

Κεφάλαιο 10ο

Μακροσεισμικά Αποτελέσματα των Σεισμών

- Αποτελέσματα των Σεισμών στο Εδαφος
- Αποτελέσματα των Σεισμών στο Νερο της Ξηράς
- Αποτελέσματα των Σεισμών στη Θάλασσα
- Αποτελέσματα των Σεισμών στις Τεχνικές Κατασκευές
- Επίδραση των Σεισμών στους Ανθρώπους
- Επίδραση των Σεισμών στα Ζώα
- Εκτίμηση των Μακροσεισμικών Αποτελεσμάτων
- Ισόσειστες Καμπύλες

Μακροσεισμικά Αποτελέσματα των Σεισμών

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 στα ζώα.

♦ **Πρωταρχικά** λέγονται ορισμένα από τα μακροσεισμικά αποτελέσματα τα οποία είναι άμεσες συνέπειες των αιτίων 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

Μακροσεισμικά Αποτελέσματα των Σεισμών (συνέχεια)

Εδαφικές διαρρήξεις

Οι μικρές εδαφικές διαρρήξεις 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 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 17ης Αυγούστου 1999 ($M=7.5$) στην περιοχή της Νικομήδειας (Izmit) της Τουρκίας (USGS).



Εδαφικές ρωγμές κοντά στην Αταλάντη μετά το σεισμό της 27ης Απριλίου 1894 ($M=7.0$) (Earthquake Engineering Research Center).

Ρήγματα



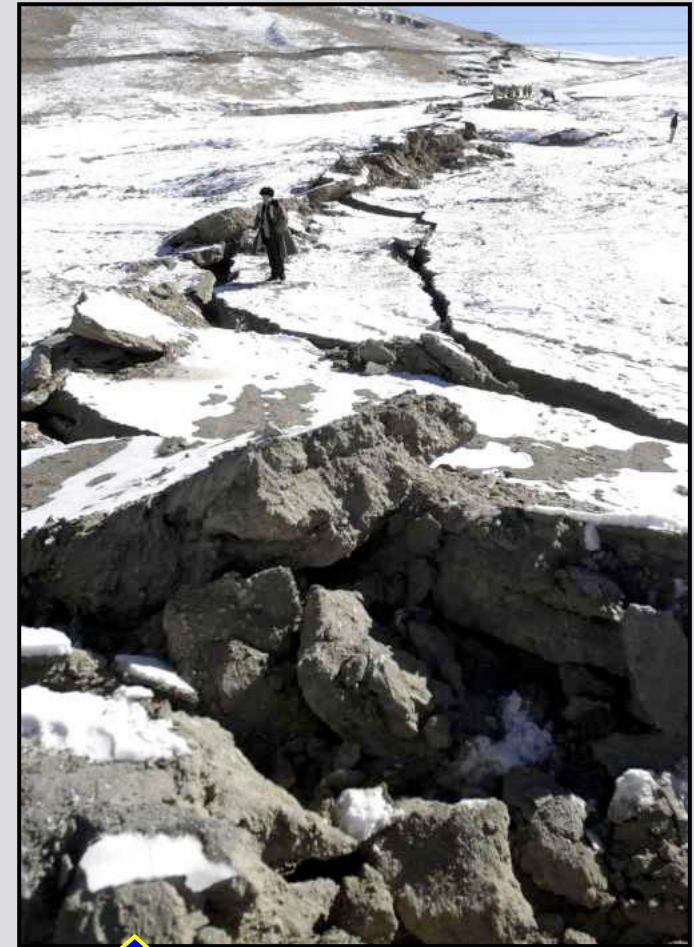
Το ρήγμα που προκάλεσε τον ισχυρό μετασεισμό ($M=6.3$, 4.3.1981) ο οποίος ακολούθησε τον κύριο σεισμό της 24^{ης} Φεβρουαρίου 1981 ($M=6.7$) στον κόλπο των Αλκυονίδων (ανατολικός Κορινθιακός Κόλπος).



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.

Μακροσεισμικά Αποτελέσματα των Σεισμών (συνέχεια)

Οριζόντια μετάθεση φράκτη (στην περιοχή Sakaraga), κάθετου στο ρήγμα του σεισμού του Izmit της Τουρκίας (Νικομήδεια, 17.8.1999, $M=7.5$) (Tom Rockwell, Southern California Earthquake Center, SCEC).



Το ρήγμα του σεισμού Chi-Chi στην Taiwan (20 Σεπτεμβρίου 1999, $M=7.5$) (USGS).

Το ρήγμα του σεισμού του Kunlun στην Κίνα (14 Νοεμβρίου 2001, $M=7.7$).

