

## 2.4 Καταγραφή των σεισμών

Σεισμολόγοι και Πολιτικοί Μηχανικοί έχουν, επειδή το αντικείμενο και οι ευθύνες τους είναι διαφορετικά, άλλα σημεία στα οποία επικεντρώνεται το ενδιαφέρον τους σε σχέση με τα μεγέθη που πρέπει να καταγράφονται στο σεισμό:

Οι σεισμολόγοι ενδιαφέρονται κυρίως για

- Εδαφικές ταχύτητες (μέγιστες τιμές, χρονική εξέλιξη)
- Χρόνους εμφάνισης (“χρόνους παρεμβολής”) και ταχύτητες διάδοσης διαφορετικών ειδών κυμάτων.

Τα μεγέθη αυτά αποτελούν τη βάση για τον καθορισμό των συντεταγμένων της εστίας (γεωγραφικό μήκος και πλάτος), εστιακού χρόνου (GMT=Greenwich Mean Time= διεθνής χρόνος), εστιακού βάθους, εστιακής επιφάνειας, εστιακού μηχανισμού, εστιακής ενέργειας, νόμων μείωσης-εξασθένησης κ.λ.π.

Οι Πολιτικοί Μηχανικοί ενδιαφέρονται κυρίως για

- Εδαφικές επιταχύνσεις (μέγιστες τιμές, χρονική εξέλιξη)
- Περιεχόμενο συχνοτήτων των εδαφικών επιταχύνσεων

Τα μεγέθη αυτά αποτελούν τη βάση για την ερμηνεία των ζημιών που παρατηρήθηκαν στα δομικά έργα συμπεριλαμβανομένης της επιρροής του εδάφους θεμελίωσης και για τον καθορισμό του σεισμού σχεδιασμού (φάσματα απόκρισης, τεχνητοί σεισμοί).

Ανάλογα με τα διαφορετικά μεγέθη που ενδιαφέρουν, υπάρχουν δυο λογίων όργανα μέτρησης, δηλαδή σειсмоγράφοι:

- Όργανα μέτρησης ταχύτητας: αυτά είναι κατάλληλα κυρίως για την καταγραφή ασθενέστερων σεισμών.
- Όργανα μέτρησης επιτάχυνσης: αυτά είναι κατάλληλα κυρίως για την καταγραφή ισχυρότερων σεισμών· για το λόγο αυτό ονομάζονται και όργανα καταγραφής ισχυρών σεισμών (“strong motion record equipment”).

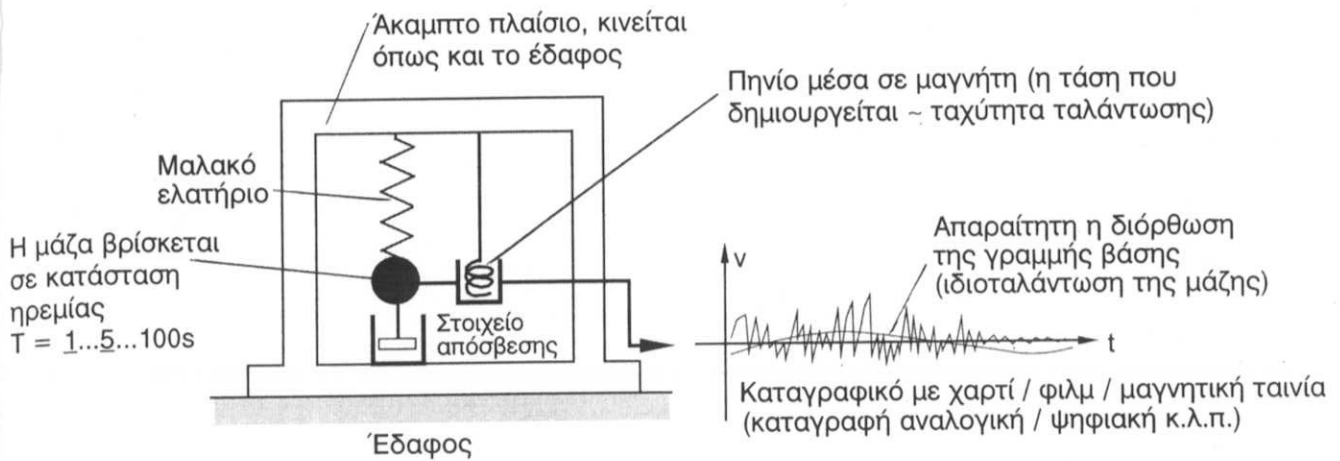
Κοινό χαρακτηριστικό όμως των οργάνων αυτών είναι ότι κανονικά είναι εξοπλισμένα για μετρήσεις σε τρεις κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις και ότι συνήθως ρυθμίζονται για μετρήσεις στις κατακόρυφες, οριζόντιες Β-Ν και οριζόντιες Α-Δ διευθύνσεις.

Συνήθως, στα όργανα αυτά προβλέπεται και ένας δέκτης και μια αντίστοιχη διάταξη καταγραφής για χρονικά σήματα (π.χ. πομπός GMT στο Μέλανα Δρυμό).

### 2.4.1 Όργανα καταγραφής ταχύτητας

Η αρχή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των οργάνων μέτρησης της ταχύτητας έγκειται στην καταγραφή των σχετικών μετατοπίσεων του εδάφους ως προς έναν μονοβάθμιο ταλαντωτή που συντονίζεται σε χαμηλές συχνότητες.

Το Σχήμα 2.10 δείχνει, σαν παράδειγμα, σχηματικά την αρχή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των οργάνων για την καταγραφή κατακόρυφων κινήσεων του εδάφους. Ένα δύσκαμπτο πλαίσιο είναι σταθερά συνδεδεμένο με το έδαφος έτσι ώστε να κινείται σε ένα σεισμό προς τα πάνω και προς τα κάτω όπως το έδαφος. Στο πλαίσιο είναι αναρτημένος ένας μονοβάθμιος ταλαντωτής με σχετικά μεγάλη μάζα και ένα μαλακό ελατήριο, καθώς και ένα στοιχείο ιξώδους απόσβεσης. Στο πλαίσιο είναι επίσης στερεωμένο ένα πηνίο, μέσα σε έναν μαγνήτη συνδεδεμένο με τη μάζα του ταλαντωτή. Η σχετική κίνηση μεταξύ πηνίου και μαγνήτη δημιουργεί μια τάση που είναι ανάλογη προς τη σχετική ταχύτητα της παλμικής κίνησης. Σε περίπτωση απότομης κατακόρυφης κίνησης του εδάφους, η μάζα του μαλακού ταλαντωτή, λόγω της αδράνειάς της, παραμένει σχεδόν σε κατάσταση ηρε-



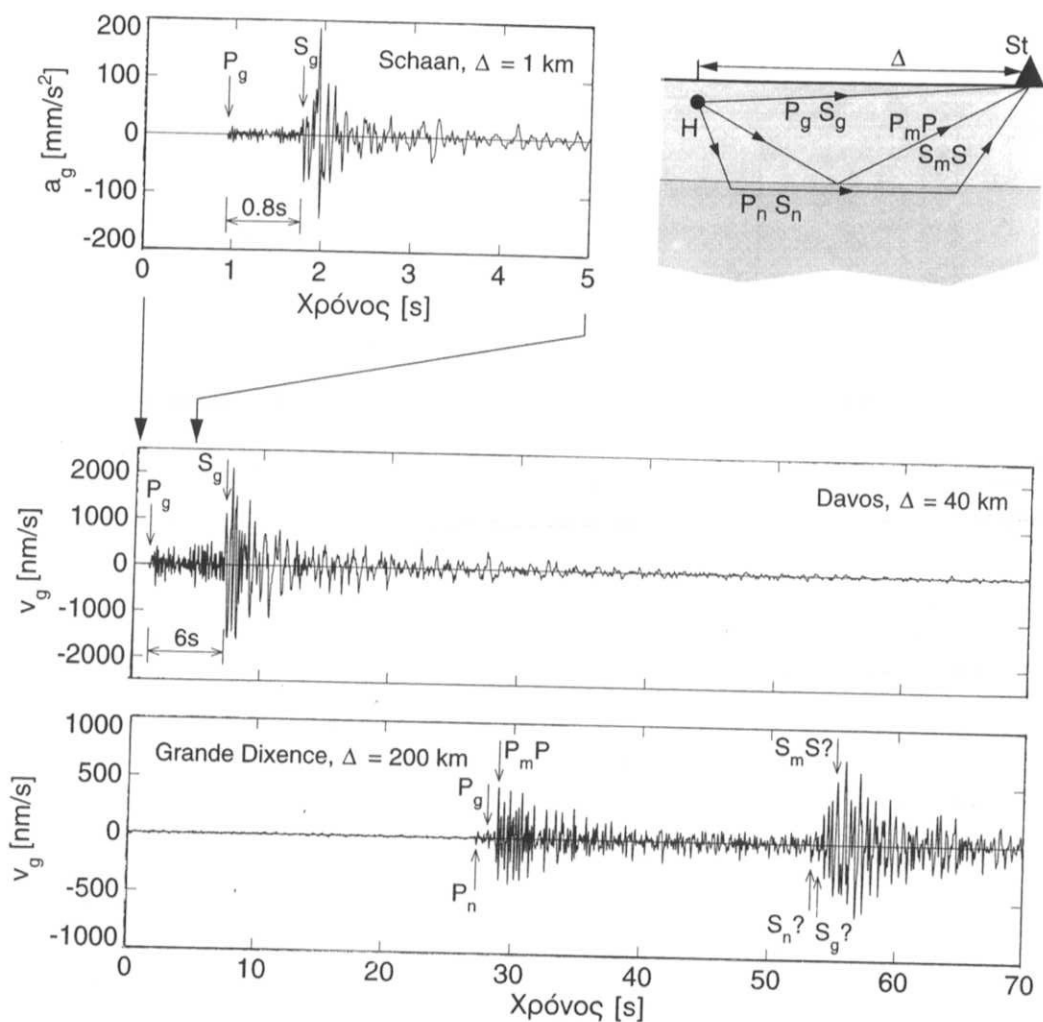
Σχήμα 2.10: Αρχή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των οργάνων για την καταγραφή κατακόρυφων κινήσεων του εδάφους (σχηματική απεικόνιση)

υίας: διεγείρεται μόνο σε μια πολύ αργή ιδιοταλάντωση ανάλογη με την κίνηση του εδάφους, με μια περίοδο που για τα συνηθισμένα όργανα βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ 1 και 100 s. Η καταγραφή της επαγόμενης τάσης ή αντίστοιχα της σχετικής ταχύτητας γίνεται είτε αναλογικά σε ένα καταγραφικό με χαρτί (κλασικά όργανα) ή με φιλμ ή ψηφιακά σε μια κάρτα αποθήκευσης (των στοιχείων) (πιο σύγχρονα όργανα). Το αποτέλεσμα είναι ένα αδιόρθωτο, όπως λέγεται, σειсмоγράφημα ταχύτητας. Αυτό πρέπει συνήθως να διορθώνεται, μέσω της "διόρθωσης της γραμμής βάσης του", κυρίως κατά τη συμμετοχή της διοταλάντωσης του μονοβάθμιου ταλαντωτή.

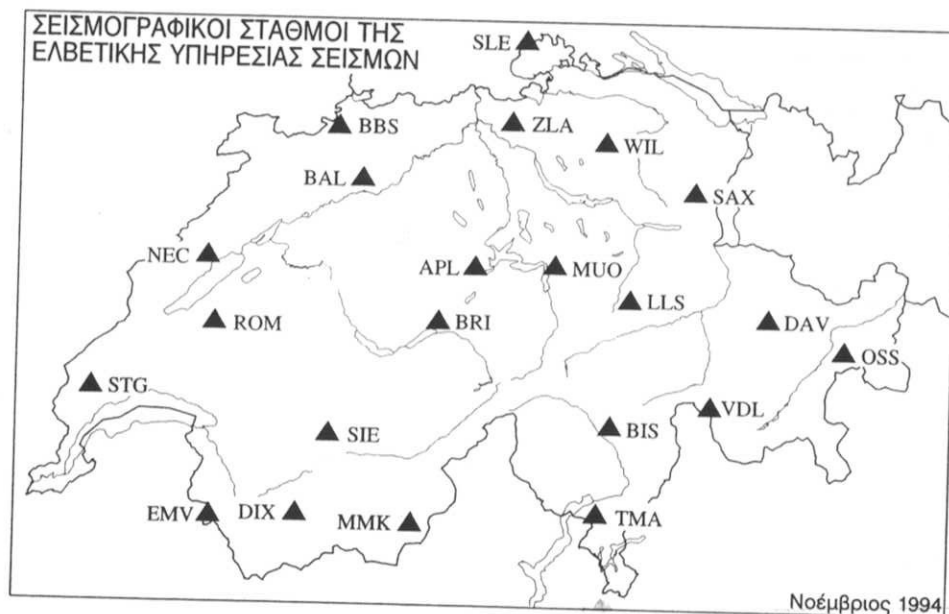
Η μέτρηση της οριζόντιας κίνησης του εδάφους γίνεται με ανάλογο τρόπο (μάζα με οριζόντιο ελατήριο, κλασικά όργανα σαν οριζόντιο εκκρεμές με βάση την αρχή της με κλίση αναρτημένης πόρτας, κ.λ.π.). Σε όλα τα όργανα τέτοιων μετρήσεων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι παράμετροι του οργάνου, συντελεστές βαθμονόμησης και επαύξησης (εν μέρει εξαρτώνται από τη συχνότητα).

