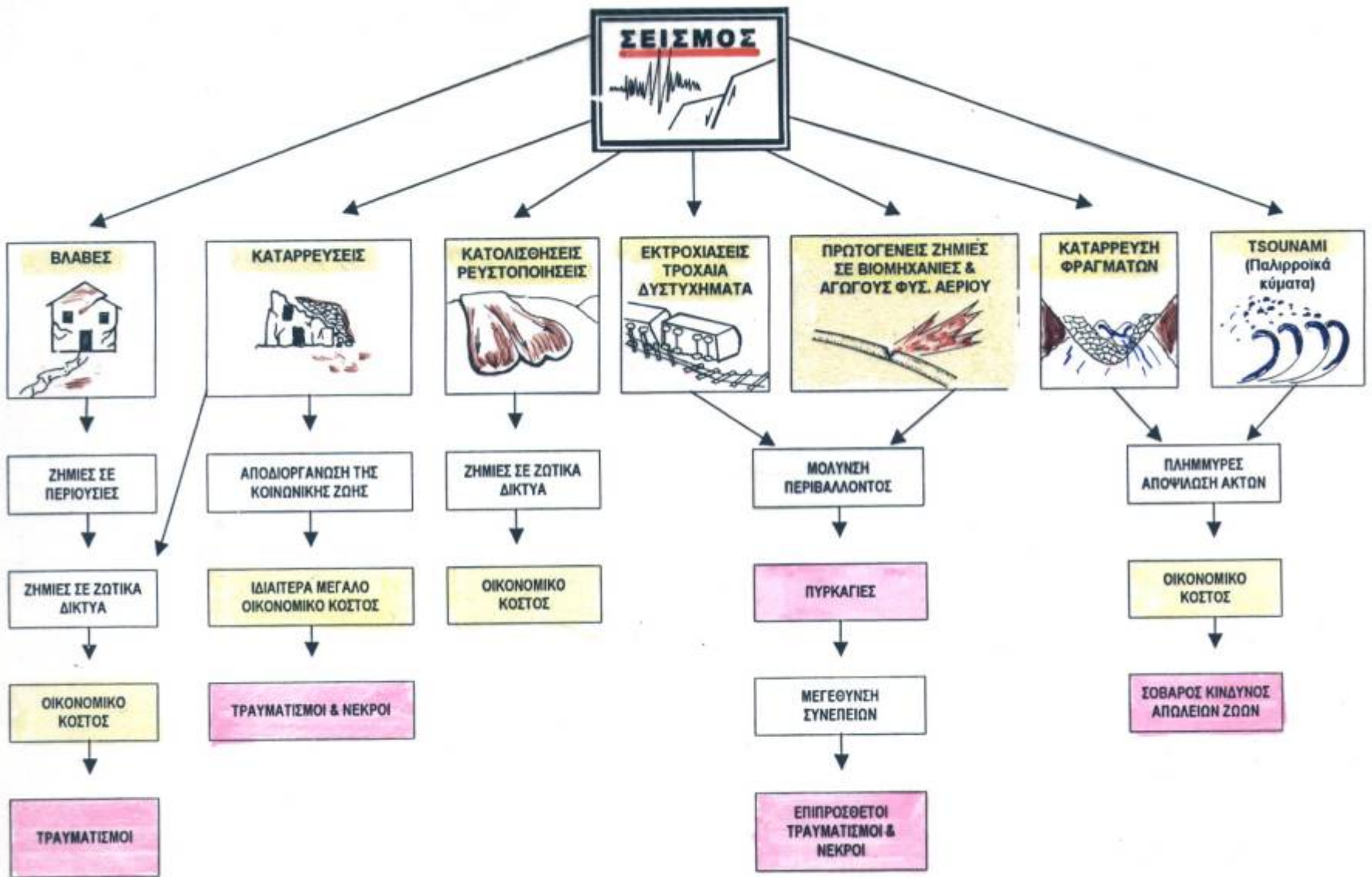


Κεφάλαιο 12

ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

Ονομάζουμε **μακροσεισμικά αποτελέσματα** τις επιπτώσεις που έχουν οι σεισμοί στους ανθρώπους, στα ζώα, στις τεχνικές κατασκευές, στο έδαφος, στο νερό, κτλ. Τα αποτελέσματα ονομάζονται **πρωταρχικά** όταν η αιτία που τα προκαλεί είναι καθαυτή η γένεση των σεισμικών κυμάτων (του σεισμού) ενώ όσα προκαλούνται από την διέλευση των σεισμικών κυμάτων από έναν τόπο λέγονται **επακόλουθα αποτελέσματα**.

Όσα από τα αποτελέσματα παραμένουν και μετά τον σεισμό λέγονται **μόνιμα** ενώ όσα παρατηρούνται μόνο κατά την διάρκεια του σεισμού ονομάζονται **παροδικά αποτελέσματα**.



Ο Σεισμός ως καταστροφικό φαινόμενο με τις πρωτογενείς και δευτερογενείς συνέπειες

Αποτελέσματα σεισμών στο έδαφος

- **-εδαφικές ρωγμές**, επιφανειακές μικρές σχισμές που οφείλονται σε ολισθήσεις ή σε μετακίνηση πολύ μικρών τεμαχίων του εδάφους.
- **-εδαφικά χάσματα**, αυτά έχουν μήκη που φθάνουν σε δεκάδες ή εκατοντάδες χιλιόμετρα τα ορατά βάθη τους φθάνουν περίπου τα 100m και το άνοιγμά τους μόλις λίγα μέτρα. Αυτά θεωρούνται ως τα επιφανειακά ίχνη των ρηγμάτων και μας δίνουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την γένεση του σεισμού (μηχανισμός γένεσης).

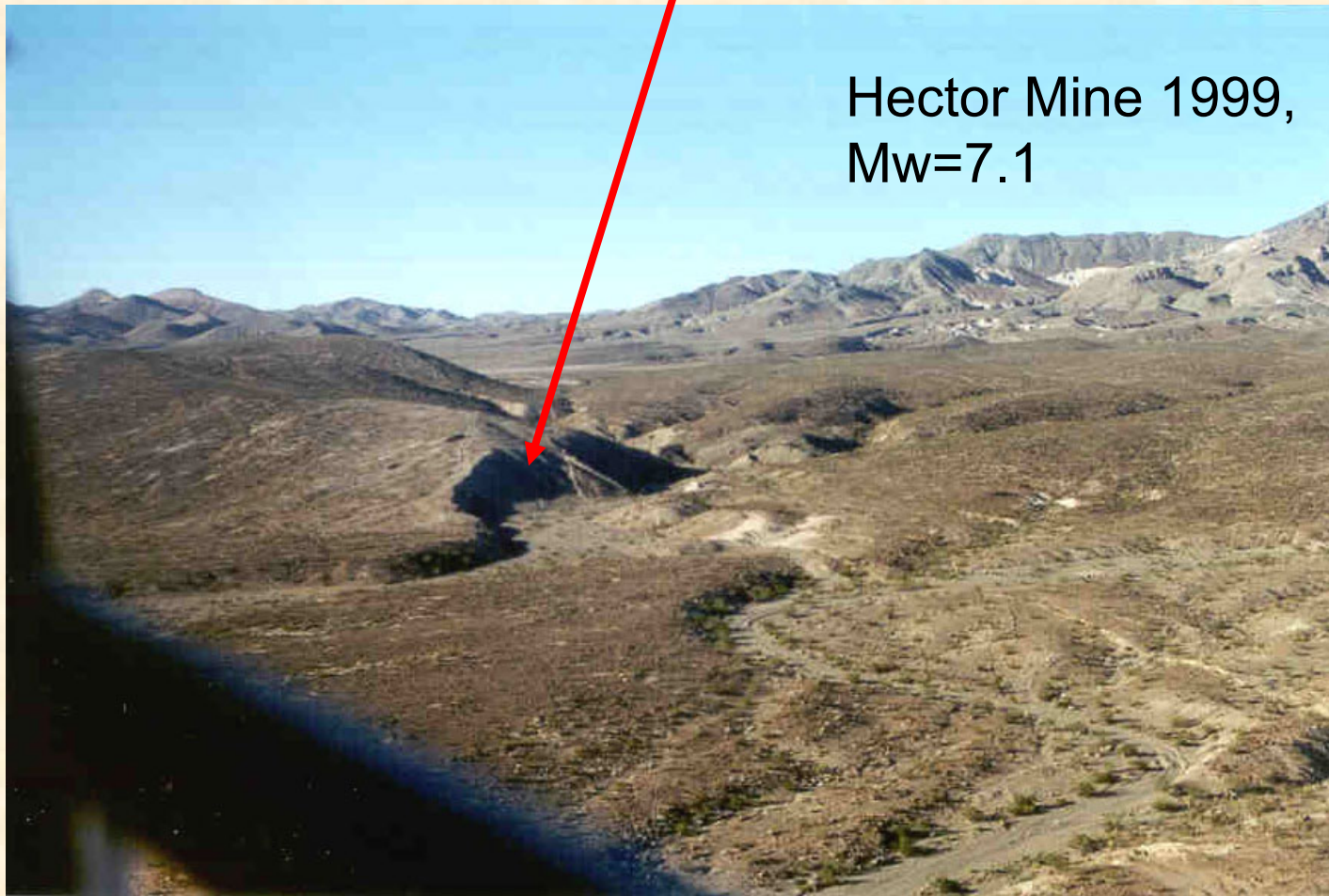
Οι εδαφικές ρωγμές και τα εδαφικά χάσματα λέγονται επιφανειακές διαρρήξεις

- **-εδαφικές κατολισθήσεις**, προκαλούνται από την ελάττωση των δυνάμεων τριβής που προκαλεί ο σεισμός μεταξύ διαφόρων στρωμάτων του εδάφους.