Εδαφικές κατολισθήσεις

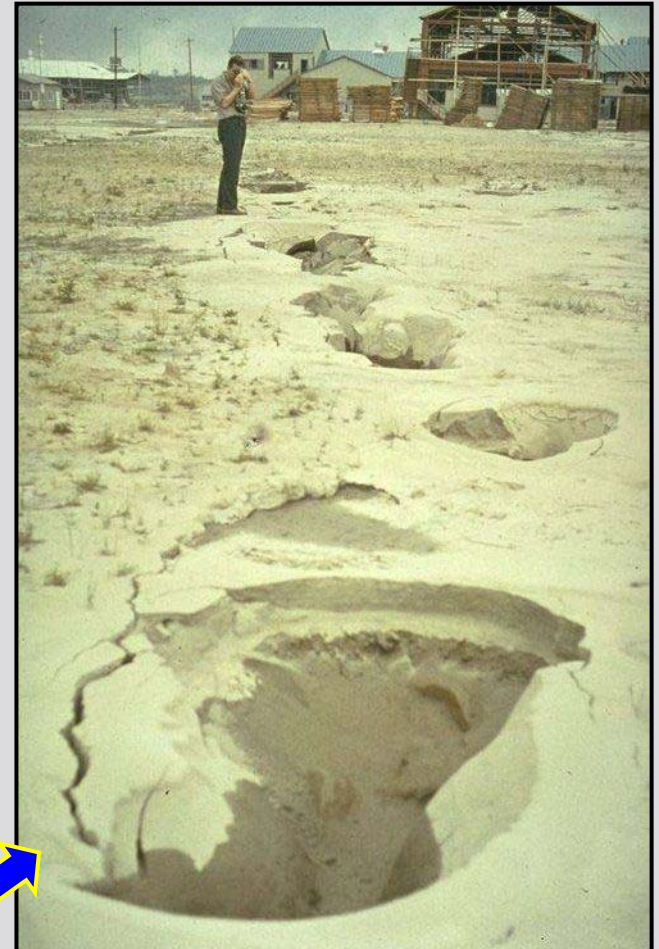
Οι εδαφικές κατολισθήσεις παράγονται κατά τη γένεση των σεισμών οφείλονται στην προκαλούμενη από τη σεισμική κίνηση ελάττωση της τριβής που συγκρατεί σε επαφή τα διάφορα στρώματα.



Σχηματικές παραστάσεις εδαφικών κατολισθήσεων.

Εδαφικές βαθύνσεις: έχουν συνήθως σχήμα σκάφης ή χωνιού και σχηματίζονται πάνω από ρήγματα που δεν φαίνονται στην επιφάνεια ή πάνω από υπόγειες καταπτώσεις

Εδαφικές βαθύνσεις στη Niigata της Ιαπωνίας που παρατηρήθηκαν αμέσως μετά το σεισμό της 16ης Ιουνίου 1964 (Steinbrugge Collection, E.E.R.C., University of California, Berkeley).



Ρευστοποίηση του εδάφους

Η ρευστοποίηση εδάφους παρατηρείται αρκετές φορές κυρίως σε αμμώδη εδάφη, τα οποία είναι κορεσμένα με νερό, και οφείλεται στην αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων λόγω του σεισμού. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση της τριβής μεταξύ των κόκκων του υλικού, έτσι ώστε αυτό να 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 16ης Ιουνίου 1964 με μέγεθος $M=7.5$ (Steinbrugge Collection, E.E.R.C., University of California, Berkeley).



Βλάβες σε κτίρια λόγω ρευστοποίησης εδάφους από τους σεισμούς του Kobe (αριστερά) στην Ιαπωνία (17.1.1995, $M=6.9$) και του Izmit (δεξιά) στη Τουρκία (17.8.1999, $M=7.5$) (System and Data Research Co., Ltd.).

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 3-3.5 m, που παρατηρήθηκε στην περιοχή Halape Beach Park στο νησί της Χαβάης μετά τον σεισμό του Kalarana (29 Νοεμβρίου 1975, $M=7.2$) (National Park Service).

Αποτελέσματα των Σεισμών στο Νερό της Ξηράς

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.

