από τα επιφάνεια κύματα.

Όταν ένας σεισμός χτυπά, ο πρώτος παλμός της ενέργειας που έρχεται από το σημείο της εστίας περιλαμβάνει τα επιμήκη ή πρώτα κύματα (P-wave) ή ηχητικά κύματα. Είναι διαμήκη κύματα που διατρέχουν όλη τη Γη και είναι τα γρηγορότερα είδη σεισμικών κυμάτων και συνεπώς τα πρώτα που αναγράφονται από τα σεισμόμετρα. Τα επιμήκη κύματα μπορούν να κινηθούν μέσω των συμπαγών πετρώων της γης αλλά και των υγρών, όπως το νερό ή τα υγρά στρώματα της γης. Ωθεί και τραβά τα πετρώματα που κινούνται ακριβώς όπως τα ηχητικά κύματα που ωθούν και τραβούν τον αέρα. Έχετε ακούσει ποτέ ένα μεγάλο κεραυνοβόλο και συγχρόνως έχετε ακούσει το κουδούνισμα παραθύρων; Τα παράθυρα κροταλίζουν επειδή τα ηχητικά κύματα ωθούσαν και τραβούσαν τα τζάμια με τον ίδιο τρόπο που τα ηχητικά κύματα ωθούν και τραβούν το βράχο. Κινούνται βραχώδη εδάφη με περίπου 6 km/sec, ενώ στο νερό με το ένα τρίτο αυτής της ταχύτητας. Μερικές φορές οι άνθρωποι μπορούν να αισθανθούν την πρόσκρουση και το κουδούνισμα αυτών των

κυμάτων. Τα επιμήκη κύματα (P-waves) είναι επίσης γνωστά ως συμπιεστικά κύματα, λόγω της ώθησης και του τραβήγματος που δημιουργούνε.

Τα επόμενα κύματα που φτάνουν σε ένα τόπο είναι τα εγκάρσια ή δευτερεύοντα κύματα (S -waves). Είναι πιο αργά (κινούνται με περίπου 2 km/sec), αλλά πιο ισχυρά και καταστρεπτικά από τα επιμήκη κύματα και ακολουθούν τα επιμήκη στο σειсмоγράφημα. Δεν διαδίδονται μέσω υγρών σωμάτων (π.χ. στη θάλασσα ή στον εξωτερικό πυρήνα της Γης). Όπως και τα επιμήκη κύματα (P-waves) χαρακτηρίζονται ως κύματα χώρου και διαδίδονται προς κάθε κατεύθυνση τόσο στα επιφανειακά στρώματα όσο και στον πυρήνα. Κατά τη διάδοση των εγκάρσιων κυμάτων τα υλικά σημεία του πετρώματος ταλαντώνονται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος προκαλώντας μεταβολή στο σχήμα του πετρώματος.



Τα δευτερεύοντα κύματα ταξιδεύουν περίπου δύο φορές πιο αργότερα από τα διαμήκη κύματα και λόγω του μεγάλου τους πλάτους είναι αυτά που επιφέρουν την ισχυρή μετακίνηση του εδάφους χαρακτηριστική των μεγάλων σεισμών. Τα κύματα S χρησιμοποιούνται παραδοσιακά για να αξιολογήσουν το μέγεθος ενός σεισμικού γεγονότος, αλλά αυτές οι πληροφορίες σταχυολογούνται μόνο μετά από το σεισμό.

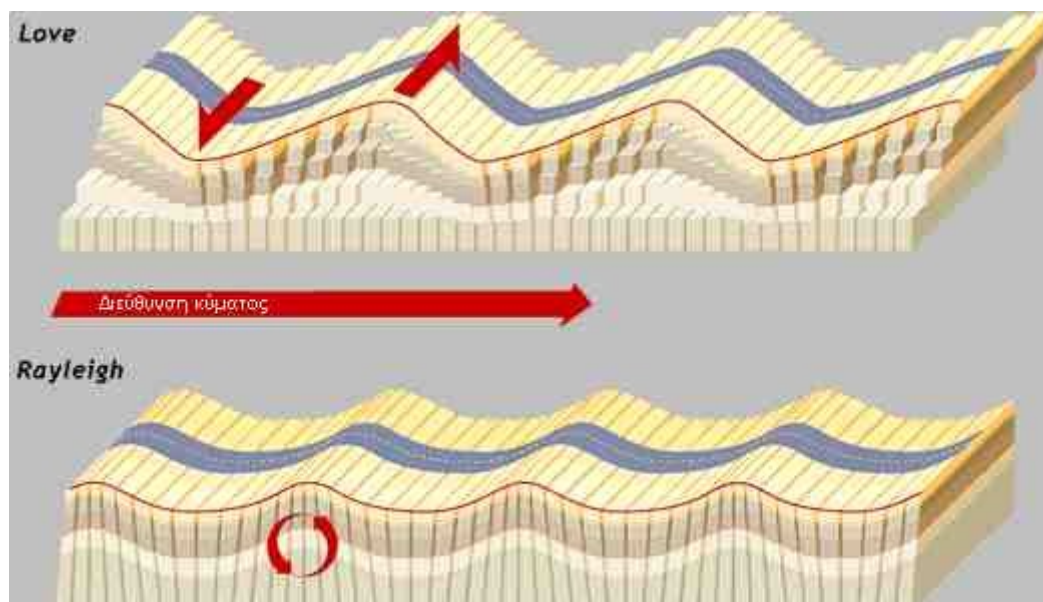
Τα δύο παραπάνω κύματα διέπονται από όλες τις αρχές διάδοσης των κυμάτων (ανάκλαση, διάθλαση, αρχή του Fermat και του Huygens).

Διακινούμενα μόνο μέσω της κρούστας της γης, τα επιφανειακά κύματα είναι χαμηλότερης συχνότητας από τα κύματα χώρου, και κατά συνέπεια διακρίνονται εύκολα στο σειсмоγράφημα. Αν και φθάνουν μετά από τα κύματα χώρου, υπεύθυνα για τη ζημιά και την καταστροφή που συνδέονται με τους σεισμούς είναι σχεδόν

εξ' ολοκλήρου τα επιφανειακά κύματα. Αυτή η ζημία και η δύναμη των επιφανειακών κυμάτων μειώνεται στους βαθύτερους σεισμούς.

Το πρώτο είδος επιφανειακών κυμάτων ονομάζεται Love (L) Wave (τα ανακάλυψε ο H. Love θεωρητικά το 1911). Αν και είναι αρκετά πιο αργό από τα κύματα χώρου είναι το γρηγορότερο από τα επιφανειακά κύματα και κινεί το έδαφος οριζόντια. Δημιουργούν δηλαδή μετακινήσεις πλευρικές της επιφάνειας του εδάφους. Είναι μάλιστα γραμμικώς πολωμένα. Περιορισμένα στην επιφάνεια της κρούστας της γης, τα Love (L) Wave παράγουν εξ ολοκλήρου την οριζόντια κίνηση. Αν και ταξιδεύουν αργά από τη σεισμική πηγή, είναι πολύ καταστρεπτικά. Είναι αυτά τα κύματα που είναι συχνότερα υπεύθυνα για την κατάρρευση κτιρίων κατά τη διάρκεια ενός σεισμού.

Το δεύτερο είδος είναι τα κύματα Rayleigh (τα ανακάλυψε το 1887 ο Strutt Rayleigh). Είναι τα πιο αργά όλων των τύπων των σεισμικών κυμάτων και με κάποιους τρόπους τα πιο περίπλοκα. Τα κύματα Rayleigh μετακινούν το έδαφος με τον ίδιο τρόπο όπως ένα θαλάσσιο κύμα μετακινεί τα επιφανειακά νερά. Επειδή κυλά, κινεί το έδαφος πάνω-κάτω, δεξιά και αριστερά στην ίδια κατεύθυνση που το κύμα κινείται. Το μεγαλύτερο μέρος του τινάγματος που γίνεται αισθητό από έναν σεισμό οφείλεται στα κύματα Rayleigh, τα οποία μπορούν να είναι πολύ μεγαλύτερα από τους άλλους τύπους σεισμικών κυμάτων.



Τα δύο τελευταία κύματα κινούνται πιο αργά από τα πρώτα (P και S) αλλά είναι πιο καταστρεπτικά, ιδιαίτερα τα κύματα Love. Ειδικά τα τελευταία είναι συχνά υπεύθυνα για την κατάρρευση των κτιρίων.

Οι σεισμοί καταγράφονται από ένα σειсмоγραφικό δίκτυο. Κάθε σεισμικός σταθμός στο δίκτυο μετρά τη μετακίνηση του εδάφους στο τόπο εκείνο. Η ολίσθηση του βράχου πάνω από ένα άλλο σε ένα σεισμό απελευθερώνει ενέργεια που κάνει το έδαφος να δονείται. Αυτή η δόνηση ωθεί το πλαϊνό τμήμα του εδάφους και το αναγκάζει να δονηθεί. Έτσι συνεχίζεται να διαδίδεται η ενέργεια του σεισμικού κύματος.

Το πόσο καταστροφικός θα είναι ένας σεισμός έχει περισσότερο σχέση με την ένταση και λιγότερο με το μέγεθος. Έτσι εξαρτάται από διάφορες φυσικές αλλά και τεχνητές συνθήκες, μεταξύ των οποίων είναι και οι παρακάτω:

- Το βάθος της σεισμικής εστίας. Όσο μικρότερο εστιακό βάθος τόσο μεγαλύτερη ένταση.
- Η σεισμική επιτάχυνση. Αυτή είναι ανάλογη της έντασης ενός σεισμού και σαν μονάδα χρησιμοποιούμε την επιτάχυνση της βαρύτητας g . Χοντρικά, $1g$ είναι $10m/sec^2$. Το μέγεθος της επιτάχυνσης εξαρτάται από το έδαφος και για αυτό σε κάθε σεισμό έχουμε διαφορετικές επιταχύνσεις της εδαφικής κίνησης, ανάλογα με την περιοχή. Για παράδειγμα, στο σεισμό του 1999 της Πάρνηθας άλλες επιταχύνσεις είχαμε στη περιοχή της Αθήνας και μεγαλύτερες στην Πάρνηθα.
- Η χρονική διάρκεια ενός σεισμού, όπως στο σεισμό του 1999. Γενικά, οι μεγαλύτεροι σεισμοί διαρκούν περισσότερο.
- Το έδαφος θεμελίωσης. Στα αμμώδη (χαλαρά) εδάφη έχουμε μεγαλύτερες ζημιές στα κτίρια.
- Οι επιπτώσεις ενός σεισμού σε μια πυκνοκατοικημένη περιοχή θα είναι δραματικά μεγαλύτερες από αυτές σε ένα αραιοκατοικημένο χωριό. Έτσι, για παράδειγμα, ο σεισμός της Ρόδου, το 1926, μεγέθους (υπολογίστηκε αργότερα) 8 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ, είχε 12 νεκρούς και σχετικά λίγες υλικές ζημιές σε σύγκριση με το σεισμό 5.9 της κλίμακας Ρίχτερ, που έγινε στην Πάρνηθα το 1999 στο πυκνοκατοικημένο λεκανοπέδιο της Αθήνας.

1.4 ΜΕΓΕΘΟΣ & ΕΝΤΑΣΗ ΣΕΙΣΜΟΥ

Το μέγεθος και η ένταση του σεισμού είναι όροι που αναπτύχθηκαν στην προσπάθεια αποτιμήσεως του σεισμικού φαινομένου.

a) Μέγεθος σεισμού

Η ποσότητα που παραδοσιακά χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ενέργειας ενός σεισμού είναι το μέγεθος του σεισμού που βασίζεται στη μέτρηση των πλατών των σεισμικών κυμάτων τα οποία καταγράφονται από τα σεισμολογικά όργανα. Έχουμε δε διαπιστώσει ότι κάθε κέντρο (σεισμολογικό ινστιτούτο) για τον ίδιο σεισμό ανακοινώνει διαφορετικό μέγεθος. Γιατί όμως ανακοινώνεται κάθε φορά διαφορετικό μέγεθος;

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι να μετρηθούν οι διαφορετικές όψεις ενός σεισμού. **Το μέγεθος M** είναι το πιο κοινό μέτρο ενός σεισμού. Επειδή είναι μέτρο του μεγέθους της πηγής του σεισμού, είναι ο ίδιος αριθμός οπουδήποτε και να είμαστε, όπως και να τον αισθανθούμε. Η κλίμακα Richter μετρά τη μεγαλύτερη διαταραχή-κίνηση στην καταγραφή, αλλά υπάρχουν κι άλλες κλίμακες μεγέθους που μετρούν διαφορετικά μέρη του σεισμού.

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

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

- **ML:** είναι το τοπικό μέγεθος (Magnitude Local: τοπικό μέγεθος που παρουσιάστηκε από τον Charle **Richter to** 1935). Η κλίμακα Richter είναι ένας μαθηματικός τύπος. Το μέγεθος ενός σεισμού καθορίζεται από το λογάριθμο του πλάτους των κυμάτων που καταγράφονται από τους σειсмоγράφους σε μια ορισμένη περίοδο. Το ML είναι αξιόπιστο, όταν υπολογίζεται από σειсмоγράφους που δεν απέχουν περισσότερο από 600 χιλιόμετρα από το επίκεντρο του σεισμού. Ισχύει μόνο για ορισμένη συχνότητα σεισμικών κυμάτων και για ορισμένη απόσταση από το επίκεντρο. Έτσι, για διαφορετικές αποστάσεις από το επίκεντρο του σεισμού οι σεισμολόγοι βασίζονται σε διαφορετικά σεισμικά κύματα για τους υπολογισμούς τους.

- **Ms:** είναι το μέγεθος που λαμβάνεται από τη μέτρηση των κυμάτων επιφανείας. Να σημειώσουμε ότι το Ms είναι μεγαλύτερο από το ML. Για παράδειγμα, αν το μέγεθος ενός σεισμού μετρήθηκε σαν 5 βαθμοί της κλίμακας Ρίχτερ (ML), μπορεί να μετρηθεί και ως 5.5 Ms. Το Ms είναι αξιόπιστο για επιφανειακούς (< 50 km βάθος) σεισμούς και για μεγάλες αποστάσεις από το επίκεντρο. Χρησιμοποιείται στην Ελλάδα και προτάθηκε από τον Παπαζάχο. Η ενέργεια που εκλύεται δίνεται σε erg από τον τύπο : $\log E = 12,24 + 1,40Ms$.
- **MB:** είναι μια επέκταση της κλίμακας Richter και έτσι εκμεταλλευόμαστε καλύτερα το δίκτυο των σειсмоγράφων. Είναι το μέγεθος που λαμβάνεται από τη μέτρηση των πρωτευόντων P κυμάτων (Compressional Body Wave Magnitude). Είναι αξιόπιστο μέγεθος σεισμών με μεγαλύτερα εστιακά βάθη και για μεγάλες αποστάσεις από το επίκεντρο.
- **Mw:** όλα τα προηγούμενα μεγέθη βγαίνουν από τύπους που περιέχουν ένα συγκεκριμένο πλάτος ταλάντωσης ενός σεισμικού κύματος σε κάποια χρονική στιγμή. Το Mw, το οποίο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση μεγάλων σεισμών, υπολογίζεται από ένα πολύπλοκο τύπο και είναι πολύ αξιόπιστο.
- **Md:** είναι η κλίμακα μεγέθους διάρκειας.
- **Mo:** η κλίμακα μεγέθους σεισμικής ροπής, που θεωρείται η πιο ακριβής. Προτάθηκε το 1979 και δεν εξαρτάται από την περίοδο των σεισμικών κυμάτων αλλά στη μέτρηση της σεισμικής ροπής.
- **Me:** (Choy and Boatwright 1995), το οποίο εκφράζει το δυναμικό καταστροφικότητας ενός σεισμού και χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση εκλυόμενης σεισμικής ενέργειας μεγάλων συμβάντων.

Από τον τύπο $\log E = 12,24 + 1,40Ms$ προκύπτει ότι για **σεισμό 5 Richter η ενέργεια που ελευθερώνεται είναι $24 \cdot 10^{19}$ erg** ενώ από 6 Richter η ενέργεια είναι **$64 \cdot 10^{20}$ erg**. Δηλαδή για μια αύξηση κατά 1 Richter εκλύεται ενέργεια περίπου 25 φορές περισσότερη. Σημειώτεον ότι η βόμβα που δοκιμάστηκε στα νησιά Μπικίνι ήταν **10^{19} erg**.

Το μέγεθος του σεισμού, τελικά είναι ένα μέτρο του φυσικού φαινομένου εκπεφρασμένο από την ενέργεια που εκλύεται υπό μορφή σεισμικών κυμάτων στη θέση γενέσεώς του.

Μετριέται, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, με την κλίμακα Richter από το όνομα του σεισμολόγου που την επινόησε. Η κλίμακα

αυτή στηρίζεται στην παρατήρηση ότι, εάν μεταφερθούν επί ενός διαγράμματος οι λογάριθμοι των μέγιστων πλατών μετακινήσεως που καταγράφηκαν από τους σειсмоγράφους σε διάφορες αποστάσεις από την εστία ενός σεισμού και αυτό επαναληφθεί για διάφορους σεισμούς από την αυτή εστία, οι καμπύλες που προκύπτουν είναι μεταξύ τους παράλληλες. Αυτό σημαίνει, ότι εάν ένας από τους σεισμούς αυτούς ληφθεί ως βάση, τα αποκόμματα των τεταγμένων μεταξύ αυτού και κάθε άλλου σεισμού μετρούν το μέγεθος του σεισμού στην εστία γενέσεως. Ο Richter όρισε ως σεισμό μηδενικού μεγέθους εκείνον ο οποίος καταγράφεται με πλάτος ίσο με 1 micron σε απόσταση 100 km. Έτσι, το μέγεθος M_L ενός σεισμού που καταγράφεται με πλάτος A σε ορισμένη απόσταση θα δίνεται από τη σχέση: $M_L = \log A - \log A'$, όπου A' είναι το πλάτος του σεισμού μηδενικού μεγέθους ($M_L = 0$), το οποίο δίνεται σε πίνακες ως συνάρτηση της επικεντρικής αποστάσεως.

Το μέγεθος M_L του σεισμού συνδέεται με την ενέργεια που εκλύεται στην εστία με τη σχέση: $\log E = 12,24 + 1,44M_L$ (erg).

Από την σχέση αυτήν προκύπτει ότι για την αύξηση του μεγέθους του σεισμού κατά μία μονάδα αυξάνεται η εκλυόμενη ενέργεια κατά 28 φορές περίπου.

Γενική είναι η εντύπωση ότι οι σεισμοί μεγέθους κάτω του 5 της κλίμακας Richter δεν είναι καταστρεπτικοί για τις κατασκευές.

β) Ένταση σεισμού

Η ένταση από την άλλη είναι ένα μέτρο της αναταραχής και των ζημιών που προκαλούνται από το σεισμό, και αυτή η τιμή φυσικά αλλάζει από θέση σε θέση. Εξαρτάται όχι μόνο από το μέγεθος του σεισμού αλλά επίσης από την απόσταση από το επίκεντρο του σεισμού αλλά και τη γεωλογική μορφή του τόπου.

Οι κλίμακες έντασης, όπως είναι η τροποποιημένη κλίμακα Mercalli και η κλίμακα Rossi-Forel, μετρούν το ποσό της σεισμικής αναταραχής σε μια ιδιαίτερη θέση. Έτσι η ένταση ενός σεισμού θα μεταβάλλεται ανάλογα με τον τόπο που είμαστε. Μερικές φορές οι σεισμοί αναφέρονται από τη μέγιστη ένταση που παράγουν. Οι κλίμακες μεγέθους, όπως είναι το μέγεθος Richter μετρούν το μέγεθος του σεισμού στη πηγή της. Έτσι δεν εξαρτώνται από εκεί που γίνεται η μέτρηση.

Στη σεισμολογία οι βλάβες που οφείλονται στους σεισμούς μετρώνται με τη σεισμική ένταση, η οποία είναι ένα μέτρο της αισθητότητας και των αποτελεσμάτων του σεισμού και συνδέεται με το μέγεθος με διάφορες εμπειρικές σχέσεις. Η μέτρηση της έντασης γίνεται με τη δωδεκάβαθμη κλίμακα Mercalli, της οποίας οι διαβαθμίσεις στηρίζονται στην εκτίμηση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων ενός σεισμού.

Αυτό που πρέπει να γνωρίζουμε είναι ότι κάθε μέγεθος είναι έγκυρο για συγκεκριμένη συχνότητα και τύπο σεισμικού σήματος. Όλες αυτές οι σεισμικές κλίμακες, όταν υπολογίζονται μέσα στα όρια της εγκυρότητάς τους, είναι ισοδύναμες με την κλίμακα Richter.

Παλαιότερα (τριάντα χρόνια πριν) μπορούσε να υπάρξει απόκλιση, αυτού που είχε ανακοινωθεί από το πραγματικό μέγεθος ενός σεισμού, μέχρι 0,4%. Σήμερα, η απόκλιση είναι ακόμα μικρότερη και συνεπώς δεν θα πρέπει να ανησυχούμε για το αν αποδίδεται κάθε φορά το σωστό μέγεθος. Οι μικρές διαφορές που παρατηρούνται στις ανακοινώσεις, οφείλονται στη γεωλογική ιδιομορφία της κάθε περιοχής.

Όταν εμφανίζεται ένας σεισμός, οι πρώτες πληροφορίες που υποβάλλονται σε επεξεργασία και αναμεταδίδονται είναι συνήθως βασισμένες σε ένα υποσύνολο των σεισμικών σταθμών του σεισμικού δικτύου, ειδικά στην περίπτωση ενός μεγάλου σεισμού. Αυτό γίνεται έτσι ώστε κάποιες πληροφορίες να μπορούν να ληφθούν αμέσως χωρίς να αναμένονται οι πληροφορίες όλων των σταθμών του δικτύου, κάτι που γίνεται αργότερα. Κατά συνέπεια, το πρώτο μέγεθος που ανακοινώνεται είναι συνήθως βασισμένο σε ένα μικρό αριθμό καταγραφών από το δίκτυο των σειсмоγράφων. Αργότερα που έρχονται πρόσθετα στοιχεία γίνεται νέα επεξεργασία και αλλάζει το μέγεθος και το κέντρο με περισσότερη ακρίβεια.

Μερικές φορές το μέγεθος σεισμού αναφέρεται από διαφορετικά δίκτυα βασισμένα μόνο στις καταγραφές τους. Σε εκείνη την περίπτωση, τα διαφορετικά μεγέθη που ανακοινώνονται είναι αποτέλεσμα των μικρών διαφορών στα όργανα και των θέσεών τους όσον αφορά το επίκεντρο του σεισμού. Μάλιστα μετά από μερικές μέρες οι σεισμολόγοι συμφωνούν σε ένα νούμερο για το μέγεθος.

Συχνά, αναφέρονται για έναν σεισμό διάφορα, ελαφρώς διαφορετικά, μεγέθη. Αυτό συμβαίνει επειδή η σχέση μεταξύ των σεισμικών μετρήσεων και του μεγέθους είναι σύνθετη και διαφορετικές διαδικασίες θα δώσουν συχνά ελαφρώς διαφορετικά μεγέθη για τον ίδιο σεισμό.

Έτσι ένα συχνό λάθος που γίνεται κατά την ανακοίνωση του μεγέθους ενός σεισμού στα ΜΜΕ, είναι ότι ανάγουν όλα τα σεισμικά μεγέθη σε αυτήν την κλίμακα: "Ο σεισμός ήταν μεγέθους 7 βαθμών της κλίμακας Richter". Και αμέσως μετά ακολουθεί ανακοίνωση από άλλο σεισμολογικό κέντρο με διαφορετικό μέγεθος του σεισμού. Αλλά όπως είπαμε το σωστό μέγεθος του σεισμού βγαίνει αργότερα και τα μεγέθη που ανακοινώνονται μπορεί να έχουν μικρές αποκλίσεις.

Η καταστροφική ικανότητα ενός σεισμού αν και εξαρτάται εν μέρει από το μέγεθος του, είναι συνάρτηση και άλλων εξίσου σημαντικών παραγόντων όπως το εστιακό βάθος, η επίκεντρη απόσταση, η τοπική γεωλογία, και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κατασκευών (αντοχή, ιδιοπερίοδος, πλαστιμότητα κλπ.). Με τον όρο ένταση σεισμού I εννοούμε ένα μέτρο των αποτελεσμάτων του

σεισμού στους ανθρώπους και τις κατασκευές μιας συγκεκριμένης περιοχής. Η ένταση ενός σεισμού προσδιορίζεται μέσω της αξιολόγησης της δυνατότητας αντίληψης και των τοπικών ζημιών. Χρησιμοποιούνται διάφορες κλίμακες έντασης, δεν υπάρχουν όμως μεταξύ των 12βάθμιων κλιμάκων μεγάλες διαφορές.

Η κλίμακα MKS (1964 από τα ονόματα των Medvedev, Sponheur, Karnik). Η κλίμακα MKS είναι 12βάθμια και χρησιμοποιείται κυρίως στην Ευρώπη (και στην Ελλάδα). Η κλίμακα MM (1931 χαρακτηρίζεται σαν τροποποιημένη κλίμακα Mercalli) είναι επίσης 12βάθμια και χρησιμοποιείται κυρίως στις ΗΠΑ αλλά και στην Ευρώπη (πχ. στην Ιταλία). Η κλίμακα MS (από τα ονόματα Mercalli-Sieberg) είναι 12βάθμια και χρησιμοποιείται κυρίως στη Γερμανία.

Ακολουθούν πίνακες κλίμακας MKS καθώς και της τροποποιημένης κλίμακας MM.

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

Τροποποιημένη κλίμακα Mercalli

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

1.5 ΠΟΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΝΕΤΑΙ ΣΕ ΕΝΑ ΣΕΙΣΜΟ;

Οι σεισμοί αποδεσμεύουν ένα τεράστιο ποσό ενέργειας κι αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο μπορούν να είναι τόσο καταστρεπτικοί.

Ο πίνακας παρουσιάζει τα μεγέθη με το κατά προσέγγιση ποσό της ποσότητας TNT που απαιτείται για να αποδεσμεύσει το ίδιο ποσό ενέργειας.

Μέγεθος Κατά προσέγγιση ισοδύναμη ενέργεια TNT

4.0	1010 τόνοι
5.0	31800 τόνοι
6.0	1.010.000 τόνοι
7.0	31.800.000 τόνοι
8.0	1.010.000.000 τόνοι
9.0	31.800.000.000 τόνοι

Τα μεγέθη ταξινομούνται ως εξής:

Μεγάλος: $M \geq 8$ (Μεγάλες απώλειες ανθρώπινων ζωών και μεγάλες καταστροφές)

Σημαντικός: $7 < M < 7.9$ (Σοβαρότατες ζημιές και πέραν των 100 χλμ)

Ισχυρός: $6 < M < 6.9$ (Σοβαρές ζημιές εντός 100 τετραγωνικών χλμ)

Μέτριος: $5 < M < 5.9$ (Ζημιές συνήθως εντός 10 τετραγωνικών χλμ)

Ασθενής: $4 < M < 4.9$ (Αισθητοί με ελαφρές συνήθως ζημιές γύρω από το επίκεντρο)

Ασήμαντος: $3 < M < 3.9$ (Αισθητοί χωρίς ζημιές)

Μικρός: $M < 3$ (Πολλές φορές ανεπαίσθητοι)

Ανάλογα με τη γεωλογία της περιοχής γίνονται διορθώσεις στα διάφορα μεγέθη. Επίσης επιλέγεται εκείνο το μέγεθος που εκφράζει με τη μεγαλύτερη ακρίβεια το σεισμικό συμβάν. Για παράδειγμα, εάν μια σεισμική εστία βρίσκεται σε μεγάλο βάθος, τότε δεν παράγονται επιφανειακά κύματα, όπως γίνεται στους πιο αβαθείς σεισμούς, και δεν θα υπολογιστεί -ή καλύτερα δεν θα ανακοινωθεί- το μέγεθος M_s , αλλά το M_L ή το M_B . Αν το επίκεντρο είναι μακριά (αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα), τότε πιο αξιόπιστο μέγεθος είναι το M_B .