Εδαφικές διαρρήξεις



Σεισμικό ρήγμα



Hector Mine 1999,
Mw=7.1

(συνέχεια)

- 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



Παραδείγματα κατολισθήσεων



(συνέχεια)

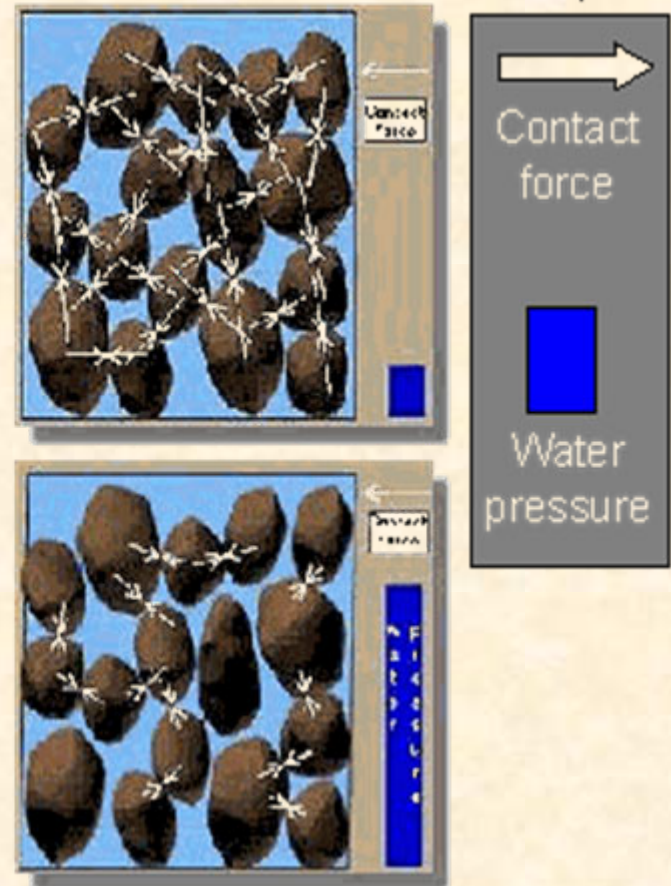
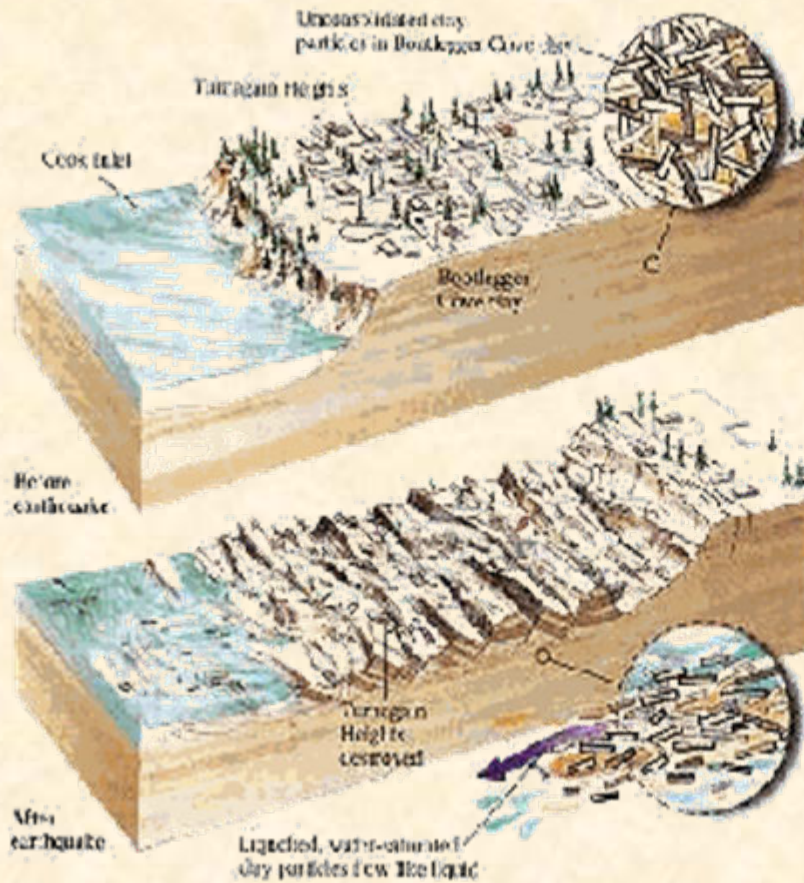
- **-εδαφικές βαθύνσεις**, έχουν
- συνήθως σχήμα χωνιού και
- σχηματίζονται πάνω από τα
- ρήγματα ή από υπόγειες
- καταπτώσεις. Αν γεμίσουν με
- νερό σχηματίζουν τέλματα,
- ενώ αν βγαίνει υγρή άμμος
- ή λάσπη σχηματίζουν
- αμμώδεις ή βορβορώδεις
- αναβλύσεις.



(συνέχεια)

- **-υψομετρικές μεταβολές**, παράγονται από την γένεση μεγάλων σεισμών με κατάπτωση ή έξαρση τεμαχών ξηράς μεγάλων διαστάσεων. Είναι έντονα ορατές κυρίως σε παράκτιες περιοχές λόγω της μόνιμης μετάθεσης των ακτών πάνω από την στάθμη της θάλασσας. Διακρίνουμε τότε μία λευκή γραμμή που σχηματίζουν πάνω στο μέρος της ακτής που ανυψώνεται τα λείψανα των οστράκων που ζούσαν κάτω από το νερό πριν την ανύψωση στο σημείο εκείνο.
- **-ρευστοποίηση του εδάφους**, το έδαφος αποτελείται από συσώρευση κόκκων άμμου οι οποίοι συγκρατούνται μεταξύ τους με δυνάμεις τριβής ενώ η πίεση του νερού μέσα στους πόρους είναι χαμηλή. Με την γένεση σεισμού η δομή διασπάται η πίεση του νερού αυξάνει με συνέπεια οι δυνάμεις τριβής ανάμεσα στους κόκκους να μειώνεται, έτσι ώστε το υλικό στο τέλος συμπεριφέρεται σαν ρευστό. Οι καταστροφές των κτιρίων σε τέτοιο φαινόμενο είναι οι βυθίσεις ή οι κλίσεις.

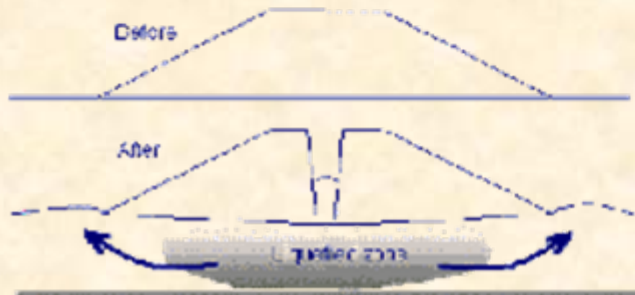
Μηχανισμός ρευστοποίησης



Παραδείγματα από ρευστοποιήσεις

Liquefaction

Alaska, 1964



Mexico City, 1985



Niigata (Japan), 1964



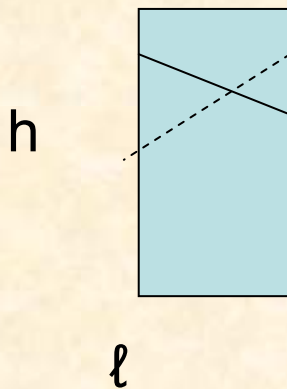
Αποτελέσματα σεισμών στο νερό της ξηράς

- Η διέλευση των σεισμικών κυμάτων από την ξηρά εκτός των άλλων επιφέρει μεταβολές και στο νερό που είναι **άμεσες** και **έμμεσες**. Στις πρώτες ανήκουν οι διάφορες ταλαντώσεις του επιφανειακού νερού, ενώ στις δεύτερες ανήκουν οι διαταράξεις του επιφανειακού νερού λόγω παραμόρφωσης των πετρωμάτων που βρίσκονται κοντά του ή βρίσκεται το νερό μέσα σε αυτά.
- Η έμμεση επίδραση στο επιφανειακό νερό οφείλεται στη διάρρηξη των πετρωμάτων με αποτέλεσμα την απομάκρυνση του νερού και την αποξήρανση τελμάτων, λιμνών, κτλ. ή στην κατολίσθηση εδάφους με συνέπεια την απόφραξη ροών νερού (ποτάμια) και την δημιουργία πλημμυρών ή την δημιουργία λιμνών, ελών, κτλ. Το σημαντικότερο είναι η μεταβολή της παροχής νερού από πηγές (στέρεμα ή μεγαλύτερη παροχή)

(συνέχεια)

Είναι δυνατόν σε κάποιες περιπτώσεις να διαδίδονται στη επιφάνεια του νερού που βρίσκεται σε κλειστούς χώρους (π.χ. λίμνες) στάσιμα κύματα μεγάλης περιόδου που βάζουν το νερό σε ελεύθερη ταλάντωση. Τα κύματα αυτά ονομάζονται **seiches** και εκτός από σεισμούς μπορούν να διεγερθούν από παλίρροιες, ανέμους, κτλ.

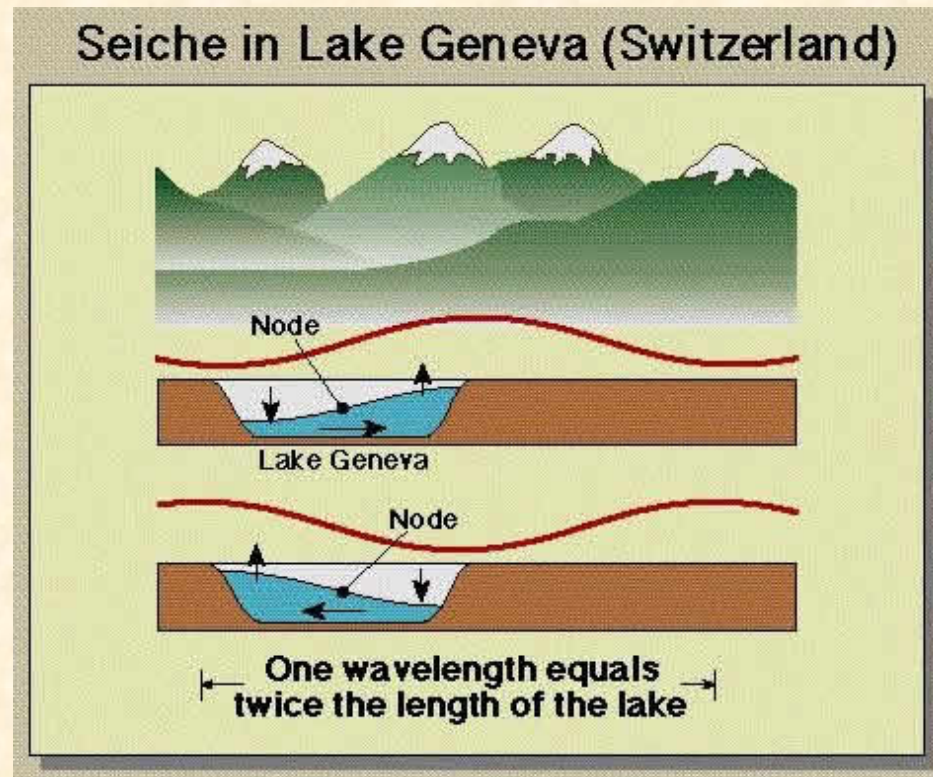
Η περίοδος θεμελιώδους κύματος seiches σε χώρο που έχει σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου με ύψος h και βάση της πλευρά του ℓ δίνεται από την σχέση (όπου $g \rightarrow$ επιτάχυνση βαρύτητας):