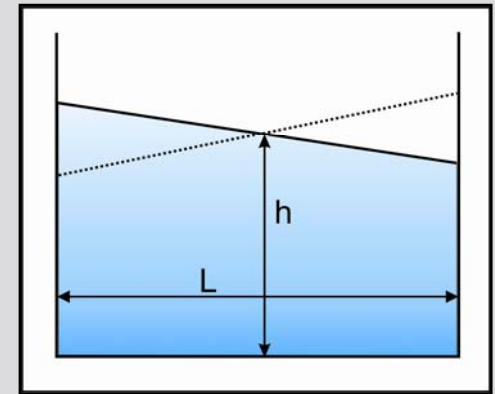
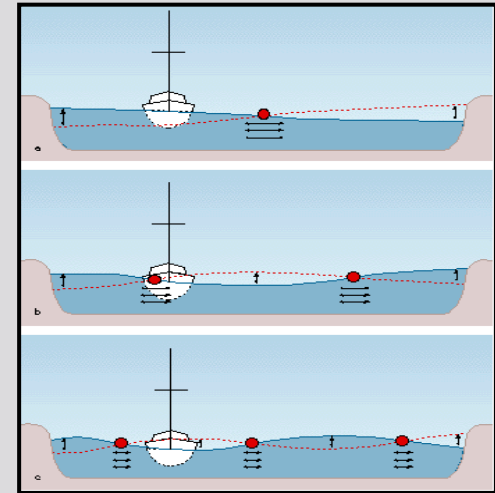
Μια από σημαντικότερες άμεσες μεταβολές είναι η γένεση κυμάτων **seiches**, δηλαδή, η διάδοση στην επιφάνεια του νερού που βρίσκεται σε κλειστούς ή σχεδόν κλειστούς χώρους (λίμνες, λιμάνια, χαντάκια, ποτάμια, κανάλια, κλπ) στασίμων κυμάτων μεγάλης περιόδου τα οποία βάζουν το νερό σε ελεύθερη ταλάντωση.

Η περίοδος, T (sec), του θεμελιώδους κύματος seiche, σε χώρο που έχει σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου του οποίου το ύψος του είναι h και η βάση του τετράγωνο 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.

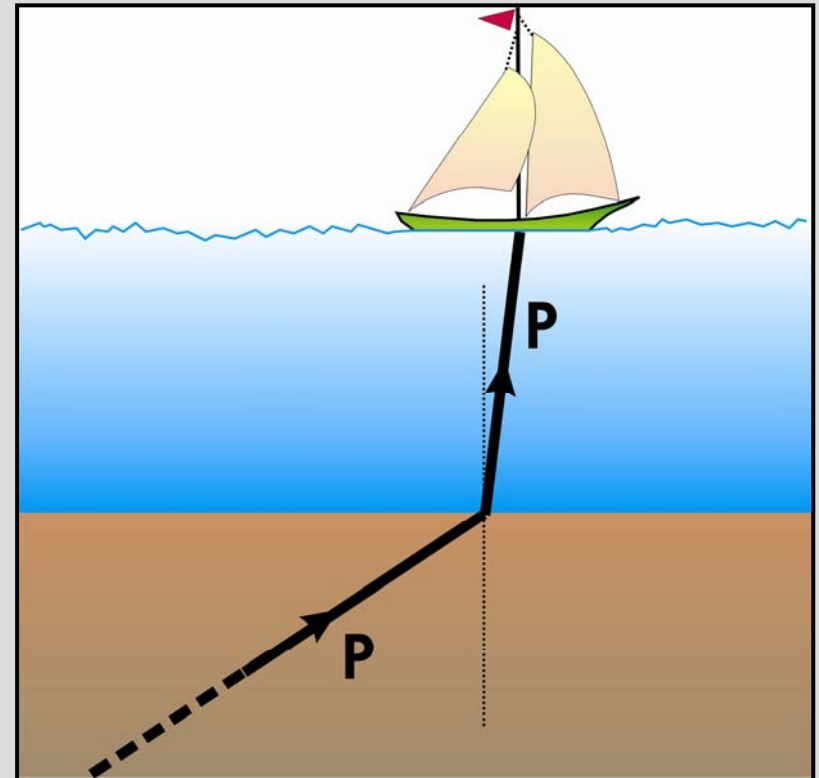


Αποτελέσματα των Σεισμών στη Θάλασσα

Θαλάσσιοι σεισμοί. Αυτοί είναι δονήσεις μικρής περιόδου που οφείλονται στη διάδοση επιμήκων κυμάτων μέσα στο θαλάσσιο νερό. 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, διαθλώνονται 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.



Θαλάσσια κύματα βαρύτητας (tsunami). Αυτά 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 γένεσης αυτών 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 διαμητική παραμόρφωση των πετρωμάτων του θαλάσσιου πυθμένα.

Το **πλάτος** ενός τσουνάμι ελαττώνεται με την απόσταση, r , από την πηγή του περίπου αντιστρόφως αναλόγως της τετραγωνικής ρίζας της απόστασης αυτής. Στην ανοικτή 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.