Αν όμως ο σεισμός είναι αρκετά μεγάλος, το μέγεθός του θα το αποδώσει το στιγμιαίο μέγεθος M_w , γιατί ενώ οι μεγάλοι σεισμοί έχουν μεγαλύτερη διάρκεια από τους μικρότερους, το M_B προσδιορίζεται από το πλάτος των P κυμάτων στα πρώτα 5 δευτερόλεπτα της δόνησης. Έτσι το M_B , δεν θα αποδώσει με ακρίβεια το πραγματικό μέγεθος μεγάλων σεισμών, οι οποίοι, συνήθως, διαρκούν περισσότερο και δίνουν το πραγματικό μέγεθός τους μετά την πάροδο μερικών δευτερολέπτων.

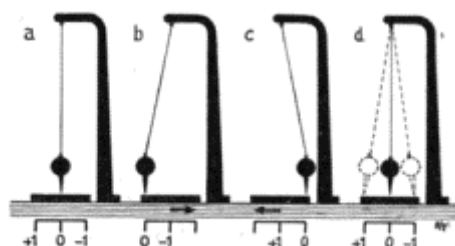
1.6 ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ



Σεισμογράφοι του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών

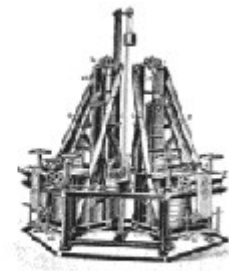
Τα σεισμικά κύματα που ξεκινούν από την εστία και οδεύουν μέσα από τα διάφορα στρώματα της Γης φθάνουν στους σταθμούς παρατήρησης και καταγράφονται από τα διάφορα σεισμογραφικά όργανα. Για να περιγραφεί πλήρως η κίνηση των υλικών σημείων της Γης απαιτούνται τρία είδη σεισμογραφικών οργάνων, αυτά που καταγράφουν την **μετάθεση**, αυτά που καταγράφουν την **περιστροφή** και αυτά που καταγράφουν την **παραμόρφωση**. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τη Σεισμολογία παρουσιάζουν τα σεισμογραφικά όργανα που καταγράφουν την μετάθεση και τις παραγώγους της ως προς τον χρόνο, την ταχύτητα και την επιτάχυνση. Κατά σειρά ιστορικής εξέλιξης και επιστημονικής αξίας διακρίνουμε:

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



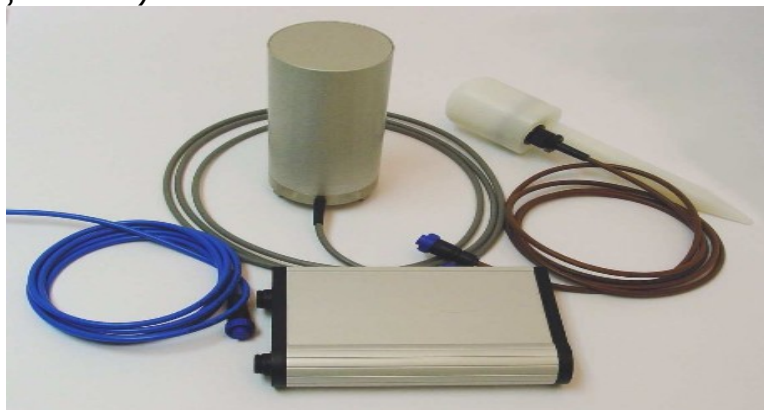
Σεισμογράφοι είναι όργανα με τα οποία επιτυγχάνεται αυτόματη αλλά όχι πιστή αναγραφή της σεισμικής κίνησης. Η αναγραφή αυτή, που λέγεται σεισμογράφημα, γίνεται με γραφίδα πάνω σε αιθαλωμένη ταινία ή με φωτεινή κηλίδα πάνω σε φωτογραφική ταινία. Ο σεισμογράφος αποτελείται από το εκκρεμές, το σύστημα ενίσχυσης (ή μεγέθυνσης) και το σύστημα αναγραφής. Η μάζα του εκκρεμούς πρέπει να είναι σημαντική ώστε η δύναμη της αδράνειας να υπερνικήσει τις τριβές της γραφίδας και των αρθρώσεων των

μοχλών. Ωστόσο επειδή οι σειсмоγράφοι δεν διέθεταν σύστημα απόσβεσης της κίνησης, το οποίο θα επανέφερε γρήγορα το εκκρεμές σε θέση ηρεμίας ώστε να ανταποκριθεί σε νέα δόνηση, οι καταγραφές τους ήταν αποτέλεσμα όχι μόνο της σεισμικής κίνησης αλλά και της αιώρησης του εκκρεμούς. Για τον πλήρη καθορισμό της μετάθεσης σε ένα σταθμό πρέπει να υπάρχουν τρεις σειсмоγράφοι, ένας για την κατακόρυφη συνιστώσα και δυο για τις οριζόντιες συνιστώσες της εδαφικής κίνησης.



Οριζόντιο σεισμόμετρο Mainka
(Zisberg, 1922)

Σεισμόμετρα είναι όργανα που γράφουν με σημαντική ακρίβεια τις σεισμικές κινήσεις. Καταγράφουν τη μετακίνηση του εδάφους ως συνάρτηση του χρόνου και λειτουργούν σε συνεχή βάση. Οι καταγραφές τους ενδιαφέρουν κυρίως τους σεισμολόγους. Η βασική διαφορά μεταξύ σεισμόμετρου και σειсмоγράφου είναι ότι το σεισμόμετρο διαθέτει συσκευή με την οποία πετυχαίνεται απόσβεση της αιώρησης του εκκρεμούς και έτσι είναι δυνατή η πιστότερη αναγραφή της σεισμικής κίνησης. Οι αναγραφές των σεισμόμετρων λέγονται σειсмоγραφήματα. Η αναγραφή των σεισμικών κυμάτων στα σεισμόμετρα γίνεται με τρεις κυρίως τρόπους. Πρώτον, με μηχανική αναγραφή (σεισμόμετρα Mainka, Wiechert). Δεύτερον, με οπτική αναγραφή (σεισμόμετρα Milne - Show, Wood - Anderson). Τρίτον, με ηλεκτρομαγνητική αναγραφή (σεισμόμετρο κινούμενου πηνίου Galitzin και το σεισμόμετρο μεταβαλλόμενης μαγνητικής αντίστασης Benioff).



Οι επιταχυνσιογράφοι αποτελούν ειδική κατηγορία σεισμόμετρων. Τα σειсмоγραφήματα των οργάνων αυτών δίνουν τη σεισμική επιτάχυνση (του εδάφους) σε συνάρτηση με τον χρόνο.

Χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά από την Τεχνική Σεισμολογία για την καταγραφή σεισμών ισχυρών κινήσεων που ενδιαφέρουν τον Μηχανικό για τη σχεδίαση των έργων. Τοποθετούνται συνήθως μέσα στα κτίρια για την μέτρηση της επιτάχυνσης κατά την γένεση των σεισμών. Δεν βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία, όπως συμβαίνει με τα άλλα σεισμόμετρα, αλλά μπαίνουν σε λειτουργία με κατάλληλη διέγερση στην αρχή του σεισμού και γράφουν την προκαλούμενη επιτάχυνση από το σεισμό. Ένας από τους πιο διαδεδομένους τύπους επιταχυνσιογράφων ήταν ο αναλογικός επιταχυνσιογράφος SMA-1, στον οποίο η καταγραφή της δόνησης γίνεται σε φωτογραφικό φιλμ. Ο επιταχυνσιογράφος αυτός σιγά-σιγά αντικαθίσταται από ψηφιακούς σύγχρονους επιταχυνσιογράφους.



1.7 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

Για τον σχεδιασμό των αντισεισμικών κατασκευών είναι απαραίτητη η γνώση της αναμενόμενης εδαφικής κινήσεως λόγω σεισμού. Ο σεισμός όμως αποτελεί στοχαστικό φαινόμενο με τυχαία κατανομή μεγέθους και εντάσεως στο χρόνο και στο χώρο. Και στην περίπτωση ακόμη λοιπόν που υπάρχουν καταγραφές μακράς διάρκειας, είναι απαραίτητη η στατιστική επεξεργασία τους, ώστε να επιλεγεί ο σεισμός σχεδιασμού με προαποφασισμένη πιθανότητα επαναλήψεως σε ορισμένη χρονική περίοδο (80 χρόνια που εκτιμάται ότι είναι η ζωή των κατασκευών). Προς τον σκοπό αυτό έχουν εισαχθεί δύο έννοιες, η έννοια της σεισμικότητας και η έννοια της σεισμικής επικινδυνότητας.

α) Σεισμικότητα

Γενικά "η σεισμικότητα" είναι μία μέτρηση που αυξάνει τόσο με το μέγεθος όσο και με τη συχνότητα των σεισμών στην περιοχή γενέσεώς τους. Ο καθορισμός της σεισμικότητας μιας περιοχής βασίζεται στο στατιστικό νόμο του Gutenberg, ο οποίος δίνει τη συχνότητα των σεισμών (αριθ. σεισμών/έτος) σε συνάρτηση προς το μέγεθός τους από τη σχέση: $\log N = a - b M$ όπου

N: συχνότητα σεισμών μεγέθους M και άνω

M: μέγεθος του σεισμού

a,b: σταθερές προσδιοριζόμενες με στατιστική επεξεργασία καταγραφών.

Για τον ελληνικό χώρο και για την περίοδο 1901 – 1983 έχει προκύψει: $a=5.99$, $b=0.94$ ενώ για το βορειοελλαδικό χώρο 1901 – 1978 έχει προκύψει: $a=2.7$, $b=0.6$. Με βάση τις τιμές a και b μπορούν να υπολογιστούν διάφορες ποσότητες που χρησιμοποιούνται ως μέτρα της σεισμικότητας. Έτσι πχ. ο ετήσιος αριθμός των σεισμών N_m , οι οποίοι έχουν μέγεθος M ή μεγαλύτερο και η μέση περίοδος T_m επαναλήψεώς τους σε έτη δίνονται από τις σχέσεις:

$$N_m = 10^a / 10^{bM}, T_m = 10^{bM} / 10^a$$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνονται υπό μορφή χαρτών σεισμικότητας.

β) Σεισμική επικινδυνότητα

Συνήθως η σεισμική επικινδυνότητα σε ένα τόπο εκφράζεται ποσοτικά είτε με την πιθανότητα να παρατηρηθεί στον τόπο αυτό σεισμική επιτάχυνση ή ένταση I μεγαλύτερη ορισμένης τιμής μέσα σε ορισμένο χρόνο, είτε με την τιμή της επιταχύνσεως A ή εντάσεως I για την οποία η πιθανότητα να υπάρξει υπέρβαση της τιμής της σε ορισμένο χρονικό διάστημα είναι κάτω ορισμένου ορίου.

Όπως ήδη αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο η εκδηλούμενη ένταση I ενός σεισμού ή η μέγιστη επιτάχυνση A , εξασθενεί καθώς μεγαλώνει η απόσταση από το επίκεντρο. Από τη στατιστική αξιολόγηση μεγάλου αριθμού σεισμών έχουν προκύψει εμπειρικοί νόμοι εξασθενήσεως οι οποίοι συνδέουν την ένταση I ή τη μέγιστη επιτάχυνση A με το μέγεθος του σεισμού M και την επικεντρική απόσταση Δ . Για τον ελληνικό χώρο έχουν προκύψει οι παρακάτω νόμοι εξασθενήσεως.

$$I=6.362+1.20M-4.402 \log(\Delta+15) \text{ και } \log A=3.775+0.38M-2.370 \log(\Delta+13)$$

όπου

I : η ένταση (Μ.Μ.)

Δ : η επικεντρική απόσταση σε km

A : η μεγ. επιτάχυνση εδάφους (Σε gal:1000 gal=g)

M : το μέγεθος του σεισμού (κλίμακα Richter).

Με βάση τα παραπάνω όταν είναι γνωστή η σεισμικότητα των επικέντρων από τα οποία απειλείται ένας τόπος, είναι δυνατός ο υπολογισμός της στατιστικής κατανομής μιας παραμέτρου της σεισμικής κινήσεως (πχ. της μεγ. επιταχύνσεως A) ή της σεισμικής εντάσεως (I σε Μ.Μ.) στον τόπο αυτό, αφού είναι γνωστές οι επί μέρους επικεντρικές αποστάσεις Δ και η στατιστική κατανομή χρονικά του μεγέθους M σε κάθε επίκεντρο.

Με βάση τη στατιστική κατανομή των A ή I συντάσσονται πίνακες ή χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας. Χάρτες ή πίνακες της παραπάνω μορφής αποτελούν επί του παρόντος τη μέγιστη συνεισφορά από πλευράς τεχνικής σεισμολογίας στο σχεδιασμό των κατασκευών και παρέχουν ουσιαστικά τη μέγιστη επιτάχυνση σχεδιασμού σε μια περιοχή.

Δεν πρέπει όμως να λησμονείται ο υψηλός βαθμός αβεβαιότητας τόσο ως προς την τιμή της μέγιστης επιταχύνσεως όσο κυρίως και των λοιπών στοιχείων που δεν απεικονίζονται σ' αυτούς τους χάρτες, όπως περίοδος ισχυρών μετακινήσεων, διάρκεια ισχυρών μετακινήσεων κλπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

2.1 ΣΕΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΕΛΛΑΔΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ

Οι περισσότεροι σεισμοί οφείλονται στις κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών, και κατά συνέπεια οι ζώνες έντονης σεισμικής δράσης ουσιαστικά ταυτίζονται με τις παρυφές των πλακών.

Ο ελληνικός χώρος βρίσκεται στα όρια επαφής και σύγκλισης της Ευρασιατικής πλάκας με την Αφρικανική, γι' αυτό και είναι χώρος μεγάλης σεισμικότητας (η **σεισμικότητα** ενός τόπου καθορίζεται από τη συχνότητα εμφάνισης των σεισμών και τα μεγέθη τους). Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία η Ελλάδα, από άποψη σεισμικότητας, κατέχει την πρώτη θέση στη Μεσόγειο και την Ευρώπη καθώς και την έκτη θέση σε παγκόσμιο επίπεδο, μετά την Ιαπωνία, Νέες Εβρίδες, Περού, νησιά Σολομώντα και Χιλή.



Κατανομή των επικέντρων των επιφανειακών σεισμών στον ελληνικό χώρο (Papazachos B.C. et al, 1997).

Το τόξο που δημιουργείται στην περίπτωση αυτή αποτελείται από την **ελληνική τάφρο**, το **νησιωτικό τόξο**, την **οπισθοτάφρο** και το **ηφαιστειακό τόξο**.

Η **τάφρος** δημιουργείται κατά μήκος της επαφής των δύο πλακών. Πρόκειται για ένα σύστημα τάφρων, μία σειρά από βαθιές θαλάσσιες λεκάνες από τη Ρόδο έως και την Κεφαλονιά (γνωστή και ως ελληνική διάυλος). Το μέγιστο βάθος της εντοπίστηκε νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου στο Ιόνιο πέλαγος (βάθος περίπου 4.500m). Αυτό είναι το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου.

Το **νησιωτικό τόξο** αποτελείται από μία σειρά διαδοχικών νησιών όπως η Ρόδος, η Κρήτη, τα Κύθηρα και από την Πελοπόννησο. Τοποθετείται παράλληλα ως προς την τάφρο και σε μικρή απόσταση από αυτήν. Το τόξο αυτό δημιουργείται από την παραμόρφωση και ανύψωση πετρωμάτων (κυρίως ιζηματογενών) του περιθωρίου της Ευρασιατικής πλάκας και περιλαμβάνει πολύ παραμορφωμένα πετρώματα της Αλπικής πτύχωσης.



Το Ελληνικό τόξο (Παπανικολάου Δ., 1998).

Η **οπισθοτάφρος** είναι μία θαλάσσια λεκάνη (Κρητικό πέλαγος), μικρότερου βάθους από την τάφρο. Το μέγιστο βάθος της φτάνει τα 2.000m περίπου. Η λεκάνη αυτή βρίσκεται μπροστά από το νησιωτικό τόξο και πάνω στην Ευρασιατική πλάκα.

Το **ηφαιστειακό τόξο** αποτελείται από διαδοχικά ηφαίστεια (ενεργά και ανενεργά) Σουσάκι, Μέθανα, Μήλος, Σαντορίνη, Νίσυρος. Η δημιουργία τους οφείλεται σε ανάτηξη υλικού της υποβυθιζόμενης Αφρικανικής πλάκας. Κατά την άνοδό του το υλικό αυτό διαπερνά την Ευρασιατική πλάκα και σχηματίζει τα ηφαίστεια.

Όσον αφορά την περιοχή του Β. Αιγαίου, βασικό της μορφολογικό χαρακτηριστικό είναι η τάφρος του Βορείου Αιγαίου, με βάθος 1.500m περίπου.



Σχηματική απεικόνιση (τομή) του ελληνικού τόξου (Παπανικολάου Δ.,1998).

Μία γεωγραφική κατανομή των επικέντρων των σεισμών στον ελληνικό χώρο οδηγεί στα ακόλουθα:

- **τα επίκεντρα των επιφανειακών σεισμών** στον ελληνικό χώρο και στις γύρω περιοχές εμφανίζουν σημαντική διασπορά. Παρόλα αυτά όμως, τα περισσότερα διατάσσονται κατά μήκος μίας τοξοειδούς ζώνης στην περιοχή του ελληνικού τόξου (Δ. Αλβανία – νησιά Ιονίου πελάγους – Κρήτη – Κάρπαθος – Ρόδος – Ν.Δ. Τουρκία). Σημαντική σεισμική δραστηριότητα παρατηρείται επίσης και στην περιοχή του Β. Αιγαίου και της Β.Δ. Ανατολίας
- **οι σεισμοί ενδιάμεσου βάρους** εκδηλώνονται στην περιοχή του Ν. Αιγαίου. Τα επίκεντρα διατάσσονται σε μία ζώνη παράλληλη με το ελληνικό τόξο, ενώ οι εστίες βρίσκονται πάνω στη ζώνη Benioff η οποία κλίνει με γωνία περίπου 35ο από το κυρτό προς το κοίλο μέρος του τόξου, από την Ανατ.

Μεσόγειο προς το Αιγαίο πέλαγος. Τα εστιακά τους βάθη φτάνουν έως 160km περίπου.

Το θέμα της σεισμικής δραστηριότητας στο Αιγαίο και των αιτίων της είναι αρκετά πολύπλοκο. Πρόσφατα στοιχεία δείχνουν ότι η σεισμική δραστηριότητα στο Αιγαίο είναι αυξημένη εξαιτίας:

- **συμπιεστικής δύναμης που οφείλεται στη σύγκλιση της Αφρικανικής – Ανατ. Μεσογείου λιθосφαιρικής πλάκας με την αντίστοιχη Ευρασιατική – Αιγαίο.** Η σύγκλιση αυτή προκαλεί τους επιφανειακούς σεισμούς κατά μήκος του Ελληνικού τόξου καθώς και τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους στο Ν. Αιγαίο.
- **συμπιεστικής δύναμης που οφείλεται στην αριστερόστροφη περιστροφή της Αδριατικής – Απουλίας πλάκας.** Η περιστροφή προκαλεί τη γένεση επιφανειακών σεισμών κατά μήκος των δυτικών ακτών της Κεντρικής Ελλάδας, της Αλβανίας και της πρώην Γιουγκοσλαβίας.
- **συμπιεστικής δύναμης που οφείλεται κυρίως στην κίνηση της Τουρκικής – Ανατολίας λιθосφαιρικής πλάκας προς τα δυτικά,** που με τη σειρά της η κίνηση αυτή οφείλεται στην προς Βορρά κίνηση της Αραβικής πλάκας.
- **οριζόντιων εφελκυστικών δυνάμεων που έχουν διεύθυνση βορρά – νότου** και αναπτύσσονται στην κάτω επιφάνεια της λιθόσφαιρας του Αιγαίου εξαιτίας της οριζόντιας κίνησης των ρευμάτων μεταφοράς.



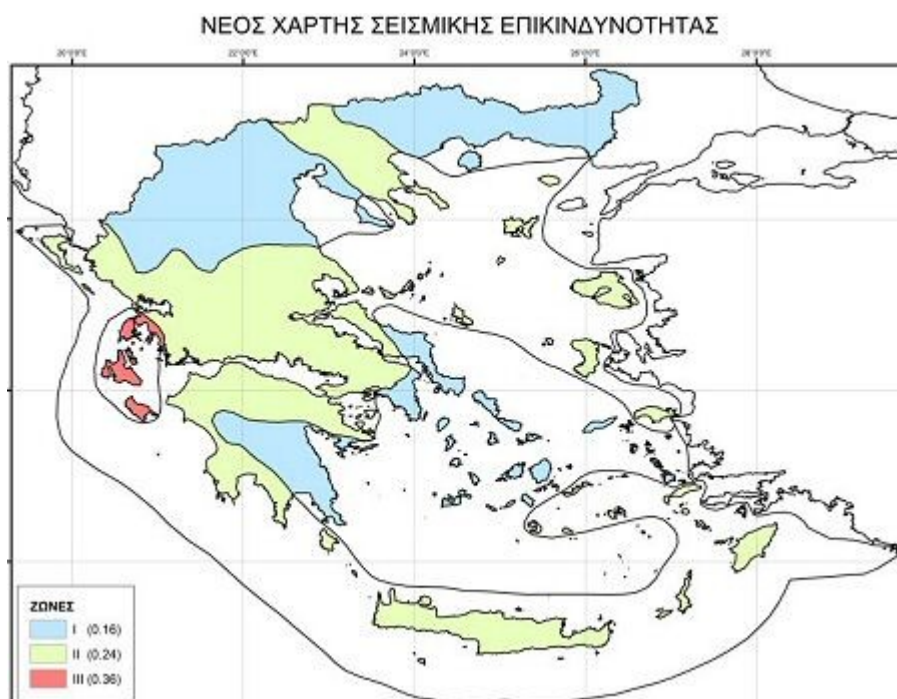
Σχηματική αποτύπωση των δυνάμεων που ασκούνται στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου. Οι συμπίεστικές δυνάμεις Σ_1 , Σ_2 και Σ_3 που ασκούν οι γειτονικές λιθосφαιρικές πλάκες στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου απεικονίζονται με τα κόκκινα βέλη. Οι εφελκυστικές δυνάμεις που ασκούνται στην κάτω επιφάνεια της λιθόσφαιρας με τα κίτρινα βέλη (Παπαζάχος Β., 1989).

Ο Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας που ισχύει σήμερα σχεδιάστηκε την περίοδο 1986-1989, στα πλαίσια σχετικού προγράμματος που είχε αναθέσει ο Ο.Α.Σ.Π. σε σεισμολογικούς φορείς της χώρας (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Ι.Τ.Σ.Α.Κ., Παν. Αθήνας, Παν. Θεσ/νίκης), και άρχισε να εφαρμόζεται μαζί με τον νέο αντισεισμικό κανονισμό (ΝΕΑΚ) το 1995.

Σύμφωνα με τον ισχύοντα σήμερα χάρτη, ο Ελληνικός χώρος κατανέμεται σε 4 ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (I, II, III, IV), με αντίστοιχες τιμές ενεργού εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού 0,12 g για τη πρώτη ζώνη, 0,16 g για τη δεύτερη ζώνη, 0,24 g για την τρίτη ζώνη και 0,36 g για την τέταρτη ζώνη (όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας). Ο χάρτης συνοδεύεται από πίνακα 136 πόλεων και οικισμών και της ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας στην οποία ο καθένας από τους οικισμούς αυτούς ανήκει.

Κατά τη 15ετία 1986-2001 καταστροφικοί σεισμοί έπληξαν τον Ελληνικό χώρο, (Κοζάνη-Γρεβενά 1995, Αίγιο 1995, Κόνιτσα 1996, Αθήνα 1999, Σκύρος 2001 και άλλοι) οπότε άλλαξαν σε πολλές περιπτώσεις τα δεδομένα στα οποία βασίστηκε ο σχεδιασμός του ισχύοντος μέχρι σήμερα χάρτη.

Κατά το χρονικό διάστημα 2002 - 2003 αναθεωρήθηκε από Επιστημονικές Επιτροπές του ΟΑΣΠ ο Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας που συνοδεύει τον Αντισεισμικό κανονισμό της χώρας, με σημαντικές τροποποιήσεις και βελτιώσεις σε σχέση με τον προηγούμενο (κατάργηση της ζώνης χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας, κατανομή του ελλαδικού χώρου σε 3 ζώνες αντί 4, ενιαία τιμή σεισμικής επιτάχυνσης g σε κάθε καποδιστριακό δήμο). Ο Νέος Χάρτης τέθηκε σε εφαρμογή από 1-1-2004.



2.2 ΟΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΤΡΙΑΚΟΝΤΑΕΤΙΑ

2.2.1 ΑΓΙΟΣ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ

Ημερομηνία: 19 Φεβρουαρίου 1968

Ms: 7,1

I_{max}: IX

Καταστρεπτικός σεισμός για το νησί όπως επίσης και για το νησάκι Δασκαλιό. Ελαφρότερες οι ζημιές στη Λήμνο, Λέσβο και Βόρεια Εύβοια. Ακολούθησαν πολλοί μετασεισμοί. Κατέρρευσαν 175 σπίτια, σοβαρές βλάβες έπαθαν 397 και 1.951 σπίτια έπαθαν μικρές βλάβες. Σκοτώθηκαν 20 άτομα και τραυματίστηκαν 39. Παρατηρήθηκε θαλάσσιο κύμα στις νότιες ακτές της Λήμνου, το οποίο στο λιμάνι της Μύρινας είχε ύψος 1,2m. Στην Πέργαμο της Μ. Ασίας σπίτια κατέρρευσαν και σκοτώθηκε 1 άνθρωπος. Ο μεγαλύτερος προσεισμός (M=4,0) εκδηλώθηκε στις 6 Φεβρουαρίου. Μετά τον κύριο σεισμό ακολούθησαν πολλοί μετασεισμοί ο μεγαλύτερος των οποίων (M=5,5) έγινε στις 24 Απριλίου.