Το Σχήμα 2.11 δείχνει, σαν παράδειγμα, σειсмоγραφήματα που καταγράφηκαν σε έναν - σχετικά ασθενή - σεισμό με επίκεντρο τη Schaan και μέγεθος 2.8 την 9.5.1992 από σταθμούς στη Schaan, στο Davos και στη Grande Dixence [SED 94]. Στην περίπτωση του σειсмоγραφήματος του σταθμού της Schaan, που βρισκόταν πρακτικά στο επίκεντρο (επικεντρική απόσταση  $\Delta=1\text{km}$ ), πρόκειται για ένα επιταχυνσιογράφημα, ενώ στους πιο απομακρυσμένους σταθμούς του Davos και της Grande Dixence καταγράφηκαν σειсмоγραφήματα ταχύτητας. Στα σειсмоγραφήματα των σταθμών Schaan και Davos, η παρεμβολή των αμέσων κυμάτων P και S, είναι σημειωμένη με  $P_g$  και αντίστοιχα  $S_g$ . Οι χρονικές διαφορές του 0.8 s στη Schaan και των 6 s στο Davos οφείλονται στη διαφορετική ταχύτητα διάδοσης των δυο αυτών ειδών κυμάτων. Στον πιο απομακρυσμένο σταθμό της Grande Dixence τα καταδυόμενα κύματα  $P_n$  και  $S_n$  έφθασαν το καθένα λίγο πριν από τα άμεσα κύματα  $P_g$  και  $S_g$ , που σημαίνει ότι τα καταδυόμενα κύματα παρά τη μεγαλύτερη διαδρομή "προσπέρασαν" τα άμεσα κύματα. Αντίθετα, τα ανακλώμενα στο Moho κύματα  $P_mP$  και  $S_mS$  έφθασαν λίγο μετά τα άμεσα κύματα.

Το Σχήμα 2.12 δείχνει τους σταθμούς με όργανα καταγραφής της ταχύτητας της Ελβετικής Υπηρεσίας Σεισμών (SED), που υπάγεται στο Ομοσπ. Πολυτεχνείο της Ζυρίχης. Από τους περισσότερους σταθμούς, τα στοιχεία μεταβιβάζονται ταυτόχρονα τηλεμετρικά (μέσω τηλεφωνικών γραμμών ή ασύρματα) στο κεντρικό στο Hönnggerberg. Εκεί καθορίζεται, μετά την αυτόματη επεξεργασία των στοιχείων, κυρίως η γεωγραφική θέση του επίκεντρου (μοίρες γεωγραφικού μήκους και πλάτους) και το εστιακό βάθος.



Σχήμα 2.11: Σειсмоγραφήματα τριών σταθμών του σεισμού της 9.5.1992 με επίκεντρο τη Schaan, εστιακό βάθος 8 km, μέγεθος 2.8 [SED 94]



Σχήμα 2.12: Σταθμοί με όργανα μέτρησης της ταχύτητας της Ελβετικής Υπηρεσίας Σεισμών του Ομοσπ. Πολυτεχνείου της Ζυρίχης [SED 94]

### 2.4.2 Όργανα μέτρησης της επιτάχυνσης

Η αρχή της λειτουργίας των οργάνων μέτρησης της επιτάχυνσης είναι βασικά η ίδια με αυτή των οργάνων μέτρησης ταχύτητας. Βάση επίσης αποτελούν οι σχετικές μετακινήσεις του εδάφους σε σχέση με έναν συντονιζόμενο σε χαμηλές συχνότητες μονοβάθμιο ταλαντωτή.

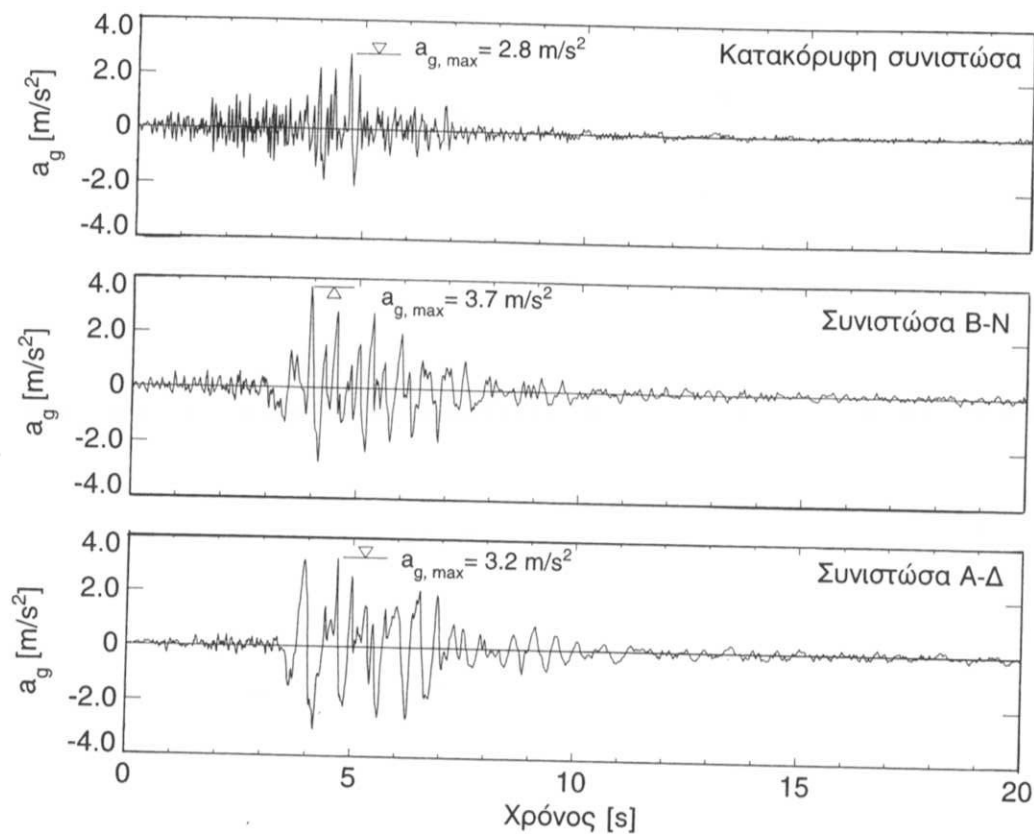
Τα σύγχρονα όργανα μέτρησης της επιτάχυνσης είναι σχετικά μικρά και συμμαζεμένα, καθώς και - ανάλογα με τις απαιτήσεις από την περιοχή των μετρούμενων συχνοτήτων και την ακρίβεια - σχετικά πιο φθηνά από τους συνηθισμένους σειсмоγράφους μέτρησης της ταχύτητας. Περιέχουν ένα όργανο μέτρησης της ταλάντωσης, που μπορεί να καταγράψει μέχρι 1g ( $g$ = επιτάχυνση της βαρύτητας), ή και παραπάνω, και για το λόγο αυτό χαρακτηρίζονται και σαν όργανα καταγραφής ισχυρών σεισμών. Η καταγραφή γίνεται αναλογικά μέσω εγγραφής σε ταινία (φιλμ) (γνωστά όργανα της δεκαετίας του 70 και του 80) ή ψηφιακά σε προστιθέμενες ηλεκτρονικές κάρτες αποθήκευσης (πιο σύγχρονες συσκευές). Μέσω της καλούμενης "αυτόματης διέγερσης" τα όργανα ανάβουν και σβήνουν μόνα τους σε μια ρυθμιζόμενη επιτάχυνση (π.χ. 0.01 g). Τα ψηφιακά καταγραφικά όργανα κάνουν χωρίς διακοπή εγγραφή ενός "παραθύρου" π.χ. 10 s, στην περίπτωση δε ενός συμβάντος μπορεί να παραμείνουν αποθηκευμένα και τα στοιχεία του προηγούμενου "καρέ" των 10 s. Τα όργανα χρειάζονται μια πρίζα ή λειτουργούν σε απομονωμένες θέσεις (π.χ. σε υψηλές κορυφές) με μπαταρία. Αποφασιστική σημασία έχει η περιοδική συντήρηση με έλεγχο της λειτουργίας (γενικά 2 φορές το χρόνο). Όταν η συντήρησή τους γίνεται κανονικά, μπορεί να αναμένονται από το 80 έως 90% των οργάνων χρήσιμες καταγραφές. Στα όργανα ψηφιακής καταγραφής - αντίθετα από ό,τι στην περίπτωση καταγραφής σε ταινία - η αξιολόγηση είναι σχετικά απλή. Τα όργανα συνοδεύονται από αντίστοιχα προγράμματα (software).

Το Σχήμα 2.13 δείχνει μια σύγχρονη ψηφιακή συσκευή καταγραφής της επιτάχυνσης. Η διάταξη διέγερσής της μπορεί να ρυθμισθεί για τιμές μεταξύ του 1% και 20% της μέγιστης μετρούμενης τιμής, π.χ. στο 1% του g.

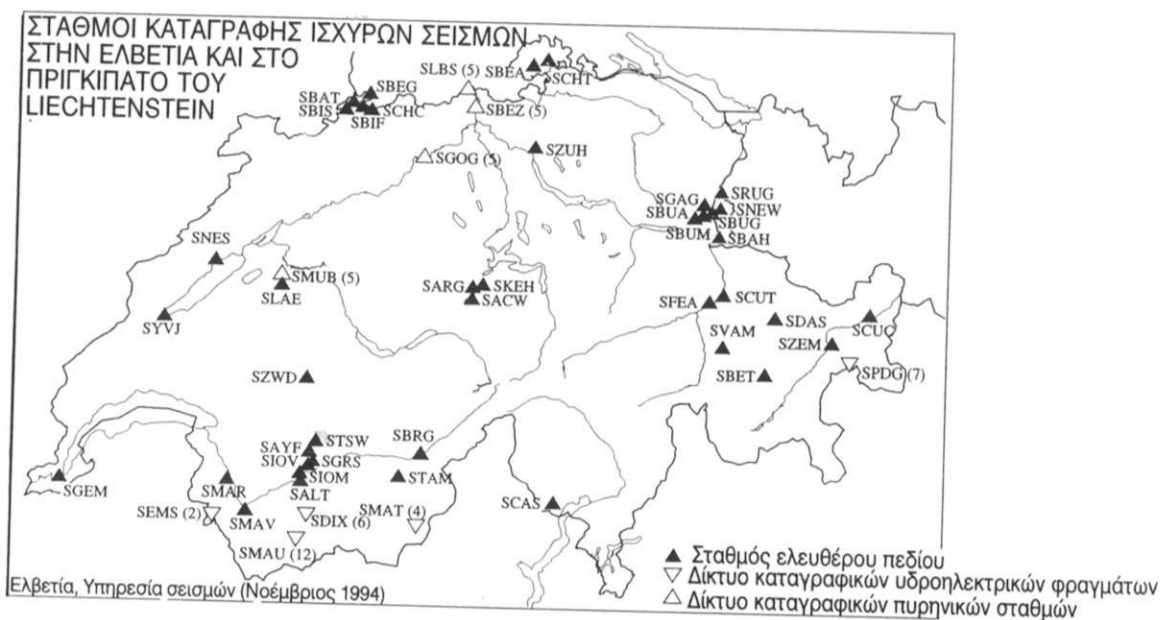


Σχήμα 2.13: Σύγχρονη ψηφιακή συσκευή καταγραφής επιτάχυνσης με κάρτα μνήμης και αισθητήρα [Sys 94]

Το Σχήμα 2.14 δείχνει αδιόρθωτο επιταχυνσιογράφημα του σεισμού στο Φρίουλι της 6ης Μαΐου 1976 με μέγεθος  $M \approx 6.5$ . Οι καταγραφές σε ταινία στη διεύθυνση B-N, στην κατακόρυφη διεύθυνση και στη διεύθυνση A-Δ προέρχονται από τον πλησιέστερο στην εστία σταθμό του Tolmezzo με απόσταση από το επίκεντρο  $\Delta = 15$  km. Η ένταση  $I$  (MSK) εκεί ήταν VIII, στο επίκεντρο σχεδόν X (πρβ. και Σχήμα 2.4). Οι μέγιστες επιταχύνσεις των τριών συνιστωσών ήταν αντίστοιχα  $2.8 \text{ m/s}^2$ ,  $3.7 \text{ m/s}^2$  και  $3.2 \text{ m/s}^2$ . Η φάση του ισχυρού