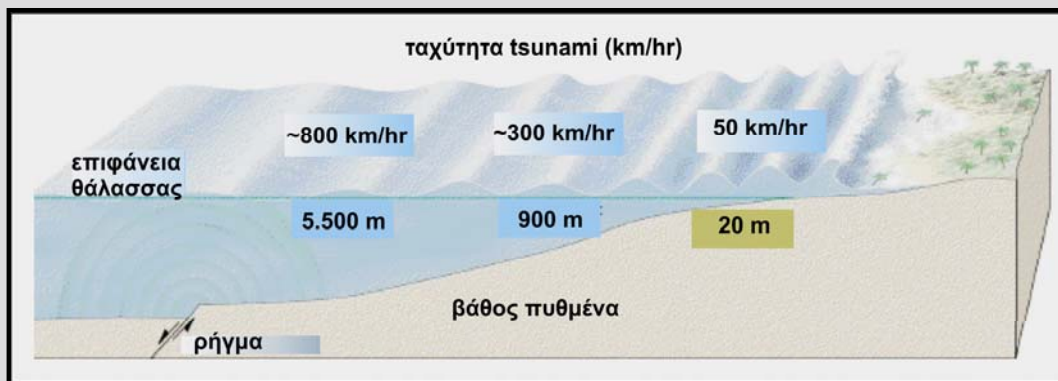
Η **ταχύτητα** των τσουνάμι καθορίζεται από το πεδίο βαρύτητας και δίνεται από τη σχέση: $v = \sqrt{gh}$ όπου h είναι το πάχος του νερού.

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 Iida (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 θαλασσίου κύματος βαρύτητας εξαρτάται επίσης από το μέγεθος του σεισμού και δίνεται (Hatori, 1969) από τη σχέση: $\log T_m = 2.97 + 0.057 M$.

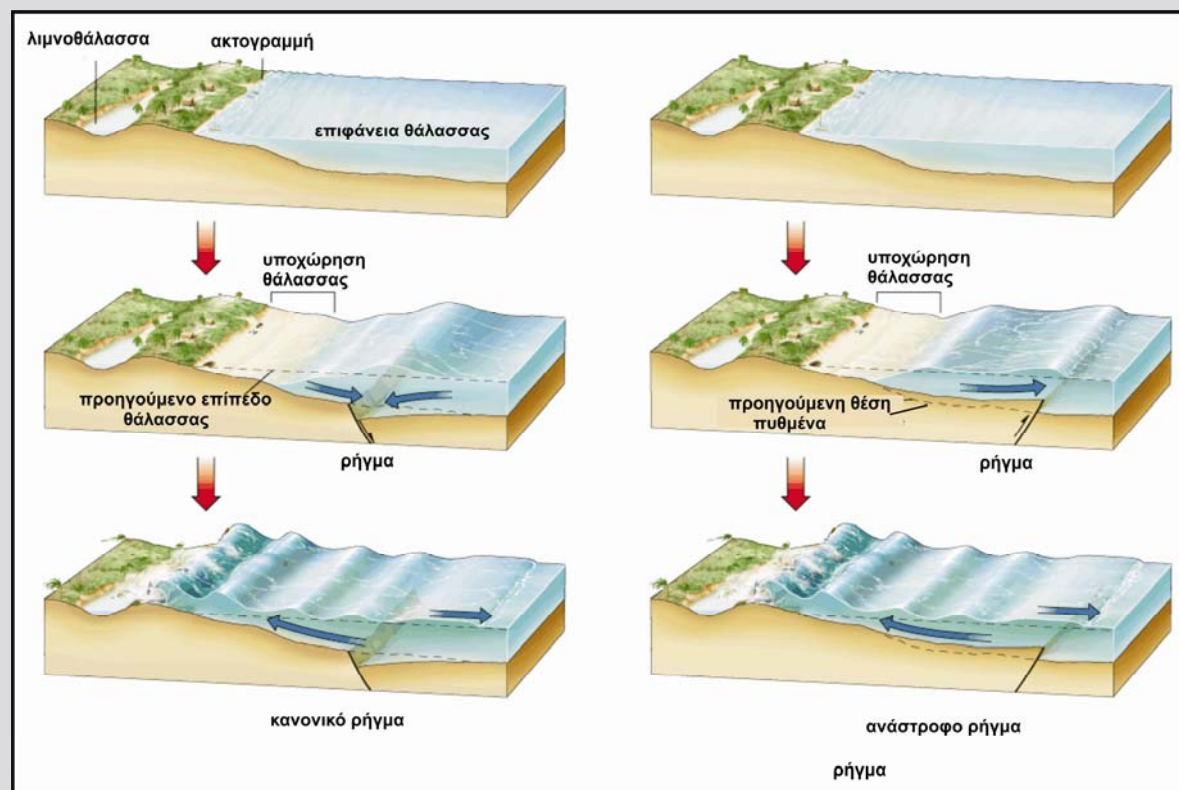
Αίτια γένεσης των κυμάτων τσουνάμι μπορεί να είναι (α) εγκατακρημνίσεις τεμαχών του θαλασσίου πυθμένα οι οποίες παράγονται από υποθαλάσσιους σεισμούς, (β) κατολισθήσεις μεγάλων μαζών χαλαρών υλικών στις μεγάλες ωκεάνιες τάφρους (γ) εκσφενδόνηση νερού λόγω υποθαλασσίων εκρήξεων.

Αποτελέσματα των Σεισμών στη Θάλασσα (συνέχεια)



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).