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

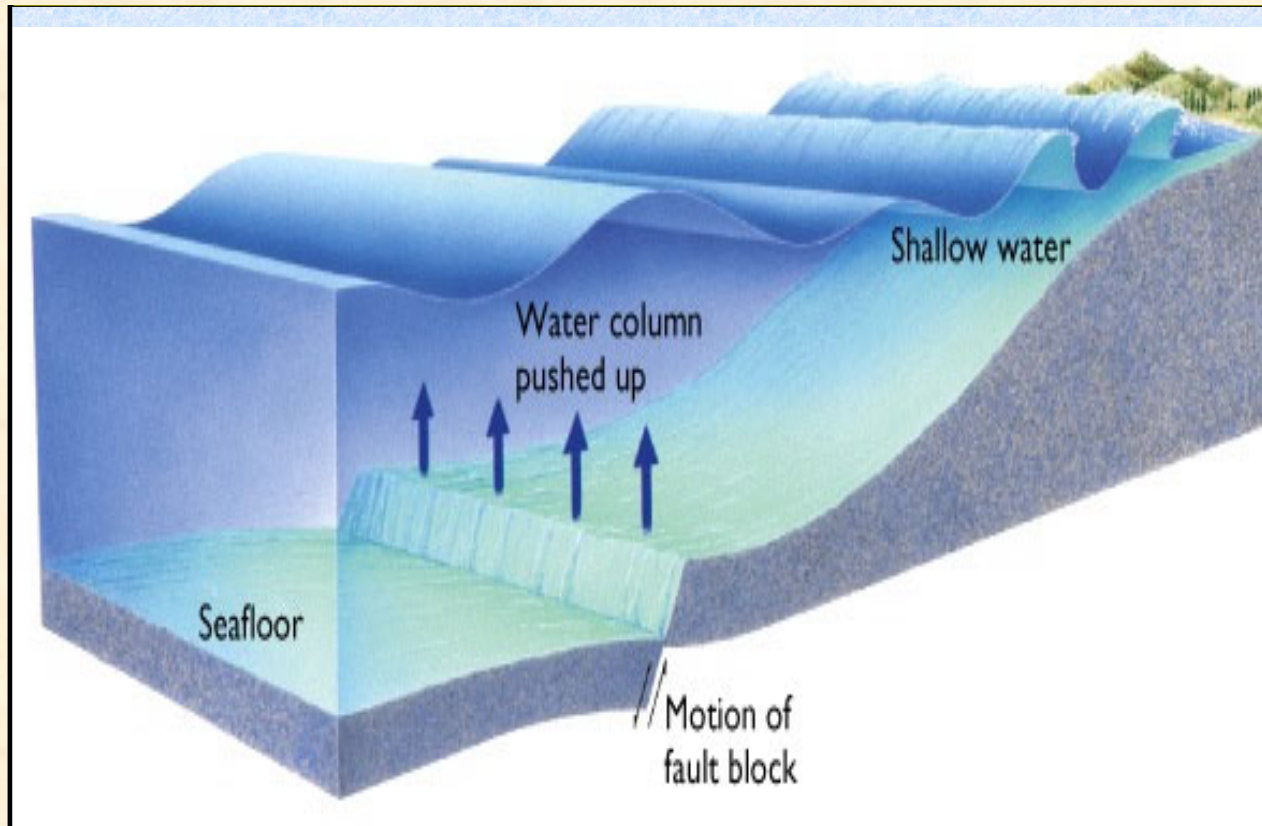
(συνέχεια)

- Μετρήσεις της περιόδου στη λίμνη της Γενεύης έδειξαν ότι αυτή είναι της τάξης των 72 min. Τα seiches παρουσιάζονται κατά την διεύθυνση ταλάντωσης των κυμάτων Rayleigh και εικάζεται ότι είναι αυτά που διεγείρουν τα κύματα seiches. Εξάλλου και η περίοδος του θεμελιώδους κύματος βρέθηκε με παρατηρήσεις ότι είναι κοντά στην περίοδο των επιφανειακών κυμάτων.



Αποτελέσματα σεισμών στη θάλασσα

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

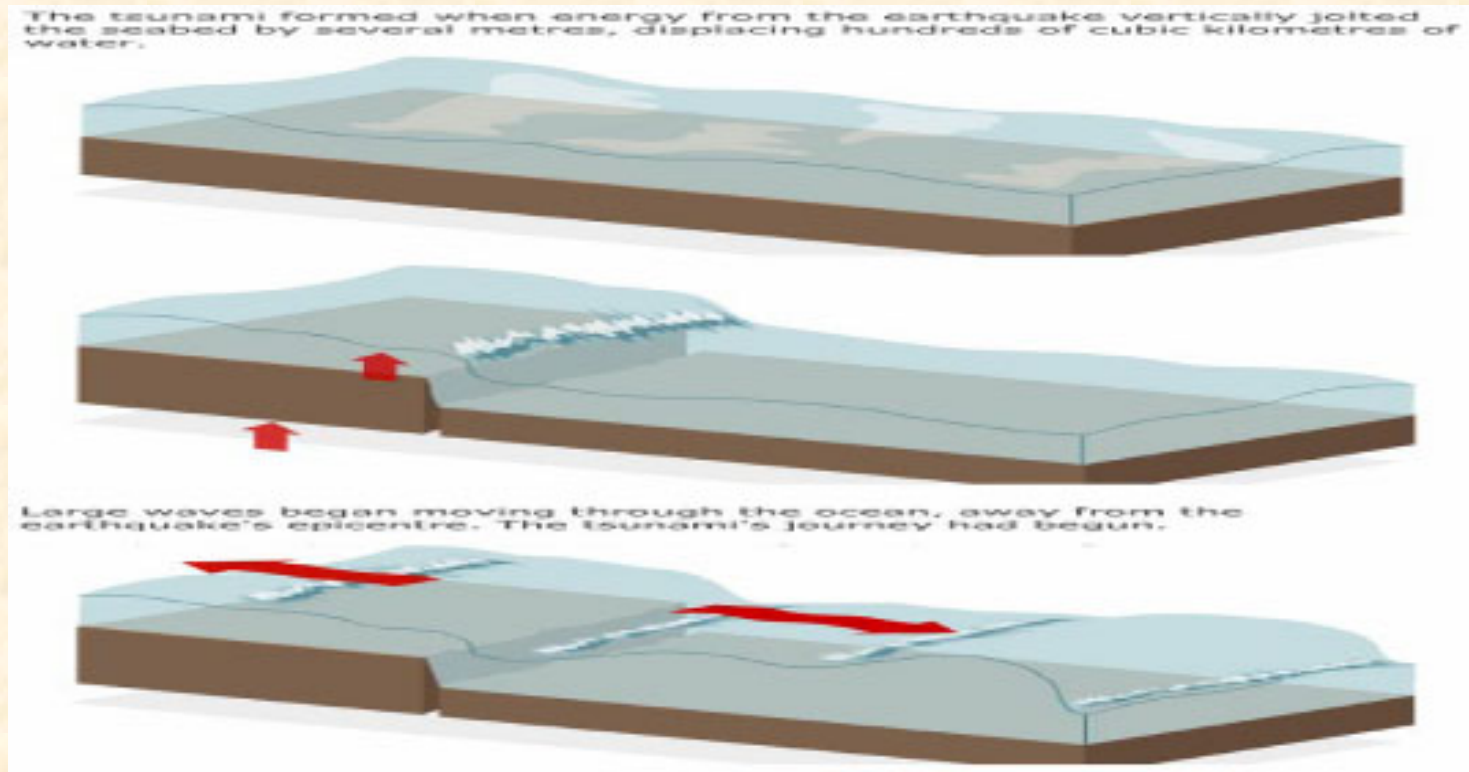


(συνέχεια)

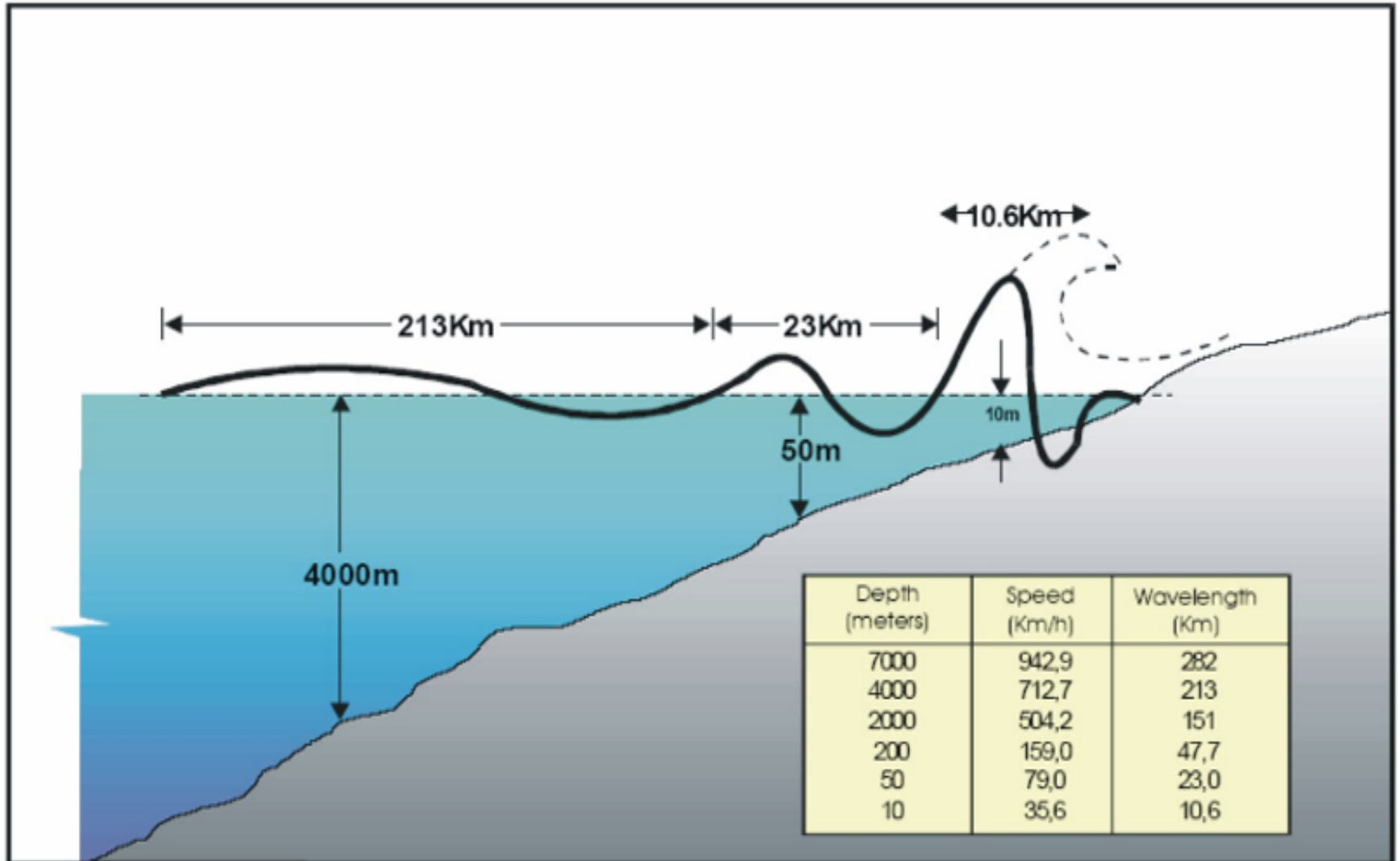
- Οι θαλάσσιοι σεισμοί οφείλονται στη διάδοση των επίμηκων κυμάτων μέσα στο θαλασσινό νερό και είναι δονήσεις μικρής περιόδου. Οφείλονται κυρίως σε υποθαλάσσιους σεισμούς. Είναι δυνατόν όμως να γίνονται τέτοιοι σεισμοί και σε υποθαλάσσιες εκρήξεις ηφαιστείων. Τότε παρατηρείται η προς τα άνω αναπήδηση του νερού, θόλωση, αύξηση της θερμοκρασίας του, κτλ.
- Γίνονται αισθητοί σε κάθε είδους πλεύσιμο σαν προς τα πάνω ωθήσεις. Αυτό οφείλεται στο ότι τα επιμήκη κύματα αφού προσπέσουν στον θαλάσσιο πυθμένα υφίστανται διάθλαση και ισχυρή απόκλιση προς την κατακόρυφο, επειδή η ταχύτητά τους είναι πολύ μικρότερη στο νερό από ότι είναι στο πέτρωμα στον βυθό της θάλασσας