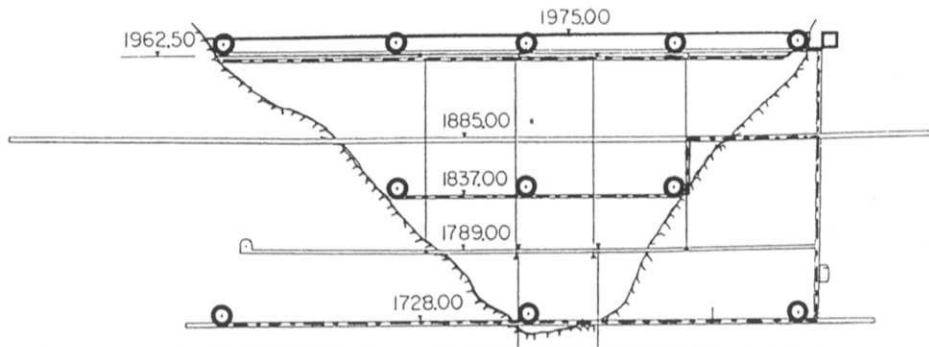
Σχήμα 2.14: Αδιόρθωτα επιταχυνσιογραφήματα “Tolmezzo” του σεισμού στο Φρίουλι του 1976 (από το [ENEL 76])



Σχήμα 2.15: Ελβετικό δίκτυο οργάνων καταγραφής ισχυρών σεισμών [SED 94]

σεισμού διήρκεσε περίπου 6 δευτερόλεπτα, στον άξονα δηλαδή του χρόνου των καταγραφών από το 4ο μέχρι το 10ο δευτερόλεπτο.

Στην Ελβετία στήθηκε το 1992 ένα δίκτυο οργάνων καταγραφής ισχυρών σεισμών [BWW 94]. Το δίκτυο αποτελείται από δυο μέρη: ένα δίκτυο σταθμών ελευθέρου πεδίου και ένα δίκτυο οργάνων σε υδροηλεκτρικά φράγματα με συνολικά 62 προς το παρόν συσκευές



Σχήμα 2.16: Επιταχυνσιογράφοι του τοίχου ανάσχεσης του Mauvoisin (από το [BWW 94])

(Σχήμα 2.15). Οι 33 περίπου συσκευές ελεύθερου πεδίου είναι εγκατεστημένες στις σεισμικά ενεργές περιοχές. Οι 29 συνολικά συσκευές των υδροηλεκτρικών φραγμάτων εγκαταστάθηκαν σε τέσσερα επιλεγμένα υδροηλεκτρικά φράγματα, συγκεκριμένα στο φράγμα-τοίχος βαρύτητας της Grande Dixence (6 όργανα), στους τοξωτούς τοίχους του Mauvoisin (12 όργανα, Σχήμα 2.16) και στο Punt dal Gall (7 όργανα), καθώς και στο χωμάτινο φράγμα του Mattmark (4 όργανα). Οι συσκευές του κάθε φράγματος είναι εντεταγμένες σε ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο.

## 2.5 Σεισμολογικές αξιολογήσεις

Για τη σεισμολογική αξιολόγηση των σεισμικών καταγραφών ενδιαφέρουν κυρίως το επίκεντρο και το εστιακό βάθος, το μέγεθος, καθώς και οι εντάσεις στις περιοχές που σημειώθηκαν ζημιές και δονήσεις.

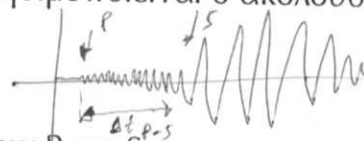
### 2.5.1 Επίκεντρο και εστιακό βάθος

Βάση για τον καθορισμό της πλέον πιθανής θέσης και των συντεταγμένων του επίκεντρου και του πλέον πιθανού εστιακού βάθους, αποτελούν τα στοιχεία που καταγράφουν τα όργανα μέτρησης της ταχύτητας σε διάφορους σταθμούς-θέσεις. Για τον καθορισμό τους απαιτούνται κυρίως τα εξής:

- Χρονικές διαφορές διαδρομής μεταξύ κυμάτων P και S (άμεσα κύματα)
- Χρόνοι άφιξης των κυμάτων P
- Μετρηθείσες ή υποθετικές ταχύτητες κυμάτων
- Μοντέλα φλοιού και στρωμάτων της γης

Για τον προσεγγιστικό καθορισμό της υποκεντρικής απόστασης  $s$  μεταξύ ενός σταθμού καταγραφής και της εστίας (Σχήμα 2.2) μπορεί να χρησιμοποιείται ο ακόλουθος εμπειρικός τύπος:

$$s \text{ [km]} \approx 8 \cdot \Delta t_{p-s} \text{ [s]} \quad (2.8)$$



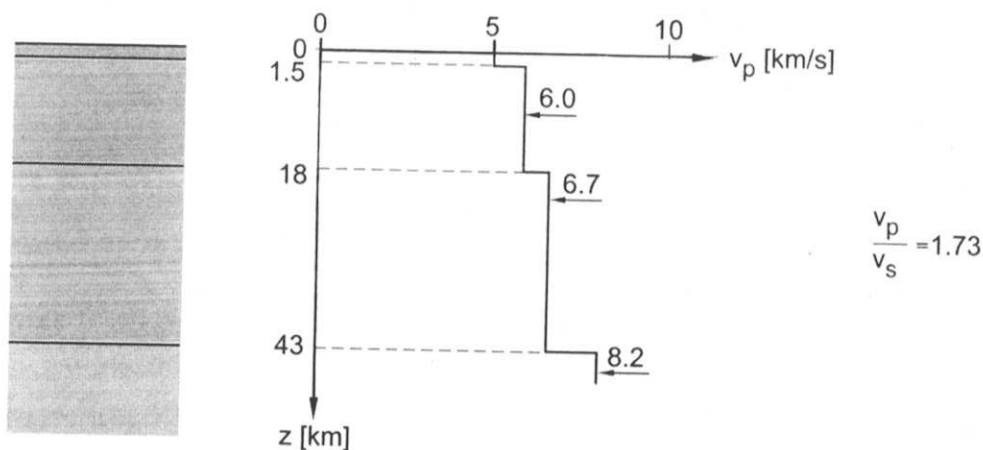
$\Delta t_{p-s}$ : διαφορά χρόνου διαδρομής μεταξύ κυμάτων P και S

Η απόδειξη μπορεί να προκύψει ως εξής:

$$t_p = \frac{s}{v_p} \quad , \quad t_s = \frac{s}{v_s} \quad , \quad \Delta t_{p-s} = s \left( \frac{1}{v_s} - \frac{1}{v_p} \right) \quad , \quad s = \Delta t_{p-s} \cdot \frac{v_p}{v_p/v_s - 1} \quad (2.9)$$

$$\text{Με } v_p/v_s \approx \sqrt{3} = 1.73 \text{ γίνεται } s = \Delta t_{p-s} \cdot \frac{v_p}{0.73} \quad (2.10)$$

$$\text{και με } v_p \approx 6 \text{ km/s γίνεται } s \text{ [km]} \approx 8 \cdot \Delta t_{p-s} \text{ [s]} \quad (2.11)$$



Σχήμα 2.17: Μοντέλο γήινου φλοιού για το Ελβετικό οροπέδιο

## 2.5 Σεισμολογικές αξιολογήσεις

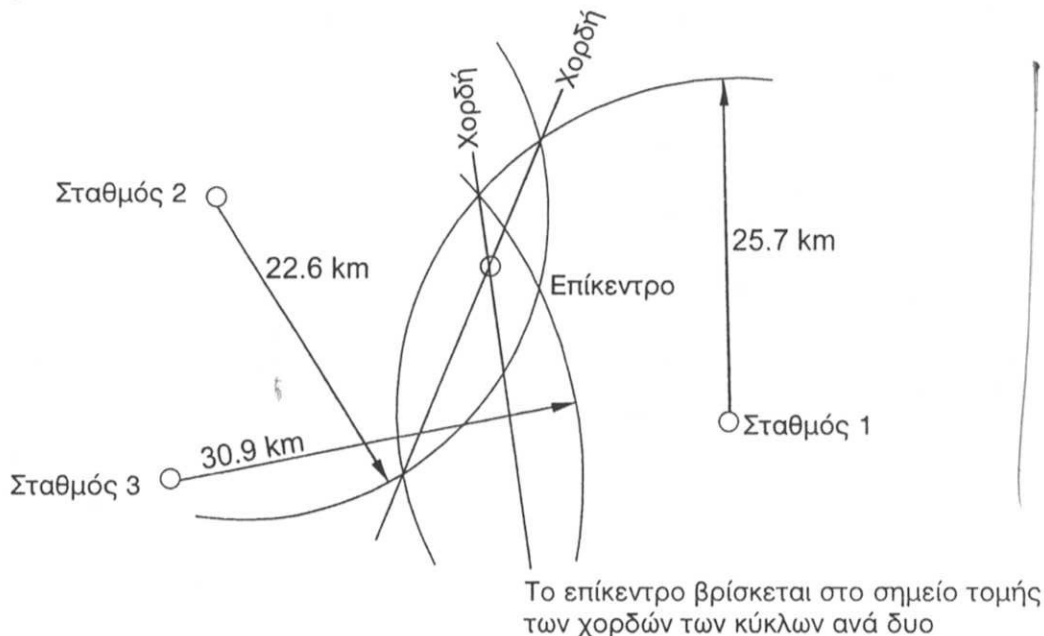
Με τον τύπο αυτό προκύπτει από το σειсмоγράφημα π.χ. του Davos του Σχ. 2.11

$$s = 8 \cdot 6 = 48 \text{ km}$$

Για να καθορισθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η υποκεντρική απόσταση, πρέπει να χρησιμοποιούνται αναλυτικά μοντέλα του φλοιού της γης με αντίστοιχα πάχη στρωμάτων και τις προσαρμοσμένες στις τοπικές γεωλογικές συνθήκες ταχύτητες διάδοσης κυμάτων (Σχ. 2.17).

Για τον καθορισμό του επίκεντρου ενός συμβάντος, απαιτούνται στοιχεία από τρεις τουλάχιστον σταθμούς (Σχ. 2.18). Με την υποκεντρική απόσταση  $s$ , που υπολογίστηκε προηγουμένως, μπορεί να χαραχθεί γύρω από κάθε σταθμό μια σφαίρα. Οι σφαίρες αυτές τέμνονται ανά δυο και η τομή τους είναι ένας κύκλος που βρίσκεται σε κατακόρυφο επίπεδο. Οι ευθείες των ιχνών τους (χορδές) τέμνονται στο επίκεντρο. Μπορεί έτσι να βρεθούν και οι αποστάσεις  $\Delta$  του κάθε σταθμού από το επίκεντρο.

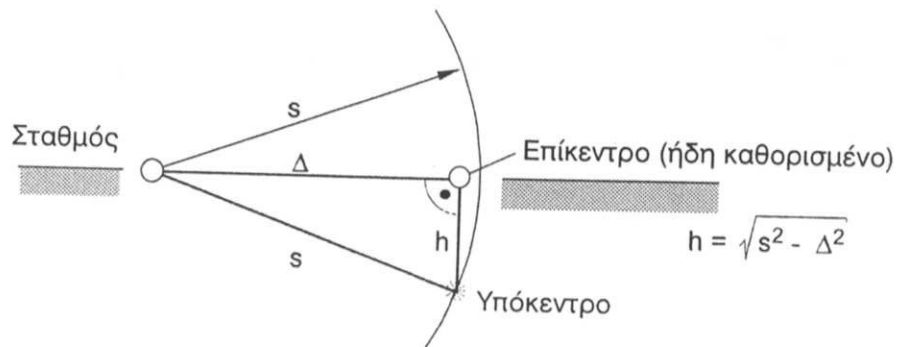
Ήδη με τα στοιχεία των τριών σταθμών η λύση δεν είναι μονοσήμαντη, επειδή οι τρεις ιχνοευθείες δεν τέμνονται εν γένει σε ένα σημείο (λαμβάνεται το κέντρο του εγγεγραμμένου κύκλου στο τρίγωνο των χορδών). Όταν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία από περισσότερους από τρεις σταθμούς, ο υπολογισμός των πλέον πιθανών συντεταγμένων του επίκεντρου μπορεί να γίνει με μεθόδους της θεωρίας σφαλμάτων (π.χ. μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων).