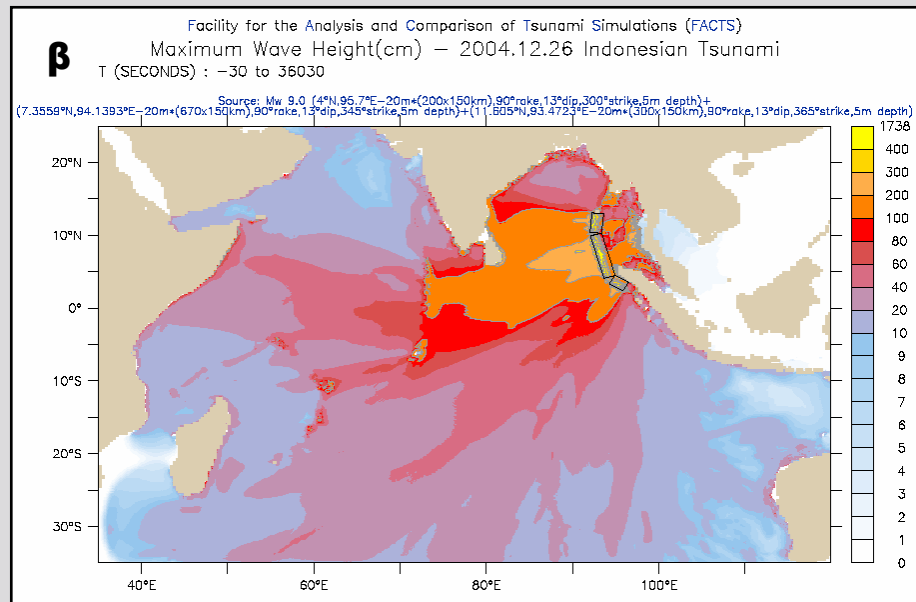
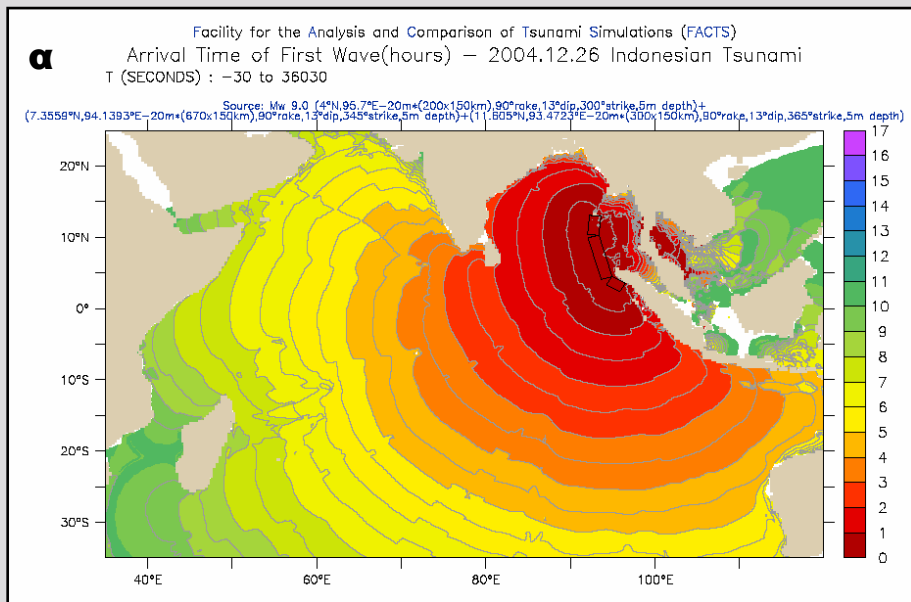
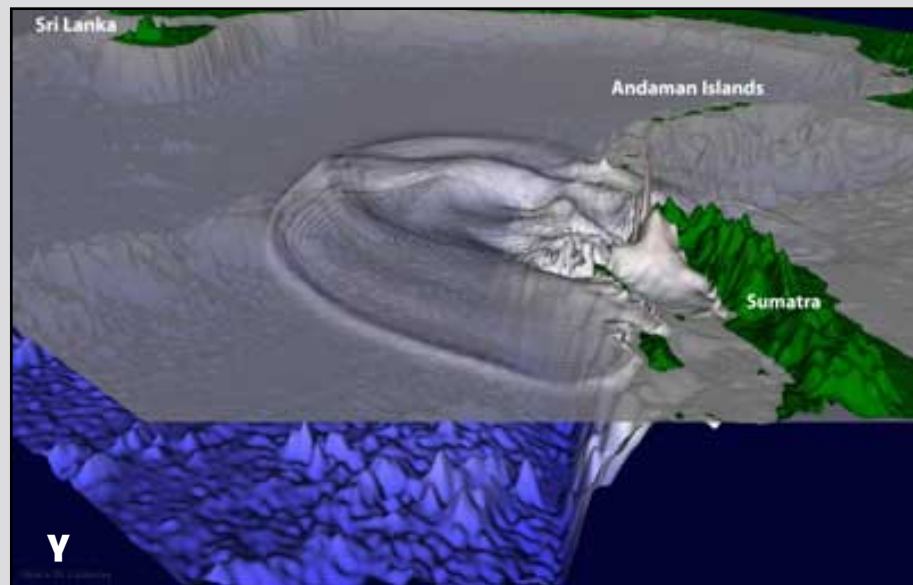
Σε αβαθή νερά οι ταχύτητες των κυμάτων αυτών γίνονται πολύ μικρότερες και γι' αυτό τα πλάτη αυξάνονται για να διατηρηθεί η κινητική ενέργεια σταθερή. Για το λόγο αυτό στο ανοικτό πέλαγος τα πλάτη των κυμάτων αυτών είναι μικρότερα του 1 m ενώ αναφέρθηκαν περιπτώσεις κατά τις οποίες τέτοια κύματα στις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