2.2.2 ΣΤΙΒΟΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



Ημερομηνία: 20 Ιουνίου 1978

Ώρα: 20:03

Γ. Πλάτος: 40,80°N

Γ. Μήκος: 23,20°E

Απόσταση: 28 km

Βάθος: 6 km

Ms: 6,5

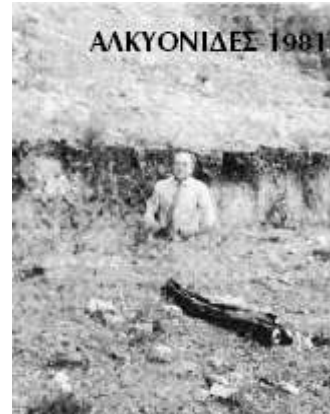
I_{max}: VIII+

Το επίκεντρο του σεισμού βρίσκεται 20 χλμ. ανατολικά της Θεσσαλονίκης, μεταξύ της λίμνης Κορώνειας και Βόλβης, στο χωριό Στίβος. Είναι ο πρώτος μεγάλος σεισμός, ο οποίος προσέβαλε μια σύγχρονη πόλη με εξαιρετικές οικονομικές και άλλες κοινωνικές συνέπειες. Ο απολογισμός της επόμενης ημέρας του μεγάλου σεισμού ήταν 49 νεκροί, 220 τραυματίες και 800.000 άστεγοι, είτε γιατί τα σπίτια τους είχαν καταστραφεί είτε γιατί δεν τολμούσαν να τα χρησιμοποιήσουν. Η έκρυθμη κατάσταση διατηρήθηκε μέχρι τα τέλη Αυγούστου του 1978, οπότε η ζωή στην πόλη ομαλοποιήθηκε. Σύμφωνα με τον ομότιμο καθηγητή ΑΠΘ Γιώργο Πενέλη, ο οποίος συμμετείχε στην βασική επιστημονική ομάδα για την αντιμετώπιση της κρίσης του 1978 και στη διαμόρφωση του πλέγματος αντισεισμικής θωράκισης της χώρας, "βασική αιτία του πανικού που συνέιχε την πόλη για μεγάλο χρονικό διάστημα υπήρξε η μοναδική κατάρρευση οκταώροφης οικοδομής στην πλατεία Ιπποδρομίου, στην οποία βρήκαν το θάνατο 29 από τα συνολικά 49 θύματα". Μεγάλης κλίμακας ήταν και οι υλικές ζημιές. Στο σύνολο των 66.000 κτιρίων του αστικού συγκροτήματος εντοπίστηκαν 3.170 (4,5%) κτίρια με σοβαρές και επικίνδυνες βλάβες, που πολλά κρίθηκαν κατεδαφιστέα, εντοπίστηκαν 13.918 (21%) κτίρια με μέσης ή και μικρής κλίμακας βλάβες ενώ επισημάνθηκαν 49.071 (74,5%) κτίρια χωρίς βλάβες στον φέροντα οργανισμό, με περιορισμένες ή καθόλου βλάβες στον οργανισμό πλήρωσης. Ο ισχυρός σεισμός έπληξε τους νομούς Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Σερρών, Χαλκιδικής καθώς οι σημαντικότερες βλάβες παρατηρήθηκαν στα χωριά Σχολάρι, Γερακαρού και Άσσηρο. Παρατηρήθηκαν διάφορες ρωγμές στο έδαφος, η μεγαλύτερη από τις οποίες είχε διεύθυνση ανατολή - δύση και ακολουθούσε τα χωριά Περιστερώνας - Στίβος - Γερακαρού. Η ρωγμή αυτή, η οποία θεωρείται η επιφανειακή εκδήλωση του σεισμογόνου ρήγματος, είχε μήκος 12 km και πλάτος 2 cm. Σημαντική μεταβολή στην παροχή μιας υδραντλίας κοντά στο χωριό Σχολάρι παρατηρήθηκε πριν από τη γένεση του μεγαλύτερου προσεισμού (της 23 Μαΐου). Ο σεισμός έγινε αισθητός σε πολλά μέρη της Ελλάδος αλλά και της Βουλγαρίας, της νότιας Γιουγκοσλαβίας και της Αλβανίας. Προηγήθηκε μεγάλος αριθμός προσεισμών, ο μεγαλύτερος από τους οποίους έγινε στις 23 Μαΐου (5,8 Ρίχτερ), ενώ ο μεγαλύτερος μετασεισμός στις 4 Ιουλίου (5,1 Ρίχτερ). Επί 45 ημέρες 1.000 μηχανικοί εργάστηκαν για την εκτίμηση των ζημιών κτιρίων, τις υποστυλώσεις, τις καθαιρέσεις, και τον έλεγχο των κατασκευών.



2.2.3 ΠΕΡΑΧΩΡΑ – ΑΛΚΥΟΝΙΔΕΣ

Ημερομηνία: 24 Φεβρουαρίου 1981
Ώρα: 20:54
Γ. Πλάτος: 38,20°N
Γ. Μήκος: 23,00°E
Απόσταση: 31 km
Ms: 6,7
I_{max}: IX



Πολύ ισχυρός σεισμός με αρκετά ισχυρούς μετασεισμούς που προκάλεσαν καταστροφές σε Κορινθία, Βοιωτία, Αττική, Φωκίδα, Εύβοια. Τα χωριά Περαχώρα, Πίσια, Πρόδρομος έπαθαν μεγάλες ζημιές από τον κύριο σεισμό ενώ τα χωριά Πλαταιές και Καπαρέλι από το μετασεισμό της 4ης Μαρτίου (M=6,4). Συνολικά καταστράφηκαν 22.554 οικοδομές, σοβαρές βλάβες υπέστησαν 11.745 και ελαφρότερες 50.222 οικοδομές, καθώς επίσης σκοτώθηκαν 20 άτομα και τραυματίστηκαν 500. Παρατηρήθηκαν σε διάφορα μέρη φαινόμενα ρευστοποίησης, πτώσεις βράχων καθώς και ασθενές θαλάσσιο κύμα βαρύτητας. Κατά μήκος των νοτίων ακτών του κόλπου (περιοχή Περαχώρας) εντοπίστηκε μετά τον κύριο σεισμό επιφανειακή εκδήλωση του σεισμογόνου ρήγματος, μήκους 15km. Μετά το μετασεισμό της 4ης Μαρτίου παρατηρήθηκε επιφανειακή εκδήλωση του σεισμογόνου ρήγματος κοντά στις βορειοανατολικές ακτές του κόλπου, μήκους 15km και μέσης πτώσης 60cm.

2.2.4 ΚΑΛΑΜΑΤΑ

Ημερομηνία: 13 Σεπτεμβρίου 1986
Ώρα: 17:25
Γ. Πλάτος: 37,10°N
Γ. Μήκος: 22,19°E
Απόσταση: 10 km
Ms: 6,0
I_{max}: X



Ο ισχυρός σεισμός προκάλεσε ανεπανόρθωτες βλάβες στην πόλη της Καλαμάτας και ιδιαίτερα στη συνοικία Γιαννιτσάνικα που



βρίσκονται στην ανατολική επέκταση της πόλης. Κατέστρεψε επίσης το ορεινό χωριό Ελαιοχώρι που βρίσκεται βορειοανατολικά της Καλαμάτας σε απόσταση 10 km από την πόλη και προκάλεσε σοβαρές βλάβες στα χωριά Βέργα, Πολιανή, Άρης, Αρτεμησία και Νέδουσα. Από τα 9.124 σπίτια της Καλαμάτας το 20% αυτών κρίθηκαν κατεδαφιστέα, το 16% έπαθαν σοβαρές βλάβες και το 36% ελαφρές βλάβες. Κατέρρευσαν δύο 5ωροφες πολυκατοικίες από τον κύριο σεισμό, ενώ από το μεγαλύτερο μετασεισμό, ο οποίος έγινε στις 15 Σεπτεμβρίου κατέρρευσε μία 5ωροφη πολυκατοικία και μία 4ωροφη. Σκοτώθηκαν 20 άνθρωποι και τραυματίστηκαν 80. Βράχοι κατρακύλησαν από τον Ταΰγετο και έφραξαν τον εθνικό δρόμο Σπάρτης – Καλαμάτας επί 24 ώρες.

2.2.5 ΚΟΖΑΝΗ - ΓΡΕΒΕΝΑ

Ημερομηνία: 13 Μαΐου 1995
Ώρα: 08:45
Γ. Πλάτος: 40,16°N
Γ. Μήκος: 21,67°E
Ms: 6,6
I_{max}: IX+



Πολλά χωριά του νομού Γρεβενών καταστράφηκαν: Κνίδη (IX+), Καλαμίτσι, Βάρη, Ταξιάρχης, Κοκκινιά κ.α.. Στο νομό Κοζάνης σοβαρές βλάβες παρατηρήθηκαν στα χωριά Χρώμιο, Δαφνερό (IX), Ρύμνιο (VIII) κ.α.. 12 άνθρωποι τραυματίστηκαν. 2523 κτίρια στο νομό Γρεβενών και 7693 στο νομό Κοζάνης κατέρρευσαν ή έπαθαν

διάφορες βλάβες από το σεισμό. Ο μεγαλύτερος προσεισμός εκδηλώθηκε 4 λεπτά πριν τον κύριο σεισμό ($M=4,5$) ενώ ο μεγαλύτερος μετασεισμός ($M=5,5$) στις 17 Ιουλίου.

2.2.6 ΑΙΓΙΟ



Ημερομηνία: 15 Ιουνίου 1995

Ώρα: 00:16

Γ. Πλάτος: 38,37°N

Γ. Μήκος: 22,15°E

Απόσταση: 15 km

M_s : 6,1

I_{max} : VII

Ο σεισμός κατέστρεψε το Αίγιο και έπληξε την Αχαΐα και τη Φωκίδα. 26 άνθρωποι σκοτώθηκαν από την κατάρρευση μιας πολυκατοικίας στο Αίγιο (VIII) και ενός ξενοδοχείου στα Βαλιμίτικα. Εκτεταμένες ήταν οι ζημιές σε κτίρια χωριών της Αχαΐας (Βαλιμίτικα, VII) και της Φωκίδας (Ερατεινή, VII) καθώς και στην προβλήτα του λιμανιού του Αιγίου. Στην ευρύτερη περιοχή παρατηρήθηκαν φαινόμενα ρευστοποίησης, διαρρήξεις του εδάφους, μετάθεση της ακτογραμμής και υποθαλάσσιες κατολισθήσεις. Ο μεγαλύτερος προσεισμός ($M=4,6$) εκδηλώθηκε στις 28 Μαΐου. Μετά τον κύριο σεισμό ακολούθησαν πολλοί μετασεισμοί ο μεγαλύτερος των οποίων ($M=5,6$) έγινε 15min μετά τον κύριο σεισμό.

2.2.7 ΚΟΝΙΤΣΑ



Ημερομηνία: 26 Ιουλίου 1996

Ms: 5,2

Ο σεισμός έπληξε το νομό Ιωαννίνων και κυρίως την περιοχή της Κόνιτσας. 4 άνθρωποι τραυματίστηκαν ενώ κτίρια στην πόλη της Κόνιτσας και στα γύρω χωριά υπέστησαν βλάβες. Παρατηρήθηκαν πτώσεις βράχων και κατολισθήσεις σε αρκετές περιοχές. Στις 6 Αυγούστου του 1996 σεισμός ($M=5,7$) έπληξε την ίδια περιοχή με συνέπεια οι βλάβες στα κτίρια να γίνουν περισσότερες. Μετά τον κύριο σεισμό ακολούθησαν πολλοί μετασεισμοί έως και το Νοέμβριο του 1996.

2.2.8 ΑΘΗΝΑ – ΠΑΡΝΗΘΑ



Ημερομηνία: 7 Σεπτεμβρίου 1999

Ώρα: 11:57

Γ. Πλάτος: 38,15°N

Γ. Μήκος: 23,60°E

Ms: 5,9

I_{max}: IX

Είχε καταστροφικές επιπτώσεις για την ευρύτερη πλειόσειστη περιοχή. Το επίκεντρό της εντοπίστηκε στην περιοχή της Πάρνηθας, περίπου 18km από το κέντρο της Αθήνας. Η ένταση του σεισμού έφτασε μέχρι το ΙΧ της κλίμακας ΜΜ στη βορειοδυτική περιοχή του λεκανοπεδίου Αθήνας. 143 άνθρωποι σκοτώθηκαν, 85 άνθρωποι απεγκλωβίστηκαν ζωντανοί μέσα από τα ερείπια, εκατοντάδες τραυματίστηκαν και χιλιάδες έμειναν άστεγοι. Δεκάδες ήταν τα κτίρια που κατέρρευσαν, ανάμεσα σε αυτά και βιομηχανικά-βιοτεχνικά (Ricomex, Fourlis, Faran κ.α.). Εκτεταμένες ήταν οι βλάβες σε κτίρια (σπίτια, βιομηχανικά κτίρια, σχολεία, νοσοκομεία κ.α.) της ευρύτερης πλειόσειστης περιοχής. Σοβαρές βλάβες υπέστησαν και κάποια μνημεία της πολιτιστικής μας κληρονομιάς όπως η Μονή Δαφνίου, το Φρούριο της Φυλής, το τείχος της Ελευσίνας κ.α.. Στην ευρύτερη περιοχή παρατηρήθηκαν εδαφικές διαρρήξεις και πτώσεις βράχων. Προσεισμική δραστηριότητα καταγράφηκε από τις 14:38 με τοπικά σεισμικά μεγέθη από 2,5 έως 3,2. Η μετασεισμική δραστηριότητα ήταν αρκετά έντονη και διήρκεσε αρκετούς μήνες.

2.2.9 ΣΚΥΡΟΣ

Ημερομηνία: 26 Ιουλίου 2001

Ώρα: 00:22

Γ. Πλάτος: 39,05°N

Γ. Μήκος: 24,35°E

Ms: 5,8

I_{max}: VI+

Σοβαρές βλάβες προκλήθηκαν σε 5 κτίρια (κόκκινα) και πιο ελαφρές σε άλλα 46 (κίτρινα). Πτώσεις βράχων παρατηρήθηκαν στο δυτικό τμήμα του κάστρου της Σκύρου και κατέστρεψαν δεκάδες αυτοκίνητα. Προβλήματα δημιουργήθηκαν στην υδροδότηση της πόλης από τη σταδιακή μείωση της παροχής νερού της πηγής Αναβάλλουσα. Ο μεγαλύτερος προσεισμός έγινε στις 21 Ιουλίου (M=5,1) ενώ ο μεγαλύτερος μετασεισμός έγινε στις 26 Ιουλίου (M=5,3).

2.2.10 ΛΕΥΚΑΔΑ

Ημερομηνία: 14 Αυγούστου 2003

Ώρα: 05:15

Γ. Πλάτος: 38,85°N

Γ. Μήκος: 20,57°E

Ms: 6,4

I_{max}: VII+

Έγινε έντονα αισθητός και σε πολλές περιοχές της Δυτικής Ελλάδας. Ρωγμές και καθιζήσεις προκλήθηκαν σε αρκετά λιμάνια και μαρίνες του νησιού. Εκτεταμένες πτώσεις βράχων και κατολισθήσεις παρατηρήθηκαν κυρίως στον δυτικό οδικό άξονα (Λευκάδα-Άγιος Νικήτας μέχρι το Πόρτο Κατσικι).

2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΡΟΣΦΑΤΩΝ ΙΣΧΥΡΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

2.3.1 ΑΓΙΟΣ ΣΥΜΕΩΝ – ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ

Ισχυρός σεισμός μεγέθους $M=6.5$ συνέβη στην κεντρική ακτή της Καλιφόρνιας στις 22 Δεκεμβρίου 2003, ημέρα Δευτέρα και ώρα 19:15:56. Το επίκεντρο ήταν 11 χλμ ΝΔ του Αγίου Συμεών σε βάθος περίπου 8 χλμ. Δύο άνθρωποι σκοτώθηκαν και περίπου 40 κτίρια υπέστησαν σοβαρές ζημιές. Αρκετές καταστροφές σημειώθηκαν στο Πάσο Ρόμπλες το οποίο βρίσκεται περίπου 39 χλμ από το επίκεντρο. Τουλάχιστον 40 άνθρωποι τραυματίστηκαν όπως αναφέρθηκε, στην περιοχή του Πάσο Ρόμπλες-Τέμπλετον.

Ημερομηνία: 22 Δεκεμβρίου 2003

Ώρα: 19:15:56

Γ. Πλάτος: 121,102 W

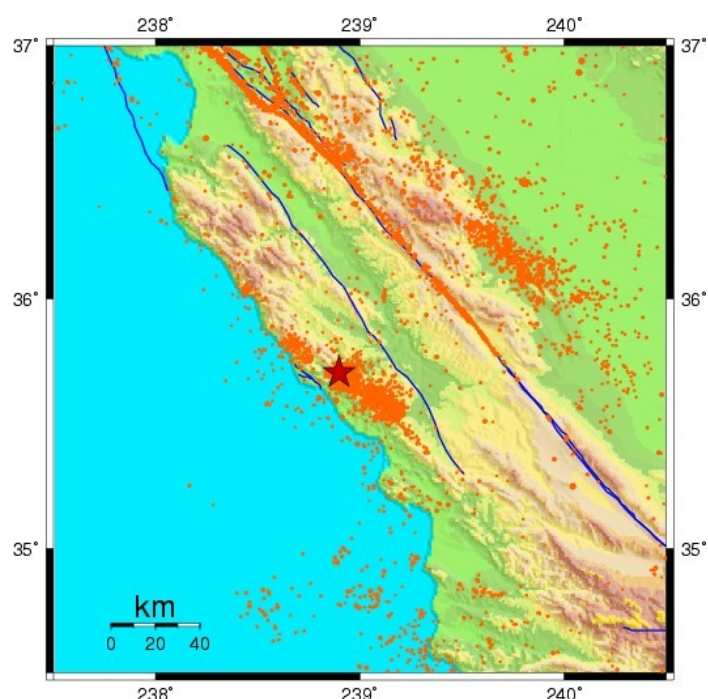
Γ. Μήκος: 35,706 N

Βάθος: 8

M: -

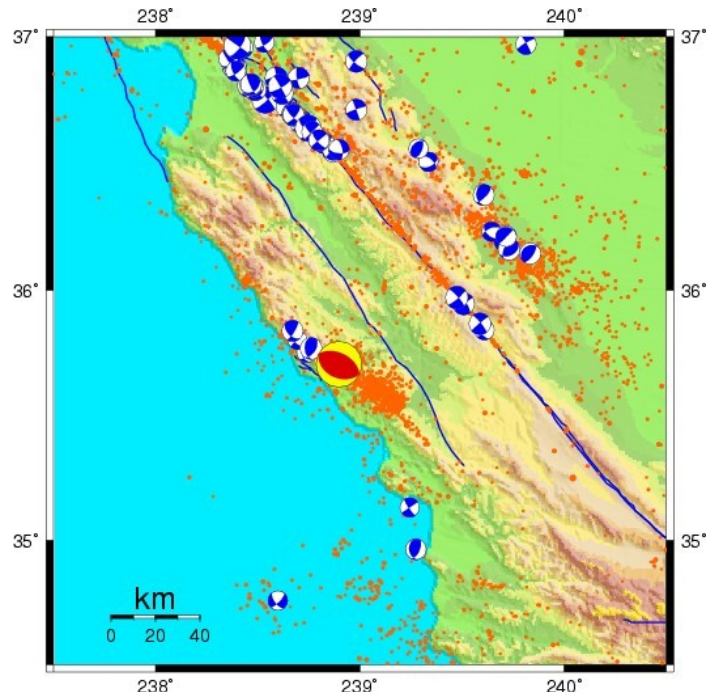
M_w: 6,5

Πηγή: USGS



Σεισμικές Παράμετροι

Σεισμική ροπή: $4,2 * 10^{25}$
φ1: 115
δ1: 40
λ1: 89
φ2: 297
δ2: 50
λ2: 91
Πηγή: USGS



ΕΙΚΟΝΕΣ









M = Μέγεθος Σεισμού
 M_I = Τοπικό Μέγεθος
 M_w = Μέγεθος Σεισμικής Ροπής
 M_o = Σεισμική Ροπή (dyn cm)

2.3.2 ΜΠΑΜ – ΙΡΑΝ

Ισχυρός σεισμός μεγέθους $M=6.6$ συνέβη στο νότιο Ιράν στις 26 Δεκεμβρίου 2003, ημέρα Παρασκευή και ώρα 1:56:52. Το επίκεντρο ήταν 975 χλμ ΝΕ της πρωτεύουσας του Ιράν Τεχεράνη σε βάθος περίπου 10 χλμ. Περισσότεροι από 20.000 άνθρωποι σκοτώθηκαν και η πόλη Μπάμ καταστράφηκε. Το ρεύμα και οι τηλεφωνικές γραμμές διεκόπησαν.

Ημερομηνία: 26 Δεκεμβρίου 2003

Ώρα: 01:56:52

Γ. Πλάτος: 58,330 W

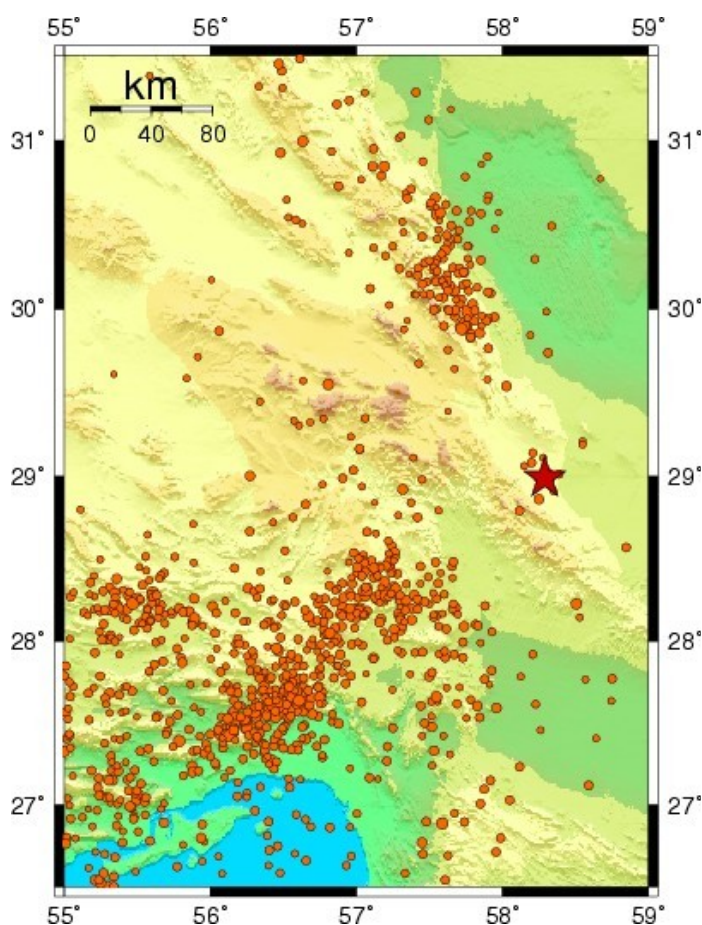
Γ. Μήκος: 29,000 N

Βάθος: 10

M: -

Mw: 6,6

Πηγή: USGS



Σεισμικές Παράμετροι

Σεισμική ροπή: $6,6 * 10^{25}$

φ1: 264

δ1: 88

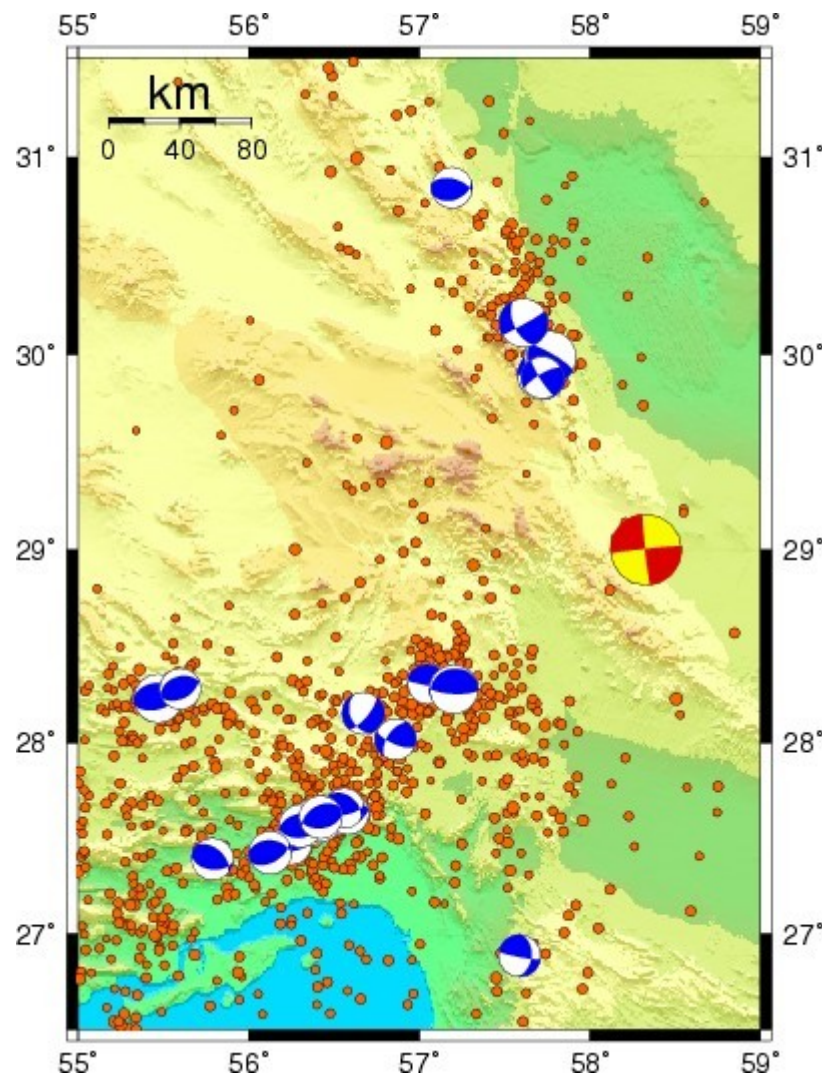
λ1: 2

φ2: 174

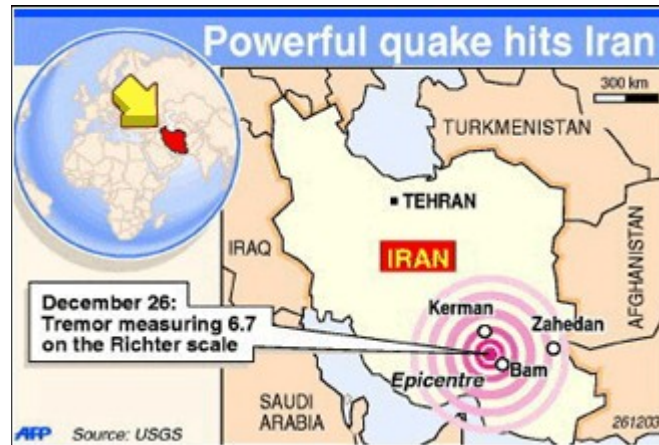
δ2: 88

λ2: 178

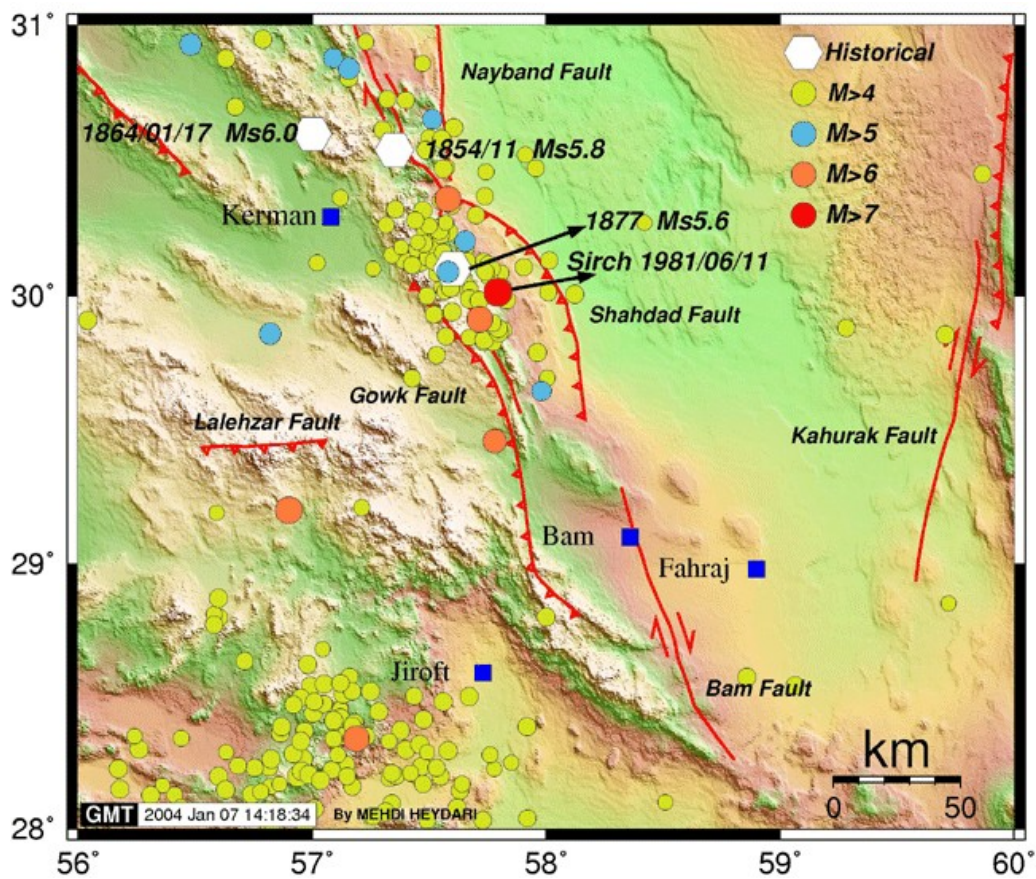
Πηγή: USGS



EIKONES







ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

3.1 ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

Μακροσεισμικά αποτελέσματα λέγονται οι μεταβολές που προκαλούνται από τους σεισμούς στο έδαφος, στο επιφανειακό και υπόγειο νερό, στις τεχνικές κατασκευές κλπ., καθώς και η επίδραση αυτών στους ανθρώπους και τα ζώα.