(συνέχεια)

- Τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας ή αλλιώς tsunamis έχουν μεγάλο μήκος κύματος και διαδίδονται στη επιφάνεια της θάλασσας. Κατά την διάδοσή τους μεταφέρουν όγκους νερού προς διάφορες κατευθύνσεις. Τα μεγαλύτερα από αυτά γεννώνται στις μεγάλες ωκεάνιες τάφρους του Ειρηνικού από σεισμούς που τα επίκεντρα τους βρίσκονται στις πλευρές της ωκεάνιας τάφρου προς την πλευρά του ηπειρωτικού μέρους.



Βάθος, ταχύτητα και μήκος κύματος tsunami



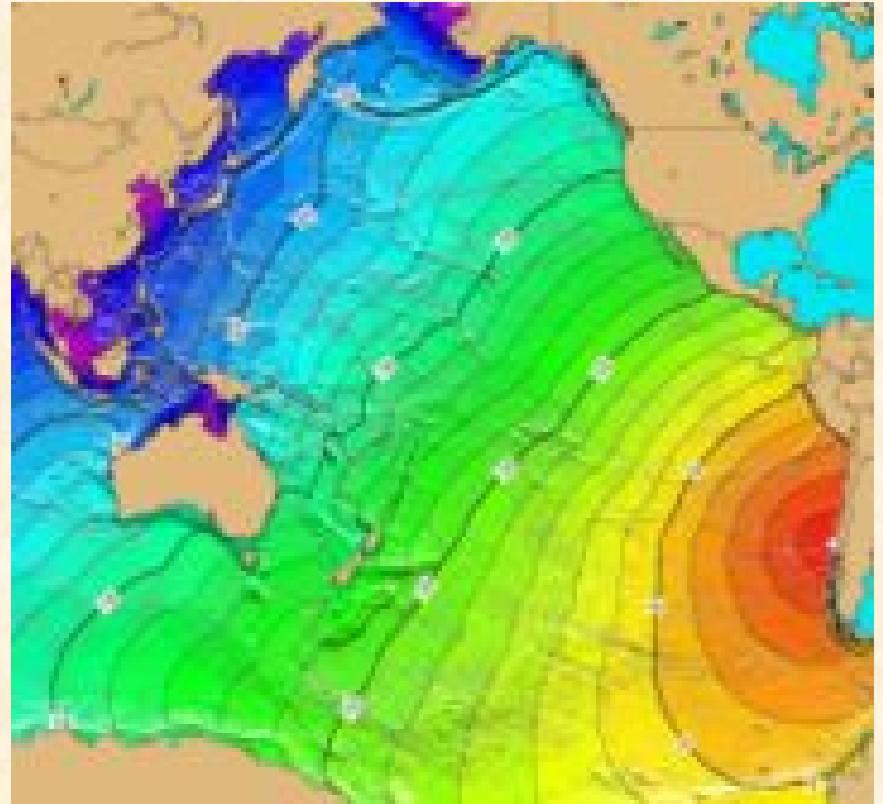
(συνέχεια)

- Στην ανοικτή θάλασσα τα κύματα αυτά δεν είναι επικίνδυνα. Τα πλάτος τους συνήθως είναι περίπου 1m. Όταν όμως φτάνουν σε αβαθή νερά προκαλούν τεράστιες καταστροφές στο πέρασμά τους. Στα αβαθή νερά η ταχύτητα των κυμάτων αυτών έχει μικρές τιμές και για τον λόγο αυτό αυξάνεται το πλάτος τους (ύψος) για να διατηρήσουν την κινητική τους ενέργεια.

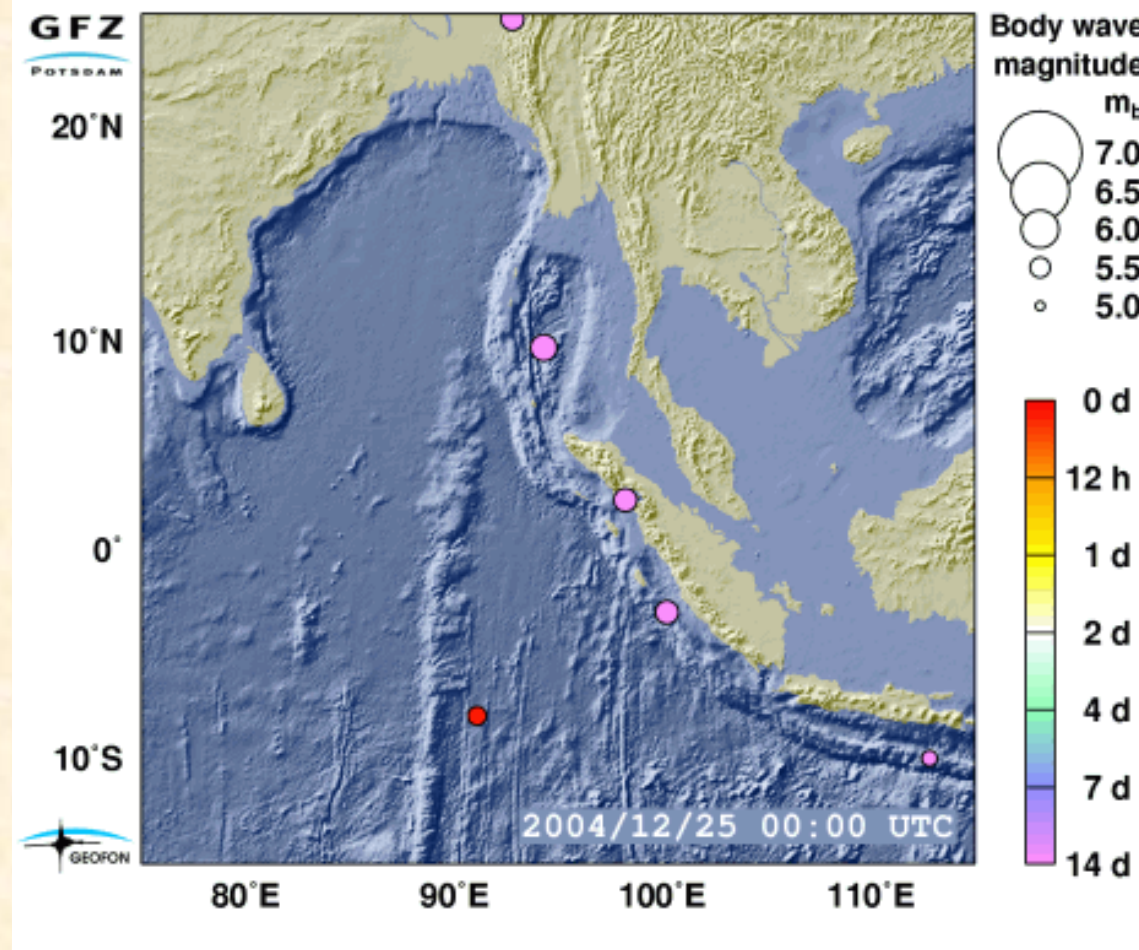


(συνέχεια)

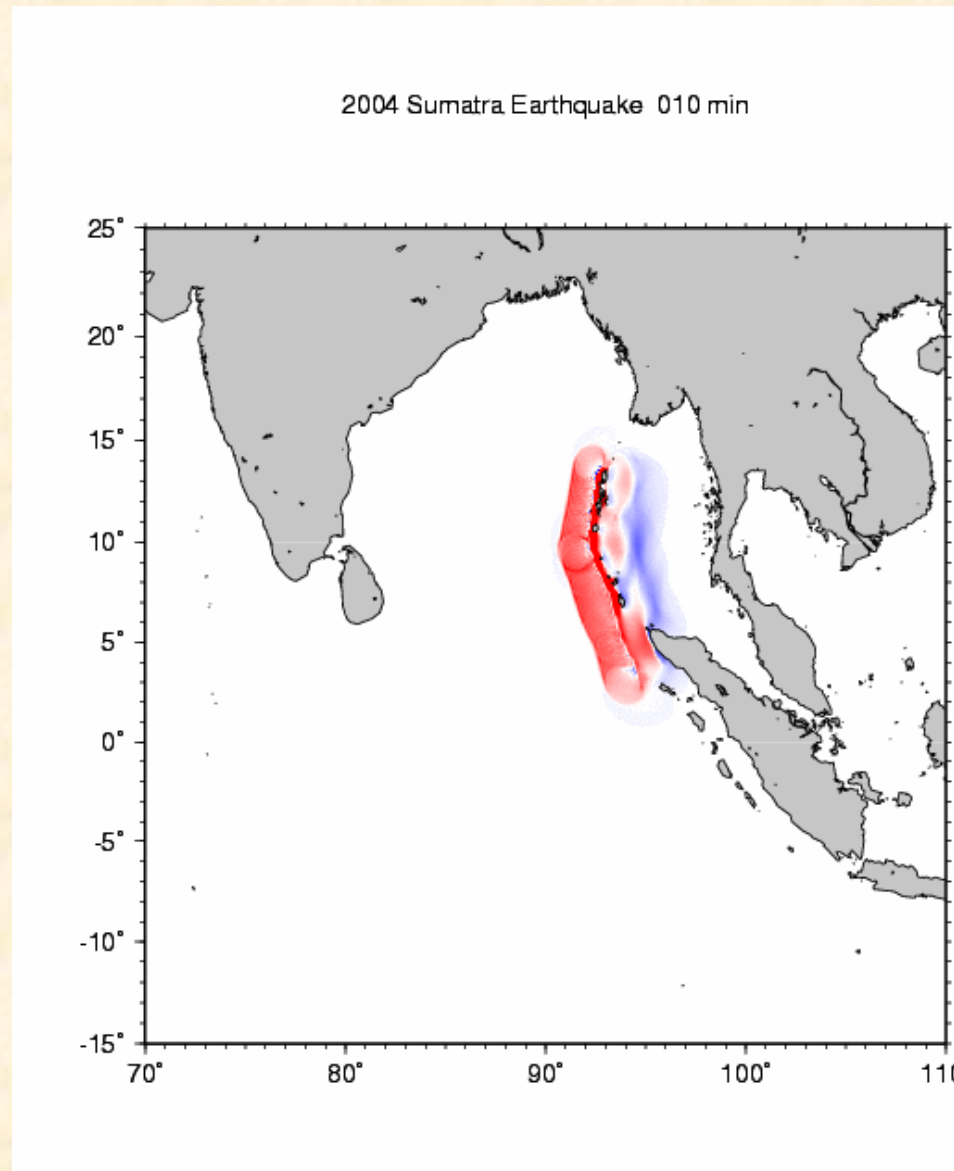
- Διαδίδονται σε τεράστιες αποστάσεις. Το 1960 το tsumani από τη Χιλή (σεισμός 1960) έφτασε μέχρι την Ιαπωνία με ύψος 5m (από την άλλη μεριά του Ειρηνικού) και προκάλεσε στα νησιά Χονσού και Χοκάιντο δηλαδή σε απόσταση 17.000 Km τον θάνατο σε 180 κατοίκους. Ανάλογο ήταν και το tsumani που προκλήθηκε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