Τρόπος γένεσης κυμάτων τσουνάμι.

Αποτελέσματα των Σεισμών στη Θάλασσα (συνέχεια)

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. (α) θέσεις άφιξης του πρώτου κύματος σε συνάρτηση με το χρόνο (ώρες) (β) μέγιστο ύψος (σε cm) των κυμάτων αυτών στην περιοχή, (γ) προσομοίωση της διάδοσης του τσουνάμι (USGS).



Αποτελέσματα των Σεισμών στη Θάλασσα (συνέχεια)

Αποτελέσματα του τσουνάμι, το οποίο δημιουργήθηκε από το σεισμό της Χιλής στις 22 Μαΐου 1960 ($M_w=9.5$) και προκάλεσε το θάνατο σε 61 κατοίκους της πόλης Hilo της Χαβάης. Το σπίτι μεταφέρθηκε από τα κύματα πάνω στα αυτοκίνητα (Pacific Tsunami Museum).



Fig. 30—Above, same boat as in fig. 4. Below, a row-boat thrown out of the sea; both taken at Pothaea's harbor, Kalymnos Island.

Αποτελέσματα στην Κάλυμνο από το κύμα που γεννήθηκε κατά το μεγάλο σεισμό ($M=7.5$) της Αμοργού την 9η Ιουλίου 1956 (Κουρουζίδης, προσ. επικ.).

Το τσουνάμι στο λιμάνι Hilo της Χαβάης που έφτασε 5 ώρες μετά το σεισμό της 11ης Απριλίου 1946 στα Αλεούτια νησιά ($M=7.4$) (USC, Tsunami Research Center).



Αποτελέσματα των Σεισμών στις Τεχνικές Κατασκευές

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.

- Η **κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης** προκαλεί μικρότερες βλάβες από την οριζόντια συνιστώσα, και έχει ως άμεση συνέπεια την ελάττωση 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 παλιότερα 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.

Κατάρρευση σπιτιού σε χωριό της περιοχής Κοζάνης-Γρεβενών από το σεισμό της 15^{ης} Μαΐου 1995 (M=6.6)



Θεσσαλονίκη, 20 Ιουνίου 1978 (M=6.5)
Πλατεία Ιπποδρομίου



Τα απομεινάρια της οικοδομής που κατέρρευσε στην πλατεία Ιπποδρομίου στη Θεσσαλονίκη από το σεισμό της 20^{ης} Ιουνίου 1978 (M=6.5). Στη θέση της βρίσκεται σήμερα το Κέντρο Ιστορίας Θεσσαλονίκης.



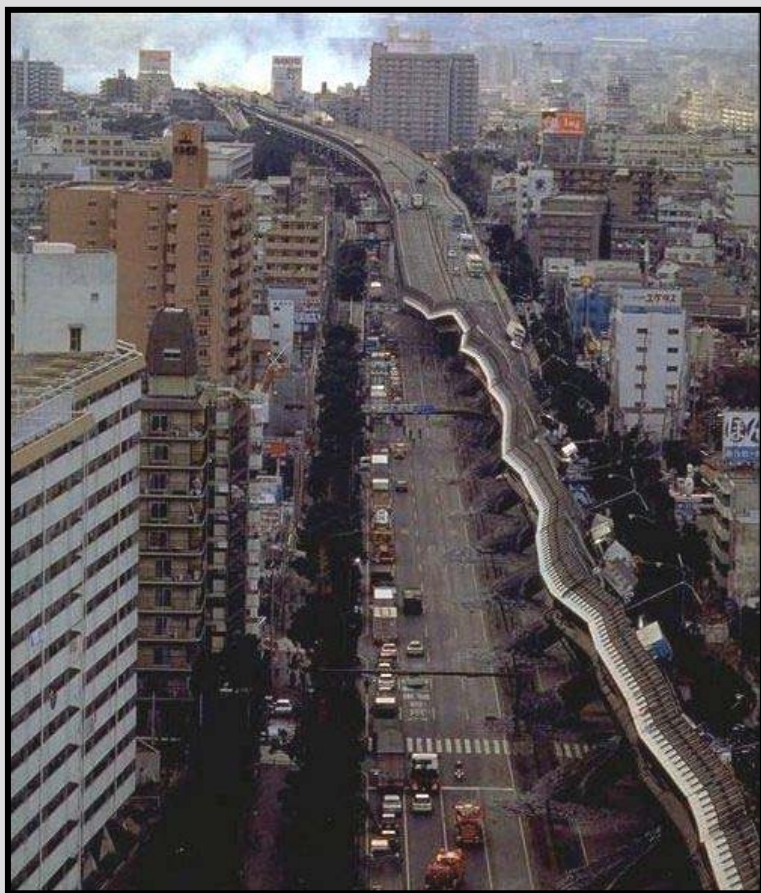
Αστοχία κολώνας 5όροφης οικοδομής στην περιοχή των Άνω Λιοσίων (έτος κατασκευής 1997) που προκλήθηκε από το σεισμό της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 ($M=5.9$) (Anastasiadis et al., 1999).