Σχήμα 2.18: Καθορισμός του επίκεντρου με τη βοήθεια των υποκεντρικών αποστάσεων τουλάχιστον τριών σταθμών

Για τον καθορισμό του εστιακού βάθους  $h$  χρησιμοποιείται η υποκεντρική απόσταση και η επικεντρική απόσταση σταθμών που βρίσκονται όσο γίνεται πιο κοντά στην εστία (Σχήμα 2.19) και μπορεί, πάλι με μεθόδους της θεωρίας σφαλμάτων, να βρεθεί η πλέον πιθανή τιμή. Ο υπολογισμός όμως του εστιακού βάθους καταλήγει συνήθως σε ένα μέσο σφάλμα  $\pm 2$  km, επειδή εδώ πρόκειται μεταξύ άλλων για διαφορές μεγάλων αριθμών, και υπάρχουν άρα εν γένει μεγαλύτερες αβεβαιότητες από ό,τι για τις συντεταγμένες του επίκεντρου.

Στην Ελβετική Υπηρεσία Σεισμών (SED), επίκεντρο και εστιακό βάθος ενός συμβάντος καθορίζονται αυτόματα με βάση τα στοιχεία που μεταβιβάζονται από τους σταθμούς μετρήσεων (Σχ. 2.12) (πρβ. ετήσιες εκθέσεις της SED).



Σχήμα 2.19: Καθορισμός του εστιακού βάθους με τη βοήθεια της υποκεντρικής απόστασης και της επικεντρικής απόστασης ενός γειτονικού με την εστία σταθμού

### 2.5.2 Μέγεθος και εντάσεις

Το μέγεθος ενός σεισμού καθορίζεται από τα μέγιστα πλάτη των σειсмоγραφημάτων ταχύτητας (πρβ. § 2.2.1). Ακριβέστερους κανόνες, καθώς και σχέσεις μεταξύ των  $M_l$ ,  $M_s$  και  $M_b$ , βλ. π.χ. στα [Bat 73], [HS 84].

Οι εντάσεις στην περιοχή ζημιών και δονήσεων καθορίζονται από αντίστοιχες πληροφορίες που συλλέγονται (πληροφοριακά δελτία, έντυπα παρατηρήσεων) (πρβ. § 2.2.2) και μπορεί έτσι να γίνει η σχεδίαση ενός χάρτη ισόσειστων (Σχ. 2.4).

## 2.6 Αξιολογήσεις από πλευράς Μηχανικού

Για την αξιολόγηση από την πλευρά του Μηχανικού των σειсмоγραφικών στοιχείων, ενδιαφέρουν προπάντων τα φυσικά χαρακτηριστικά μεγέθη και τα στοιχεία που συνάγονται από αυτά - κυρίως φάσματα απόκρισης - που είναι χρήσιμα για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών.

### 2.6.1 Φυσικά χαρακτηριστικά μεγέθη

#### Επισκόπηση

Για τον Πολιτικό Μηχανικό σημαντικότερα είναι τα πέντε φυσικά χαρακτηριστικά μεγέθη του Πίνακα 2.5 μιας τοπικής κίνησης του εδάφους. Για τις ζημιές στα δομικά έργα καθοριστικά είναι κυρίως η επιτάχυνση του εδάφους, το περιεχόμενο συχνοτήτων και η διάρκεια του σεισμού.

Εδαφική κίνηση	Φυσικά χαρακτηριστικά μεγέθη	Καθοριστικά κυρίως για τις ζημιές
Μετατόπιση του εδάφους ("ground displacement")	$d_g(t)$	
Ταχύτητα του εδάφους ("ground velocity")	$v_g(t)$	,
Επιτάχυνση του εδάφους ("ground acceleration")	$a_g(t)$	x
Περιεχόμενο συχνοτήτων της εδαφικής κίνησης		x
Διάρκεια του σεισμού (φάση ισχυρής δόνησης)		x

Αριθμός 204200  
Σχήμα 2.5: Φυσικά χαρακτηριστικά μεγέθη τοπικών κινήσεων του εδάφους

Η τάξη μεγέθους των κορυφαίων τιμών των  $d_g$ ,  $v_g$ ,  $a_g$  είναι σε έναν μέσης ισχύος σεισμό ( $I_0 \approx VIII$ ,  $M \approx 6 + 6.5$ ):

$$d_{g,max} \approx 0.1 + 0.3 \text{ m}$$

$$v_{g,max} \approx 0.1 + \text{m/s}$$

$$a_{g,max} \approx 1.5 + 3.0 \text{ m/s}^2 = 0.15 + 0.30 \text{ g}$$

Αντί του δείκτη  $g_{,max}$  ( $g$ ="ground") χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία και ο δείκτης  $o$  (μη-δέν) ή  $s$  ("soil"), κι' αυτό ιδίως για τις τιμές βαθμονόμησης των φασμάτων σχεδιασμού (βλ. § 3.3).

#### Οριζόντια επιτάχυνση του εδάφους

Παραδείγματα για τις κορυφαίες τιμές της οριζόντιας επιτάχυνσης του εδάφους, υπάρχουν στον Πίνακα 2.6.

#### Κατακόρυφη επιτάχυνση του εδάφους

Η κατακόρυφη επιτάχυνση του εδάφους είναι γενικά περίπου το 1/3 έως 1/1 της οριζόντιας επιτάχυνσης του εδάφους στην ίδια θέση. Ένας γενικός κανόνας που χρησιμοποιείται και σε Κανονισμούς (π.χ. Ελβετικός Κανονισμός SIA 160), είναι

$$a_{g,max,vert} = 2/3 \cdot a_{g,max,horiz} \quad (2.12)$$

Θέση	Κορυφαία τιμή $a_{g, max}$
Φρίουλι 1976 για $\Delta=15$ km (I=VIII)	0.37 g
Μεξικό 1985 <ul style="list-style-type: none"> <li>• πάνω σε βράχο στην πόλη του Μεξικού (Mexico City)</li> <li>• στην περιοχή της πόλης του Μεξικού που υπέστη ζημιές (κραδασμός των πολύ μαλακών εδαφικών στρωμάτων με σημαντικές ιδιοταλαντώσεις, διάρκεια περίπου 1 λεπτό!)</li> </ul>	0.04 g  0.17 g
Loma Prieta Βόρειας Καλιφόρνιας 1989	0.67 g
Northridge Νότιας Καλιφόρνιας 1994	1.82 g (!)

Πίνακας 2.6: Κορυφαίες τιμές της οριζόντιας επιτάχυνσης του εδάφους

### Συχνότητες της κίνησης του εδάφους

Για δομικά έργα με τις τιμές της θεμελιώδους συχνότητάς τους και τις ανώτερες συχνότητες τους, σημασία έχει η ακόλουθη περιοχή συχνοτήτων της κίνησης του εδάφους:

$$f = 0.1 \text{ Hz} \div 30 \text{ Hz} \quad (2.13)$$

Αυτό αντιστοιχεί σε περιόδους  $T=1/f$

$$T = 10 \text{ s} \div 0.03 \text{ s} \quad (2.14)$$

Τιμές αυτής της τάξης μεγέθους σαν τις πρώτες απαντώνται - σαν θεμελιώδης συχνότητα και συχνά κατά την οριζόντια διεύθυνση - στα πολύ μεγάλα δομικά έργα (μεγάλες κρεμαστές γέφυρες, πολύ υψηλοί πύργοι), σαν τις δεύτερες σε μικρά μάλλον και πολύ δύσκαμπτα δομικά έργα.

Οι συχνότητες οι πολύ αντιπροσωπευτικές της εδαφικής κίνησης ή οι αντίστοιχες περιοχές συχνοτήτων είναι διαφορετικές για την εδαφική επιτάχυνση, την ταχύτητα του εδάφους και τη μετατόπιση του εδάφους. Είναι συγκεντρωμένες στον Πίνακα 2.7 όπου αναγράφονται και οι αντίστοιχες περιοχές των περιόδων (αντίστροφες τιμές των συχνοτήτων).

Οι πολύ αντιπροσωπευτικές συχνότητες της εδαφικής κίνησης οδηγούν στις μέγιστες επαυξησεις στα φάσματα απόκρισης των μεγεθών της εδαφικής κίνησης (πρβ. § 2.7.3). Οι τιμές συχνοτήτων του Πίνακα 2.7 αντιστοιχούν πρακτικά στις λεγόμενες άνω και κάτω χαρακτηριστικές συχνότητες σε εξομαλυσμένα (ομαλοποιημένα) φάσματα σχεδιασμού.

Όσο πιο μαλακό-χαλαρό είναι το έδαφος, τόσο μικρότερες είναι οι αντιπροσωπευτικές συχνότητες στην κίνηση του εδάφους. Τα μαλακά δηλαδή εδάφη, σε σύγκριση με το στερεό βραχώδες υπόστρωμα ("bed rock") ή σε σύγκριση με μια θέση πάνω σε βράχο προκαλούν τις ακόλουθες συνέπειες στις συχνότητες της εδαφικής κίνησης:

- Ταλαντώσεις σε υψηλές συχνότητες αποσβένονται (λειτουργία φίλτρου, μετατόπιση συχνοτήτων)
- Ταλαντώσεις σε χαμηλές συχνότητες ενισχύονται (λόγω των ιδιοταλαντώσεων της χαλαρής "επίστρωσης" του βραχώδους υποστρώματος).

Στις κινήσεις της επιφάνειας της γης πάνω από μαλακά εδάφη δεσπόζουσες άρα είναι τελείως άλλες συχνότητες από ό,τι στις κινήσεις του βραχώδους υποστρώματος που βρίσκεται κάτω από αυτήν ή εκεί όπου αυτό αναδύεται από την επιφάνεια της γης, δηλαδή σε μια βραχώδη περιοχή.

Γ.Χ.Μ.

Εδαφική κίνηση	Περιοχές συχνοτήτων και περιόδων	
	$f$	$T$
Εδαφική επιτάχυνση		
- Καλιφόρνια/ Ευρώπη/ Αλπικός χώρος		
• Σκληρά εδάφη, βράχος	~ 3 ÷ 10 Hz	0.3 ÷ 0.1 s
• Εδάφη μέσης σκληρότητας	~ 2.0 ÷ 8 Hz	0.5 ÷ 0.13 s
• Μαλακά εδάφη (π.χ. θαλάσσιες προσχώσεις)	~ 0.5 ÷ 2 Hz	2.0 ÷ 0.5 s
- Μεξικό		
• Πολύ μαλακά εδάφη	~ 0.3 ÷ 0.5 Hz	3.0 ÷ 2.0 s
Ταχύτητα του εδάφους	~ 0.3 ÷ 2.0 Hz	3.0 ÷ 0.5 s
Μετατόπιση του εδάφους	~ 0.05 ÷ 0.3 Hz	2.0 ÷ 3.0 s

Πίνακας 2.7: Περιοχές των πολύ αντιπροσωπευτικών συχνοτήτων ή αντίστοιχα περιόδων της εδαφικής κίνησης ή αντίστοιχα χαρακτηριστικές συχνότητες σε εξομαλυσμένα φάσματα σχεδιασμού

**Διάρκεια του σεισμού**

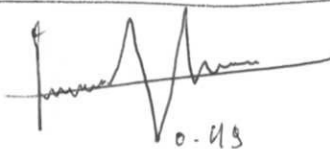
Η διάρκεια  $t_0$  της φάσης ισχυρής δόνησης ενός σεισμού υπόκειται σε πάμπολλες επιρροές:

- Μέγεθος  $M$
- Απόσταση  $\Delta$  από το επίκεντρο
- Περίοδος  $T$  της κίνησης του εδάφους

Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές αυτές, τόσο περισσότερο διαρκεί ο σεισμός. Σαν γενικός κανόνας ισχύει:

$$\text{για } M \approx 6 \div 7 : t_0 \approx 5 \div 20s \quad (2.15)$$

Πάντως, συχνά παρατηρούνται αποκλίσεις από τον κανόνα αυτό. Π.χ. ο σεισμός του 1980 στη Νότια Ιταλία μεγέθους  $M \approx 7$  διήρκεσε περίπου 70 s, επειδή συνέβησαν δυο-τρεις κύριες συγκρούσεις και αντίστοιχα δυο-τρεις διαδοχικές, η μια αμέσως μετά την άλλη, τεκτονικές διαρρηξεις. Άλλο παράδειγμα ο σεισμός του 1985 στο Μεξικό με  $M \approx 8.1$  διήρκεσε στην πόλη του Μεξικού, με επικεντρική απόσταση  $\Delta$  περίπου 400 km, περίπου 80 s. Και ο σεισμός αυτός προκάλεσε, λόγω της παρατεταμένης διάρκειάς του, καταστροφικές ζημιές, παρόλο που μετρήθηκαν μέτριες εδαφικές επιταχύνσεις μέχρι ~ 0.17 g. Έγινε προπάντων ένας κραδασμός κυρίως 12- έως 18-όροφων κτιρίων με ιδιοπεριόδους 1.5 έως 3 s, δηλαδή συνέβη συντονισμός της θεμελιώδους συχνότητας των κτιρίων με την αντίστοιχη δεσπόζουσα θεμελιώδη συχνότητα του πολύ μαλακού εδάφους (πρβ. [PBM 90] Σχ. 2.4 και 2.12).