- Πρωταρχικά λέγονται ορισμένα από τα μακροσεισμικά αποτελέσματα τα οποία είναι άμεσες συνέπειες των αιτιών στα οποία οφείλεται η γένεση των σεισμικών κυμάτων, όπως είναι η σχετική κίνηση των πλευρών του σεισμικού ρήγματος.
- Επακόλουθα λέγονται τα υπόλοιπα αποτελέσματα τα οποία προκαλούνται από σεισμικά κύματα κατά τη διέλευσή τους από τον τόπο παρατήρησης.

- Μόνιμα χαρακτηρίζονται τα πρωταρχικά και ορισμένα από τα επακόλουθα μακροσεισμικά αποτελέσματα που μπορούμε να τα παρατηρήσουμε και μετά από το σεισμό.
- Παροδικά χαρακτηρίζονται ορισμένα επακόλουθα αποτελέσματα που παρατηρούνται μόνο κατά τη διάρκεια του σεισμού.

3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Εδαφικές διαρρήξεις

Οι μικρές εδαφικές διαρρήξεις (επιφανειακές μικρές σχισμές) λέγονται **εδαφικές ρωγμές** που οφείλονται συνήθως σε ολισθήσεις ή σε μικρές κατακόρυφες κινήσεις μικρών τεμαχίων του εδάφους.

Οι μεγάλες εδαφικές διαρρήξεις λέγονται **εδαφικά χάσματα** με μήκος δεκάδων ή και εκατοντάδων χιλιομέτρων, με ορατά βάθη περίπου τα 100m, με άνοιγμα μόλις λίγα μέτρα, και είναι συνήθως τα επιφανειακά ίχνη των σεισμικών ρηγμάτων που παρατηρούνται σε περιπτώσεις ισχυρών σεισμών ($M \geq 6,5$).



Εδαφικές ρωγμές που παρατηρήθηκαν αμέσως μετά το σεισμό της 17^{ης} Αυγούστου 1999 ($M=7,5$) στην περιοχή της Νικομήδειας (Izmit) της Τουρκίας.



Το ρήγμα του μεγάλου σεισμού που έγινε στο Nobi (Mino-Owari) στην Κεντρική Ιαπωνία (28 Οκτωβρίου 1891, $M=8,0$). Η κατακόρυφη μετάθεση είναι 6,5 – 8,5 m.



Οριζόντια μετάθεση φράκτη (στην περιοχή Sakaraya), κάθετου στο ρήγμα του σεισμού του Ismit της Τουρκίας (Νικομήδεια, 17.8.1999, $M=7,5$)



Το ρήγμα του σεισμού Chi-Chi στην Taiwan (20 Σεπτεμβρίου 1999, $M=7,5$)



Το ρήγμα του σεισμού του Kunlun στην Κίνα (14 Νοεμβρίου 2001, $M=7,7$)

Εδαφικές κατολισθήσεις

Οι εδαφικές κατολισθήσεις παράγονται κατά τη γένεση των σεισμών και οφείλονται στην προκαλούμενη από τη σεισμική κίνηση ελάττωση της τριβής που συγκρατεί σε επαφή τα διάφορα στρώματα. Έχουμε κατολίσθηση ιδιαίτερα όταν ψαθυρά (χαλαροί σχηματισμοί) στρώματα επικάθονται πάνω σε συνεκτικά (σκληρά πετρώματα). Επίσης είναι δυνατόν να κατολισθήσουν βράχοι που βρίσκονται σε σχετικά ασταθή ισορροπία. Έχουν παρατηρηθεί περιπτώσεις που κατολισθήσεις εξαφάνισαν ολόκληρα χωριά προκαλώντας τον θάνατο σε ένα μεγάλο αριθμό ατόμων.



Σχηματικές παραστάσεις εδαφικών κατολισθήσεων



Εδαφικές βαθύνσεις

Έχουν συνήθως σχήμα σκάφης ή χωνιού και σχηματίζονται πάνω από ρήγματα που δεν φαίνονται στη επιφάνεια ή πάνω από υπόγειες καταπτώσεις. Αν γεμίσουν με νερό σχηματίζουν τέλματα, ενώ αν βγαίνει υγρή άμμος ή λάσπη σχηματίζουν αμμώδεις ή βορβορώδεις αναβλύσεις.



Εδαφικές βαθύνσεις στη Niigata της Ιαπωνίας που παρατηρήθηκαν αμέσως μετά το σεισμό της 16^{ης} Ιουνίου 1964.

Ρευστοποίηση εδάφους

Η ρευστοποίηση εδάφους παρατηρείται αρκετές φορές κυρίως σε αμμώδη εδάφη, τα οποία αποτελούνται από συσσώρευση κόκκων άμμου οι οποίοι συγκρατούνται μεταξύ τους με δυνάμεις τριβής ενώ η πίεση του νερού μέσα στους πόρους είναι χαμηλή. Με την γένεση του σεισμού η δομή διασπάται, η πίεση του νερού αυξάνει με συνέπεια οι δυνάμεις τριβής ανάμεσα στους κόκκους να μειώνονται, έτσι ώστε το υλικό στο τέλος συμπεριφέρεται ως ρευστό. Έτσι, οι κατασκευές σε τέτοιες περιοχές υφίστανται σημαντικές βλάβες λόγω μερικής βύθισης, κλίσης κλπ.



Αποτελέσματα της ρευστοποίησης του εδάφους σε κατασκευές της πόλης Niigata της Ιαπωνίας λόγω του σεισμού της 16^{ης} Ιουνίου 1964 με μέγεθος $M=7,5$.



Βλάβες σε κτίρια λόγω ρευστοποίησης εδάφους από τους σεισμούς του Kobe (δεξιά) στην Ιαπωνία (17.1.1995, $M=6,9$) και του Izmit (αριστερά) στη Τουρκία (17.8.1999, $M=7,5$).

Υψομετρικές μεταβολές

Οι υψομετρικές μεταβολές δημιουργούνται κατά τη γένεση μεγάλων σεισμών και οφείλονται σε έξαρση ή καθίζηση τεμαχών σημαντικών διαστάσεων. Στις παράκτιες περιοχές, οι εξάρσεις αυτές παρατηρούνται εύκολα λόγω της μόνιμης μετάθεσης των ακτών πάνω από τη στάθμη της θάλασσας και της ύπαρξης μιας λευκής γραμμής που σχηματίζουν στην ακτή τα λείψανα οστράκων και φυκιών, τα οποία ζούσαν πριν από την έξαρση κάτω από τη θάλασσα.

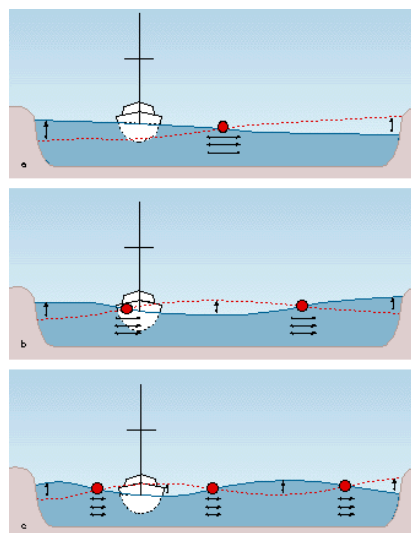
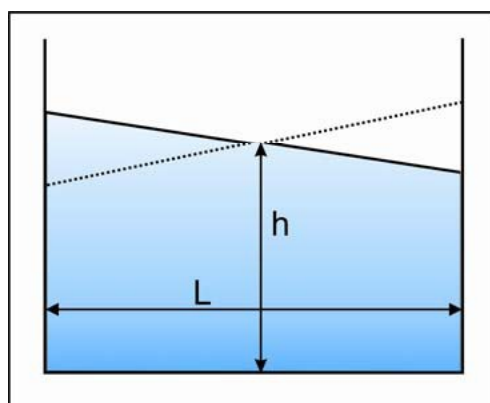


Φωτογραφία της καθίζησης, ύψους 3 – 3,5m, που παρατηρήθηκε στην περιοχή Halape Beach Park στο νησί της Χαβάης μετά τον σεισμό του Kalarana (29 Νοεμβρίου 1975, $M=7,2$).

3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΝΕΡΟ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣ

Οι μεγάλοι σεισμοί προκαλούν στα νερά της ξηράς άμεσες και έμμεσες μεταβολές. Άμεσες μεταβολές είναι οι διάφορες ταλαντώσεις του επιφανειακού νερού λόγω της διέλευσης απ' αυτό σεισμικών κυμάτων ενώ οι έμμεσες μεταβολές οφείλονται σε διαταράξεις του επιφανειακού ή εδαφικού νερού λόγω παραμορφώσεων ή μεταθέσεων των γήινων πετρωμάτων που βρίσκονται κοντά στο νερό.

Μία από τις σημαντικότερες άμεσες μεταβολές είναι η γένεση κυμάτων **seiches**, δηλαδή, η διάδοση στην επιφάνεια του νερού που βρίσκεται σε κλειστούς ή σχεδόν κλειστούς χώρους (λίμνες, λιμάνια, χαντάκια, ποτάμια, κανάλια κλπ.) στασίμων κυμάτων μεγάλης περιόδου τα οποία βάζουν το νερό σε ελεύθερη ταλάντωση.



Η περίοδος, T (sec), του θεμελιώδους κύματος seiche, σε χώρο που έχει σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου του οποίου το ύψος του είναι h και η βάση του πλευράς L δίνεται από τη σχέση:

$$T = \frac{2L}{\sqrt{gh}}$$

Τα seiches διεγείρονται από τα κύματα Rayleigh.

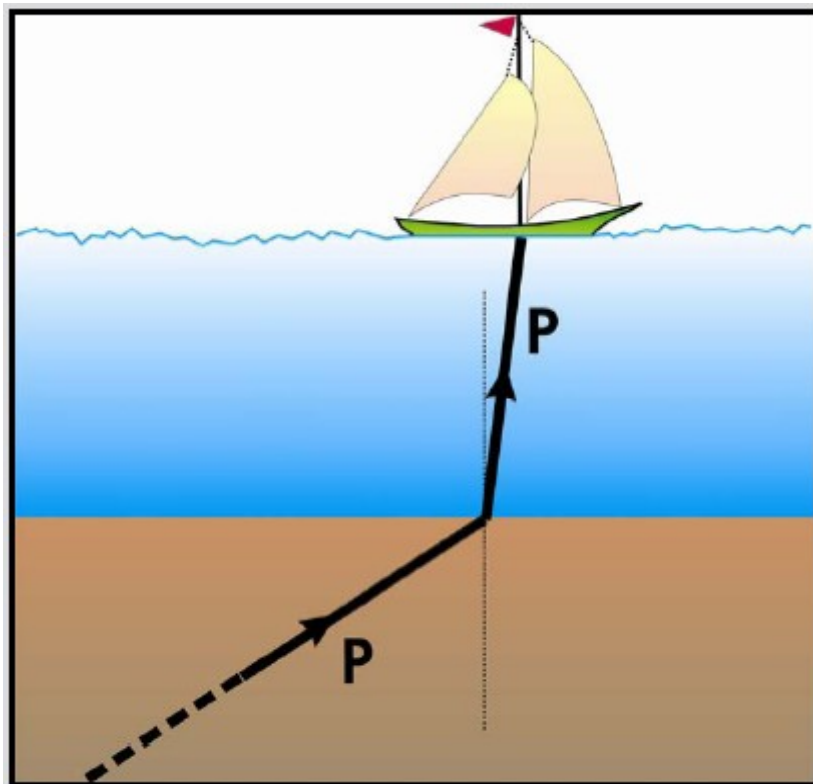
Το σημαντικότερο έμμεσο αποτέλεσμα των σεισμών στο εδαφικό νερό είναι η **μεταβολή της παροχής πηγών**. Σε πολλές περιπτώσεις επέρχεται πλήρης στείρευση πηγών και σε άλλες η δημιουργία νέων πηγών.

3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

Εδώ διακρίνουμε δύο περιπτώσεις: τους θαλάσσιους σεισμούς και τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας ή tsunamis.

Οι **θαλάσσιοι σεισμοί** οφείλονται στη διάδοση των επιμήκων κυμάτων μέσα στο θαλασσινό νερό και είναι δονήσεις μικρής περιόδου. Τα κύματα αυτά οφείλονται κυρίως σε υποθαλάσσιους σεισμούς. Οι θαλάσσιοι σεισμοί γίνονται συνήθως αισθητοί στα πλοία

και στις βάρκες ως ωθήσεις προερχόμενες από κάτω. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα επιμήκη κύματα, που προσπίπτουν από κάτω στον πυθμένα της θάλασσας, διαθλώνται και υφίστανται ισχυρή απόκλιση προς την κατακόρυφο λόγω του ότι η ταχύτητα αυτών είναι πολύ μικρότερη στο νερό απ' ότι στο πέτρωμα κάτω από τη θάλασσα.

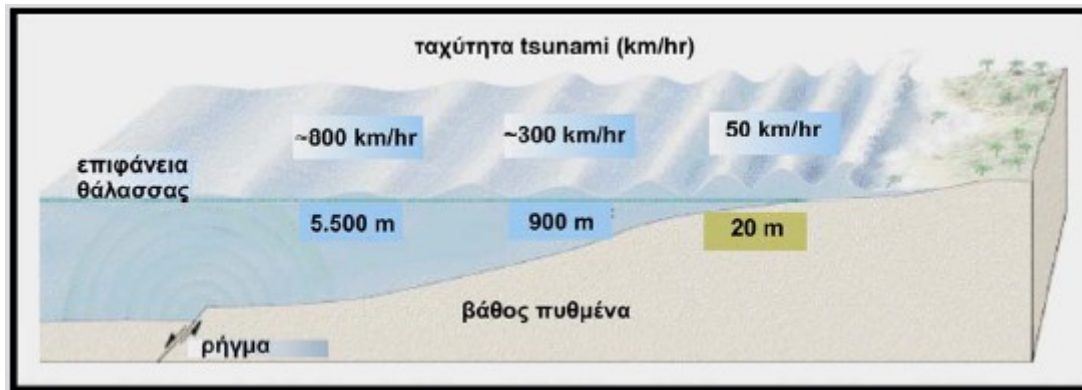


Τα **θαλάσσια κύματα βαρύτητας (tsunami)** έχουν σχετικώς μεγάλο μήκος κύματος (μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα) και διαδίδονται στην επιφάνεια της θάλασσας. Κατά τη διάδοσή τους μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες νερού από το χώρο γένεσής τους σε άλλους χώρους.

Τα τσουνάμι συμπεριφέρονται διαφορετικά από τα ελαστικά κύματα γιατί η δύναμη επαναφοράς των τσουνάμι είναι η βαρύτητα ενώ τα ελαστικά κύματα οφείλονται σε αλληλεπίδραση μεταξύ γειτονικών υλικών σημείων. Έτσι, το 95% της ενέργειας των τσουνάμι οφείλεται στη βαρύτητα και μόνο 5% της ενέργειας αυτής οφείλεται στη μικρή συμπίεση του νερού καθώς και στη συμπίεση και διατμητική παραμόρφωση των πετρωμάτων του θαλάσσιου πυθμένα.

Το πλάτος ενός τσουνάμι ελαττώνεται με τη απόσταση, r , από την πηγή του περίπου αντιστρόφως αναλόγως της τετραγωνικής ρίζας της απόστασης αυτής. Στην ανοιχτή θάλασσα τα κύματα αυτά δεν είναι επικίνδυνα. Όταν όμως προσβάλλουν τις ακτές προκαλούν μεγάλες ζημιές σε πλοία, λιμάνια καθώς και σε παράκτιους χώρους. Τα μεγαλύτερα θαλάσσια κύματα βαρύτητας προκαλούν σημαντικές καταστροφές και γίνονται αισθητά σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.

Η ταχύτητα των τσουνάμι καθορίζεται από το πεδίο βαρύτητας και δίνεται από τη σχέση: $U = \sqrt{gh}$ όπου h είναι το πάχος του νερού. Στην περιοχή γένεσής τους τα τσουνάμι έχουν μικρά πλάτη και οι ταχύτητες διάδοσής τους είναι μεγάλες (στους ωκεανούς είναι της τάξης των 200 m/sec).

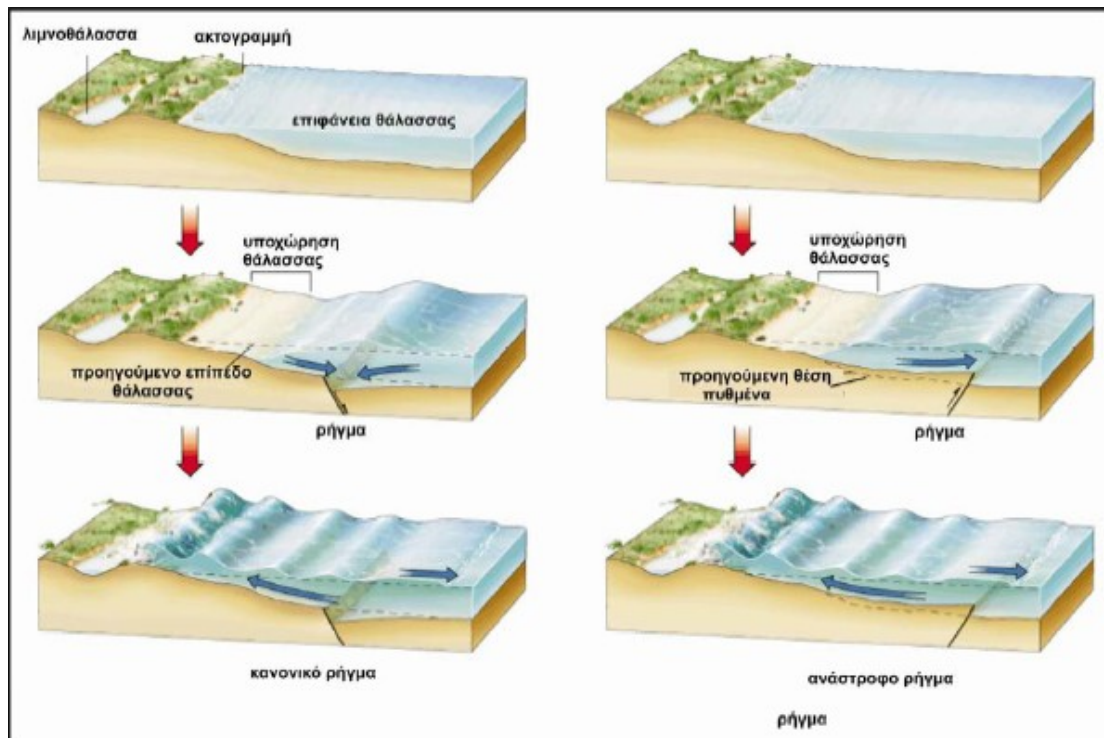


Η ενέργεια, E_t , ενός τσουνάμι εξαρτάται από το μέγεθος, M , του σεισμού στον οποίο οφείλεται αυτό και δίνεται (σε erg) από την ακόλουθη σχέση του liba (1958): $\log E_t = 10.3 + 1.5 M$. Η ενέργεια αυτή είναι, κατά μέσο όρο, ίση με το 1/10 της ενέργειας του σεισμού που προκάλεσε το κύμα.

Η μέση περίοδος, T_m (σε sec), του θαλασσιού κύματος βαρύτητας εξαρτάται επίσης από το μέγεθος του σεισμού και δίνεται (Hatori, 1969) από τη σχέση: $\log T_m = 2.97 + 0.057 M$.

Αιτία γένεσης των κυμάτων τσουνάμι μπορεί να είναι (α) εγκατακρημνίσεις τεμαχών του θαλασσιού πυθμένα οι οποίες παράγονται από υποθαλάσσιους σεισμούς, (β) κατολισθήσεις μεγάλων μαζών χαλαρών υλικών στις μεγάλες ωκεάνιες τάφρους, (γ) εκσφεδόνηση νερού λόγω υποθαλάσσιων εκρήξεων.

Σε αβαθή νερά οι ταχύτητες των κυμάτων αυτών γίνονται πολύ μικρότερες και γι' αυτό τα πλάτη αυξάνονται για να διατηρηθεί η κινητική ενέργεια σταθερή. Για το λόγο αυτό στο ανοικτό πέλαγος τα πλάτη των κυμάτων αυτών είναι μικρότερα του 1m ενώ αναφέρθηκαν περιπτώσεις κατά τις οποίες τέτοια κύματα στις ακτές απόκτησαν ύψη αρκετών δεκάδων μέτρων.

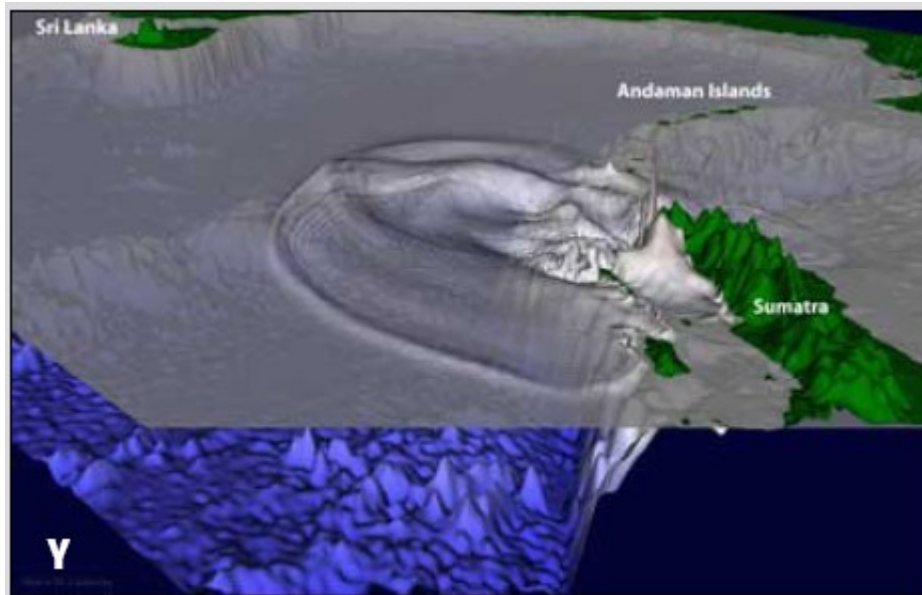


Τρόπος γένεσης κυμάτων τσουνάμι

Από το 1945 περισσότεροι άνθρωποι έχουν σκοτωθεί από τα τσουνάμι παρά από τους σεισμούς. Αυτό δείχνει πόσο σοβαρό κίνδυνο ενέχουν. Τα περισσότερα τσουνάμι δημιουργούνται κατά μήκος μιας περιοχής που λέγεται Ring of Fire μήκους 40.000 km. Η περιοχή Ring of Fire περιέχει όχι μόνο ηφαίστεια αλλά έχει και έντονη σεισμική δραστηριότητα. Περικυκλώνει δε όλο τον Ειρηνικό Ωκεανό. Από το 1819, περισσότερα από 40 τσουνάμι έχουν τα νησιά της Χαβάης. Γι' αυτό κι έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα προειδοποίησης σε περιοχές όπως είναι η Χαβάη, όπου εμφανίζονται κατά καιρούς πολλά καταστρεπτικά παλιρροιακά κύματα. Οι προειδοποιήσεις παρέχονται από σειсмоγραφικά εργαστήρια σε όλο τον κόσμο, που καθορίζουν τη θέση που βρίσκεται η εστία ενός υποβρύχιου σεισμού. Αυτοί οι σεισμοί, συνήθως, δημιουργούνται σε μία από τις πιο βαθιές τάφρους στον Ειρηνικό Ωκεανό. Μία τέτοια υπηρεσία είναι η SSWWS που προειδοποιεί για επερχόμενα τσουνάμι.

Τα τσουνάμι διαδίδονται σε τεράστιες αποστάσεις. Το 1960 το τσουνάμι από τη Χιλή (σεισμός 1960) έφτασε μέχρι την Ιαπωνία με ύψος 5m (από την άλλη μεριά του Ειρηνικού) και προκάλεσε στα νησιά Χονσού και Χοκάντο, δηλαδή σε απόσταση 17.000 km, τον θάνατο σε 180 κατοίκους. Ανάλογο ήταν και το τσουνάμι που προκλήθηκε από τον σεισμό της Σουμάτρας το 2004 και προκάλεσε στις περιοχές γύρω από τον Ινδικό τον θάνατο σε 300.000 περίπου κατοίκους.

Στις 26 Δεκεμβρίου 2004 έγινε ένας πολύ μεγάλος σεισμός ($M=9.0$) δυτικά της Σουμάτρα, ο οποίος προκάλεσε τσουνάμι με εξαιρετικά καταστροφικές συνέπειες στην ευρύτερη περιοχή.



Αποτελέσματα του τσουνάμι που δημιουργήθηκε από το σεισμό της Χιλής στις 22 Μαΐου 1960 ($M_w=9.5$) και προκάλεσε το θάνατο σε περίπου 2300 ανθρώπους. Το σπíti μεταφέρθηκε από τα κύματα πάνω στα αυτοκίνητα.



Το τσουνάμι στο λιμάνι Hilo της Χαβάης που έφτασε 5 ώρες μετά το σεισμό της 11^{ης} Απριλίου 1946 στα Αλεούτια νησιά ($M=7.4$).



Κύματα τσουνάμι έχουν πλήξει και την Ελλάδα με πιο χαρακτηριστικό αυτό που προκλήθηκε από τον σεισμό της Αμοργού το 1956 ($M=7.5$). Το ύψος του έφτασε τα 20-25m και έγινε αισθητό μέχρι την Παλαιστίνη. Στην εικόνα παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα του κύματος στην Κάλυμνο.



Μικρότερος αλλά υπαρκτός είναι ο κίνδυνος και στη Μεσόγειο Θάλασσα, ιδιαίτερα στην Ελλάδα λόγω της υψηλής της σεισμικότητας. Στον ελλαδικό χώρο δεν γίνονται ισχυροί σεισμοί, οι οποίοι από μόνοι τους να προκαλούν τσουνάμι. Το μέγεθος τους όμως είναι τέτοιο που μπορεί να ανακινήσει ιζήματα και να υπάρξουν υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, σύμφωνα με τον καθηγητή της Υδραυλικής στο Πανεπιστήμιο της Νότιας Καλιφόρνιας, Κώστα Συνολάκη. "Ένας σεισμός με επίκεντρο στην ξηρά και μικρός σε μέγεθος μπορεί να δώσει αρκετή επιτάχυνση σε σαθρά ιζήματα ώστε να γίνει μια υποθαλάσσια κατολίσθηση που θα δημιουργήσει ένα μεγάλο κύμα. Ο κορινθιακός Κόλπος είναι μία από αυτές τις περιοχές.