Βλάβες σε οικοδομή στην Αθήνα από το σεισμό της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 (ΟΑΣΠ).

Αποτελέσματα των Σεισμών στις Τεχνικές Κατασκευές (συνέχεια)

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



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

Αποτελέσματα των Σεισμών στις Τεχνικές Κατασκευές (συνέχεια)



Πυρκαγιές που ακολούθησαν τους σεισμούς (α) στο Κοβε της Ιαπωνίας (17.1.1995, $M=6.9$), (β, γ) στο San Francisco της Καλιφόρνιας (18.4.1906, $M=7.8$) (UCB).



Επίδραση των Σεισμών στους Ανθρώπους και τα Ζώα

- ◆ 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 (~1 cm/sec²) 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 εκπυροσκορήσεις 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 τη 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.

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 παλιότερα ότι η σεισμική επιτάχυνση περιγράφει μόνο αυτή τα αποτελέσματα αυτά καλύτερα από κάθε άλλο φυσικό μέγεθος, έγινε προσπάθεια εκτίμησης της σεισμικής επιτάχυνσης βάσει διάφορων παρατηρήσεων όπως είναι η ανατροπή και εκσφενδόνηση 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.

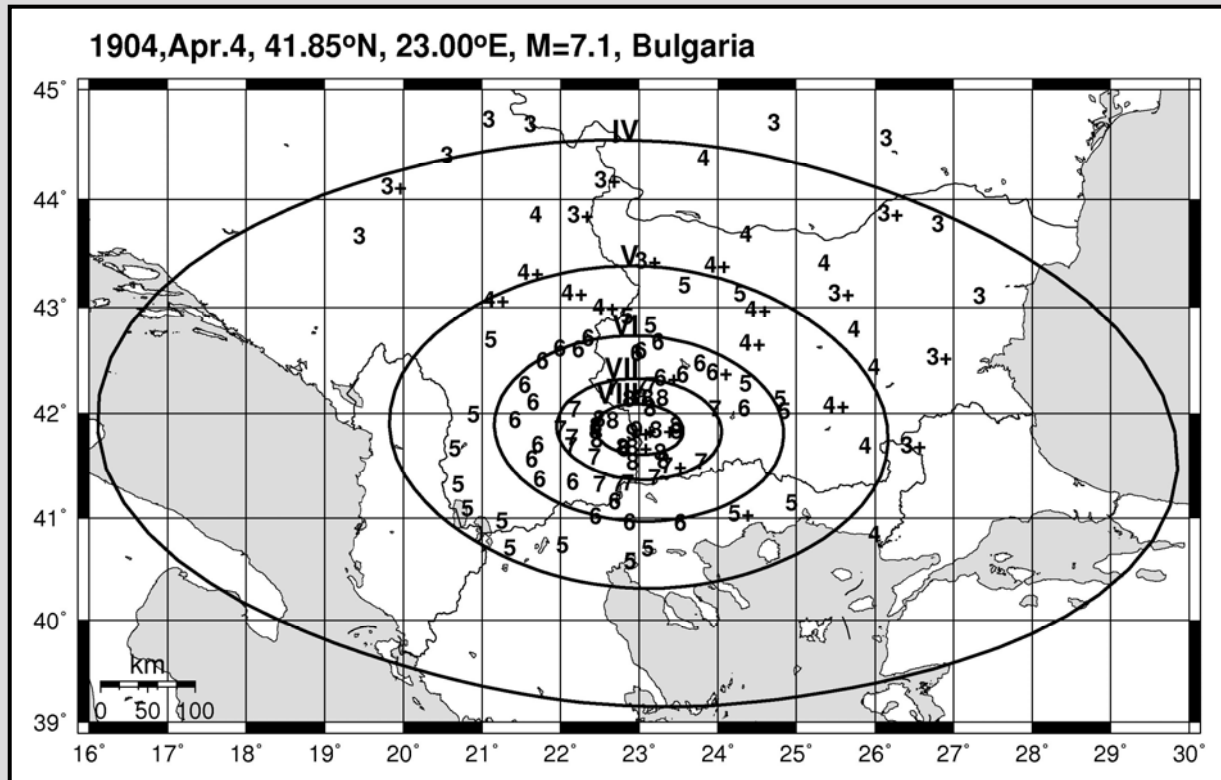
◆ Η εκτίμηση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων γίνεται, ακόμη και σήμερα, με βάση ορισμένες **μακροσεισμικές κλίμακες** που κάθε μια από αυτές αποτελείται από ορισμένους βαθμούς **μακροσεισμικής έντασης**. Οι βαθμοί αυτοί παριστάνονται με τους λατινικούς αριθμούς I, II, κλπ. Έτσι, γίνεται δυνατή η σύγκριση 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.