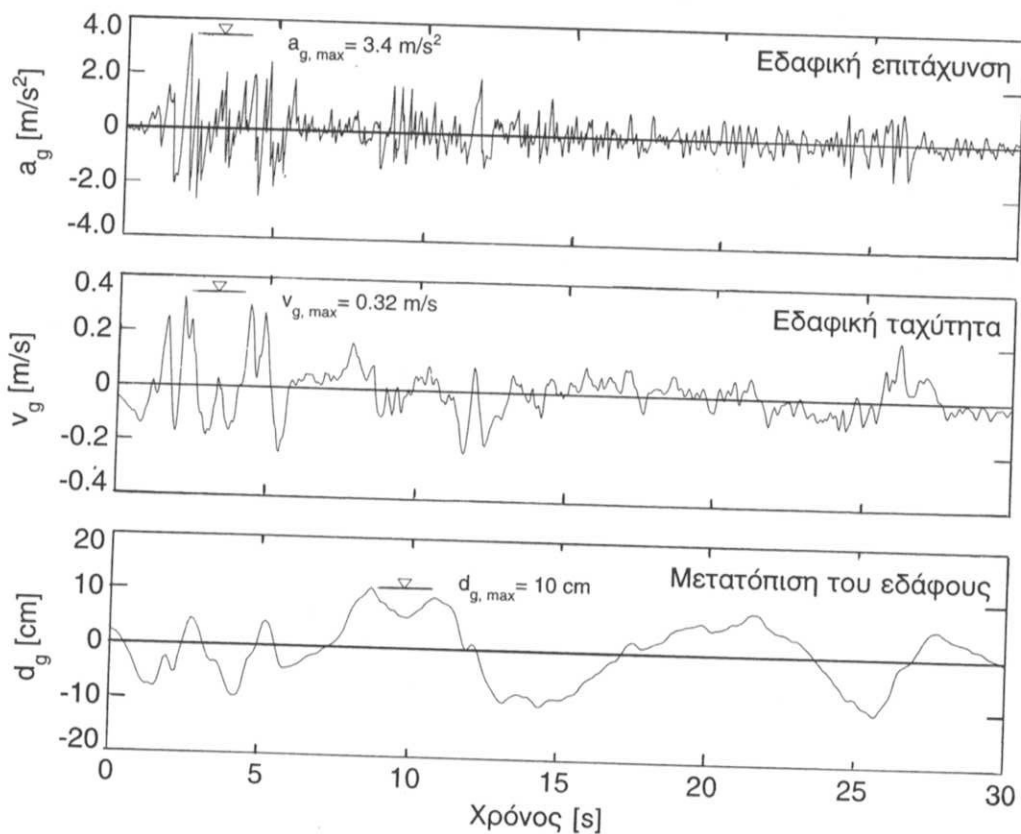
Η ΚΑΛΥΨΤΕΡΑ ΕΝΑ ΚΥΚΛΟΣ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΟΣ ΠΑΡΑ ΠΟΛΥ ΚΥΚΛΟΙ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΠΕΡΙΟΔΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ !!



→ ΠΙΘ ΚΑΤΑΣΤΕΛΙΣΤΙΚΟΣ

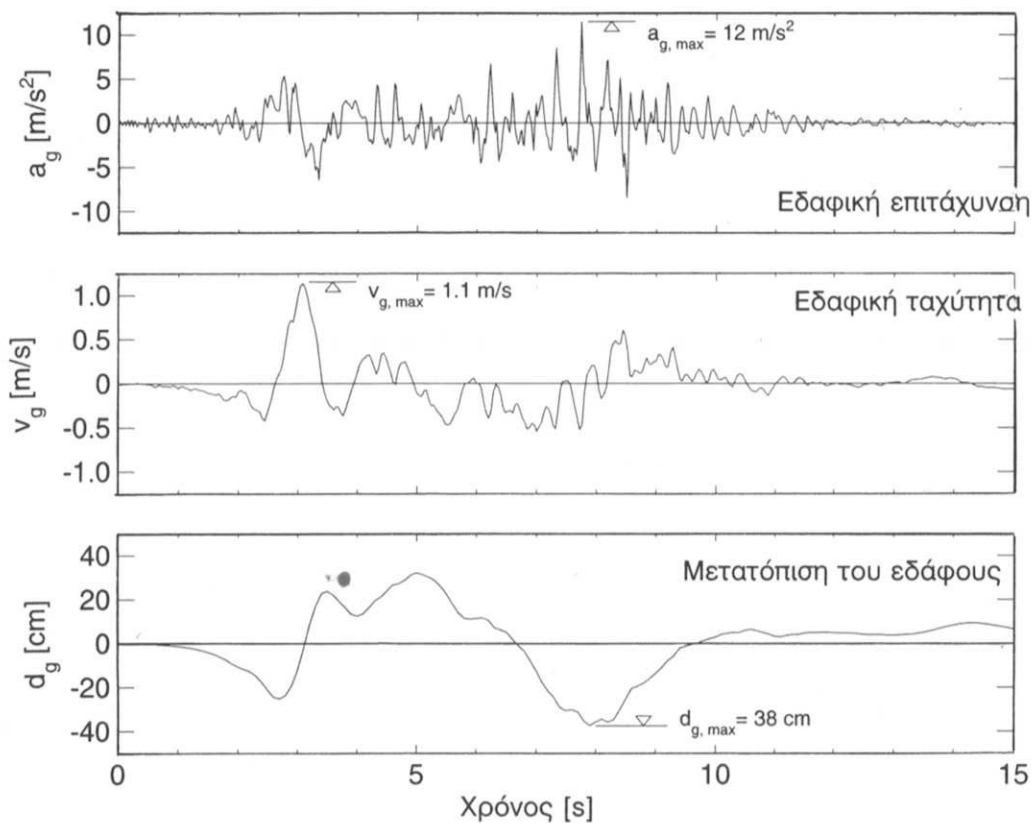
### 2.6.2 Χρονική εξέλιξη της κίνησης του εδάφους

Μεγάλο ενδιαφέρον έχουν τα διαγράμματα μεταβολής των μεγεθών εδαφικής κίνησης, εδαφική επιτάχυνση (μετρείται), εδαφική ταχύτητα (υπολογίζεται) και μετατόπιση του εδάφους (υπολογίζεται). Στο Σχήμα 2.20 φαίνονται τα διαγράμματα χρονικής μεταβολής της συνιστώσας Βοράς-Νότος του σεισμού στο El Centro του 1940. Ο μέσης ισχύος σεισμός αυτός διήρκεσε μάλλον πολύ και παρουσίασε μια εξαιρετικά ακανόνιστη εξέλιξη. Το Σχήμα 2.21 δείχνει τα διαγράμματα χρονικής μεταβολής της  $N 16^\circ A$  συνιστώσας του σεισμού στο San Fernando του 1971 στο Los Angeles μεγέθους  $M=6.5$ , που καταγράφηκαν σε έναν σταθμό μετρήσεων στον τοξωτό τοίχο του φράγματος της Pacoima. Πρόκειται για  $a_{g,max}=12 \text{ m/s}^2$ , μια πολύ μεγάλη τιμή, που πάντως αμφισβητείται, αν δεν έχει παρειφρήσει και μια ορισμένη χαλάρωση της περιοχής του βράχου κάτω από το καταγραφικό (σε ασυνέχειες) με αντίστοιχο κραδασμό. Τα επιταχυνσιογραφήματα του σεισμού του El Centro και του San Fernando χρησιμοποιούνται συχνά για δυναμικούς υπολογισμούς με εν χρόνω ολοκλήρωση.

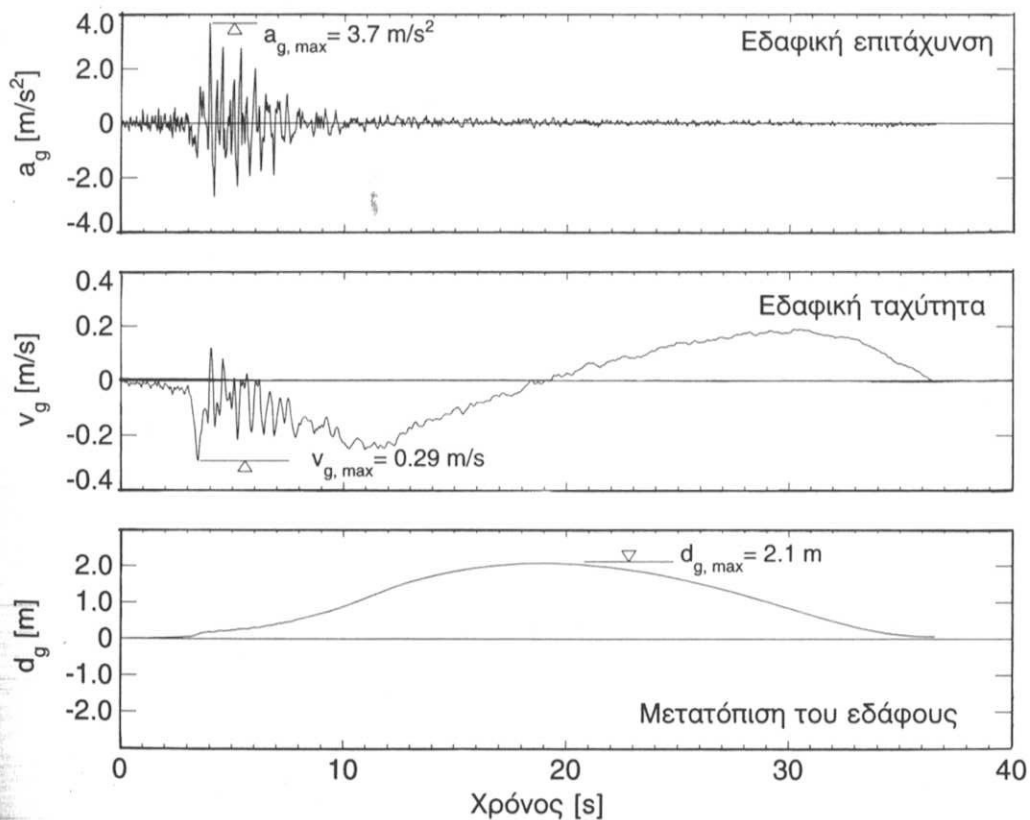


Σχήμα 2.20: Διαγράμματα χρονικής μεταβολής της συνιστώσας Βοράς-Νότος του σεισμού στο El Centro του 1940 (από το [Cal 90])

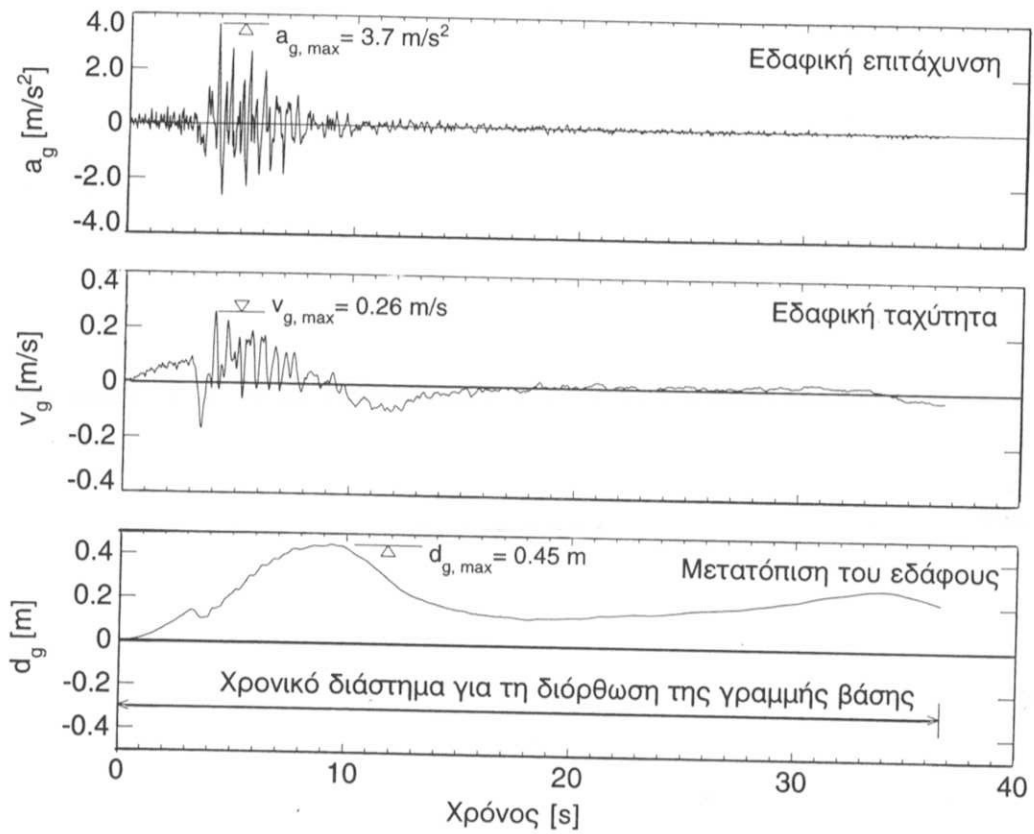
Βάση για τη χάραξη τέτοιων διαγραμμάτων χρονικής εξέλιξης αποτελεί πάντοτε ένα καταγεγραμμένο επιταχυνσιογράφημα (π.χ. Σχ. 2.14). Από αυτό με μια πρώτη ολοκλήρωση υπολογίζεται η χρονική μεταβολή της ταχύτητας και από αυτήν με μιαν ακόμη ολοκλήρωση η χρονική μεταβολή της μετατόπισης. Τα αποτελέσματα των ολοκληρώσεων αυτών είναι πολύ ευαίσθητα ακόμη και σε ασήμαντα σχετικά σφάλματα της καταγραφής της επιτάχυνσης που μπορεί να υπεισέλθουν από την ιδιοταλάντωση του σεισμομέτρου και από άλλες (παρασιτικές) επιρροές. Για τη διόρθωση τέτοιων επιρροών, γίνονται διάφορες παραδοχές και εφαρμόζονται διάφορες διαδικασίες.