Πριν το tsunami

Το tsunami πέρασε από εδώ



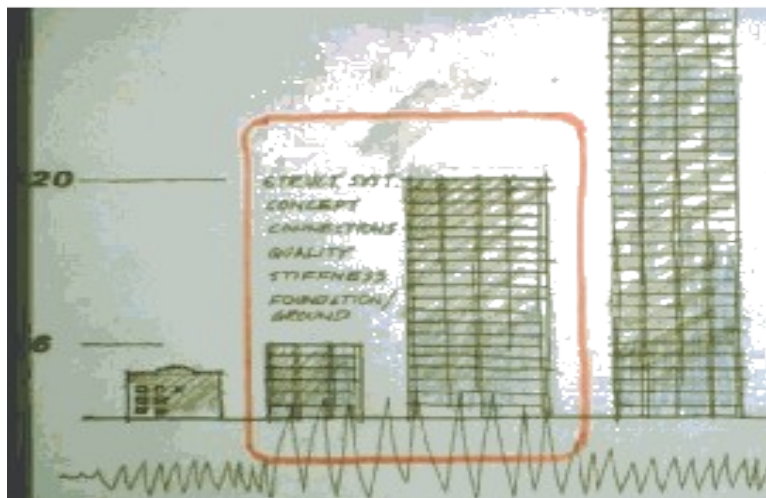
Η θάλασσα πάντα αποσύρεται πριν την έλευση του τσουνάμι. Επομένως αν σε μία παραθαλάσσια περιοχή γίνει δυνατός σεισμός και δούμε την θάλασσα να αποτραβιέται ποτέ δεν πλησιάζουμε για να δούμε από περιέργεια τι γίνεται.



3.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Οι σεισμικές βλάβες διακρίνονται σε:

- Άμεσες βλάβες, οι οποίες οφείλονται στη διάδοση των σεισμικών κυμάτων από το έδαφος στα θεμέλια, στους τοίχους και στη στέγη των κτιρίων



- Έμμεσες βλάβες, οι οποίες προκαλούνται από πυρκαγιές που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των μεγάλων σεισμών. Αυτές οφείλονται σε εστίες που υπάρχουν πριν από τους σεισμούς, σε γένεση ηλεκτρικών βραχυκυκλωμάτων, σε διάρρηξη αγωγών κλπ. Άλλη βλάβη είναι οι πλημμύρες που μπορεί να προκαλέσει η καταστροφή ενός φράγματος.



Η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης προκαλεί μικρότερες βλάβες από την οριζόντια συνιστώσα της κατακόρυφης αντίδρασης με αποτέλεσμα την ελάττωση της τριβής και την ολίσθηση αντικειμένων που συγκρατούνται με την τριβή (κεραμίδια, καπνοδόχοι). Άλλο αποτέλεσμα της κατακόρυφης συνιστώσας είναι η γένεση τάσεων συμπίεσης στα κτίρια με συνέπεια τη θραύση των πάνω γωνιών αυτών και την πτώση της στέγης.

Η οριζόντια συνιστώσα της σεισμικής κίνησης έχει ως αποτέλεσμα τη διατμητική παραμόρφωση των διαφόρων στοιχείων ενός κτιρίου με συνέπεια τη δημιουργία τάσεων συμπίεσης και τάσεων εφελκυσμού, που έχουν διευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό παρατηρούνται πολλές φορές στα κτίρια διαρρήξεις που σχηματίζουν ορθές γωνίες μεταξύ τους.

Τα άμεσα αποτελέσματα των σεισμών στα κτίρια θεωρούνταν παλαιότερα ότι εξαρτώνται αποκλειστικά από τη σεισμική επιτάχυνση. Πρόσφατα στοιχεία, όμως, δείχνουν ότι το αποτέλεσμα της σεισμικής κίνησης δεν καθορίζεται πλήρως από τη σεισμική επιτάχυνση, αλλά χρειάζεται και η γνώση της διάρκειας της κίνησης και της συχνότητας του κύματος.



Συμπεριφορά κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα

Η πλειονότητα των κτιρίων που υπάρχει στις επιρρεπείς περιοχές σεισμού είναι κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όταν οπλισμένο σκυρόδεμα σχεδιάζεται και κατασκευάζεται κατάλληλα μπορεί να ανταπεξέλθει καλύτερα από οποιοδήποτε άλλο τύπο υλικού στις περιοχές σεισμού.

Είναι ένα διαθέσιμο και σχετικά οικονομικό υλικό και αυτός είναι ο κύριος λόγος που χρησιμοποιείται σε χώρες όπως η Τουρκία και η Ελλάδα, όπου η βιομηχανία σιδήρου είναι αρκετά ακριβή. Το οπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να πετύχει ουσιαστική σκληρότητα και

έτσι είναι ικανό να πετύχει ελάχιστα επίπεδα σεισμικής παραμόρφωσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των μη δομικών ζημιών.

Σωστή και λεπτομερής εφαρμογή του οπλισμένου σκυροδέματος πρέπει να ακολουθηθεί ώστε το υλικό να πετύχει την ικανότητα ολκιμότητάς του. Αντισεισμικοί κώδικες σχεδιασμού καθορίζονται κατάλληλα για τις σεισμικά επιρρεπείς ζώνες. Η κύρια εφαρμογή τους βασίζεται στην ύπαρξη μίας αξιόπιστης πηγής σχεδιασμού και λεπτομερειών.

Προβλήματα ολκιμότητας εμφανίζονται σε σπάνιες κατασκευές ακόμα κι αν έχει προηγηθεί λεπτομερής έρευνα. Δυσκολίες, επίσης υπάρχουν, στις ενώσεις των δοκαριών με τις κολώνες ώστε να αποφευχθεί ροπή στρέψης, όπως όταν οπλισμός προσπαθεί να αποκτήσει υψηλή ολκιμότητα σε κτίρια με σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Οι περισσότεροι κώδικες σχεδιασμού δέχονται ενδεχόμενες ζημιές από ισχυρούς σεισμούς, ως βάση συλλογισμού. Επιπροσθέτως, υιοθετούν την θεωρία ότι οι δομικές ζημιές είναι αποδεκτές σε σπάνιες περιπτώσεις σεισμών, αλλά η κατάρρευση δεν είναι αποδεκτή σε καμία περίπτωση.

Έχει παρατηρηθεί πολλές φορές ότι η σωστή επιλογή φέροντος μηχανισμού είναι βασικό για την καλή επίδοση κάτω από οποιοδήποτε φορτίο. Ένας σωστά επιλεγμένος φέρον μηχανισμός τείνει να είναι σχετικά συγχωρητικός στις παραλείψεις στην ανάλυση, στην σύνθεση, στις λεπτομέρειες και στην κατασκευή. Από την άλλη, ιδιαίτερη προσοχή στην ανάλυση και στις λεπτομέρειες δεν πρόκειται να βελτιώσει ιδιαίτερα την απόδοση ενός φτωχού στη σύλληψη δομικού μηχανισμού. Κτίρια τα οποία έχουν απλή, τακτική και συμπαγή διαρρύθμιση ενσωματώνουν μία συνεχή και περιττή πλευρική δύναμη, η οποία αντιστέκεται στις τάσεις του συστήματος και έτσι είναι θεμιτές. Αντιθέτως, πολύπλοκοι δομικοί μηχανισμοί που περιέχουν ασάφειες στην ανάλυση ή που βασίζονται σε αποτελεσματικούς τρόπους μη πλευρικών φορτίων, μπορούν να οδηγήσουν σε απρόβλεπτη και μη θεμιτή δομική συμπεριφορά.

Οι παράμετροι που ακολουθούν θα πρέπει να τηρούνται στον σεισμικό σχεδιασμό:

Συνοχή. Αναγκαίο χαρακτηριστικό οποιουδήποτε μηχανισμού πλευρικής στήριξης, είναι η παροχή συνεχούς πορείας φορτίων προς τα θεμέλια. Μηχανικά φορτία τα οποία αναπτύσσονται λόγω της επιτάχυνσης μεμονωμένων στοιχείων πρέπει να μεταφέρονται από τα αντιδρώντα στοιχεία στα διαφράγματα του πατώματος, στα υποστυλώματα, στα θεμέλια και από εκεί στο έδαφος. Μη μπορώντας να παρέχει αρκετή αντοχή και σκληρότητα των μεμονωμένων μελών του συστήματος, ή ανικανότητα να συνδεθούν μεμονωμένα στοιχεία

μαζί μπορεί να προκαλέσει κόπωση ή και ολική κατάρρευση του συστήματος.



Αστοχία κολώνας 5όροφης οικοδομής στην περιοχή των Άνω Λιοσίων (έτος κατασκευής 1997) που προκλήθηκε από το σεισμό της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 ($M = 5.9$)

Κανονικότητα. Γενικά ξαφνικές αλλαγές στην ακαμψία, αντοχή, ή στη μάζα είτε σε οριζόντια είτε σε κάθετα επίπεδα ενός κτιρίου μπορούν να οδηγήσουν σε διανομή των πλευρικών φορτίων και παραμορφώσεων από εκείνων που αναμένονται από τις ομοιόμορφες δομές. Αν και τα αποτελέσματα τέτοιων παρατυπιών μπορεί και να έχουν σχεδιαστεί επιτυχώς, οι αβεβαιότητες που συνδέονται με τα αποτελέσματα τέτοιων παρατυπιών είναι τέτοιες που καλό είναι να αποφεύγονται καλύτερα αν είναι δυνατό.

Ακαμψία. Το σημείο εστίασης των περισσότερων κωδικών σχεδίου, αφορά τον έλεγχο της πλευρικής κλίσης που πρέπει να είναι ένα κεντρικό στοιχείο οποιουδήποτε σεισμικού στοιχείου. Η υπερβολική κλίση μπορεί να οδηγήσει στην υπερβολική διαστρέβλωση, και ως εκ τούτου, τη ζημία των δομικών και μη δομικών συστατικών. Επειδή το κόστος επισκευής είναι το αρχικό μέτρο της επιτυχίας ενός κτιρίου που έχει επιζήσει ενός σεισμού, ο έλεγχος ζημίας είναι ουσιαστικός. Ο έλεγχος της ζημίας στα μη δομικά συστατικά είναι σημαντικός επειδή περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά μια σημαντική πλειοψηφία της συνολικής αξίας του κτιρίου και επειδή η αποτυχία των μη δομικών στοιχείων μπορεί να

προκαλέσει τον τραυματισμό και τον θάνατο στους ενοίκους. Η διαδεδομένη περιβαλλοντική καταστροφή λόγω της μη δομικής ζημίας δεν είναι ασύλληπτη για ορισμένες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Ο έλεγχος της κλίσης είναι επίσης σημαντικός επειδή οποιοδήποτε όγκιμο ή σχετικά όγκιμο στοιχείο του δομικού συστήματος μπορεί να βλαφθεί από την υπερβολική διαστρέβλωση. Είναι επίσης σημαντικό στη διατήρηση της κάθετης σταθερότητας ενός δομικού συστήματος. Εάν ένα δομικό σύστημα είναι υπερβολικά εύκαμπτο, και ιδιαίτερα εάν αυτό είναι επίσης ογκώδες, η κατάρρευση μπορεί να εμφανιστεί λόγω p-d των αποτελεσμάτων.

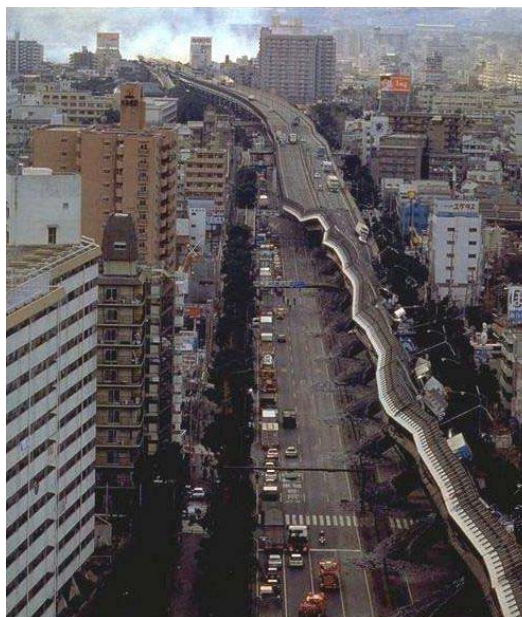


Βλάβες στις κατασκευές από το σεισμό στην Taiwan στις 21 Σεπτεμβρίου 1999 (M = 7.6).

Μάζα. Η υπερβολική μάζα μπορεί να οδηγήσει στις περιπτές αυξήσεις στις πλευρικές αδρανείς δυνάμεις, τη μειωμένη ολκιμότητα του κάθετου φορτίου στα στοιχεία αντιστήριξης, και την αυξανόμενη ροπή προς την κατάρρευση λόγω p-d των αποτελεσμάτων. Λόγω αυτών των λόγων, προσπάθειες πρέπει να καταβληθούν να δημιουργήσουν ένα σύστημα που είναι όσο το δυνατόν πιο ελαφρύ. Αυτό δεν προτείνει απαραίτητα ότι τα ελαφριά αδρανή θα χρησιμοποιηθούν για όλα τα σκυροδέματα, αφού μερικές φορές τέτοια αδρανή μπορούν να εμφανίσουν χαμηλότερη απόδοση απ' τα σκυροδέματα κανονικού βάρους. Εν τούτοις, το σκυρόδεμα ως

αρχιτεκτονικό πλήρωμα όπως και το χρώμα για τον εξωραϊσμό των δομικών πλακών παρέχουν περιττή μάζα χωρίς δομικό όφελος. Επιπλέον, η παρατυπία της μαζικής διανομής στα κάθετα και οριζόντια επίπεδα μπορεί να οδηγήσει σε ανώμαλες απαντήσεις και τη σύνθετη δυναμική. Τέτοιες παρατυπίες πρέπει να αποφευχθούν όπου είναι εφικτό.

Πλεονασμός. Τα δομικά συστήματα, που συνδυάζουν στοιχεία αντιστήριξης σε πλευρικά στοιχεία ή τα υποσυστήματα γενικά, αποδίδουν καλά κατά τη διάρκεια των σεισμών. Ο πλεονασμός στο δομικό σύστημα επιτρέπει την ανακατανομή των εσωτερικών δυνάμεων σε περίπτωση αποτυχίας των βασικών στοιχείων. Χωρίς τέτοια ικανότητα ανακατανομής μεταξύ των πλαισίων μετά από την παραγωγή που έχει αρχίσει στα μεμονωμένα πλαίσια, και τα μεμονωμένα πλαίσια, και τους πολλαπλούς τοίχους διάτμησης. Ο πλεονασμός που συνδυάζεται με την επαρκή δύναμη, την ακαμψία και την συνοχή μπορεί να ανακουφίσει την ανάγκη των υπερβολών στις λεπτομέρειες ολκιμότητας.



Ανατροπή εναέριου αυτοκινητόδρομου στην πόλη Kobe της Ιαπωνίας που προκλήθηκε από το σεισμό της 17^{ης} Ιανουαρίου 1995 (M=6.9)

Τύποι ζημιών

Το ενισχυμένο σκυρόδεμα είναι ένα από τα πιο χρησιμοποιημένα, όλκιμα υλικά, αλλά ατέλειες μπορούν ακόμα να εμφανιστούν, κάτω από τη φόρτωση σεισμού. Τα πρόσφατα παραδείγματα από τους σεισμούς που ερευνώνται δείχνουν ότι τα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα δεν συμπεριφέρονται όπως θα θέλαμε. Οι αιτίες της ζημίας είναι οι ακόλουθες:

Ανεπαρκής αντοχή στην διάτμηση που προκαλείται από πολύ λίγες κολώνες και τοίχους. Τέτοιες αποτυχίες είναι συχνά ένα αποτέλεσμα των γεωμετρικών αλλαγών στο σεισμικό σύστημα του κτιρίου, για να προσαρμόσουν τις αλλαγές στην οικοδόμηση της κατοχής, με τα παραδείγματα των τελευταίων συμπεριλαμβανομένης της λιανικής κατοχής στην κατοικημένη κατοχή και της στάθμευσης στην κατοικημένη περιοχή.

Ανεπαρκής αντοχή στη διάτμηση των δοκαριών. Τέτοια αποτυχία θα μπορούσε να είναι λόγω έλλειψης περιορισμού, και των φτωχών κολόνων που μπαίνουν στην εφαρμογή.

Ψαθυρά αστοχία στην διάτμηση των κολόνων, οι οποίες έχουν μικρύνει με την υποστήριξη της επίδρασης των μη δομικών στοιχείων. Αυτές οι στήλες ενισχύονται σχετικά ελαφριά για να αντισταθούν στις δυνάμεις διάτμησης. Οι κύριες αιτίες τέτοιας αποτυχίας θα μπορούσαν να είναι ότι

- 1) τα δοκάρια που πλαισιώνουν τις κολώνες είναι πιθανώς ισχυρότερα από τις κολώνες που πλαισιώνουν στην ένωση
- 2) ο οπλισμός διάτμησης στην κολώνα είναι ανεπαρκής να αναπτύξει δύναμη κάμψης όπως της κοντής κολώνας
- 3) καμία διασυνδεδεμένη δοκός δεν είναι παρούσα στην κολώνα για να περιορίσει το σκυρόδεμα στα μέσα του βάθους της στήλης.

Ολίσθηση των δεμένων σιδεροβεργών ή αστοχία λόγω διάτμησης του κοινού φραγμού στις συνδέσεις δοκαριού με κολώνα. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στη φτωχή απαρτίθιση. Οι ανεπάρκειες στην ένωση μπορούν να περιλάβουν:

- 1) ανεπαρκής ή μηδενικός οριζόντιος οπλισμός διάτμησης
- 2) συμφόρηση στις διαμήκεις κολώνες και δοκάρια
- 3) ανεπαρκές μήκος ανάπτυξης διαμήκους εκτόνωσης κολόνων και δοκαριών στην ένωση

Ψαθυρά αστοχία λόγω διάτμησης των ενιαίων ή συνδεδεμένων τοίχων, ιδιαίτερα τοίχοι διάτμησης με ανοίγματα. Αυτό είναι ένα αποτέλεσμα μιας αρχικής αποτυχίας του πλαισίου.

Στρέψη που προκαλείται από την μη σύμπτωση στο σχέδιο ορόφων του κέντρου βάρους και του κέντρου της ακαμψίας. Αυτό είναι ένα αποτέλεσμα των αισθητικών απαιτήσεων και αρχιτεκτονικού περιορισμού, όπου μια μεγάλη αλλαγή στη δύναμη και την ακαμψία, παρατηρείται στο σεισμικό πλαίσιο μεταξύ δύο παρακείμενων ορόφων.

Συγκέντρωση της ζημίας σε ένα συγκεκριμένο όροφο λόγω της άνισης διανομής της αναλογίας της ακαμψίας κατά μήκος του ύψους. Οι αποτυχίες μπορούν να αποδοθούν στις μεσοϋψείς αλλαγές στον τύπο διαμόρφωσης του συστήματος, χαρακτηριστικά μια μετάβαση από ενισχυμένο με χάλυβα σκυρόδεμα στο ενισχυμένο σκυρόδεμα

και η χρήση των τώρα ξεπερασμένων σχεδιαγραμμάτων πλευρικών δυνάμεων σχεδίου.

Χωρισμός των δευτεροβάθμιων μελών όπως οι εξωτερικοί τοίχοι λόγω των φτωχών συνδέσεων.

Οι ατέλειες λόγω της φτωχής επεξεργασίας και της ανέγερσης αποκλείονται από τον προηγούμενο κατάλογο. Αυτές οι οχτώ ατέλειες μετρούν ως πιθανές αιτίες της ζημίας στα ενισχυμένα συγκεκριμένα κτίρια.

3.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΟΥΣ ΑΝΘΡΩΠΟΥΣ ΚΑΙ ΤΑ ΖΩΑ

Η επίδραση των σεισμών στο έδαφος, στα κτίρια, κλπ., έχει προφανώς έμμεσες συνέπειες και στους ανθρώπους. Επιπρόσθετα, οι σεισμοί προκαλούν διάφορες άμεσες αντιδράσεις στους ανθρώπους. Οι άνθρωποι αρχίζουν να αισθάνονται τους σεισμούς όταν η σεισμική επιτάχυνση έχει τιμή μεγαλύτερη από 1 gal ($\approx 1 \text{ cm/sec}^2$) και είναι περισσότερο ευαίσθητοι στις κατακόρυφες δονήσεις παρά στις οριζόντιες.

Οι άνθρωποι πρέπει να βγαίνουν έξω από τα σπίτια τους μετά τη λήξη του σεισμού για να μη τους βρει νέος σεισμός μέσα στα σπίτια.

Συχνά παράγονται από τους σεισμούς σεισμικές βοές που βρίσκονται στο κατώτερο όριο ακουστότητας των ανθρώπων. Αυτές μοιάζουν με κεραυνούς, με εκπυρσοκροτήσεις πυροβόλων όπλων, με θορύβους που παράγονται από τα μέσα συγκοινωνίας, κλπ.

Συχνά μετά από μεγάλους σεισμούς, στις κατοικημένες περιοχές παρατηρούνται φωτεινά φαινόμενα τα οποία οφείλονται σε ηλεκτρικά βραχυκυκλώματα, σε ανταύγεια πυρκαγιών, σε νέφη σκόνης κλπ., που συνήθως δεν έχουν άμεση σχέση με τους σεισμούς. Υπάρχει πιθανότητα ορισμένα φωτεινά φαινόμενα να οφείλονται στη δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου που σχετίζεται με το σεισμό ή να παράγονται λάμπεις λόγω τριβής μεταξύ των πετρωμάτων κατά την σχετική κίνηση των πλευρών των ρηγμάτων.

Οι σεισμοί προκαλούν φόβο στα κατοικίδια ζώα. Αυτά βγάζουν φωνές κατά τη γένεση των σεισμών και προσπαθούν να φύγουν από τα σπίτια. Ορισμένα ζώα, όπως τα άλογα, τα σκυλιά κλπ., δείχνουν ασυνήθιστες αντιδράσεις ορισμένα λεπτά ή και μερικές ώρες πριν από τους σεισμούς. Είναι πιθανό ότι ορισμένα πρόδρομα των σεισμών φαινόμενα επηρεάζουν τα ζώα αυτά. Είναι δυνατό ορισμένες πολύ μικρές δονήσεις, που προηγούνται του κύριου σεισμού, να μη γίνονται αντιληπτές από τους ανθρώπους αλλά να γίνονται αισθητές από τα ζώα επειδή αυτά έχουν πολύ ευαίσθητα αισθητήρια όργανα. Έχουν αναφερθεί πολλές αντιδράσεις ζώων πριν τον σεισμό, π.χ. άρνηση εισόδου στους στάβλους ή τις φωλιές τους, ουρλιαχτά σκύλων, κτλ. Έχει επίσης παρατηρηθεί φίδια να ξυπνούν από την χειμερία νάρκη, ίσως λόγω κάποιων δηλητηριωδών αερίων που απελευθερώθηκαν με τους προσεισμούς. Οι θαλάσσιοι σεισμοί προκαλούν τη ρήξη τις νυκτικής κύστης των ψαριών προκαλώντας τον θάνατο ή την απομάκρυνσή τους από την περιοχή.

3.7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η σύγκριση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων με βάση τη μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους, όπως είναι η σεισμική επιτάχυνση κλπ., από το οποίο εξαρτώνται τα αποτελέσματα αυτά, παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες για δύο βασικούς λόγους.

Ο πρώτος λόγος είναι ότι τα μακροσεισμικά αποτελέσματα δεν εξαρτώνται από ένα μόνο φυσικό μέγεθος αλλά από περισσότερα.

Ο δεύτερος λόγος είναι ότι το μετρούμενο μέγεθος αφορά μόνο το σημείο στο οποίο γίνεται η μέτρηση και είναι δυνατό, ακόμη και όχι μακριά από το σημείο αυτό, η τιμή του μεγέθους αυτού να είναι πολύ διαφορετική λόγω διαφορετικών εδαφικών συνθηκών.

Επειδή τα μακροσεισμικά αποτελέσματα εξαρτώνται από τη σεισμική επιτάχυνση και πίστευαν παλαιότερα ότι η σεισμική επιτάχυνση περιγράφει μόνο αυτή τα αποτελέσματα αυτά καλύτερα από κάθε άλλο φυσικό μέγεθος, έγινε προσπάθεια εκτίμησης της σεισμικής επιτάχυνσης βάσει διαφόρων παρατηρήσεων όπως είναι η ανατροπή και εκσφεδόνηση αντικειμένων. Ακριβής μέτρηση της σεισμικής επιτάχυνσης με τη δυνατότητα σύγχρονου καθορισμού της ταχύτητας, της μετάθεσης, της συχνότητας και της διάρκειας της σεισμικής κίνησης πραγματοποιείται με τις αναγραφές των επιταχυνσιογράφων.

Η εκτίμηση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων γίνεται, ακόμη και σήμερα, με βάση ορισμένες μακροσεισμικές κλίμακες που κάθε μια από αυτές αποτελείται από ορισμένους βαθμούς μακροσεισμικής έντασης. Οι βαθμοί αυτοί παριστάνονται με τους λατινικούς αριθμούς I, II, κλπ. Έτσι, γίνεται δυνατή η σύγκριση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων σε έναν τόπο και η εξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με το έδαφος θεμελίωσης των οικοδομών, αφού σε κάθε τόπο ο τρόπος οικοδομής είναι ο ίδιος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

4.1 ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ

Παρακάτω δίνονται απλές αλλά χρήσιμες πληροφορίες για την καλύτερη αντιμετώπιση των συνεπειών από τους σεισμούς και τη λήψη προληπτικών μέτρων πριν την εκδήλωση του σεισμού. Πρόκειται για μέτρα που όλοι πρέπει να εφαρμόσουμε για να συμβάλλουμε θετικά στη δραστική μείωση των κοινωνικών και οικονομικών προβλημάτων που δημιουργούν οι σεισμοί.

Οι σεισμοί είναι αναπότρεπτα φυσικά φαινόμενα, που εκδηλώνονται ξαφνικά και απροσδόκητα. Από τους σεισμούς, κτίρια και άλλες κατασκευές είναι δυνατόν να καταρρεύσουν, να προκληθεί αποδιοργάνωση μέχρι και χάος, καθώς και θύματα και τραυματίες, που συνήθως αυξάνονται από τα έμμεσα αποτελέσματα και τις συναφείς παρενέργειες των σεισμών, όπως είναι π.χ. οι πυρκαγιές. Τους σεισμούς δεν μπορούμε να τους σταματήσουμε ή να τους προβλέψουμε, μπορούμε όμως να μειώσουμε τις συνέπειές τους, όταν εφαρμόσουμε με προσοχή και σχολαστικότητα προληπτικά μέτρα πριν την εκδήλωσή τους.

Προληπτικά μέτρα που πρέπει να εφαρμόσουμε πριν από την εκδήλωση του σεισμού.

Τα προληπτικά μέτρα είναι σειρά μέτρων, που έχουν ως στόχο των περιορισμό των συνεπειών από τους σεισμούς ή την καλύτερη προπαρασκευή για τεχνική και οικονομική αντιμετώπιση των συνεπειών τους. Τα μέτρα αυτά είναι ο αντισεισμικός σχεδιασμός των νέων κτιρίων σύμφωνα με τα σεισμικά δεδομένα της περιοχής, ο προσεισμικός έλεγχος και η εφαρμογή μέτρων επέμβασης σε υφιστάμενα κτίρια για μείωση της τρωτότητας και βελτίωση της αντισεισμικότητάς τους.

Όπως αποδεικνύεται από τη διεθνή πρακτική, μεγάλο μέρος του δομημένου πλούτου μιας χώρας, όπως η Κύπρος, κατασκευάστηκε χωρίς ιδιαίτερες πρόνοιες αντισεισμικής προστασίας. Είναι επίσης γνωστό, ότι σε όλες τις κατασκευές ακόμα και σε αυτές που έχουν σχεδιαστεί με σχετικές αντισεισμικές πρόνοιες, με την πάροδο του χρόνου μειώνεται η αντισεισμική φέρουσα ικανότητά

τους, είτε λόγω γήρανσης των υλικών τους, είτε λόγω σώρευσης βλαβών από διάφορα αίτια, αυξάνοντας έτσι την τρωτότητά τους και ταυτόχρονα την πιθανότητα κατάρρευσής τους σε περίπτωση σεισμού. Έτσι, λοιπόν, ο προσεισμικός έλεγχος και οι τεχνικές παρεμβάσεις πρέπει να αποτελούν μια συνεχή προσπάθεια.