Ο σεισμός και οι μετασεισμοί του σεισμού της Σουμάτρας $M_w=9.3$ 26/12/2004



Το τσουνάμι της Σουμάτρας – 26/12/2004



Η καταστροφή της Banda Aceh σε 3 συνέχειες





**Ocean Receding
Nearly 400 Meters**



**Water Draining
Back to Ocean**



**Standing
Water**



**QuickBird Natural Color Image
December 26, 2004**



Πριν το tsunami



Το tsunami πέρασε από εδώ



(συνέχεια)

- Κύματα tsunami έχουν πλήξει και την Ελλάδα με πιο χαρακτηριστικό αυτό που προκλήθηκε από τον σεισμό της Αμοργού 1956 ($M=7.5$). Το ύψος του έφτασε σε ύψος 20-25m και έγινε αισθητό μέχρι την Παλαιστίνη (Γαλανόπουλος, 1971).
- Από καταγραφές με παλιρροιογράφους δείχθηκε ότι η ταχύτητα ενός tsunami καθορίζεται από το πεδίο βαρύτητας της Γης (h το πάχος του νερού):

$$v = \sqrt{gh}$$

- Η ενέργεια E_t τους εξαρτάται από το μέγεθος του σεισμού που προκάλεσε το tsunami και δίνεται σε ergs σύμφωνα με την σχέση του Iida (1963):

$$\log E_t = 10.3 + 1.5M$$

- Η ενέργεια αυτή είναι περίπου το 1/10 της ενέργειας του σεισμού που προκάλεσε το tsunami.

(συνέχεια)

- Η μέση περίοδος επανάληψης των tsunamis εξαρτάται επίσης από το μέγεθός του και δίνεται από τον Hatori (1961):
- $\log T_m = 2.97 + 0.057M$
- Η περίοδος αυτών των κυμάτων κυμαίνεται από $\frac{1}{4}$ και $\frac{1}{2}$ της ώρας και το μήκος κύματος είναι συνήθως 150 Km ενώ μπορεί να φθάσει μέχρι τα 1000 Km. Εξαιτίας αυτού τα κύματα αυτά δεν γίνονται από τους επιβάτες πλοίων στον ανοιχτό ωκεανό.

Από το tsunami της Αμοργού

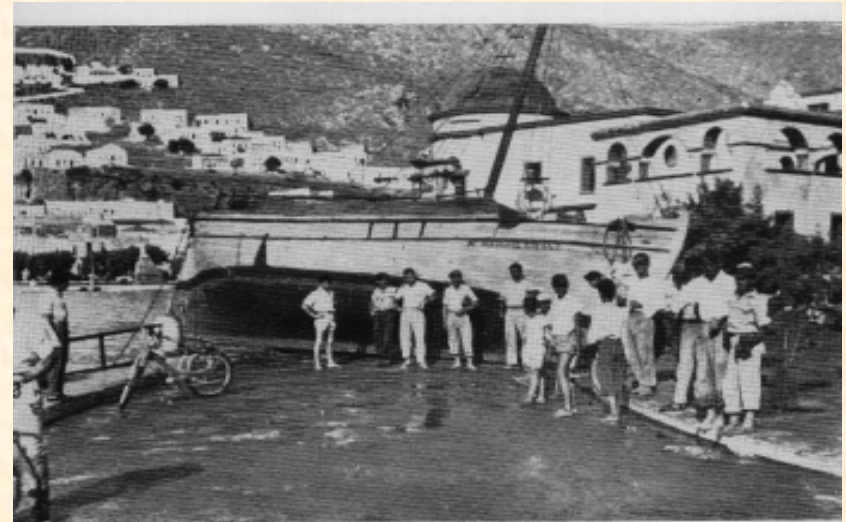


Fig. 30—Above, same boat as in fig. 4. Below, a row-boat thrown out of the sea; both taken at Pothaea's harbor, Kalymnos Island.

Η θάλασσα πάντα αποσύρεται πριν την έλευση του tsunami.
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.

ΓΙΑΤΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΥΤΟ...



Fig. 39—Above, normal sealevel, and below, withdrawal of the waters at Skala, Patmos.