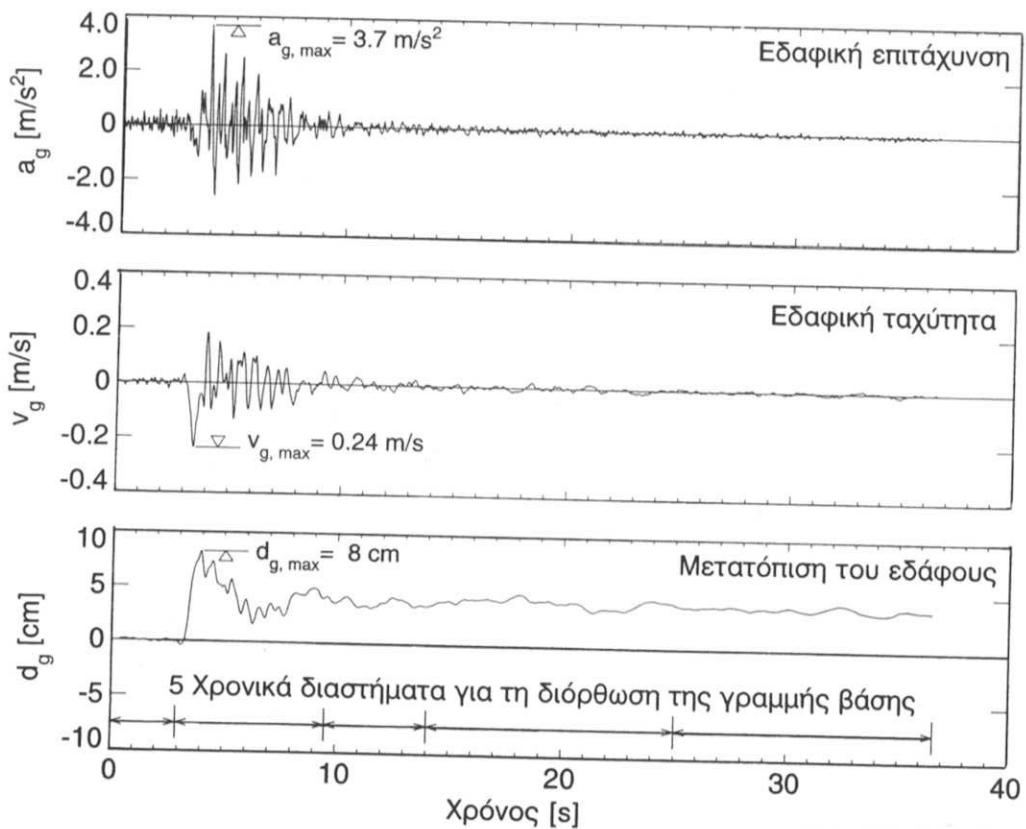
Σχήμα 2.21: Μεταβολή συναρτήσεως του χρόνου της  $N 16^\circ A$  συνιστώσας του σεισμού στο San Fernando το 1971 (φράγμα Rascoima) (από το [Cal 90])



Σχήμα 2.22: Μεταβολή συναρτήσεως του χρόνου της συνιστώσας B-N "Tolmezzo" του σεισμού στο Φρίουλι του 1976 με διόρθωση της γραμμής βάσης με την παραδοχή "καμία μόνιμη μετατόπιση του εδάφους" (από το [ENEL 76])



Σχήμα 2.23: Μεταβολή συναρτήσεϊ του χρόνου της συνιστώσας B-N "Tolmezzo" του σεισμού στο Φρίουλι του 1976 με διόρθωση της γραμμής βάσης με την παραδοχή "Ελαχιστοποίηση των τετραγώνων των εδαφικών ταχυτήτων" με ένα χρονικό διάστημα [Wen 92]



Σχήμα 2.24: Μεταβολή συναρτήσεϊ του χρόνου της συνιστώσας B-N "Tolmezzo" του σεισμού στο Φρίουλι του 1976 με διόρθωση της γραμμής βάσης με την παραδοχή "Ελαχιστοποίηση των τετραγώνων των εδαφικών ταχυτήτων" με 5 χρονικά διαστήματα [Wen 92]

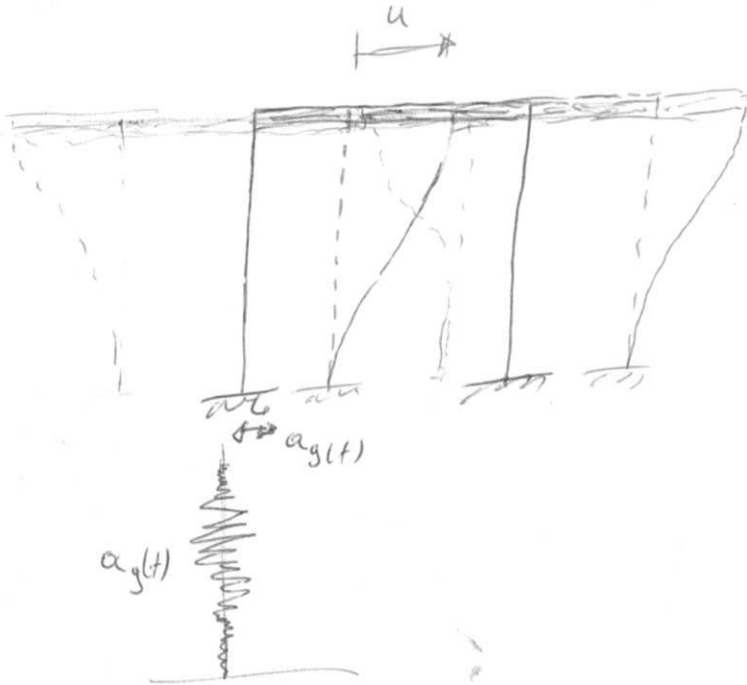
Συχνά, στα καταγραφόμενα επιταχυνσιογραφήματα γίνεται μια διόρθωση της γραμμής βάσης τέτοιου τύπου ώστε μετά το σεισμό να μην προκύπτουν καθόλου μόνιμες μετατοπίσεις του εδάφους. Έτσι όμως μπορεί να προκύψουν παράλογα μεγάλες μέγιστες μετατοπίσεις του εδάφους  $d_{g,max}$ . Το Σχήμα 2.22 στηρίζεται στο επιταχυνσιογράφημα του Σχ. 2.14, που παρουσιάζεται ξανά εδώ, της συνιστώσας B-N του σταθμού Tolmezzo του σεισμού του 1976 στο Φρίουλι με διόρθωση με βάση την παραδοχή που προαναφέρθηκε [ENEL 76]. Προκύπτει  $d_{g,max} \sim 2.10$  m, πράγμα που δεν μπορεί να ευσταθεί.

Μια άλλη μέθοδος διόρθωσης στηρίζεται στην ελαχιστοποίηση των τετραγώνων των εδαφικών ταχυτήτων. Το αντίστοιχο αποτέλεσμα, για μεταβολή συναρτήσεως του χρόνου της συνιστώσας B-N του σταθμού Tolmezzo του σεισμού του 1976 στο Φρίουλι, φαίνεται στο Σχήμα 2.23, όπου για τη διόρθωση της γραμμής βάσης χρησιμοποιήθηκε ένα μόνο χρονικό διάστημα 36 s και στο Σχήμα 2.24 όπου η διόρθωση έγινε με βάση 5 χρονικά διαστήματα. Είναι προφανές ότι οι διορθώσεις επηρεάζουν κυρίως τις μετατοπίσεις του εδάφους, αλλά και τις ταχύτητες του εδάφους, ενώ η μεταβολή των εδαφικών επιταχύνσεων είναι ανεπαίσθητη [Wen 92].

Από τα παραδείγματα αυτά γίνεται προφανής η δυσκολία συναγωγής, από τα επιταχυνσιογραφήματα, αξιόπιστων τιμών για την ταχύτητα και τη μετατόπιση. Από τις πιο πάνω τρεις εναλλακτικές πιο κοντά στην πραγματικότητα βρίσκεται πιθανότερα η τρίτη (Σχήμα 2.24), για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ξανά και στα επόμενα. Το πόσο σωστή είναι η μόνιμη μετατόπιση των περίπου 4 cm που προκύπτει εκεί δεν μπορεί πάντως - με αξιοπιστία - να σταθμισθεί.

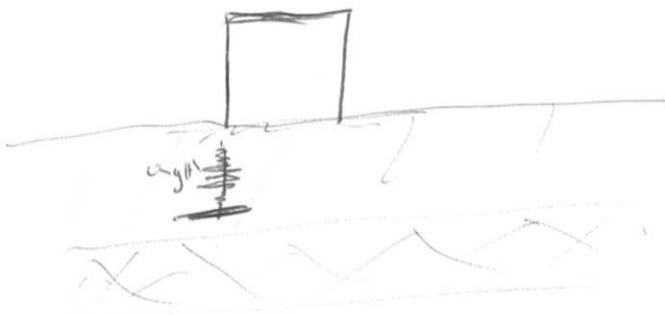
ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΓΙΑ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΟ → Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ΣΕΙΣΜΟΣ → ΑΠΟΤΟΜΗ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΞΟΜΟΝΗ ΚΙΝΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ



$$u_{tot} = a_g(t) + u(t)$$

ΟΧΙ ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΩΝΑ ΔΙΟΤΙ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟ ΡΗΜΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΑΡΕΜΒΑΛΛΕΤΑΙ ΕΩΣ ΦΙΚΕ ΣΤΡΟΦΕΣ



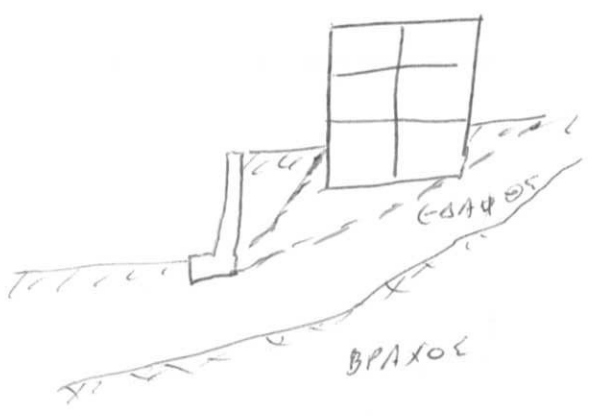
$$a_g(t) \text{ αΠΟΖΕΥΜΑ ΤΩΝ}$$

$$a_g'(t)$$

ΤΕΙ Αθήνας - Τμ. Πολιτικών Έργων Υποδομής

Μπορούμε να έχουμε μεγάλες παραμορφώσεις του εδάφους πριν τη διεγερση των κατασκευών και πρώιμα φαινόμενα

• ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΕΙΣ



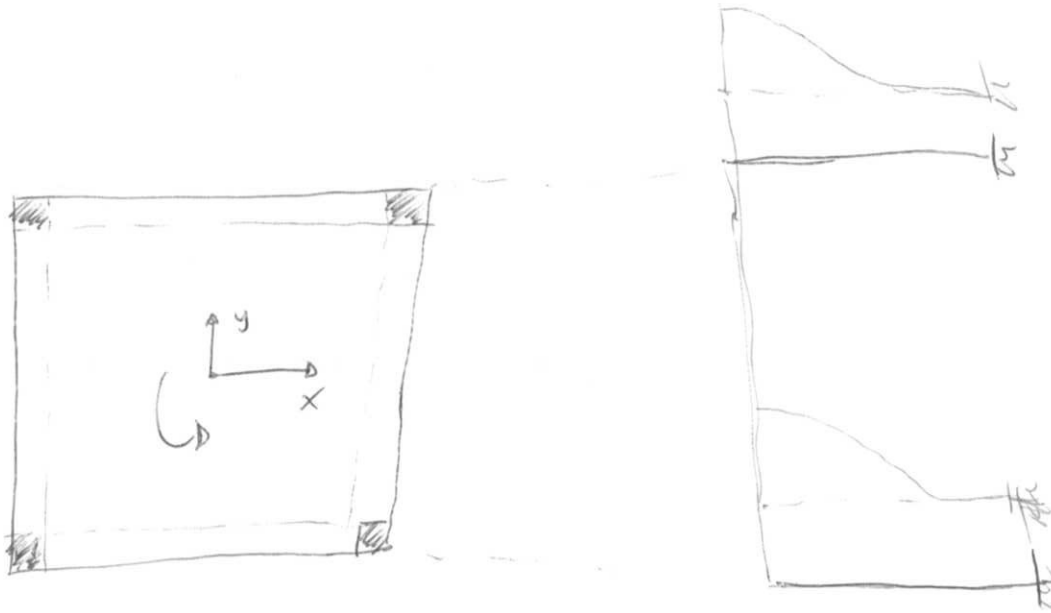
• ΡΕ-ΣΤΟΡΟΙΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ : ΕΔΑΦΟΣ ΧΑΝΕΙ ΠΛΗΡΟΣ ΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΙΑ ΜΕ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΝ ΚΑΘΙΣΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΤΡΟΠΗ, ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΣΕ ΚΟΡΕΣΜΕΝΑ ΑΜΜΟΔΙΙ ΕΔΑΦΗ ΜΕ ΟΡΙΣΜΕΝΗ ΚΩΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

• ΣΥΜΑΥΚΝΩΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ : ΟΙ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΕΥΜΑΥΚΝΩΣΗ ΣΤΑ ΜΗ ΣΥΝΩΚΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΜΕ ΣΥΝΑΚΟΛΟΥΘΕΣ ΚΑΘΙΣΤΗΣΕΙΣ, 1%.

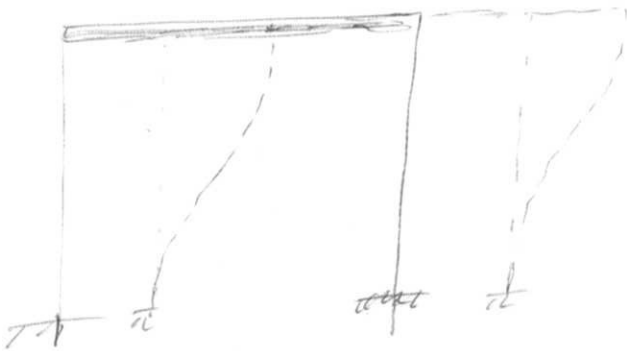
• ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ : ΑΛΛΙΟΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΛΟΓΟ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΤΗΣ ΚΑΤΗΚΕΥΤΗΣ. ΑΠΟΤΕ ΔΥΣΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕ ΕΥΜΕΝΕΣ ΓΙΑ ΤΙΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Η ΑΛΛΙΟΣΗ ΕΙΝΑΙ ΜΕΓΑΛΗ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΑΛΑΚΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΔΥΣΕΦΑΜΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΑΜΕΛΗΤΑ ΣΚΛΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΕΥΚΛΗΡΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΛΟΓΩ ΣΕΙΣΜΟΥ

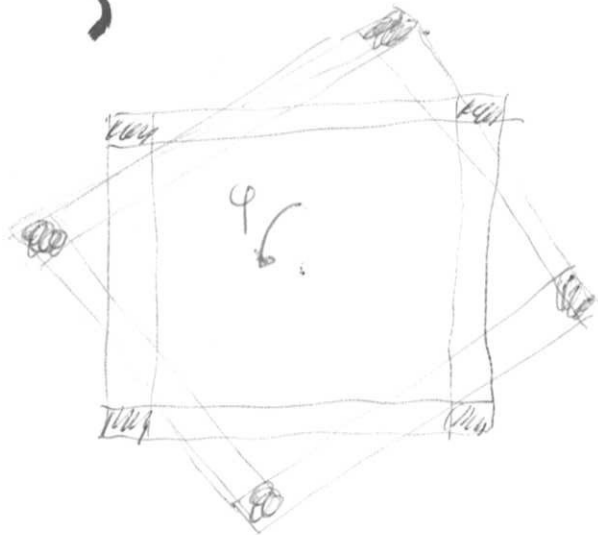


ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ Υ



• ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ Χ

• ΣΤΡΟΦΗ

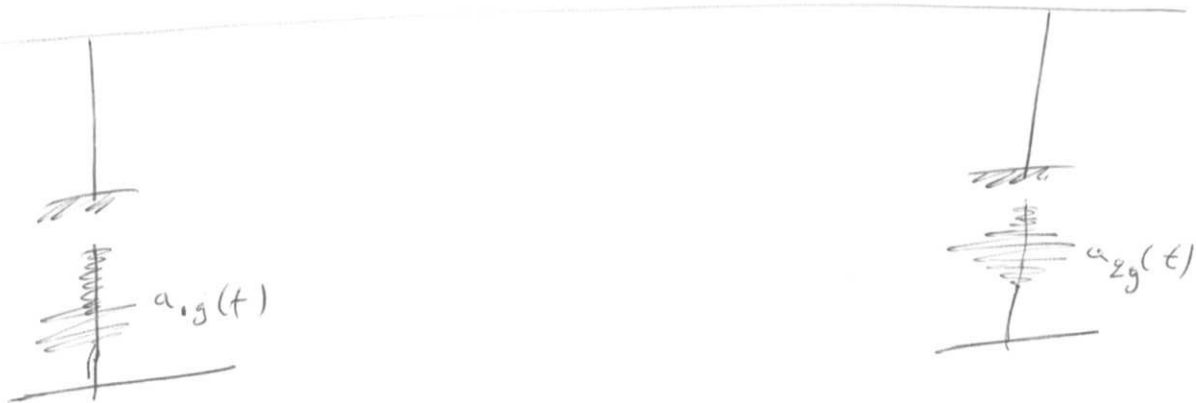


- ΜΟΝΟΡΟΦΟ

- ΔΙΑΔΥΟΡΟΦΟ

15/06/10

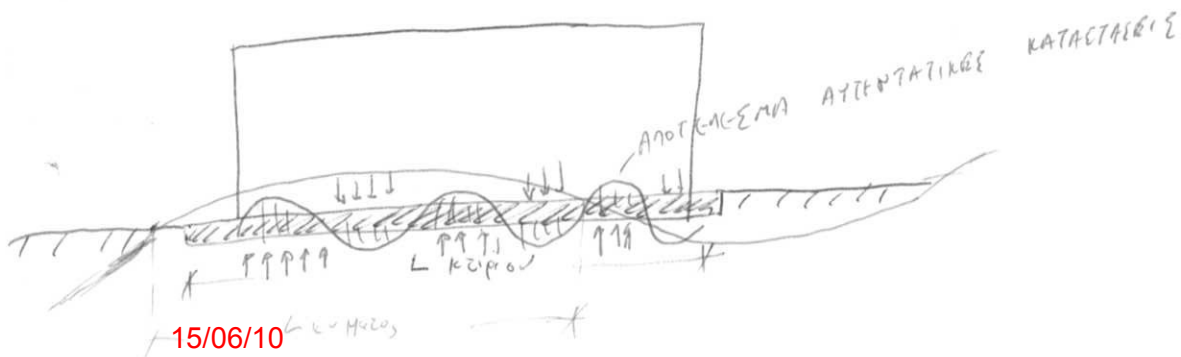
ΠΟΛΑΠΛΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

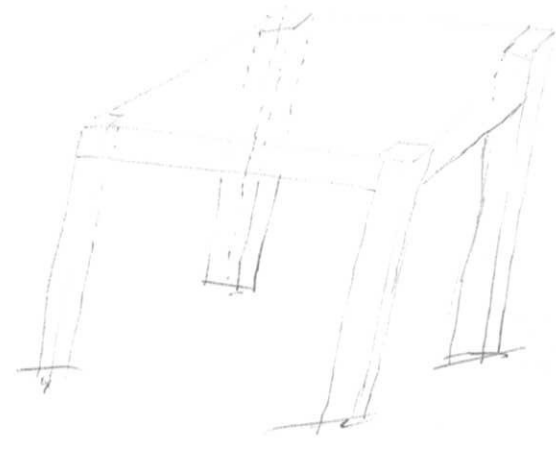
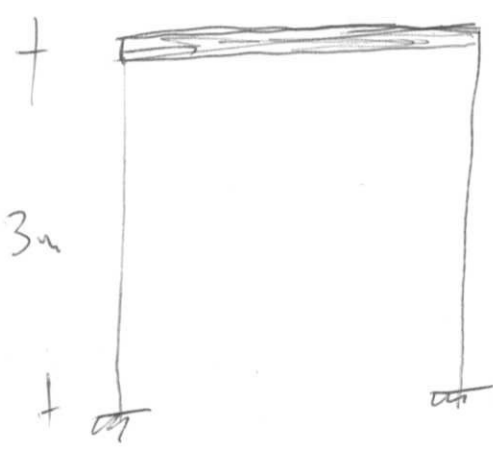
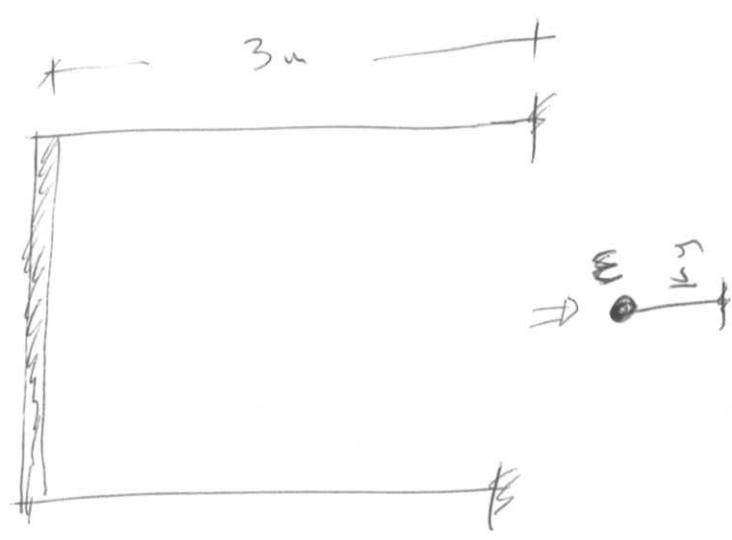
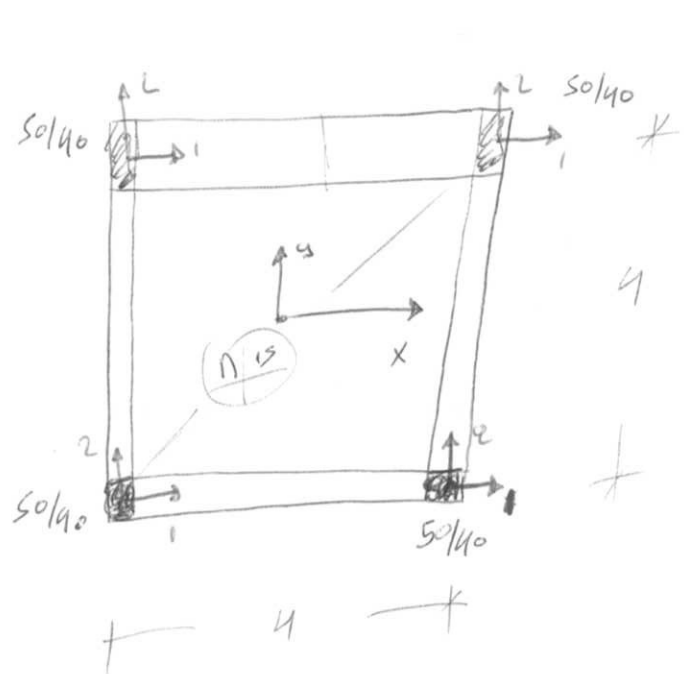


$a_1, a_2$  ανεξάρτητες κινήσεις



ΕΠΙΜΗΚΕΙΣ ΚΑΙ ΔΥΣΚΑΜΟΤΕΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ  
ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΕΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΑΝΗΛΟ ΑΝΘΙΡΕΣΕΩΝ