Άλλο σημαντικό προληπτικό μέτρο είναι η ασφάλιση των κτιρίων έναντι σεισμού, γιατί η αρωγή τους κράτους στην αποκατάσταση των ζημιών από φυσικές καταστροφές δεν μπορεί να θεωρείται πάντοτε δεδομένη. Το κόστος είναι συνήθως τεράστιο και η οικονομία του κράτους μπορεί να μην το αντέξει.

Απαραίτητα μέτρα είναι επίσης η ανάπτυξη σεισμολογικών δικτύων, δικτύων επιταχυνσιογράφων, καθώς και δικτύων ενοργάνωσης των κατασκευών για παρακολούθηση και αποτίμηση των σεισμικών δονήσεων. Τα μέτρα αυτά βοηθούν στην αναγνώριση ζωνών κινδύνου για τον υπολογισμό του σεισμικού κινδύνου και, επίσης, για να ληφθούν τα ανάλογα προστατευτικά μέτρα. Σημαντικό μέτρο είναι επιπλέον η κατάλληλη οργάνωση των αρμοδίων Κρατικών Υπηρεσιών και η επιμόρφωση των μηχανικών και δημοσίων λειτουργών σε θέματα αντισεισμικού σχεδιασμού και προστασίας καθώς και στο χωροταξικό σχεδιασμό, που στηρίζεται σε μικροζωνικές μελέτες.

Πολύ πριν από την εκδήλωση ενός σεισμού οφείλουμε να ενημερωνόμαστε για τα μέτρα, που πρέπει να λαμβάνουμε κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά από την εκδήλωσή του. Διότι, οι κίνδυνοι προέρχονται συνήθως από την κατάρρευση ή τις σοβαρές βλάβες των κατασκευών και, κυρίως, των οικοδομών. Συνεπώς, η προστασία μας θα είναι τόσο αποτελεσματική, όσο ανθεκτικότερα είναι τα κτίρια, στα οποία βρισκόμαστε. Για το λόγο αυτό πρέπει να ελέγχουμε πάντοτε προληπτικά την οικοδομή στην οποία διαμένουμε, για διαπίστωση τυχόν βλαβών από προηγούμενους σεισμούς ή και άλλες αδυναμίες και έγκαιρη επιδιόρθωσή τους με τις απαιτούμενες τεχνικές ενισχύσεις με τη βοήθεια πάντοτε πολιτικού μηχανικού.

Γενικά, όπως και στους άλλους τομείς της ζωής, η πρόληψη είναι πάντα η καλύτερη και αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση ενός προβλήματος. Γι' αυτό, στην περίπτωση των σεισμών απαιτούνται τα πιο πάνω προληπτικά μέτρα με σκοπό την προστασία της ζωής μας και της περιουσίας μας. Δεν είναι υπερβολή, εάν λεχθεί, ότι η ασφάλεια των οικοδομών είναι το αποτελεσματικότερο μέτρο πρόληψης και ο πυρήνας μιας σωστής αντισεισμικής πολιτικής.

Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί, ότι κατά τη διάρκεια ενός σεισμού πρέπει να τηρούνται με σχολαστικότητα τα μέτρα και οι οδηγίες, που εκδίδει για το κοινό η Υπηρεσία της Πολιτικής Άμυνας. Τα μέτρα αυτά είναι εξίσου σοβαρά, διότι αποτρέπουν επιπλέον απώλειες ζωής και περιουσίας και, ακόμη, διατηρούν τον κοινωνικό και οργανωτικό ιστό μιας πληγείσας κοινωνίας σε επαρκή δράση αυτοπροστασίας, συνοχής και αλληλοβοήθειας.

4.2 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΖΗΜΙΩΝ

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην επισκευή και ενίσχυση κατασκευών.

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Μια απ' αυτές είναι και η χρήση του στην επισκευή και ενίσχυση κατασκευών. Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαδικασίες που πρέπει να ακολουθούνται και τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται πριν και κατά την εκτόξευσή του. Η καλή προετοιμασία και η σωστή εκτέλεση είναι ιδιαίτερα σημαντικές και πρέπει να ακολουθούνται. Πριν από την εφαρμογή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα πρέπει να ολοκληρωθούν όλες οι προπαρασκευαστικές εργασίες και να ληφθούν όλα τα πρόσθετα μέτρα έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η καλή λειτουργία και ποιότητα. Ο χειριστής να είναι κατάλληλα εκπαιδευμένος. Προετοιμασία επιφάνειας:

- Αφαίρεση παλαιού σκυροδέματος μέχρι να αποκαλυφθούν τα αδρανή.
- Εκτράχυνση επιφάνειας.
- Η αφαίρεση να γίνει υπό γωνία 45° και το ελάχιστο βάθος να είναι 20mm.
- Η επιφάνεια να καθαριστεί με πεπιεσμένο αέρα.
- Αν χρειάζεται καλούπι να τοποθετηθεί με τρόπο που να μην παγιδεύει τα υλικά αναπήδησης.
- Η επιφάνεια βάσης να έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη από 2°C.
- Αν η επιφάνεια εκτίθεται σε ισχυρούς ανέμους ή βροχή, να προστατεύεται καταλλήλως.
- Διάβρεξη της επιφάνειας.

Επισκευή ρωγμών με ρητινένεσις.

Με τον όρο ρητινένεση, προσδιορίζεται η διαδικασία έγχυσης μιας ρητινοειδούς κόλλας στις ρωγμές του στοιχείου με ενέσιμο τρόπο. Ένεση είναι η διαδικασία εισαγωγής στη μάζα μιας κατασκευής ενός υλικού από υγρή μορφή (το ιξώδες του ποικίλλει και εξαρτάται από την εργασία που θέλουμε να περατώσουμε) το οποίο στη συνέχεια στερεοποιείται και προσδίδει νέες μηχανικές ιδιότητες στο δομικό μέλος στο οποίο εφαρμόζεται. Η τεχνική αυτή απαντάται κυρίως στο φέροντα οργανισμό κατασκευών από σκυρόδεμα και στις τοιχοποιίες. Η πλήρωση των ρωγμών με αυτόν

τον τρόπο συνίσταται για την προστασία κατά της διάβρωσης του οπλισμού, τη δημιουργία ανθεκτικής σύνδεσης τμημάτων σκυροδέματος και για τη στεγανοποίηση. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να έχει εκτιμηθεί η αιτία της ρηγματώσης και να έχει επιλεγεί κατάλληλα η εποξειδική ρητίνη.

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνική των ρητινενέσεων έχει αποδειχθεί ως η καλύτερη διαδικασία επισκευής ρωγμών σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το εύρος των ρωγμών, στο οποίο συνήθως εφαρμόζεται, κυμαίνεται από 0,1 mm έως 3 mm.

Τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα από πειραματικές έρευνες και εφαρμογές πεδίου, δείχνουν ότι με την τεχνική αυτή, μπορεί να επιτευχθεί πλήρης επισκευή των ρωγμών και επαναφορά της μονολιθικότητας και στατικής ακεραιότητας του στοιχείου ή της κατασκευής.

Οι ρωγμές σε κατασκευές από σκυρόδεμα, είναι συνηθισμένο φαινόμενο. Αυτό εξάλλου δεν είναι άστοχο, αφού οι ρωγμές θα μπορούσαν απλοποιητικά να χαρακτηριστούν ως ορατά αποτελέσματα των παραμορφώσεων ενός φορέα. Όμως το γεγονός της ύπαρξής τους, δεν συνεπάγεται πάντοτε την ανάγκη επισκευής τους. Η απόφαση για την αναγκαιότητα της επέμβασης, προϋποθέτει τη διερεύνηση των αιτιών της ρωγμής και την εξακρίβωση της φύσης της ρωγμής. Μια αξιολογική κατάταξη των αιτιών ρηγματώσης, που θα καθορίζει τον βαθμό επικινδυνότητας της κατασκευής δεν είναι εύκολη, αφού από την ίδια αιτία μπορεί να προκύψει μικρός ή μεγάλος βαθμός βλάβης. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι έχει ιδιαίτερη σημασία για την ασφάλεια της κατασκευής, η ύπαρξη ρωγμών που οφείλονται σε υπέρβαση αντοχής. Ως εκ τούτου πρέπει να θεωρείται πρωταρχικό θέμα, η διερεύνηση της επάρκειας του φορέα. Ο μηχανικός εφαρμογής δεν πρέπει να παραβλέπει ότι ρωγμές λόγω υπέρβασης αντοχής, είναι ένδειξη στατικής ανεπάρκειας του φορέα, όχι κατά ανάγκη στη περιοχή ρωγμής. Με άλλα λόγια, οι ρωγμές αποτελούν προειδοποίηση για πιθανό κίνδυνο. Είναι δηλαδή η ορατή ένδειξη, ότι "κάτι δεν πηγαίνει καλά" στο φορέα και γι' αυτό δεν έχει νόημα να γίνει απλά και μόνο η επισκευή των ρωγμών.

Πάντως πρέπει να τονιστεί ότι οι ορατές (δια γυμνού οφθαλμού) ρωγμές λόγω αυξημένων φορτίων, ενώ δεν σημαίνουν πάντοτε υπέρβαση της αντοχής, υποδηλώνουν σχεδόν πάντοτε υπέρβαση του ορίου διαρροής του υλικού.

Όταν εξακολουθούν να υφίστανται ρωγμές μετά από την απομάκρυνση του προκαλούντος την ένταση αιτίου, π.χ. μετά από ένα σεισμό, θα πρέπει να εκτιμηθεί ότι η περιοχή που ρηγματώθηκε υπεισήλθε σε ανελαστική φάση, ενώ το εύρος των ρωγμών αποτελεί ένα μέτρο της παραμένουσας παραμόρφωσης.

Ο μηχανικός θα αξιολογήσει τις μαρτυρίες από τις ρωγμές αυτού του είδους και εφόσον εκτιμηθεί ότι αυτή η συμπεριφορά βρίσκεται μέσα στα αποδεκτά όρια των κανονισμών, μπορεί να

επιλέξει την διαδικασία επισκευής των ρωγμών για αισθητικούς λόγους ή για λόγους προστασίας των οπλισμών από διάβρωση.

Είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι από πρακτική άποψη έχει σημασία η κατεύθυνση της ρωγμής σε σχέση με την κατεύθυνση των οπλισμών. Για παράδειγμα ρωγμές που τέμνουν τους οπλισμούς, προκαλούν πολύ μικρότερες βλάβες, από αυτές που βρίσκονται κατά μήκος τους.

Η τεχνική των ρητινενέσεων έναντι άλλων τεχνικών επισκευής ρωγμών.

Την τελευταία 20ετία, έχουν χρησιμοποιηθεί στην πράξη διάφορες μέθοδοι για την επισκευή ρωγμών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Με εξαίρεση την τεχνική των ρητινενέσεων, πρέπει να τονιστεί ότι οι περισσότερες από αυτές αποδείχθηκαν ανεπιτυχείς. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές από αυτές:

- Το σφράγισμα των ρωγμών με ειδικά κονιάματα που έχουν ως βάση το τσιμέντο.
- Η εφαρμογή υγρής μεμβράνης.
- Η εφαρμογή μεμβράνης από ίνες γυαλιού, ανάμεσα από επάλληλες στρώσεις επιφανειακού σφραγίσματος της ρωγμής με ειδικά κονιάματα τσιμέντου.
- Η εφαρμογή διαφόρων ειδών σιλικόνης σε όλη την επιφάνεια του δομικού στοιχείου ή σε αυλάκια διεύρυνσης του ίχνους της ρωγμής, καθ' όλο το μήκος της.
- Η χρήση διαφόρων ειδών μαστίχας ή εποξειδικής παχύρρευστης κόλλας για τη γεφύρωση του ανοίγματος της ρωγμής.

Το βασικό πρόβλημα, όλων των παραπάνω διαδικασιών, σχετίζεται κύρια με την γήρανση του υλικού επισκευής. Έτσι οι τεχνικές αυτές, δεν συνιστώνται πλέον, παρά μόνο ως προσωρινοί τρόποι αποκατάστασης. Αντίθετα η τεχνική των ενέσεων με ρητίνες, φαίνεται να μπορεί να δημιουργήσει μόνιμη αποκατάσταση που δεν χάνει την αντοχή της με το χρόνο.

Είδη εργασιών στα διάφορα μέρη της κατασκευής.

α) Υποστυλώματα

Οι ρητινενέσεις χρησιμοποιούνται για επισκευή υποστυλωμάτων με ελαφρές ρωγμές χωρίς να έχει βλάβες το σκυρόδεμα ή ο οπλισμός. Οι ρητινενέσεις είναι κατάλληλες για ρωγμές από 0,1mm έως 5mm. Τα επιστόμια έχουν απόσταση 20-100cm. Όταν το σκυρόδεμα έχει πολύ μικρές βλάβες, απομακρύνεται

το αποδιοργανωμένο τμήμα του, οι επιφάνειες εκτραχύνονται και η σκόνη καθαρίζεται.

β) Κόμβοι δοκών-υποστηλωμάτων

Εφαρμόζονται ρητινενέσεις για επισκευή κόμβων με ελαφριές – μέτριες ρωγμές χωρίς αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα ή οπλισμό, που έχει υποστεί λυγισμό. Βασική αιτία των ρηγματώσεων των κόμβων είναι το αξονικό φορτίο των υποστηλωμάτων το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στην εκκίνηση της ρηγματώσης στη γειτονία κόμβων, διότι επιδρά πάνω στην εντατική κατάσταση που αναπτύσσεται γύρω από τους κόμβους από τα φορτία των δοκών. Επίσης οι κόμβοι καταστρέφονται από κακή αγκύρωση των ράβδων των δοκών μέσα τους.

γ) Πλάκες

Ρητινενέσεις εφαρμόζονται έτσι ώστε να ενωθούν δύο κομμάτια από σκυρόδεμα που έχουν διαχωριστεί στην περίπτωση που δεν είναι αποδιοργανωμένο και ο οπλισμός δεν έχει λυγίσει ή σπάσει. Οι συνηθέστεροι τύποι ρωγμών που παρουσιάζονται στις πλάκες είναι οι εξής τέσσερις:

- Ρήγματα παράλληλα ή κάθετα προς τους οπλισμούς σε τυχαίες θέσεις.
- Ρήγματα σε κρίσιμες διατομές μεγάλων ανοιγμάτων ή μεγάλων προβόλων κάθετα προς τους κύριους οπλισμούς.
- Ρήγματα σε περιοχές ανωμαλιών κατόψεων όπως στις γωνίες μεγάλων οπών (φωταγωγού, ανοίγματος εσωτερικών κλιμακοστασίων κλπ.).
- Ρήγματα σε σημεία συγκεντρώσεως μεγάλων σεισμικών δυνάμεων στις ζώνες συνδέσεως των πλακών με τοιχία ή με υποστυλώματα χωρίς δοκούς.

δ) Τοιχώματα

Όταν ο λογιστικός έλεγχος αποδείξει ότι δε λείπει σίδηρο και υπό τον όρο ότι το άνοιγμα των ρηγματώσεων που έγιναν δεν ξεπερνάει τα 1-2mm, είναι δυνατή η επισκευή του τοιχώματος με συστηματικές ενέσεις ρητινών υπό υψηλή πίεση. Οι ρωγμές που εμφανίζονται από σεισμό στα τοιχία είναι 3 τύπων. Πρώτη και συνηθέστερη είναι "η εμφάνιση ρηγματώσεως σε αρμούς σκυροδετήσεως". Οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μη καλότεχνη σύνδεση παλιού με νέο σκυρόδεμα. Ακολουθεί από πλευράς συχνότητας η εμφάνιση "χιαστή ρωγμών" σε τοιχία. Πρόκειται για διατμητικής ρωγμής αστοχία ψαθυρού χαρακτήρα. Τέλος, οι ρωγμές καμπτικού τύπου έχουν εμφανιστεί ελάχιστες φορές.

ε) Τοιχοποιία

Στην τοιχοποιία χρησιμοποιούνται ρητινενέματα που εισάγονται υπό πίεση ή υπό κενό αέρος σε πολύ μικρές ρωγμές.

στ) Δοκοί

Οι συνηθέστεροι τύποι ρωγμών που παρουσιάζονται στις δοκούς είναι οι εξής έξι:

- Ρηγματώσεις με εγκάρσια ρήγματα στο εφελκυσμένο πέλμα του ανοίγματος.
- Διατμητική αστοχία παρά τις στηρίξεις.
- Καμπτικά ρήγματα στο άνω ή κάτω πέλμα στις στηρίξεις.
- Διατμητική ή καμπτική αστοχία στις θέσεις εδράσεως δευτερευουσών δοκών ή φυτευτών υποστηλωμάτων.
- Χιαστή διατμητικά ρήγματος σε κοντές δοκούς που συνδέουν τοιχία.

Ειδικά στις εργασίες στερέωσης μνημείων που έχουν ήδη μερικές εκατοντάδες χρόνων ζωής και επιδιώκεται περαιτέρω συνέχισή τους οι οργανικές ρητίνες κρίνονται λόγω του μικρού χρόνου εφαρμογής τους και της σύνθεσής τους ακατάλληλες μολονότι παρουσιάζουν ικανοποιητικές ιδιότητες ως προς τις αντοχές σε σύνθλιψη, συνάφεια ως προς τα αρχικά υλικά δόμησης, το μέτρο ελαστικότητας και τη συστολή ξήρανσης.

Ινοπλισμένα υλικά (FRP_s).

Η χρήση φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή (Fiber Reinforced Polymers) καθώς και τα C.F.R.P – Carbon FRP, (τα CFRP αποτελούνται από ανθρακονήματα και εποξειδική ρητίνη η οποία έχει ως σκοπό την ανακατανομή των τάσεων που οφείλονται σε εξωτερικά φορτία. Τα ανθρακονήματα παράγονται από ένα υποπροϊόν της βιομηχανίας πετρελαίου (πολυακρυλονιτρώλιο, PAN)), αποτελούν σήμερα την πλέον σύγχρονη τεχνική στον τομέα της ενίσχυσης των κατασκευών. Οι επεμβάσεις ενίσχυσης των κατασκευών με τα υλικά αυτά αποτελούν σήμερα μία αποτελεσματική μέθοδο για την αντιμετώπιση πάσης φύσεως κατασκευαστικών βλαβών και ατελειών. Αποδεικνύει την εξελεγκτική πορεία της τεχνολογίας που προχωρά με ολοένα και μεγαλύτερη εφαρμογή τους, με πρώτες εφαρμογές των ινοπλισμένων πολυμερή πλαστικών να αναφέρονται στις αρχές του 1990. Τα σύνθετα υλικά, αρχικά εφαρμόστηκαν για την ενίσχυση γεφυρών στις ΗΠΑ. Και ακολούθως για την ενίσχυση κτιριακών κατασκευών. Σήμερα τα υλικά αυτά έχουν εφαρμοστεί στις ενισχύσεις πάσης φύσεως τεχνικών έργων τόσο σε κράτη της Αμερικής, της Ασίας και της Ευρώπης συμπεριλαμβανομένης και της χώρας μας.

Η χρήση των FRP-CFRP για την ενίσχυση κατασκευών μπορεί να θεωρηθεί ως η φυσική εξέλιξη των ενισχύσεων με μεταλλικά ελάσματα. Ενώ παλαιότερα χρησιμοποιούσαν ίνες χάλυβα, σήμερα χρησιμοποιούν ίνες πολυμερών. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η τεχνική των ινοπλισμένων πολυμερών, αποτελεί την εξέλιξη αυτής των χαλύβδινων ελασμάτων και αντιμετωπίζει επαρκώς τα μειονεκτήματα αυτής. Μερικές από τις δυσκολίες που αντιμετωπίζει ο πολιτικός μηχανικός χρησιμοποιώντας χαλύβδινα ελάσματα είναι αυτές που αναφέρονται στη μεταφορά τους, στην τοποθέτησή τους (λόγω του μεγάλου τους βάρους), στο περιορισμένο εργοστασιακό

μήκος τους, στην αυξημένη διάβρωση και οξειδωση που υφίστανται με αποτέλεσμα το σκούριασμά τους και κατ' επέκταση τη μείωση της αντοχής, και την πολλές φορές επίπονη εργασία που απαιτείται για την τοποθέτηση και προετοιμασία τους. Εξάλλου η εφαρμογή της τεχνικής είναι απλούστατη και ο χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση της εργασίας ελάχιστος. Ως κύριο μειονέκτημα της τεχνικής θα πρέπει να αναφερθεί το ιδιαίτερα υψηλό κόστος του υλικού που όμως μειώνεται σταδιακά λόγω της αύξησης της ζήτησης και κατά συνέπεια αύξηση της παραγωγής αυτού του είδους των υλικών.

Πολλές λοιπόν κατασκευαστικές ανάγκες βρίσκουν λύση μέσα από την εφαρμογή των ινοπλισμένων πολυμερών και μερικές από αυτές δίνονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Κατασκευαστική ανάγκη	Λύση με τη χρήση FRP
Διάβρωση του οπλισμού σκ/τος	Αντικατάσταση του ελλειπή οπλισμού από φύλλα
Ανεπαρκής καμπτική ικανότητα του Ο.Σ.	Σχεδιασμός φύλλων FRP για την προσθήκη εφελκυστικής αντοχής
Απώλεια προέντασης στο προεντεταμένο σκυρόδεμα	Αντικατάσταση προέντασης από προεντεταμένα
Αβέβαιη διάρκεια αντοχής του Ο.Σ.	Προσθήκη φύλλων προεντεταμένων ή απλών για πλήρη εξασφάλιση
Ανεπαρκής δυσκαμψία/λειτουργικότητα των ρηγματομένων κατασκευών από σκυρόδεμα	Προσθήκη εξωτερικής προέντασης με την βοήθεια προεντεταμένων φύλλων
Πιθανή προσθήκη έντασης λόγω αναγκαίας κατασκευαστικής αλλαγής	Ανάλυση των εντάσεων λόγω της αλλαγής και σχεδιασμός ενίσχυσης με φύλλα πριν την απομάκρυνση των φερόντων στοιχείων
Βελτίωση της διατμητικής ικανότητας	Ενίσχυση με μανδύα FRP ή με φύλλα FRP στις παρειές του στοιχείου

Εναλλακτικές εφαρμογές και τεχνικές των ινοπλισμένων πολυμερών.

Η χρησιμότητα και η ευκολία στην εφαρμογή τους τα καθιστά απαραίτητα για την ενίσχυση και επισκευή μιας κατασκευής, και ωθεί τον πολιτικό μηχανικό στην περαιτέρω μελέτη αυτών, έτσι ώστε να σχηματίσει μια πλήρη και απολύτως τεκμηριωμένη επιστημονική εικόνα της χρησιμότητας και των ιδιοτήτων τους, με σκοπό την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευσή τους. Για τον σκοπό αυτό

μελετώνται νέες τεχνικές και εφαρμογές. Μία από αυτές είναι και η χρήση προεντεταμένων ή απλών φύλλων FRP για την εξωτερική ενίσχυση ξύλινων δοκών και στοιχείων και η καταγραφή της καμπτικής αλλά και ερπυστικής συμπεριφοράς αυτών.

Μία επίσης εναλλακτική πρόταση είναι και το εκτοξευμένο ή ψεκαζόμενο FRP (sprayed-up FRP), κατά την οποία το δομικό στοιχείο ψεκάζεται με μικρές ίνες άνθρακα και γυαλιού αναμιγμένες με βυνιλοεστερική ρητίνη και στην συνέχεια αν χρειαστεί ενισχύεται με επιπλέον φύλλα FRP. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι η βυνιλοεστερική ρητίνη απαιτεί λιγότερο χρόνο για την σκλήρυνσή της σε σύγκριση με την εποξειδική ρητίνη, ενώ παράλληλα έχουν τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες. Με τη μέθοδο αυτή γίνεται εφικτή η ενίσχυση πολλών δομικών στοιχείων με FRP όπως υποστηλωμάτων, δοκών ακόμα και τοιχωμάτων.

Ιστορικά κτίρια – Ενίσχυση και επισκευή τους με χρήση FRP.

Η Ελλάδα είναι μία χώρα αμιγώς ιστορική κύριο χαρακτηριστικό της οποίας είναι ο πλούτος της σε ιστορικά μνημεία, τα οποία χρήζουν προστασίας και διατήρησης. Με τον όρο όμως ιστορικά μνημεία εννοούμε κάθε κατασκευή ιδιαίτερα σημαντική λόγω του ιστορικού, αρχαιολογικού, κοινωνικού προφίλ της. Η ανάγκη διατήρησης των παραπάνω κρίνεται επιτακτική.

Οι βλάβες εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τα υλικά τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του κτιρίου. Ειδικότερα, εφ' όσον ο λόγος γίνεται για ιστορικά κτίρια – μνημεία, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την δόμηση αυτών ήταν συνήθως η πέτρα, το ξύλο, το τούβλο – πλίνθος και επίσης το σκυρόδεμα και ο χάλυβας στα μεταγενέστερα μνημεία του 20^{ου} αιώνα. Τα εν λόγω υλικά (πέτρα, ξύλο, πλίνθος) είναι πολύ αδύνατα σε εφελκυσμό. Παράλληλα η πλειονότητα των ιστορικών κτιρίων είναι φέροντες οργανισμοί οι οποίοι αποτελούνται από φέροντες τοίχους.

Μέχρι στιγμής πιστεύουμε ότι έχουμε κάνει κατανοητή την ανάγκη που μας επιβάλλει την όσο το δυνατόν προσεκτικότερη και καλύτερη αντιμετώπιση των ιστορικών κτιρίων. Τα FRP είναι κατά την άποψη της επιστημονικής κοινότητας τα ιδανικότερα υλικά για την ενίσχυση και επισκευή των ιστορικών κτιρίων – μνημείων. Τα τελευταία χρόνια πάρα πολλά ιστορικά κτίρια και μνημεία έχουν ενισχυθεί με τη χρήση συνθετικών υλικών. Ως μηχανικοί κατά την ενίσχυση των ιστορικών κατά βάση κτιρίων επιζητούμε την ανάληψη των φορτίων που επιφέρουν εφελκυστικές τάσεις και επιπλέον την εξασφάλιση επαρκούς διαπνοής έτσι ώστε να αποφεύγονται βλάβες σε επιζωγραφίσεις και τοιχογραφίες. Άρα χρειαζόμαστε χρήση υλικών που να εκπληρώνουν αυτές τις προϋποθέσεις όπως είναι τα CFRP. Τα εφελκυστικά φορτία μπορούν να επιφέρουν διάφορες συνέπειες

όπως η απόκλιση από την κατακόρυφη λόγω καθίζησης των θεμελίων, έλλειψη αντίδρασης στις ωθήσεις της στέγης, εφελκυστικά φορτία σε θόλους, τρούλους, κλπ. Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα ανθρακονήματα θα πρέπει να είναι σε θέση να παραλαμβάνουν όλες τις τάσεις που δεν παραλαμβάνουν τα παραδοσιακά υλικά (κυρίως εφελκυστικές). Έχει διαπιστωθεί από εργαστηριακές αναλύσεις ότι ένα δομικό στοιχείο από παραδοσιακά υλικά που ενισχύεται από ινοπλισμένα πολυμερή ή από κάποιο άλλο συνθετικό υλικό, ο ουδέτερος άξονας τείνει να μετατοπιστεί προς το μέρος του ενισχύοντος συστήματος. Η μετατόπιση αυτή είναι ανάλογη με το λόγο του μέτρου ελαστικότητας του ενισχύοντος προς το μέτρο ελαστικότητας του ενισχυόμενου. Έτσι αυξάνεται η αντοχή του στοιχείου δεδομένου ότι το μέτρο ελαστικότητας των ανθρακονημάτων είναι πάρα πολύ υψηλό.