...ΕΡΧΕΤΑΙ ΤΟ ΤΣΟΥΝΑΜΙ

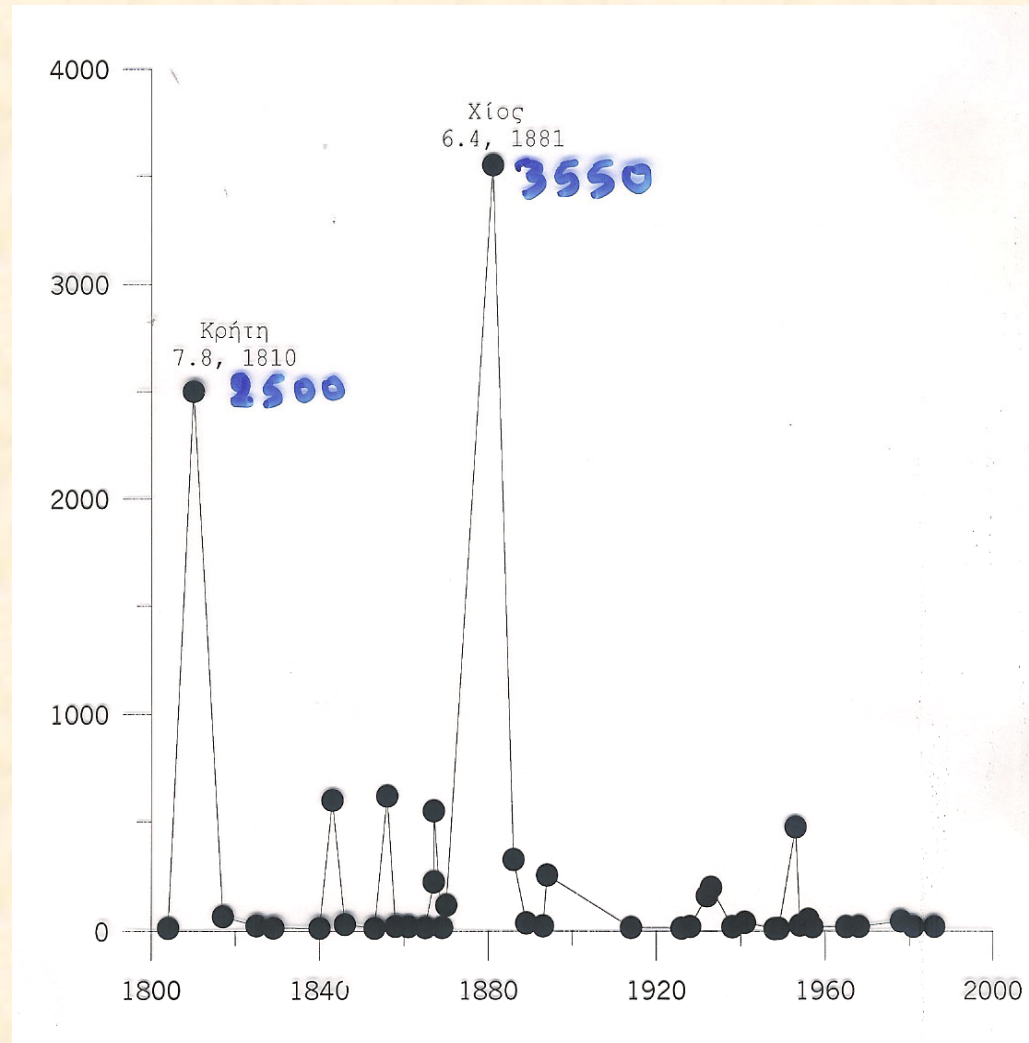


Αποτελέσματα σεισμών στις τεχνικές κατασκευές

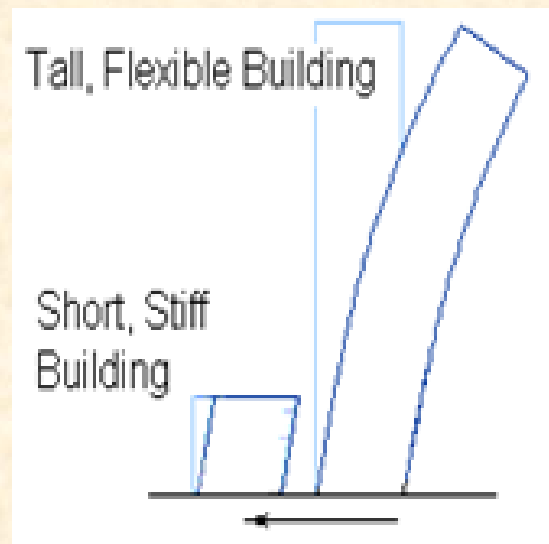
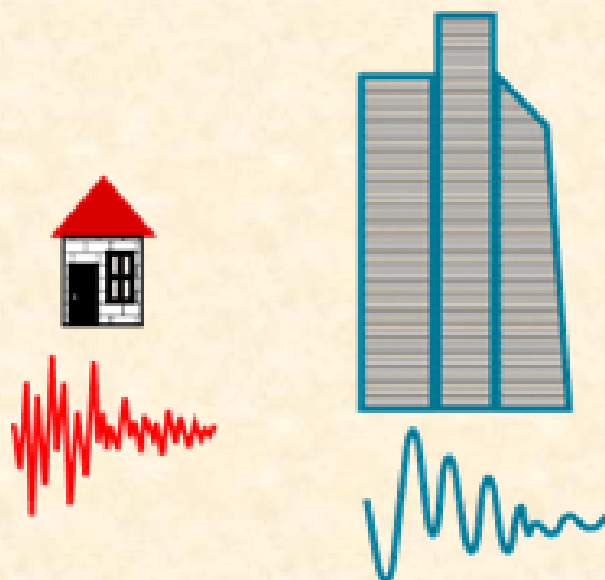
- Η επίδραση των σεισμών στις τεχνικές κατασκευές έχει εξαιρετικό ενδιαφέρον γιατί οι σεισμικές βλάβες προκαλούν θανάτους και τραυματισμούς καθώς και μεγάλες υλικές καταστροφές.
- Στην Ελλάδα έχουμε τους 2 πολύνεκρους σεισμούς τον 19^ο αιώνα.
- Τα αποτελέσματα των σεισμών παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους μηχανικούς και αποτελούν αντικείμενο της Τεχνικής σεισμολογίας.
- Και εδώ μπορούμε να διακρίνουμε τις άμεσες και τις έμμεσες βλάβες. Οι πρώτες οφείλονται στη διάδοση των κυμάτων στο έδαφος στα θεμέλια, στους τοίχους στα κεραμίδια των τεχνικών κατασκευών.

Σεισμικός κίνδυνος

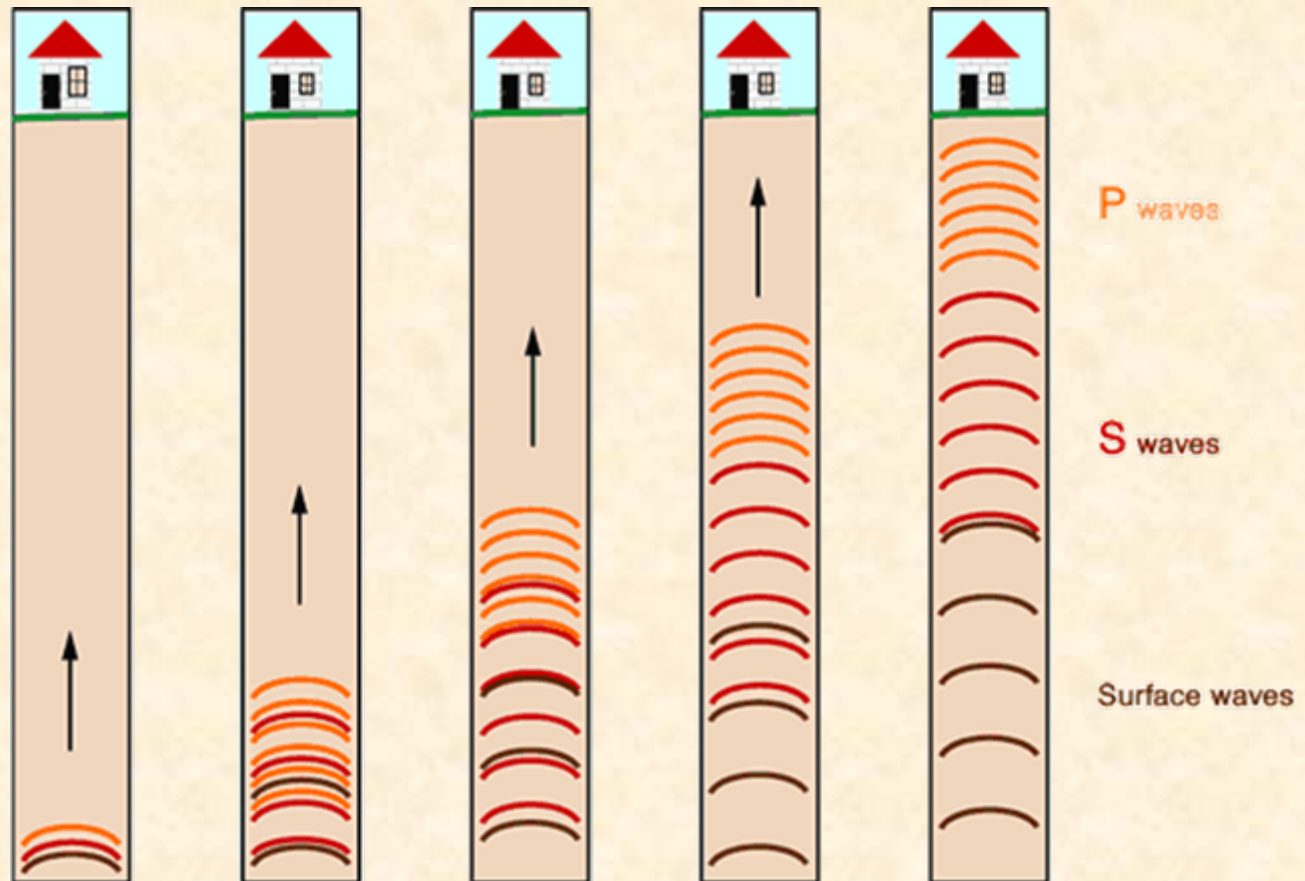
- Αριθμός νεκρών σε σεισμούς από το 1800
- χαρτογράφηση σεισμών που είχαν πάνω από 10 νεκρούς
- οι 2 φονικότεροι σεισμοί έγιναν τον 19ο αιώνα



Επιπτώσεις σεισμικών κυμάτων στις τεχνικές κατασκευές. Τα χαμηλά σπίτια επηρεάζονται από τα βραχείας περιόδου κύματα ενώ τα πολυώροφα κτίρια επηρεάζονται από τα μακράς περιόδου σεισμικά κύματα



Επίδραση των σεισμικών κυμάτων σε μία τεχνική κατασκευή



ΥΨΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑ

Ύψος κτιρίων

2 - ροφο

5 - ροφο

10 - ροφο

20 - story

30 - story

50 - story

Τυπική συχνότητα

0.2 seconds

0.5 seconds

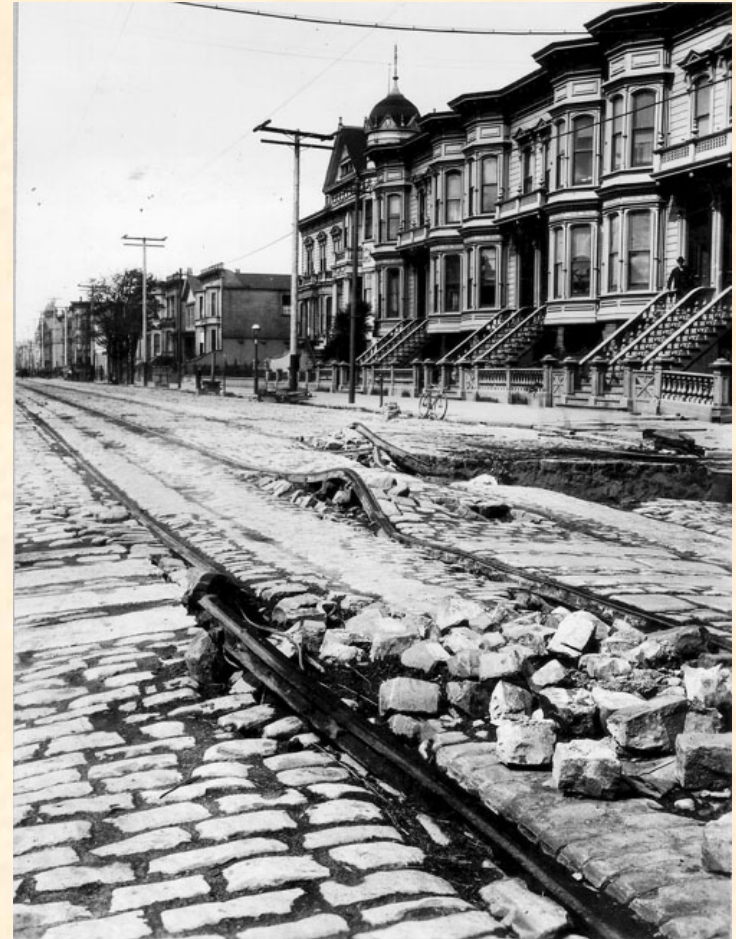
1.0 second

2.0 second

3.0 second

5.0 seconds

Υλικές ζημιές στα κτίρια και στις υποδομές



(συνέχεια)- άμεσα αποτελέσματα

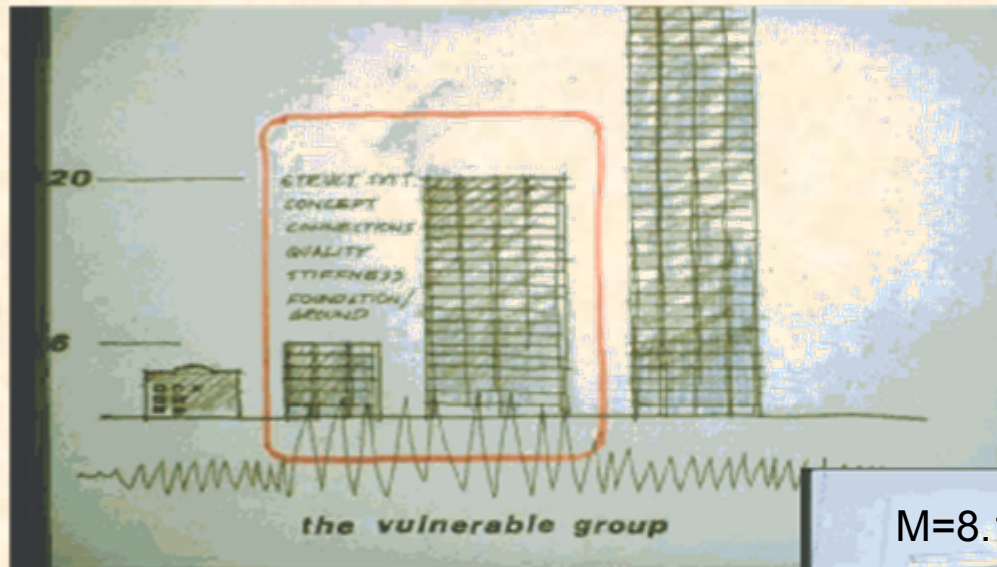
- Οι μικρότερες βλάβες προξενούνται από την κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης καθότι είναι μικρότερη από την οριζόντια αλλά και από το γεγονός ότι στα αποτελέσματά της αντιδρά το βάρος της τεχνικής κατασκευής.
- Επειδή εξ αιτίας της κατακόρυφης συνιστώσας γεννώνται τάσεις συμπίεσης παρατηρούνται θραύσεις στις πάνω γωνίες των τεχνικών κατασκευών με συνέπεια την κατάρρευση της στέγης.
- Άλλη επίδραση που έχει η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης είναι η ελάττωση της τριβής με αποτέλεσμα να παρατηρείται πτώση αντικείμενων που συγκρατούνται με την τριβή όπως για παράδειγμα τα κεραμίδια.