Μακροσεισμική Κλίμακα Mercalli-Sieberg

Βαθμοί	Μακροσεισμικά Αποτελέσματα
I	Γράφεται μόνο από τα σεισμικά όργανα.
II	Αισθητός από μερικούς σε ησυχία στους ψηλότερους ορόφους.
III	Αισθητός από λίγους στα σπίτια.
IV	Αισθητός από πολλούς στα σπίτια, από μερικούς στο ύπαιθρο. Ξύπνημα λίγων. Φυγή λίγων στο ύπαιθρο. Κρότος παραθύρων, χτύπος στις πόρτες.
V	Αισθητός από όλους στα σπίτια και στο ύπαιθρο. Ξύπνημα πολυάριθμων. Φυγή πολυάριθμων στο ύπαιθρο. Αιώρηση ελεύθερα κρεμασμένων αντικειμένων. Ήχηση κουδουνιών ρολογιών. Ανατροπή μερικών μικρών αντικειμένων.
VI	Ήχηση μικρών καμπάνων. Ανατροπή πολυάριθμων μεγάλων αντικειμένων. Πτώση λίγων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Βλάβες λίγες, ελαφρές.
VII	Ήχηση μεγάλων καμπάνων. Πτώση πολυάριθμων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Βλάβες μέτριες, πολλές. Μερική καταστροφή λίγων οικοδομών.
VIII	Μερική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% του ολικού αριθμού των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή λίγων κτιρίων.
IX	Μερική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του ολικού αριθμού των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% του ολικού αριθμού των κτιρίων.
X	Μερική καταστροφή όλων των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του ολικού αριθμού των κτιρίων.
XI	Ολική καταστροφή όλων των κτιρίων.
XII	Κατάρρευση όλων των οικοδομών μέχρι τα θεμέλια.

Ισόσειστες Καμπύλες

Ισόσειστες καμπύλες είναι καμπύλες που χωρίζουν τόπους της ίδιας έντασης και χρησιμοποιούνται για την παράσταση της γεωγραφικής κατανομής των μακροσεισμικών εντάσεων.



Ισόσειστες καμπύλες του προσεισμού που έγινε στη νοτιοδυτική Βουλγαρία (Kresna) στις 4 Απριλίου 1904 (M=7.1). Ο σεισμός αυτός έγινε 23 λεπτά πριν από τον κύριο σεισμό που είχε μέγεθος M=7.3 (Parazachos et al., 1997).

Πλειόσειστη περιοχή είναι το τμήμα της επιφάνειας της Γης στο οποίο η ένταση του σεισμού έχει τη μέγιστη τιμή.

Μακροσεισμικό επίκεντρο είναι το κατά προσέγγιση κέντρο συμμετρίας της πλειόσειστης περιοχής.

Επικεντρική ένταση είναι η μέγιστη ένταση του σεισμού και παριστάνεται με το I_0 . Για την Ελλάδα ισχύει η ακόλουθη σχέση μεταξύ της επικεντρικής έντασης και του μεγέθους, M , του σεισμού (Παπαϊωάννου, 1984):

$$I_0 = 1.23 + 1.18M$$

Η διαφορά της έντασης, I_i , σε απόσταση, Δ_i , από το μακροσεισμικό επίκεντρο, από τη μέγιστη ένταση, I_0 , είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος του σεισμού και δίνεται από σχέσεις της μορφής:

$$I_0 - I_i = k_1 + k_2 \log(\Delta_i + k_3)$$

Για την Ελλάδα ισχύει: $I_0 - I_i = -5.36 + 4.50 \log(\Delta_i + 17)$

Υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ του λογάριθμου της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης που προκαλεί ένας σεισμός σε ορισμένο τόπο και της έντασης του σεισμού στον τόπο αυτό. Για την Ελλάδα ισχύει (Theodulidis and Papazachos, 1992):

$$\log a(\text{cm/sec}^2) = 0.27 I + 0.25$$