Με την ενίσχυση των κτιρίων με FRP εκτός από την αρχιτεκτονική διασφάλιση της ιστορικότητας και της μνημειακής αξίας τους, βελτιώνουμε και τη στατική τους λειτουργία. Συγκεκριμένα έχουν αύξηση της σεισμικής τους αντοχής και μεγαλύτερη ενδοτικότητα. Επιπλέον οι εκκεντρότητες που αναπτύσσονται έχουν μικρή επιρροή στην αντοχή του φέροντος τοίχους. Τα φύλλα ξεκολλούν από την τοιχοποιία στις μεγάλες μετακινήσεις όμως μπορούν ακόμα να δεχθούν εφελκυστικές δυνάμεις που τις μεταφέρουν στα άκρα της τοιχοποιίας μέσω των σημείων αγκύρωσης. Παρατηρούμε λοιπόν ότι ο ρόλος των FRP θα είναι πρωταγωνιστικός στις ενισχύσεις και επισκευές και γενικότερα στο χώρο του πολιτικού μηχανικού.

Συμβατικό σκυρόδεμα χυτό επί τόπου.

Το συμβατικό σκυρόδεμα χρησιμοποιείται πολύ συχνά για επισκευές ως υλικό χυτό επί τόπου.

Σε πολλές περιπτώσεις τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά λόγω συστολής ξηράνσεως του συμβατικού τσιμέντου, πράγμα που προκαλεί μειωμένη συνάφεια μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος. Προς βελτίωση της συνάφειας συνίσταται η χρησιμοποίηση σκυροδέματος επισκευής με αντοχή υψηλότερη από αυτήν του επισκευαζόμενου στοιχείου και μικρό υδρομετρικό συντελεστή (λόγος νερό/τσιμέντο). Μια τέτοια όμως επιλογή καθιστά πολύ δύσκολη τη συμπύκνωση ιδίως όταν προβλέπονται μανδύες λεπτού πάχους, με αποτέλεσμα να καθίσταται επιτακτική η ανάγκη χρησιμοποίησεως <<υπερπλαστικοποιητών>> προς επαύξηση της κάθισης στο ύψος των 20cm με την τυποποιημένη μέθοδο του κώνου του Abrams. Η μέγιστη διάσταση κόκκων των αδρανών δεν πρέπει να ξεπερνά τα 20mm, ώστε να καθίσταται δυνατή η διέλευση του μίγματος ανάμεσα στο παλιό σκυρόδεμα και στον ξυλότυπο.

Η διαδικασία σκυροδετήσεως είναι πολύ κρίσιμη για την επιτυχία της επεμβάσεως. Οι παλιές επιφάνειες πρέπει να υποστούν εκτεταμένο πικάρισμα (εκτράχυνση) και να καθαριστούν προς διασφάλιση της συνάφειας μεταξύ παλιού και νέου σκυροδέματος. Μετά το σιδέρωμα τοποθετούνται οι ξυλότυποι, στους οποίους προβλέπονται κατάλληλα πλευρικά ανοίγματα για τη σκυροδέτηση. Πριν από τη σκυροδέτηση γίνεται ένα τελικό ξεσκόνισμα των επιφανειών με πεπιεσμένο αέρα καθώς και εκτεταμένη διαβροχή του παλιού σκυροδέματος και του ξυλότυπου. Το σκυρόδεμα συμπυκνώνεται με δονητές.

Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής – σταθερού όγκου – χυτό επί τόπου.

Για την κατασκευή μανδύων από σκυρόδεμα χυτών επί τόπου με ξυλότυπους χρησιμοποιείται πολύ συχνά <<ειδικό τσιμεντοκονίαμα>> που διατίθεται εν ξηρώ σε σάκους με διάφορες εμπορικές ονομασίες (EMACO, EMPECO, κλπ.). Πρόκειται για μίγματα τσιμέντου, λεπτόκοκκης άμμου (έως 2mm), υπερρρευστοποιητών και διογκωτικών σε κατάλληλες αναλογίες, ώστε να παρέχουν μετά από ανάμιξη με νερό σε ποσοστό γύρω στο 15 % βάρους, τσιμεντοκονίαμα πολύ ρευστό που αποκτά σε πολύ μικρό χρόνο μεγάλες αντοχές (π.χ. 300kg/cm² σε ένα 24ωρο, 700kg/cm² σε 28 μέρες) και συγχρόνως δεν υφίσταται συστολές ξηράνσεως. Η απόκτηση υψηλής αντοχής σε μικρό χρόνο οφείλεται στο σχηματισμό ενός ειδικού ένυδρου πυριτικού ασβεστίου από την αντίδραση στο διογκωτικό υλικό και το τσιμέντο. Έτσι επιτυγχάνονται πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα επισκευής, χωρίς κενά και χωρίς ρηγματώσεις συστολής με πολύ μικρού πάχους μανδύες π.χ. 40mm. Τα υλικά αυτά θα πρέπει, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν, να συνοδεύονται οπωσδήποτε Πιστοποιητικό Εργαστηριακού Ελέγχου. Κατά τα λοιπά ακολουθείται η διαδικασία του συμβατικού σκυροδέματος.

Τσιμεντενέσεις.

Κατά την επισκευή και ενίσχυση μιας κατασκευής, μία ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα μέθοδος που συναντάμε είναι η χρήση τσιμεντενέσεων.

Τσιμεντένεση λέγεται η διαδικασία εισαγωγής στη μάζα μιας κατασκευής (σε ρωγμές, κενά ή κοιλότητες) ενός υλικού υπό υγρή μορφή το οποίο έχει σαν βάση το τσιμέντο συνδυασμένο με αρκετό νερό, το οποίο στη συνέχεια σταθεροποιείται και προσδίδει νέες μηχανικές ιδιότητες στο υλικό της κατασκευής. Η τεχνική αυτή

εφαρμόζεται για την ενίσχυση τοιχοποιιών σχεδόν ένα αιώνα, αλλά ακόμα παραμένει μία εμπειρική τεχνική παρά τη θεωρητική γνώση που υπάρχει.

Περιγραφή του αντικειμένου: Η μέθοδος των τσιμεντενέσεων έχει διάφορες εφαρμογές, αναφορικά την συναντάμε σε πηγάδια, σε ορυχεία, σε φράγματα, σε μεγάλο βαθμό σε παλιά κτίρια (φέρουσα τοιχοποιία), σε ιστορικά μνημεία αλλά και σε σύγχρονες κατασκευές. Το αντικείμενο με το οποίο θα ασχοληθούμε είναι η χρήση των τσιμεντενέσεων στην τοιχοποιία. Υπάρχει μια πληθώρα καταστάσεων που ωθούν τον μηχανικό στην επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου.

Κατ' αρχήν σε επιδιορθώσεις. Τα κτίρια συχνά αντιδρούν σε αλλαγές των φορτίων τους, των περιβαλλοντικών συνθηκών, των εξωτερικών ανέμων, των θερμικών ή σεισμικών δυνάμεων και σε καθιζήσεις. Ζημιές με μορφή ρωγμών ή μερικής κατάρρευσης είναι σύνηθες φαινόμενο και άσχετα με τη στατική τους επικινδυνότητα προκαλούν αίσθημα φόβου στους ιδιοκτήτες. Η διαδικασία των τσιμεντενέσεων μπορεί να εμποδίσει την εξάπλωση των ρωγμών και να αυξήσει τη ζωή του κτιρίου επαναφέροντας την δομική του ακεραιότητα. Οι ρωγμές παρέχουν εύκολους δρόμους στην υγρασία να περάσει μέσα στους τοίχους. Εάν δεν προσέξουμε, η υγρασία διαπερνώντας μέσα στην τοιχοποιία, προκαλεί "λεκέδες" και ίσως μεγαλύτερες ζημιές και φθορά. Το τσιμεντένεμα εισχωρώντας σε ανενεργές ρωγμές όχι μόνο μπλοκάρει την υγρασία αλλά επαναφέρει την συνοχή των υλικών κατά μήκος της ρωγμής. Η σοβαρά πληγωμένη τοιχοποιία μπορεί να σταθεροποιηθεί με χρήση ειδικής σύνθεσης τσιμεντενέματος που εισχωρεί σε λεπτές ρωγμές ή σχισμές. Η σταθερότητα επανακτάται και οι κρίσιμες περιοχές δυναμώνουν εσωτερικά με προσεκτική χρήση τεχνικών τσιμεντένεσης. Όταν έχουμε αλλαγή της χρήσης της κατασκευής τότε συνήθως έχουμε ενίσχυση, ενδυνάμωση της παλαιότερης τοιχοποιίας που είναι φθαρμένη ή δεν ανταποκρίνεται στις προβλέψεις των νέων κρατικών κανόνων κτισίματος. Νέοι σεισμικοί κανονισμοί απαιτούν ανάλυση και πολλές φορές ενδυνάμωση των μη ενισχυμένων τοιχοποιίας κτιρίων.

Οι τσιμεντενέσεις είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την αναπαλαίωση ή την σταθεροποίηση ιστορικών κτιρίων επειδή η μέθοδος δε αλλάζει την εξωτερική εμφάνιση του κτιρίου, χρησιμοποιώντας ειδικής σύνθεσης τσιμεντενέσεις που είναι συμβατές με τα αρχαϊκά υλικά κτισίματος.

4.3 ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΥΛΙΚΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΖΗΜΙΩΝ

Στην παρακάτω ενότητα παρουσιάζεται μία μη συμβατική μέθοδος ενίσχυσης υφιστάμενων κατασκευών, που δεν είναι διαδεδομένη στην Ελλάδα, της σεισμικής μόνωσης. Γίνεται αναφορά στα πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών μεθόδων ενίσχυσης, περιγραφή της διαδικασίας εφαρμογής της, προϋποθέσεις για την εφαρμογή της και αναφορές σε κτίρια του εξωτερικού που εφαρμόστηκε.

Εισαγωγή – πλεονεκτήματα σεισμικής μόνωσης έναντι συμβατικών μεθόδων ενίσχυσης.

Ο σύγχρονος αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών στοχεύει στη δημιουργία ενός αξιόπιστου μηχανισμού απορρόφησης της σεισμικής ενέργειας. Ένας τέτοιος μηχανισμός επιτυγχάνεται με μια σειρά διατάξεων που αφορούν την ύπαρξη ελάχιστου αριθμού τοιχωμάτων, των ικανοτικό σχεδιασμό των κόμβων, την εξασφάλιση επαρκούς περίσφιξης, την ικανοποιητική αγκύρωση του οπλισμού κλπ. Στις νέες κατασκευές η εφαρμογή αυτών των διατάξεων είναι εφικτή, σε αντίθεση με αυτές που σχεδιάστηκαν με παλαιότερους κανονισμούς και η συμπεριφορά τους στα σεισμικά φορτία δεν είναι επαρκής με βάση τις σημερινές απαιτήσεις.

Μια λύση για τη σεισμική αναβάθμιση παλαιών κατασκευών στα σημερινά επίπεδα ασφάλειας είναι η εφαρμογή κλασικών μεθόδων ενίσχυσης (μανδύες, πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος, ελάσματα, περίσφιξη, σύνδεσμοι δυσκαμψίας, τοιχώματα) ώστε να επιτυγχάνεται ένας ελαστοπλαστικός μηχανισμός απορρόφησης ενέργειας.

Μία άλλη λύση είναι η χρησιμοποίηση σεισμικής μόνωσης. Η σεισμική μόνωση αποτελεί μια σύγχρονη εναλλακτική μέθοδο αντισεισμικής προστασίας νέων και υφιστάμενων κατασκευών που λειτουργεί απομονώνοντας κατά το δυνατόν την κατασκευή από την εδαφική κίνηση και μειώνοντας δραστικά τις σεισμικές δυνάμεις στην ανωδομή. Μπορεί να οδηγήσει στην ελαχιστοποίηση ή και την πλήρη αποφυγή των βλαβών σε φέροντα και μη φέροντα στοιχεία αλλά και η διαφύλαξη του περιεχομένου της.

Η βασική διαφορά με τις συνηθισμένες μεθόδους ενίσχυσης είναι ότι εφαρμόζεται σε μία στάθμη της κατασκευής. Η στάθμη αυτή μπορεί να είναι είτε στη θεμελίωση είτε σε κάποιο ενδιάμεσο επίπεδο. Για το λόγο αυτό, δεν παρεμβαίνει στην εμφάνιση και τη λειτουργία

της κατασκευής και αποτελεί μια ελκυστική λύση για αρκετά κτίρια για τα οποία πρέπει να ληφθούν ειδικά μέτρα ώστε να βελτιώσουν την αντισεισμική τους συμπεριφορά. Για παράδειγμα κτίρια, κτίρια με ξεχωριστή αρχιτεκτονική, ιστορική και πολιτισμική σημασία που η εμφάνιση και ο χαρακτήρας πρέπει να παραμείνουν αναλλοίωτα και για μελλοντικές γενιές ή μουσεία με έργα τέχνης και άλλα κειμήλια που πρέπει να παραμείνουν ασφαλή. Όμοια, νοσοκομεία, σχολεία, κυβερνητικά γραφεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, αστυνομικοί σταθμοί και άλλα κτίρια που συνεισφέρουν στη δημόσια ασφάλεια και ευημερία, έχουν σημαντικές λειτουργίες που πρέπει να μη διακοπούν έστω και προσωρινά, είτε για ενίσχυση είτε για επισκευή μετά από ισχυρό σεισμό. Αλλά και σε κατοικίες οι ένοικοι μπορούν να παραμείνουν στα διαμερίσματά τους χωρίς να απαιτηθεί εκκένωση. Όσον αφορά το χρόνο που απαιτείται για να εφαρμοστεί η σεισμική μόνωση μπορεί να είναι ένα σχετικά μικρό διάστημα. Ενδεικτικά για ένα κτίριο, γύρω στον ένα χρόνο όταν η ενίσχυση με συμβατικές μεθόδους θα απαιτούσε το διπλάσιο.

Η σεισμική μόνωση παρέχει υψηλή αξιοπιστία για τις κατασκευές που εφαρμόζεται. Έτσι, εκτός από την σεισμική αναβάθμιση που επιτυγχάνεται, αυξάνεται και το αίσθημα ασφάλειας των ανθρώπων που βρίσκονται μέσα. Κατά τη διάρκεια σεισμικών δονήσεων διαφορετικής έντασης, το κτίριο εμφανίζει τη συμπεριφορά που οραματίστηκε στο στάδιο του σχεδιασμού. Αυτό είναι μία αντικειμενική πραγματικότητα που δείχνει ότι οι τεχνολογίες σεισμικής μόνωσης μπορούν να παρέχουν υψηλή απόδοση στις ενισχύσεις κατασκευών.

Το κόστος είναι σημαντικά μικρότερο από τις κλασσικές μεθόδους γύρω στα 2/3 λιγότερο. Μπορεί να γίνει και ακόμα μικρότερο όταν βρεθούν πόροι για προσωρινή στέγαση. Ενδεικτικά αναφέρεται ένα πολυλειτουργικό κτίριο στην Ιταλία (Rione Traiano): συνολικό κόστος επέμβασης: 2,5 εκ. € = 80 €/m² = μόλις 3% της συνολικής αξίας του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα: μονωτήρες και κοπή υποστρωμάτων: 1,3 εκ. € , χαλύβδινο δάπεδο: 0,6 εκ. € , τοίχοι αντιστήριξης και κατασκευαστικά διάκενα: 0,5 εκ. € , εξαρτήματα: 0,1 εκ. € . Το κτίριο ήταν η πρώτη εφαρμογή της τεχνικής στην Ευρώπη.

Μία άλλη εφαρμογή σεισμικής μόνωσης σε υφιστάμενο κτίριο, είναι όταν τοποθετείται στην οροφή με σκοπό την προσθήκη επιπλέον ορόφου ή ορόφων. Αποτελεί πολύ καλή λύση όταν επιθυμείται η αύξηση του ωφέλιμου χώρου αλλά είναι περιορισμένη η σεισμική αντοχή της υπάρχουσας κατασκευής και ταυτόχρονα δεν επιθυμείται παρεμπόδιση της λειτουργίας της. Σε αυτή την περίπτωση, η μόνη επιπλέον επέμβαση που ίσως χρειαστεί είναι η ενδυνάμωση των υποστρωμάτων στους κατώτερους ορόφους ώστε να παραλάβουν τα αυξημένα φορτία βαρύτητας. Επιπλέον, οι νέοι όροφοι βελτιώνουν τη συμπεριφορά του κτιρίου σε σεισμό ενεργώντας σαν αποσβεστήρες. Κατά τη διάρκεια μιας ισχυρής

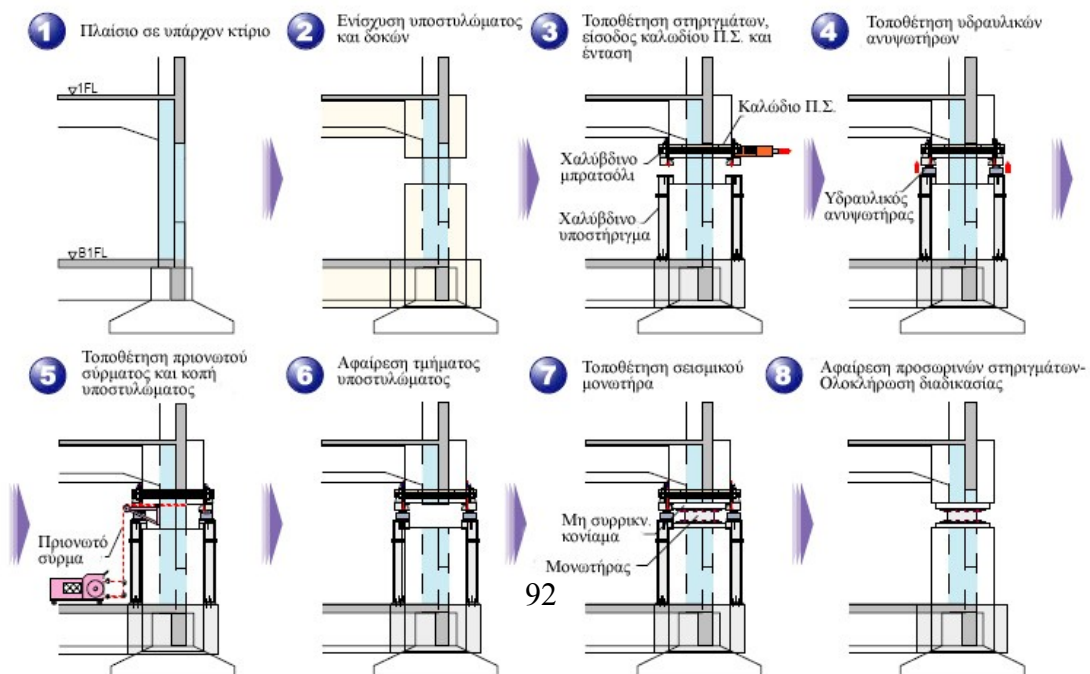
δόνησης τείνουν να αντισταθμίσουν την κίνηση των κατώτερων πατωμάτων και πραγματικά μειώνουν τις δυνάμεις και μετακινήσεις εξαιτίας της υπάρχουσας κατασκευής. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην τεχνική του επιπλέον μονωμένου ανώτατου ορόφου (AIUF: Additional Isolated Upper Floor) που αυξάνει την σεισμική αντοχή κατά μέσο όρο με ένα συντελεστή 1,6 και ταυτόχρονα επεκτείνει τον ωφέλιμο χώρο του κτιρίου. Η αξιοπιστία της μεθόδου πάντως δεν είναι τόσο υψηλή όσο η μόνωση βάσης.

Περιγραφή διαδικασίας εφαρμογής σεισμικής μόνωσης σε υφιστάμενα κτίρια.

Αφού αποφασιστεί ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες ποιο είναι το καταλληλότερο επίπεδο για τοποθέτηση της μόνωσης ξεκινάει η διαδικασία εφαρμογής. Αν και υπάρχουν διαφοροποιήσεις ανάλογα με το κτίριο, την τεχνογνωσία, τον διαθέσιμο εξοπλισμό και τους διαθέσιμους πόρους η βασική διαδικασία είναι η ίδια.

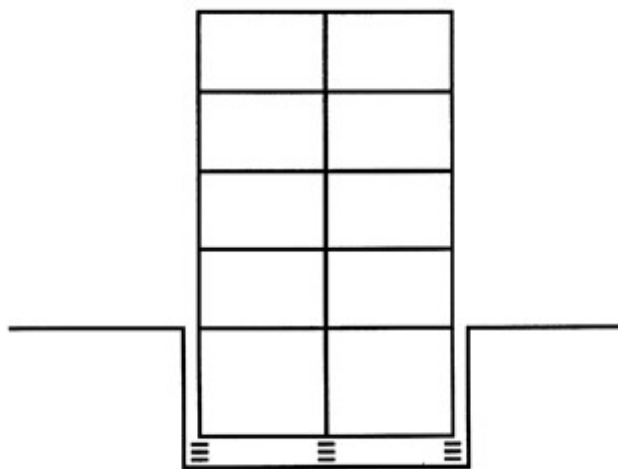
Κατ' αρχήν γίνεται μία ενίσχυση των δοκών και υποστυλωμάτων στο επίπεδο μόνωσης, δηλαδή στον όροφο εγκατάστασης και τον υποκείμενο όροφο, αν αυτό κριθεί αναγκαίο. Αν το επίπεδο αυτό βρίσκεται στη βάση του κτιρίου ίσως ενισχυθεί και η θεμελίωση. Στη συνέχεια τοποθετούνται στηρίγματα γύρω από το υπό ενίσχυση υποστυλώμα τα οποία θα παραλάβουν τα φορτία του και στη συνέχεια αποκόπεται τμήμα του υποστυλώματος ώστε να δημιουργηθεί χώρος για το μονωτήρα. Έπειτα τοποθετείται ο μονωτήρας και γίνεται η ασφαλής ενσωμάτωσή του με τα φέροντα στοιχεία. Αφού αφαιρεθεί η προσωρινή στήριξη, η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί.

Παρακάτω απεικονίζεται ένα ενδεικτικό σχεδιάγραμμα της διαδικασίας, σε κτίριο που εφαρμόστηκε μία τεχνική της σύνδεσης των στηριγμάτων στα υπάρχοντα υποστυλώματα μέσω δυνάμεων τριβής, χρησιμοποιώντας καλώδια προεντεταμένου σκυροδέματος.



Η επιλογή του κατάλληλου τύπου μονωτήρα (εφεδράνου) απαιτεί λεπτομερή μελέτη των χαρακτηριστικών του κτιρίου, απαιτήσεων απόδοσης, κατασκευαστικού κόστους και μακροπρόθεσμης συντήρησης. Υπάρχουν διάφοροι τύποι εφεδράνων: ελαστομεταλλικά (χαμηλής απόσβεσης, υψηλής απόσβεσης, με πυρήνα μολύβδου) και ολίσθησης (επίπεδα και σφαιρικά εκκρεμούς τριβής). Επειδή το ελαστικό υλικό (φυσικό ή συνθετικό) μπορεί είτε να σκληρύνει είτε να διογκωθεί, απαιτείται περιοδική επιθεώρηση ώστε να εξασφαλισθεί η αποδοτικότητά του. Τα εφεδράνα ολίσθησης δεν απαιτούν συντήρηση αν και κατά τη διάρκεια ισχυρών δονήσεων μπορεί να μετακινηθούν στις άκρες των πλακών στήριξης.

Η τοποθέτηση των μονωτήρων μπορεί να γίνει σε διάφορα επίπεδα: στη βάση του υπογείου, στην κορυφή του υπογείου, στη βάση του πρώτου ορόφου, στην κορυφή του πρώτου ορόφου. Εξαιρείται βέβαια η τοποθέτηση μόνωσης στο ανώτερο πάτωμα με σκοπό την προσθήκη ορόφου που αποτελεί ειδική περίπτωση. Παρακάτω απεικονίζονται αυτές οι 4 περιπτώσεις.



Βάση του υπογείου

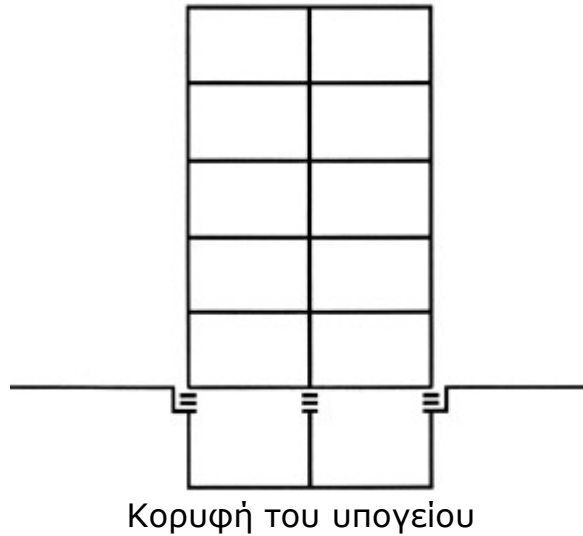
Πλεονεκτήματα:

- Όχι ειδικές διατάξεις για σκάλες και ανελκυστήρα
- Όχι ειδικές διατάξεις για μη φέροντες τοίχους
- Η βάση των υποστυλωμάτων μπορεί να συνδεθεί με διάφραγμα στο επίπεδο μόνωσης
- Εύκολη ενσωμάτωση εφεδρικού συστήματος για κατακόρυφα φορτία

Μειονεκτήματα:

- Πρόσθετο κόστος εκτός και αν το υπόγειο απαιτείται για άλλους σκοπούς

- Απαιτεί ξεχωριστό τοίχο αντιστήριξης

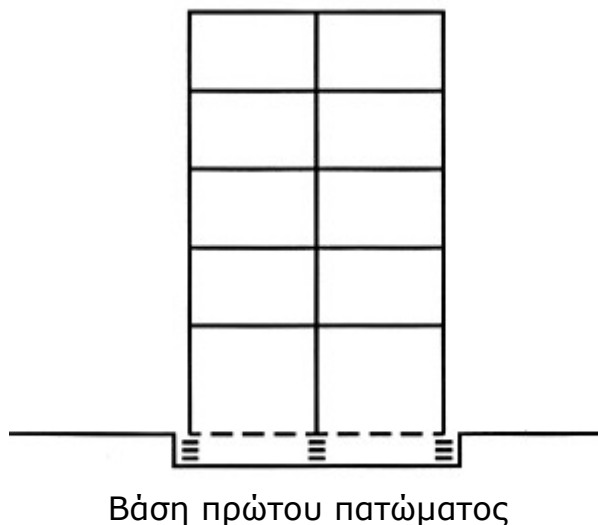


Πλεονεκτήματα:

- Όχι απαίτηση υπογείου
- Ελάχιστο πρόσθετο κατασκευαστικό κόστος
- Η βάση των υποστυλωμάτων μπορεί να συνδεθεί με διάφραγμα στο επίπεδο μόνωσης
- Το εφεδρικό σύστημα για τα κατακόρυφα φορτία παρέχεται από τα υποστυλώματα

Μειονεκτήματα:

- Μπορεί να χρειασθεί προβολοδομημένο φρεάτιο ανελκυστήρα κάτω από το πρώτο πάτωμα
- Ειδική μεταχείριση εσωτερικής σκάλας κάτω από το πρώτο πάτωμα

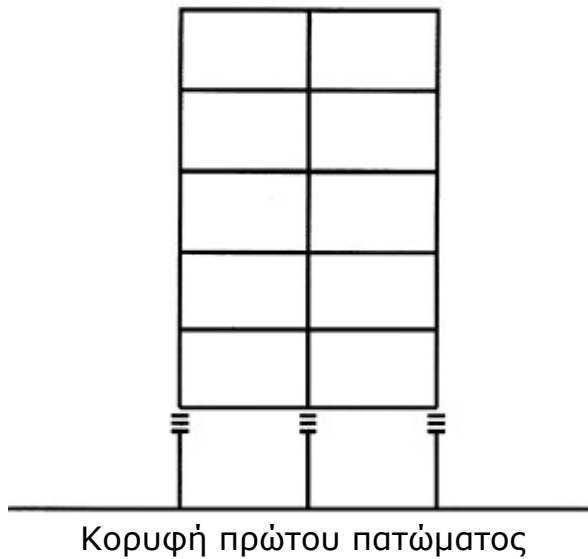


Πλεονεκτήματα:

- Ελάχιστο πρόσθετο κατασκευαστικό κόστος
- Διαχωρισμός στο επίπεδο της μόνωσης εύκολος
- Η βάση των υποστυλωμάτων μπορεί να συνδεθεί με διάφραγμα στο επίπεδο μόνωσης
- Εύκολη ενσωμάτωση εφεδρικού συστήματος για κατακόρυφα φορτία

Μειονεκτήματα:

- Μπορεί να απαιτηθεί όρυγμα – πρόβολος



Πλεονεκτήματα:

- Ελάχιστο πρόσθετο κατασκευαστικό κόστος
- Οικονομικό αν το πρώτο επίπεδο είναι για πάρκινγκ
- Το εφεδρικό σύστημα για τα κατακόρυφα φορτία παρέχεται από τα υποστυλώματα

Μειονεκτήματα:

- Ειδικές διατάξεις για σκάλες και ανελκυστήρα
- Ειδικές διατάξεις μη φερόντων τοίχων
- Ειδικές διατάξεις για κατακόρυφες υπηρεσίες κατακόρυφα φορτία

Ειδική αναφορά πρέπει να γίνει στην περίπτωση της μόνωσης στη βάση του υπογείου, που είναι και η συνηθέστερη, επειδή απαιτεί τη διαμόρφωση κατασκευαστικού κενού (τάφρου) για να είναι δυνατές οι μεγάλες πλευρικές παραμορφώσεις του κτιρίου και την κατασκευή τοίχων αντιστήριξης.