(συνέχεια)- άμεσα αποτελέσματα

- Τα αποτελέσματα της οριζόντιας συνιστώσας της σεισμικής κίνησης εξαρτώνται κατ' αρχή από την διεύθυνση της κίνησης σε σχέση με τον προσανατολισμό του κτιρίου.
- Αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την διατμητική παραμόρφωση των στοιχείων μίας τεχνικής κατασκευής. Η κατασκευή με τον τρόπο αυτό δέχεται τάσεις τόσο συμπίεσης όσο και εφελκυσμού που οι διευθύνσεις του είναι κάθετες μεταξύ τους.
- Παλιότερα τα άμεσα αποτελέσματα στις τεχνικές κατασκευές θεωρούνταν ότι ήταν εξαρτημένα από την σεισμική επιτάχυνση. Έτσι οι συνηθισμένες κατασκευές γίνονταν ώστε να αντέχουν σε σεισμικές επιταχύνσεις π.χ 1/10 της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Αργότερα έγινε γνωστό ότι δεν αρκεί μόνο αυτό αλλά απαιτούνται και η γνώση της διάρκειας και της συχνότητας του κύματος για να μπορούμε να καθορίσουμε τα αποτελέσματα στα κτίρια.

Ο ρόλος της συχνότητας του κύματος στην τρωτότητα μίας τεχνικής κατασκευής

The role of frequency



Mexico City (1985)



(συνέχεια)- έμμεσα αποτελέσματα

- Οι κυριότερες βλάβες που είναι τα έμμεσα αποτελέσματα των σεισμών είναι οι πυρκαγιές. Αυτές οφείλονται σε πολλούς λόγους, π.χ. διάρρηξη αγωγών φωταερίου, ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα από πτώση καλωδίων, κτλ.
- Άλλη βλάβη είναι οι πλημμύρες που μπορεί να προκαλέσει η καταστροφή ενός φράγματος.
- Η πόλη του Αγίου Φραγκίσκου καταστράφηκε ολοσχερώς από πυρκαγιά που ξέσπασε μετά τον σεισμό του 1906, ενώ οι ζημίες από τον σεισμό δεν ήταν τόσο μεγάλες.
- Η πυρκαγιά που ξέσπασε στον σεισμό του 1953 κατάστρεψε την πόλη της Ζακύνθου (Γαλανόπουλος 1971)

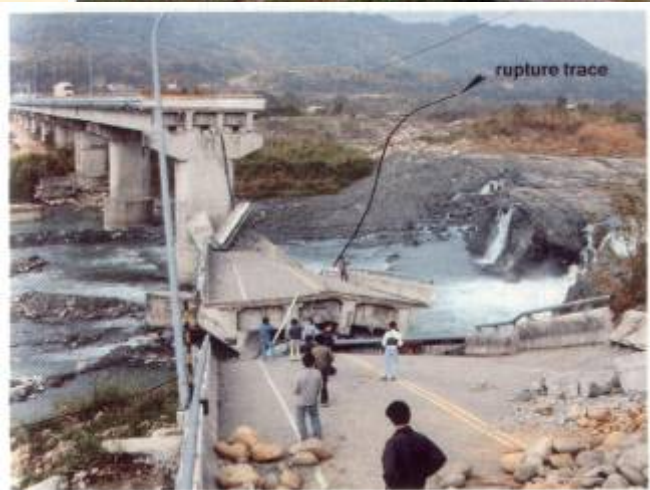
Πυρκαγιά στην πόλη Kobe-Ιαπωνία μετά τον σεισμό του 1995



Καταστροφή της πόλης Izmit –Τουρκία από τον σεισμό του 1999



Σπάσιμο φράγματος στην Ταιβάν. Σεισμός του Chi-Chi



Επίδραση των σεισμών στους ανθρώπους

- Οι άνθρωποι αισθάνονται τους σεισμούς όταν η σεισμική επιτάχυνση έχει τιμή μεγαλύτερη του 1 gal ($\approx 1\text{cm/sec}^2$). Οι σεισμοί προκαλούν πανικό στους ανθρώπους που εγκαταλείπουν έντρομοί τα σπίτια τους. Αυτό είναι επικίνδυνο γιατί ενδέχεται να σκοτωθούν από πτώση αντικειμένων (καπνοδόχοι κεραμίδια, τοίχοι, κτλ.). Αυτό πρέπει να γίνει μετά το τέλος του σεισμού.
- Οι κατακόρυφες κινήσεις γίνονται πιο εύκολα αντιληπτές. Κυρίως όταν βρίσκονται σε αυτοκίνητο σταθμευμένο ή είναι ξαπλωμένοι τα ελατήρια του αυτοκινήτου ή του κρεβατιού λειτουργούν σαν κατακόρυφα ελατήρια.
- Οι σεισμικές δονήσεις γίνονται αντιληπτές για μερικά δευτερόλεπτα, εκτός αν πρόκειται για μακρινό σεισμό που καταλαβαίνουν την διαδοχική διέλευση των κυμάτων (P, S, κτλ.) από τον τόπο που βρίσκονται.

(συνέχεια)

- Πολλές φορές τον σεισμό συνοδεύει ή προηγείται μία **βοή** που μοιάζει με εκπυρσοκρότηση όπλου ή με τον θόρυβο των κεραυνών. Αυτό συμβαίνει γιατί ένα μικρό μέρος της σεισμικής ενέργειας μετατρέπεται σε ήχο κατά την πρόσπτωση των σεισμικών κυμάτων στην επιφάνεια της Γης. Οι διαθλώμενες στην ατμόσφαιρα ακτίνες έχουν σχεδόν διεύθυνση κατακόρυφη και υπάρχει η αίσθηση ότι οι βοές ακούγονται από κάτω.
- Εκτός λοιπόν από τις βοές πολλές φορές είναι ορατά και **φωτεινά φαινόμενα**. Αυτά μπορεί να οφείλονται σε ποικίλα αίτια όπως βραχυκυκλώματα και ανταύγειες πυρκαγιών. Είναι δυνατόν όμως τα φαινόμενα αυτά να προκαλούνται από την τριβή των πετρωμάτων των τεμαχίων του ρήγματος που πραγματοποιούν σχετική κίνηση μεταξύ τους ή από την δράση υποθαλασσίων ηφαιστείων.

Επίδραση των σεισμών στα ζώα

- Τα ζώα, όπως και οι άνθρωποι, αντιδρούν με πανικό στον σεισμό. Ο πανικός εκδηλώνεται με τις κραυγές που βγάζουν και τρέχουν έντρομα μακριά από τον τόπο που γίνεται ο σεισμός.
- 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.
- Για την συμπεριφορά αυτή έχει δοθεί η ερμηνεία ότι είναι δυνατόν κάποιες μικροδονήσεις που προκαλούνται πριν τους σεισμούς να γίνονται αντιληπτές από τα ευαίσθητα (σε σχέση με τον άνθρωπο) όργανα των ζώων.

Εκτίμηση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων

- Γρήγορα έγινε αντιληπτό ότι η εκτίμηση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων με ένα μόνο φυσικό μέγεθος (π.χ. επιτάχυνση) δεν ήταν σωστή. Και αυτό γιατί τα μακροσεισμικά αποτελέσματα εξαρτώνται και από άλλα φυσικά μεγέθη, και εξαρτώνται φυσικά και από το σημείο που γίνεται η μέτρηση που διαφέρει από κάποιο άλλο σημείο με διαφορετικές εδαφικές συνθήκες.
- Έτσι λοιπόν αποφασίστηκε και ισχύει ακόμα και σήμερα η μέτρηση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων να γίνεται με βάση ορισμένες **μακροσεισμικές κλίμακες**. Η κάθε μία αποτελείται από ορισμένους βαθμούς έντασης που παριστάνονται με λατινικούς αριθμούς. Έτσι για παράδειγμα η Ιαπωνική κλίμακα είναι επταβάθμια, ενώ η Ευρωπαϊκή δωδεκαβάθμια. Μπορούμε να συγκρίνουμε με αυτόν τον τρόπο τα μακροσεισμικά αποτελέσματα σε έναν τόπο εξάγοντας χρήσιμα συμπεράσματα όπως για παράδειγμα για το έδαφος θεμελίωσης των οικοδομών.

(συνέχεια)

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για να βρεθεί μία όσο το δυνατόν αξιόπιστη κλίμακα μέτρησης μακροσεισμικών αποτελεσμάτων.

Η πιο παλιά προσπάθεια που είναι μέχρι σήμερα γνωστή έγινε το 1783 από τον Schiantarelli για τον σεισμό της Καλαβρίας του ίδιου έτους.

Άλλες κλίμακες:

1874 – Rossi εξαβάμια

1881 – Forel

Rossi-Forel δεκαβάθμια και παλιά ευρέως χρησιμοποιούμενη διεθνώς

Mercalli - εξαβάθμια (βελτίωση της κλίμακας του Rossi)

Calcani - η πρώτη προσπάθεια για δωδεκαβάθμια κλίμακα

1912 – Sieberg δωδεκαβάθμια κλίμακα με πλήρη περιγραφή αποτελεσμάτων για κάθε βαθμό την οποία αναθεώρησε 2 φορές

Mercalli-Calcani-Sieberg διεθνώς γνωστή ως MCS

1931 - κλίμακα MM (modified Mercalli)

1964 – Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK) δωδεκαβάθμια κλίμακα με ελάχιστες προσθήκες στην πρότερη προσπάθεια του Medvedev

1993 – σε χρήση για όλη την Ευρώπη η κλίμακα EMS

Η κλίμακα Mercalli-Sieberg περιγράφεται αμέσως παρακάτω

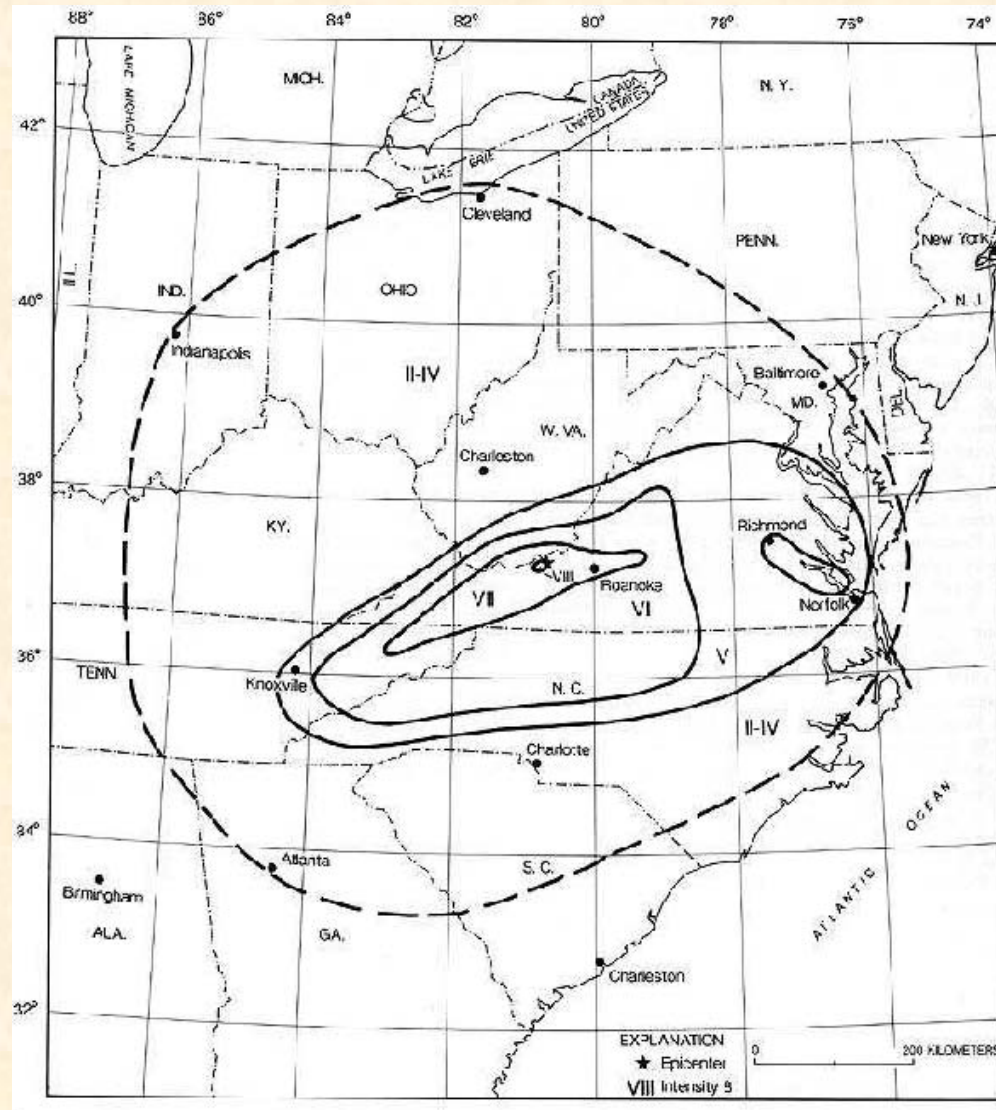
Μακροσεισμική Κλίμακα Mercalli-Sieberg

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

- Οι **ισόσειστες καμπύλες** απεικονίζουν την γεωγραφική κατανομή των μακροσεισμικών εντάσεων. Είναι με άλλα λόγια ο γεωμετρικός τύπος των σημείων με την ίδια ένταση. Στις περισσότερες περιπτώσεις σχεδιάζονται σαν ελλείψεις.
- Για τον σκοπό αυτό υπάρχει ειδικό ερωτηματολόγιο που διανέμεται στις περιοχές που έγινε αισθητός ο σεισμός.
- Η κατανομή των εντάσεων και η μορφή των ισόσειστων καμπύλων εξαρτάται από τον μηχανισμό γένεσης του σεισμού, από το βάθος της εστίας, από το έδαφος θεμελίωσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο μεγάλος άξονας των ισόσειστων δείχνει τον προσανατολισμό του ρήγματος.
- Είναι λογικό ότι όσο απομακρυνόμαστε από το επίκεντρο ο σεισμός γίνεται όλο και λιγότερο αισθητός με αποτέλεσμα να έχουμε απόσβεση της σεισμικής ενέργειας. Στην σεισμολογία αυτό ονομάζεται **σχέση απόσβεσης** και είναι ξεχωριστή για κάθε περιοχή.

Ισόσειστες καμπύλες σε σεισμό που έγινε στην Αμερική



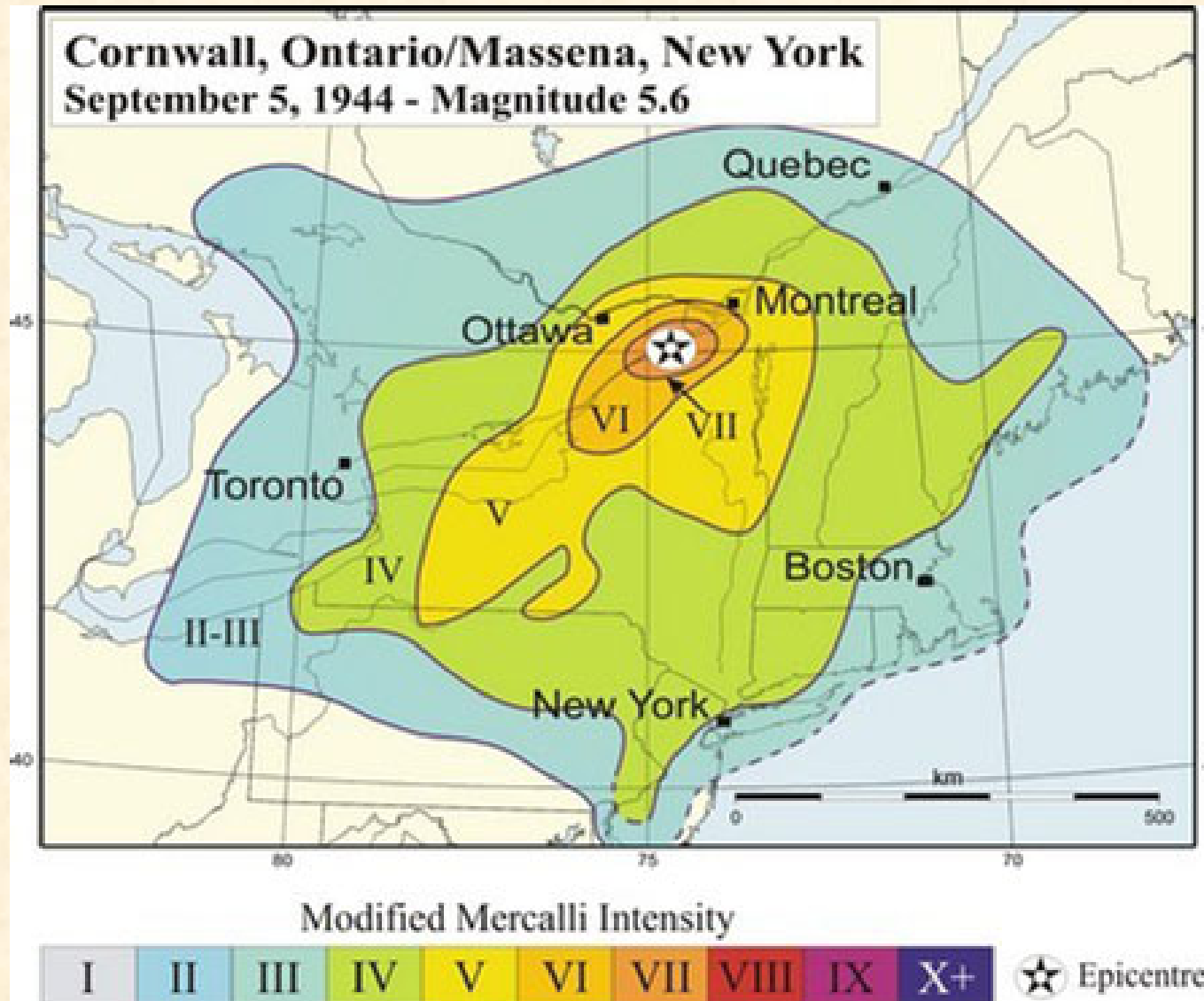
(συνέχεια)

- Η απόσταση μεταξύ 2 διαδοχικών ισόσειστων είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος και την επικεντρική απόσταση του σεισμού.
- Το μακροσεισμικό επίκεντρο βρίσκεται πάνω στο σημείο του ρήγματος που απελευθερώνεται το μεγαλύτερο ποσό της σεισμικής ενέργειας.
- Το μικροσεισμικό επίκεντρο βρίσκεται πάνω στο σημείο του ρήγματος στο οποίο αρχίζει η διάρρηξη.
- Η μέγιστη ένταση ονομάζεται **επικεντρική ένταση** και παριστάνεται με το I_0 . Μεταξύ αυτής και του μεγέθους του σεισμού ισχύουν διάφορες στατιστικές σχέσεις:

$$I_0 = \alpha + \beta M$$

όπου α και β παράμετροι. Για τους επιφανειακούς σεισμούς της χώρας μας ο Παπαιωάννου (1984) βρήκε $\alpha=1.23$ και $\beta=1.18$

Ισόσειστες του σεισμού στην περιοχή Cornwall του Καναδά με μέγεθος $M=5.6$



(συνέχεια)

- Η διαφορά της έντασης I_i από την μέγιστη ένταση I_0 και σε απόσταση Δ_i από το μακροσεισμικό επίκεντρο, είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος του σεισμού και δίνεται από τη σχέση που στη γενικευμένη της μορφή είναι:
- $$I_0 - I_i = \kappa_1 + \kappa_2 \log(\Delta_i + \kappa_3)$$
- Για την χώρα μας βρέθηκε ότι $\kappa_1 = -5.36$, $\kappa_2 = 4.50$ και $\kappa_3 = 17$. Η απόσταση Δ_i μετριέται σε Km. Η ποσότητα $\kappa_2 = 4.50$ εκφράζει την μέση απόσβεση στον Ελληνικό χώρο. Αν $\kappa_2 > 4.5$ έχουμε ισχυρή απόσβεση και επομένως οι ισόσειστες καμπύλες που θα σχεδιάσουμε στην περίπτωση αυτή θα απέχουν λίγο ή μία από την άλλη (θα είναι όπως λέμε «μαζεμένες»).
- Η ένταση του σεισμού σε ένα τόπο είναι γραμμική συνάρτηση του λογαρίθμου της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης που προκαλεί ο σεισμός στον τόπο αυτό.
- $$\log a = 0.27I + 0.25$$
- Όταν η επιτάχυνση μετριέται σε cm/sec^2 (Theodoulidis and Papazachos, 1992).