Το φορτίο του υπό ενίσχυση υποστυλώματος, συνήθως μεταφέρεται στο έδαφος με προσωρινά μεταλλικά υποστυλώματα

που βρίσκονται εκατέρωθεν του υπάρχοντος και τοποθετούνται σε κατάλληλες θεμελιώσεις. Τοποθετούνται υδραυλικοί γρύλοι στις κεφαλές τους φτάνοντας ως τα δοκούς του υπερκείμενου πατώματος και σπρώχνουν ως ένα προαποφασισμένο επίπεδο, που έχει υπολογιστεί σαν το φορτίο βαρύτητας του υπάρχοντος υποστυλώματος. Μετά το υδραυλικό υγρό στους γρύλους κλειδώνει σε αυτή τη θέση. Ειδικές μεταλλικές διατάξεις εισάγονται ακριβώς πάνω και κάτω από την τελική θέση της μόνωσης που λειτουργούν σαν σημάδια και παίρνονται μετρήσεις ώστε να εξασφαλιστεί επαρκής έλεγχος πιθανών μετακινήσεων. Έπειτα γίνονται δύο οριζόντιες τομές με μία πριονωτή αλυσίδα από διαμάντι και αφαιρείται το κομμάτι σκυροδέματος που προκύπτει. Τότε παίρνονται μετρήσεις των μετακινήσεων του υποστυλώματος που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι μικρές, γύρω στα 5 mm.



Τοποθέτηση προσωρινών υποστυλωμάτων



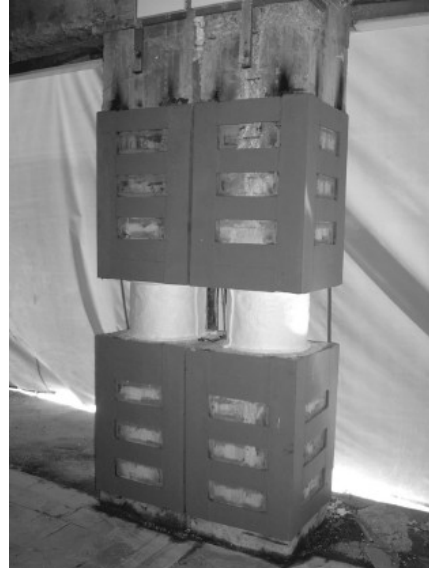
Κοπή υπάρχοντος υποστυλώματος

Ένα στρώμα εποξειδικού κονιάματος τοποθετείται στην κάτω επιφάνεια κοπής, εισάγεται το εφέδρανο και το κενό από πάνω του γεμίζεται με εποξειδικό κονίαμα. Οι υδραυλικοί γρύλοι ελευθερώνονται και μόλις πήξει το κονίαμα αφαιρούνται και τα μεταλλικά υποστυλώματα. Χαλύβδινες επενδύσεις τοποθετούνται πάνω και κάτω από το εφέδρανο ώστε να παραλάβουν τις συγκεντρώσεις τάσεων και να αντικαταστήσουν τον οπλισμό που κόπηκε προηγουμένως. Τα εφέδρανα εγκιβωτίζονται σε πυροπροστατευτική μόνωση ή κλείνονται σε ειδικούς πίνακες και η

διαδικασία έχει ολοκληρωθεί. Για μεγαλύτερη ασφάλεια πάντως απέναντι σε πιθανό σεισμό κατά τη διάρκεια της επισκευής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και προσωρινή πλαισιωτή μεταλλική κατασκευή με συνδέσμους δυσκαμψίας σε όλο το επίπεδο της μόνωσης.



Χαλύβδινες επενδύσεις που αντικαθιστούν τις ράβδους οπλισμού



Ζεύγος υποστυλωμάτων σε αρμό διαστολής

Μία νέα μέθοδος προτείνει την μεταφορά του φορτίου του υποστυλώματος που μονώνεται, μέσω δυνάμεων τριβής ανάμεσα σε προσωρινά στηρίγματα και το υπάρχον υποστυλώμα, που αναπτύσσονται με προένταση. Αυτή η τεχνική εφαρμόστηκε σε κτίριο διοίκησης της περιφέρειας Yamagashi, στην πόλη Kofu, στην Ιαπωνία. Η νέα μέθοδος εφαρμόστηκε στο πάνω μέρος του υποστυλώματος ενώ στη βάση μία συμβατική μέθοδος ενίσχυσης των συνδετήριων δοκών.

Προτού αρχίσει η επέμβαση, έγιναν πειράματα σε πραγματική κλίμακα ώστε να επιβεβαιωθεί η ασφάλεια και η υψηλή απόδοση του συστήματος στήριξης.





Προσωρινό σύστημα στήριξης
Ολοκλήρωση σεισμικής μόνωσης



Τοποθέτηση μονωτήρα σε πυροπροστατευτικό πίνακα

Η απαιτούμενη για τις σεισμικές δράσεις απόσβεση στις περισσότερες περιπτώσεις παρέχεται από τα εφέδρανα, αλλά όταν κριθεί σκόπιμο μπορούν να τοποθετηθούν επίσης αποσβεστήρες, συνήθως ιξώδεις υδραυλικοί.

Όσον αφορά τη μεταχείριση των σκαλών και του ανελκυστήρα σε μία εφαρμογή σεισμικής μόνωσης σε υπάρχον κτίριο, απαιτούνται ειδικές κατασκευαστικές διατάξεις όπως υποθεμελίωση του σκελετού της σκάλας και των τοιχωμάτων του ανελκυστήρα και τοποθέτηση ολισθαινόντων εφεδράνων ανάμεσα στη βάση και τη νέα θεμελίωση.

Προϋποθέσεις εφαρμογής σεισμικής μόνωσης σε υφιστάμενα κτίρια.

Η σεισμική μόνωση σε υφιστάμενες κατασκευές αποτελεί μία πολύ σύνθετη διαδικασία. Αυτές οι κατασκευές χωρίζονται σε τρία τμήματα: την κατασκευή πάνω από το επίπεδο μόνωσης, το σύστημα μόνωσης και τη θεμελίωση μαζί με τα υπόλοιπα στοιχεία κάτω από το επίπεδο μόνωσης. Καθένα από αυτά πρέπει να ενισχυθεί ξεχωριστά με ακρίβεια ώστε να επιτευχθεί υψηλή απόδοση. Επιπλέον οι διαδικασίες επιλογής επιπέδου μόνωσης, προσωρινής

υποστήριξης, κοψίματος των δομικών στοιχείων, τοποθέτησης των μονωτήρων και η επιστροφή των φορτίων στα υποστυλώματα πρέπει να ελεγχθούν επαρκώς στη φάση του σχεδιασμού. Από μηχανικής άποψης το σύστημα μόνωσης πρέπει να έχει τρεις θεμελιώδεις μηχανικές ιδιότητες: οριζόντια ευκαμψία που αυξάνει την ιδιοπερίοδο και μειώνει τη μεταφορά της σεισμικής ενέργειας στην ανωδομή (με εξαίρεση πολύ μαλακά εδάφη), απόσβεση ενέργειας ώστε να μειωθούν οι μετακινήσεις και επαρκή δυσκαμψία στις μικρές μετατοπίσεις ώστε το κτίριο να παραμένει άκαμπτο σε ανεμοπιέσεις και μικρούς σεισμούς. Στο στάδιο της μελέτης πρέπει επίσης να αποφασιστεί η στάθμη επιτελεστικότητας της ενίσχυσης. Σύμφωνα με EC8 η απόδοση της μόνωσης για τρεις στάθμες είναι: για αποφυγή βλαβών πολύ πιθανή, για αποφυγή σοβαρών βλαβών πιθανή και για αποφυγή κατάρρευσης περιορισμένη.

Η σεισμική μόνωση βάσης δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε τύπο κτιρίου. Τα ψηλά και εύκαμπτα κτίρια με υψηλή θεμελιώδη ιδιοπερίοδο δεν είναι κατάλληλα, επειδή κατά το σεισμό πρέπει να συμπεριφερθούν σαν στερεό άκαμπτο σώμα. Επίσης δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η μόνωση μειώνει τις σεισμικές δυνάμεις, δεν τις εξαφανίζει. Συνεπώς η αντοχή και πλαστιμότητα της υπάρχουσας κατασκευής πρέπει τουλάχιστον να επαρκή για να αντισταθεί στις μειωμένες δυνάμεις.

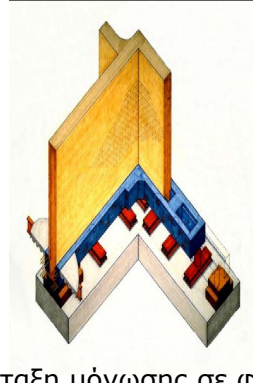
Αν η αντοχή είναι υπερβολικά χαμηλή (λιγότερο από το 5% του βάρους του κτιρίου) τότε άλλη μέθοδος ενίσχυσης πρέπει να μελετηθεί. Για τον ίδιο λόγο πρέπει να μελετηθεί και η θεμελίωση.

Σε περίπτωση τοποθέτησης της μόνωσης στο υπόγειο είναι απαραίτητη η διαμόρφωση τάφρου. Οι διαστάσεις αλλά και θέματα όπως η επέκταση του κενού πέρα από τα όρια ιδιοκτησίας μελετούνται στη φάση του σχεδιασμού. Επίσης πρέπει να υπάρχει αρκετό διάστημα μέχρι τα γειτονικά κτίρια ώστε να επιτραπεί μία κίνηση από 15 μέχρι 60 εκ.

Άλλες προκλήσεις της εφαρμογής είναι η διαχείριση των σκαλών και των ανελκυστήρων ώστε να συμβιβάσουν τις μεγάλες παραμορφώσεις, η πυροπροστασία των μονωτήρων αλλά και η ελαχιστοποίηση της σεισμικής τρωτότητας στη φάση της κατασκευής.

Αναφορές σε υφιστάμενα κτίρια του εξωτερικού που εφαρμόστηκε σεισμική μόνωση.

Το πρώτο υφιστάμενο κτίριο στον κόσμο που ενισχύθηκε με σεισμική μόνωση βρίσκεται στο Salt Lake City (City and County Building). Κατασκευάστηκε το 1893 και ενισχύθηκε το 1989 με 208 ελαστικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου και 239 ελαστομεταλλικά. Χρησιμοποιήθηκαν ειδικές διατάξεις για την τοποθέτησή τους κάτω από τους φέροντες τοίχους.



Ειδική διάταξη μόνωσης σε φέροντα τοίχο

Το κτίριο Court of Appeals στο San Francisco που κατασκευάστηκε το 1905 ενισχύθηκε με εφεδράνα εκκρεμούς τριβής (FPS). Όταν ολοκληρώθηκε η ενίσχυση το 1994 ήταν το μεγαλύτερο υπάρχον κτίριο στον κόσμο με σεισμική μόνωση. Η κατασκευή αποτελείται από τέσσερις ορόφους και ένα υπόγειο και έχει πολύ σημαντική αρχιτεκτονική και ιστορική σημασία. Τα 256 FPS που τοποθετήθηκαν του δίνουν τη δυνατότητα να μετακινείται κατά 35εκ.



Αυτή τη στιγμή το μεγαλύτερο στον κόσμο ενισχυμένο με μόνωση κτίριο είναι το δημαρχείο του San Francisco, που είναι ένα μνημειακό πεντάοροφο κτίριο. Η ενίσχυση περιλάμβανε την τοποθέτηση πάνω από 500 ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου ακριβώς πάνω από τη θεμελίωση και στη βάση των υποστυλωμάτων και των εξωτερικών φερόντων τοίχων. Η διαδικασία τελείωσε το 1998.



Εξωτερική όψη του κτιρίου



Τοποθέτηση μονωτήρων

Εφαρμογή σε υφιστάμενο κτίριο έγινε και στα κεντρικά γραφεία της ΑΤΗΚ (Αρχής Τηλεπικοινωνιών Κύπρου). Το κτίριο αποτελείται από 6 επιμέρους στατικά ανεξάρτητα τμήματα, διαχωριζόμενα μεταξύ τους με αρμούς. Το σύνολο των 6 τμημάτων διαμορφώνει σε κάτοψη ένα 6πλευρο σε κάθε κορυφή του οποίου βρίσκεται ο πυρήνας του κλιμακοστασίου και του ανελκυστήρα κάθε τμήματος. Το κτίριο αναπτύσσεται σε 6 επίπεδα (1 υπόγειο, ισόγειο και 4 ορόφους).

Με βάση την αδυναμία επίλυσης του προβλήματος της ανεπάρκειας του φορέα κυρίως λόγω της μεγάλης διαφοράς μεταξύ των φορτίων σχεδιασμού και ανασχεδιασμού διερευνήθηκε και τελικά επιλέχθηκε η περίπτωση της σεισμικής μόνωσης. Μετά από ελέγχους στο σύνολο των διατομών του φορέα διαπιστώθηκε ότι: οι υπερβάσεις σε οπλισμό περιορίζονται σημαντικά και καλύπτονται από τον οπλισμό των μανδύων που κατασκευάζονται, η θεμελίωση ανακουφίζεται σημαντικά ώστε να μην απαιτούνται γενικευμένες παρεμβάσεις και οι σχετικές μετατοπίσεις στην ανωδομή είναι σχεδόν μηδενικές αφού το κτίριο μετατοπίζεται σαν στερεό σώμα. Η εφαρμογή έγινε στο επίπεδο του ισόγειου και χρησιμοποιήθηκαν FPS εφέδρανα. Με μόνωση ενισχύθηκαν επίσης τα αεροδρόμια της Αττάλειας και την Κωνσταντινούπολης στην Τουρκία.

Συμπεράσματα

Η εφαρμογή σεισμικής μόνωσης σε υφιστάμενα κτίρια, μπορεί να αποτελέσει μία πολύ καλή εναλλακτική λύση σαν τρόπος ενίσχυσης σε κατασκευές με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αν και η χρήση της δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη σε σχέση με κλασσικές μεθόδους θα μπορούσε να

αποδειχθεί βέλτιστη λύση για αρκετές περιπτώσεις και με ένα μικρό σχετικά οικονομικό κόστος.

4.4 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΓΕΦΥΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΣΗΜΕΡΑ

Γενικά

Η σεισμική προστασία των γεφυρών αποτελεί ένα μέλημα πρώτιστης σημασίας για την πολιτεία λόγω της εξαιρετικής σημαντικότητας των τεχνικών έργων που αποκαλούνται γέφυρες. Όπως είναι ευνόητο μετά από ένα ισχυρό σεισμικό επεισόδιο, γέφυρες στρατηγικής σημασίας για την πολιτική προστασία της χώρας θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν άμεσα ή στη χειρότερη περίπτωση θα πρέπει να είναι άμεσα επισκευάσιμες.

Διαφορές σεισμικής μόνωσης σε κτίρια και γέφυρες.

Φιλοσοφία σχεδιασμού.

Η φιλοσοφία σχεδιασμού για τις γέφυρες διαφέρει σημαντικά σε σχέση με τη φιλοσοφία σχεδιασμού των κτιριακών κατασκευών. Υπάρχει ένα πλήθος χαρακτηριστικών που διαφέρουν στις γέφυρες σε σχέση με τα κτίρια και που επηρεάζουν τη φιλοσοφία σχεδιασμού της σεισμικής μόνωσης.

Τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά συνοψίζονται παρακάτω:

- Η μεγαλύτερη μάζα της γέφυρας είναι συγκεντρωμένη στην ανωδομή σε ένα μόνο επίπεδο, το επίπεδο του καταστρώματος της γέφυρας.

- Η ανωδομή δεν σχεδιάζεται εν γένει για να αντέχει σε σεισμικά φορτία σε αντίθεση με την υποδομή (ακρόβαθρα και βάθρα) που λαμβάνουν το σεισμικό φορτίο.
- Η σεισμική αντοχή της κατασκευής είναι συνήθως διαφορετική στις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις της γέφυρας (διαμήκης και εγκάρσια).
- Οι γέφυρες σχεδιάζονται για να φέρουν με ασφάλεια ισχυρά οριζόντια φορτία και παραμορφώσεις όπως είναι τα φορτία ανέμου, φορτία πέδησης, θερμοκρασιακά φορτία, ερπυσμός και συστολή ξήρανσης.

Επίσης, ο αντικειμενικός στόχος της σεισμικής μόνωσης μιας γέφυρας διαφέρει από τον στόχο μιας κτιριακής κατασκευής. Σε ένα κτίριο, η σεισμική μόνωση σχεδιάζεται για τη μείωση των αδρανειακών δυνάμεων στην ανωδομή με στόχο να μειώσει τις απαιτήσεις αντοχών των φερόντων στοιχείων. Από την άλλη, μία γέφυρα είναι κατά κανόνα σεισμικά μονωμένη στην κορυφή των βάθρων και στη βάση της διατομής του καταστρώματος. Ο σκοπός της μόνωσης είναι να προστατέψει τα βάθρα κάτω από τη μόνωση μέσω της μείωσης των αδρανειακών δυνάμεων που μεταφέρονται από την ανωδομή.

Αν και ο τύπος της σεισμικής μόνωσης με εφαρμογή συστημάτων μόνωσης μεταξύ βάθρων και βάσης καταστρώματος, θεωρείται τυπικός, μπορεί να τοποθετηθούν μονωτήρες στη βάση των βάθρων, μερική μόνωση (χρήση αποσβεστήρων στα βάθρα) κλπ.

Στόχος της σεισμικής μόνωσης γεφυρών δεν είναι η μείωση των επιταχύνσεων στις στάθμες των ορόφων όπως συμβαίνει στα κοινά κτιριακά έργα. Για το λόγο αυτό δεν τίθεται άνω όριο στην απόσβεση του συστήματος μόνωσης. Πολλά συστήματα μόνωσης γεφυρών είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η απορρόφηση ενέργειας από το να επιδιώκεται η αύξηση της ιδιοπεριόδου της κατασκευής.

Βασικές αρχές σχεδιασμού.

Ο σχεδιασμός γεφυρών με σεισμική μόνωση είναι μια διαδικασία που απαιτεί γνώση στο αντικείμενο της σεισμικής μόνωσης αλλά και στις κατασκευαστικές λεπτομέρειες της γεφυροποιίας. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποιες βασικές αρχές σχεδιασμού που συνοψίζονται στα παρακάτω:

Μείωση των σεισμικών δυνάμεων

Αντικειμενικός στόχος της σεισμικής μόνωσης σε μία γέφυρα είναι η μείωση των αδρανειακών δυνάμεων λόγω σεισμού. Η μείωση

αυτή, κατά κύριο λόγο, έχει σαν αποτέλεσμα την απομείωση της τέμνουσας βάσης της κατασκευής που επηρεάζει τα βάθρα της γέφυρας. Επιπλέον σε ειδικές περιπτώσεις, όπως είναι η περίπτωση της σταδιακής προώθησης, είναι απαραίτητη η μείωση των σεισμικών δυνάμεων και στην ανωδομή της γέφυρας.

Η μείωση των σεισμικών δυνάμεων μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους:

- Με αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου της κατασκευής
- Με αύξηση της συνολικής απόσβεσης

Κατά κανόνα, σε μια κοιλαδογέφυρα, η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος είναι αρκετά υψηλή και κατά συνέπεια το όφελος που θα υπάρξει από την αύξησή της θα είναι σχετικά μικρό.

Αντιθέτως, το μεγαλύτερο κέρδος στην απομείωση των σεισμικών δυνάμεων το έχουμε από την απόσβεση. Αν λάβει κανείς υπόψη του ότι στην περίπτωση των γεφυρών, στόχος της σεισμικής μόνωσης δεν είναι η μείωση των επιταχύνσεων στις στάθμες των ορόφων όπως συμβαίνει στα κοινά κτιριακά έργα, τότε δεν υπάρχει πρακτικός περιορισμός στην απόσβεση του συστήματος μόνωσης.

Μείωση των μετακινήσεων

Η αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των μετακινήσεων. Οι γέφυρες από τον συμβατικό σχεδιασμό τους έχουν ήδη μεγάλες μετακινήσεις. Πόσο περισσότερο το πρόβλημα αυτό εντείνεται στην περίπτωση της μετατοπισμένης ιδιοπεριόδου της κατασκευής. Θα πρέπει λοιπόν να ληφθεί μέριμνα για την εκλογικευμένη αποδοχή των ορίων των μετακινήσεων της κατασκευής.

Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη πρακτικοί περιορισμοί που αποτρέπουν το σχεδιασμό μιας γέφυρας με μεγάλες παραμορφώσεις. Κατ' αρχήν, υπάρχουν περιορισμοί κατασκευαστικής φύσεως όπως για παράδειγμα οι αρμοί που θα χρησιμοποιηθούν. Το είδος και η ανοχή των αρμών περιορίζονται από πρακτικούς κατασκευαστικούς παράγοντες.

Τα εφέδρανα που θα χρησιμοποιηθούν έχουν και αυτά με τη σειρά τους περιορισμό στη σχετική τους μετακίνηση. Κατά τον υπολογισμό των σχετικών μετακινήσεων των εφεδράνων σεισμικής μόνωσης, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στο προκαταρκτικό στάδιο ακόμα, η μετακίνηση των βάθρων λόγω της σεισμικής τους απόκρισης. Σε γέφυρες με υψηλά βάθρα και μεγάλη μάζα η σεισμική απόκριση των βάθρων παίζει καθοριστικό ρόλο. Κατά την εφαρμογή ανάλυσης με χρονοϊστορία, έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα αντίθετης μετακίνησης του βάθρου από την ανωδομή.

Μεγάλες μετακινήσεις της ανωδομής σε σχέση με τα βάθρα έχουν σαν αποτέλεσμα να δημιουργούνται στα βάθρα ροπές β' τάξης που θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη στη διαστασιολόγηση των βάθρων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι σεισμοί είναι απρόβλεπτα φαινόμενα τα οποία έχουν σαν αποτέλεσμα ισχυρές κινήσεις στο έδαφος. Είναι δυστυχώς καταστρεπτικοί και συνήθως εμφανίζονται σε μη αναμενόμενες περιοχές, στις οποίες κανένας αντισεισμικός κώδικας δεν έχει εφαρμοστεί σωστά, και δεν υπάρχουν τα κατάλληλα υλικά για κατασκευή.

Η καταστροφή η οποία προκαλείται από ένα σεισμό μπορεί να αποδοθεί σε πολλές παραμέτρους. Η σεισμικότητα στην περιοχή, οι εδαφικές ιδιότητες, οι διαφορετικές μέθοδοι κατασκευής και τα υλικά είναι κάποιες από τις πιο σημαντικές. Παρ' όλα αυτά, πολλές φορές μπορούμε να μάθουμε από τους σεισμούς. Προσεκτικός έλεγχος της ζημίας που ο σεισμός προκάλεσε, μπορεί να μας παρέχει πληροφορίες για την κίνηση που την προκάλεσε. Η καλή παρατήρηση της ζημίας που έχει προκαλέσει ένας σεισμός, δείχνει σεβαστή μηχανική κρίση και λογική, και συνεισφέρει στην ανάπτυξη του αντισεισμικού κώδικα.

Η πιθανότητα ζημίας σε έναν δυνατό σεισμό είναι κατανοητή και αποδεκτή, και πάνω σε αυτή τη βάση αναπτύσσονται όλοι οι βασικοί κώδικες. Η πλειονότητα των σχεδιαστικών κωδικών υιοθετούν τη φιλοσοφία ότι σε ένα σπάνιο σεισμό, δομικές ζημιές είναι αποδεκτές αλλά ποτέ η κατάρρευση. Έτσι, ένας μηχανικός δεν θα πρέπει να εκπλαγεί αν κτίρια σχεδιασμένα βάση αυτού του κώδικα, παρουσιάσουν ζημιές σε έναν σοβαρό σεισμό.

Το γεγονός ανελαστικής δράσης σε κάποια κτίρια κατά την διάρκεια δυνατών σεισμών είναι εμφανές σε παρατηρήσεις που έχουν γίνει μέχρι τώρα. Πιθανώς λιγότερο εμφανής, και χρήζει

προσοχής, είναι η παρατήρηση ότι η ανελαστική δράση συχνά αποδίδεται σε παράγοντες που δεν προβλέφθηκαν κατά το σχεδιασμό. Διαδικασίες ανελαστικού σχεδιασμού είναι άχρηστες αν η ανάλυση δεν λαμβάνει υπόψη πιθανές ανελαστικές κινήσεις. Όσο λιγότερα ξέρει ο σχεδιαστής, δεν θα πρέπει να αντικαταστήσει την απλότητα, την συνέχεια, τον πλεονασμό και την λεπτομέρεια με τις προβλέψεις υπολογιστών.

Επιπροσθέτως, πτυχές συμπεριφοράς ανελαστικού τύπου πολλών μορφών (παραμόρφωση ενώσεων, ρήξεις διάτμησης, σοβαρές ασυνέχειες) προς το παρόν δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν ακόμα και αν εντοπίζονται. Η επιρροή τέτοιων συμπεριφορών θα πρέπει να ελαχιστοποιείται από την διάταξη του δομικού σκελετού, την αναλογία και την λεπτομέρεια των συστατικών του. Απλές τεχνικές σχεδιασμού είναι συνήθως επαρκής για αυτό το σκοπό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αντισεισμικός Σχεδιασμός Τεχνικών Έργων, κ. Γραβαλάς Φώτης, Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ., Υπ. Διδ. Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών.

Οι σεισμοί της Ελλάδας, Βασίλης Παπαζάχος και Κατερίνα Παπαζάχου, εκδόσεις ΖΗΤΗ Θεσσαλονίκη.

Ενισχύσεις/Επισκευές Κατασκευών Από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Σ. Η. Δρίτσος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.

<http://www.gein.noa.gr> (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο – Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

<http://www.oasp.gr>

<http://www.geo.auth.gr>

http://seismotec.gr./surface_waves_el.html

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

<http://www.earthquakenet.gr>

<http://www.greeksight.com>

<http://www.meteoclub.gr>

http://www.seismopolis_site

<http://lyk.-akrot.chan.sch.gr/teknomatheia/seismos/char> (Γενικό
Λύκειο Ακρωτηρίου Χανίων – Σύστημα Καταγραφής και Παρουσίασης
Σεισμολογικών Δεδομένων)