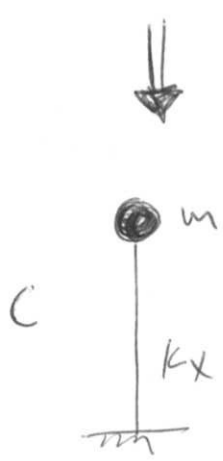




ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$\frac{c}{m} = 2\zeta\omega$$



ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΣ ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ

$\zeta$  : Ποσοστό αποθέρσης, 2,5, 10%  
ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

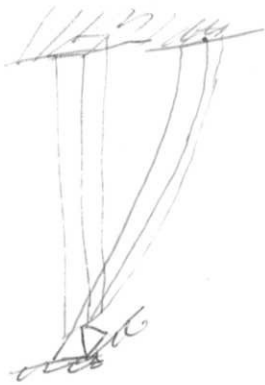
$c$  : Συντελεστής αποθέρσης



$$F = k \delta$$

$$k = \frac{12 EI}{h^3}$$

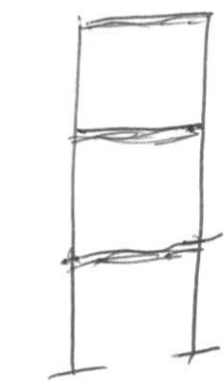
$$I = \frac{b a^3}{12}$$



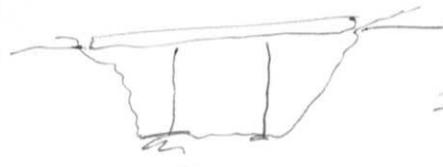
$$k = \frac{3 EI}{h^3}$$

$$I = \frac{b a^3}{12}$$

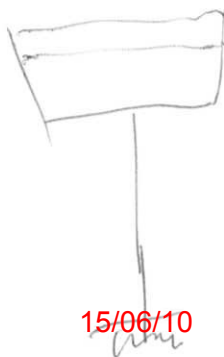
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ



=>



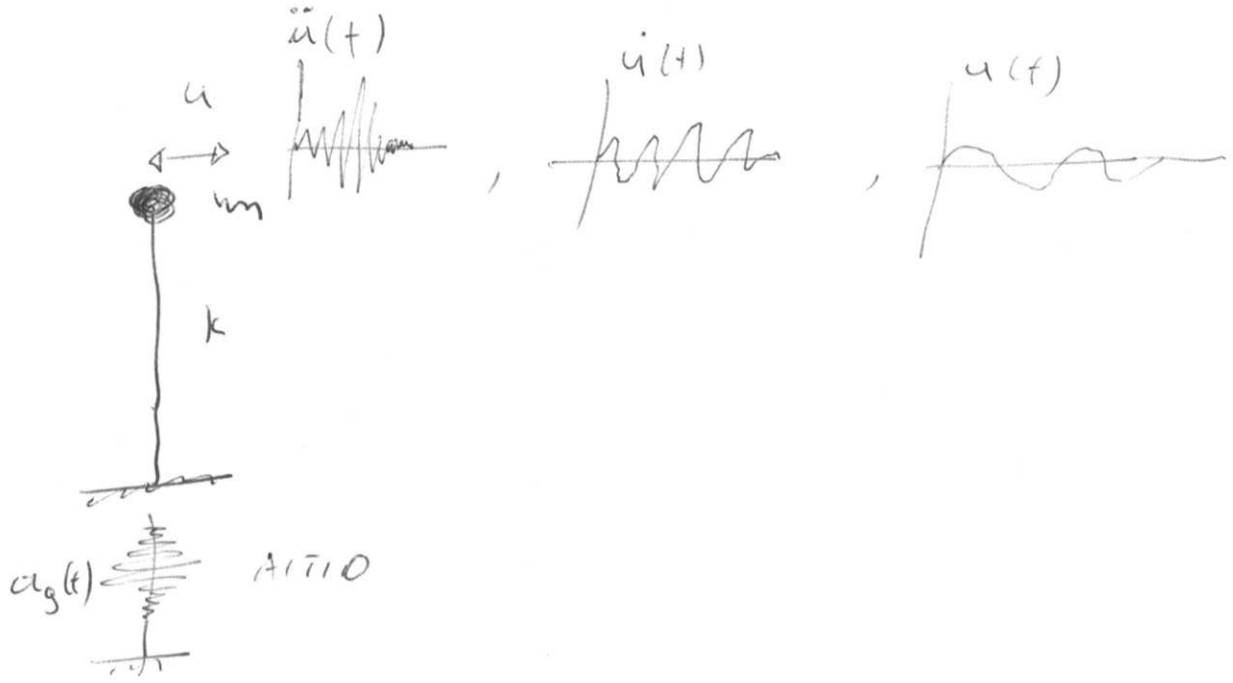
=>



=>



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ

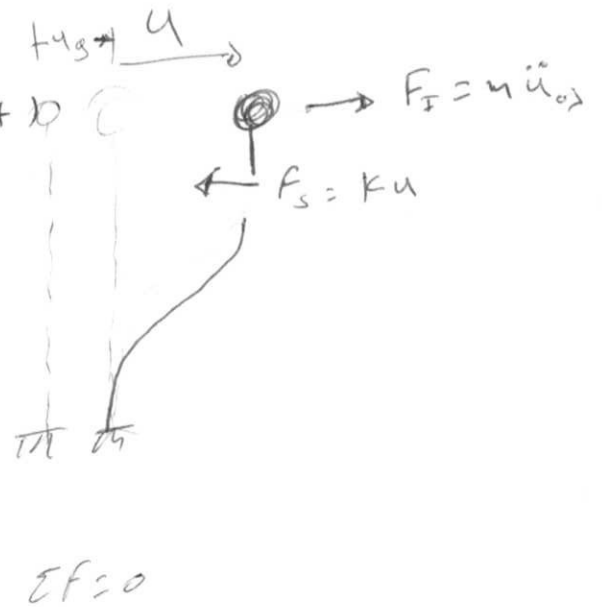
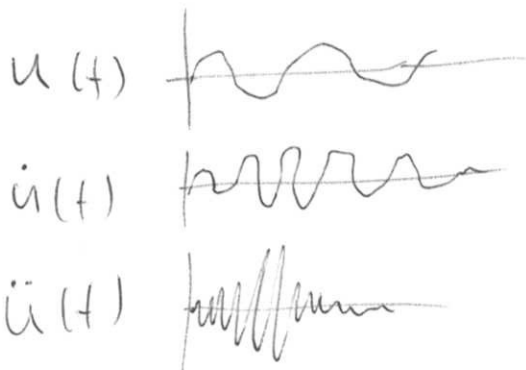


•  $\ddot{u}, \dot{u}, u$  ΤΗΝ ΜΕΤΡΑΜΕ ΜΕ ΟΡΓΑΝΩ

• ΥΠΟΛΟΓΙΣΟΥΜΕ ΛΥΝΟΝΤΑΣ ΜΙΑ Δ.Ε ΠΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m a_g(t)$$

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ



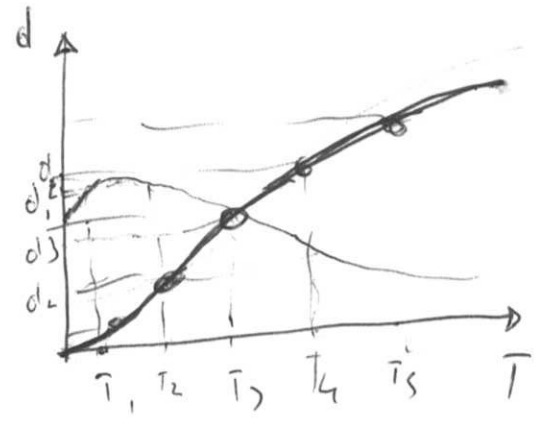
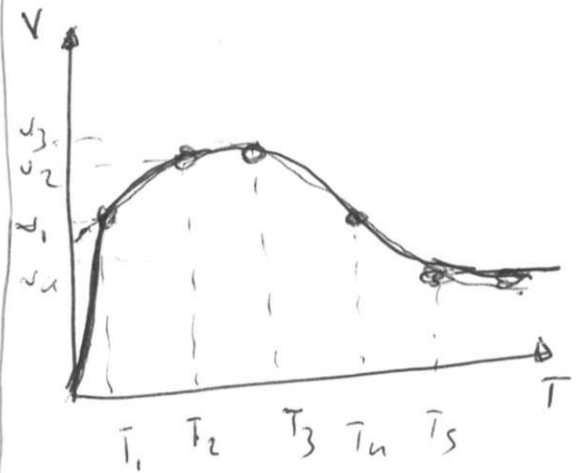
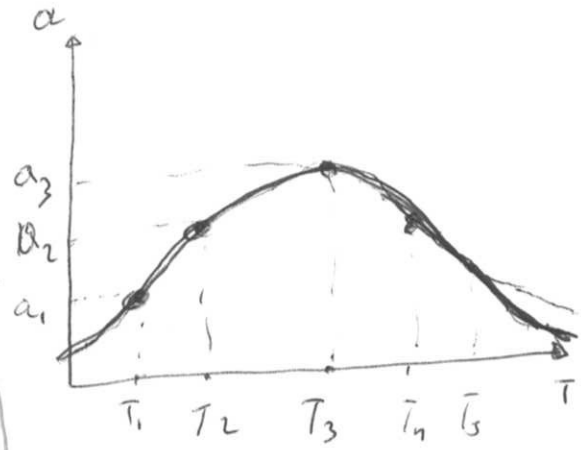
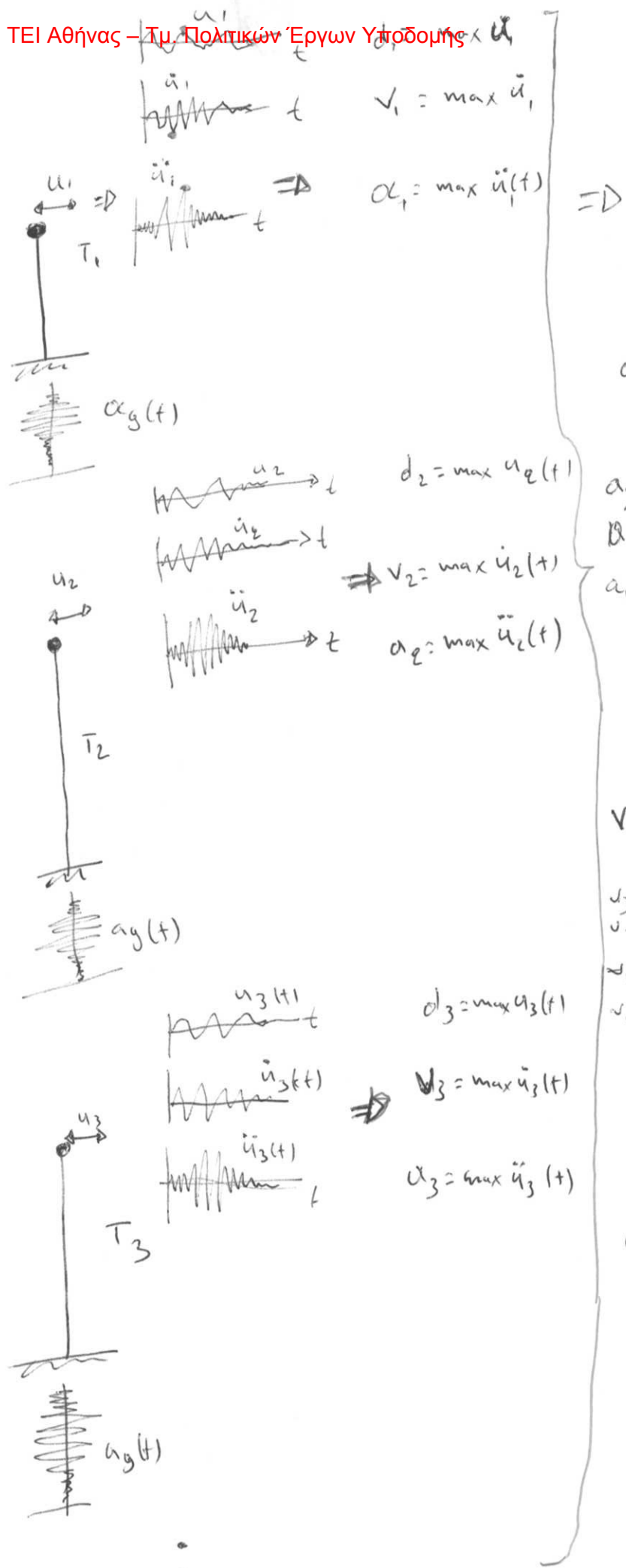
$\Sigma F = 0$

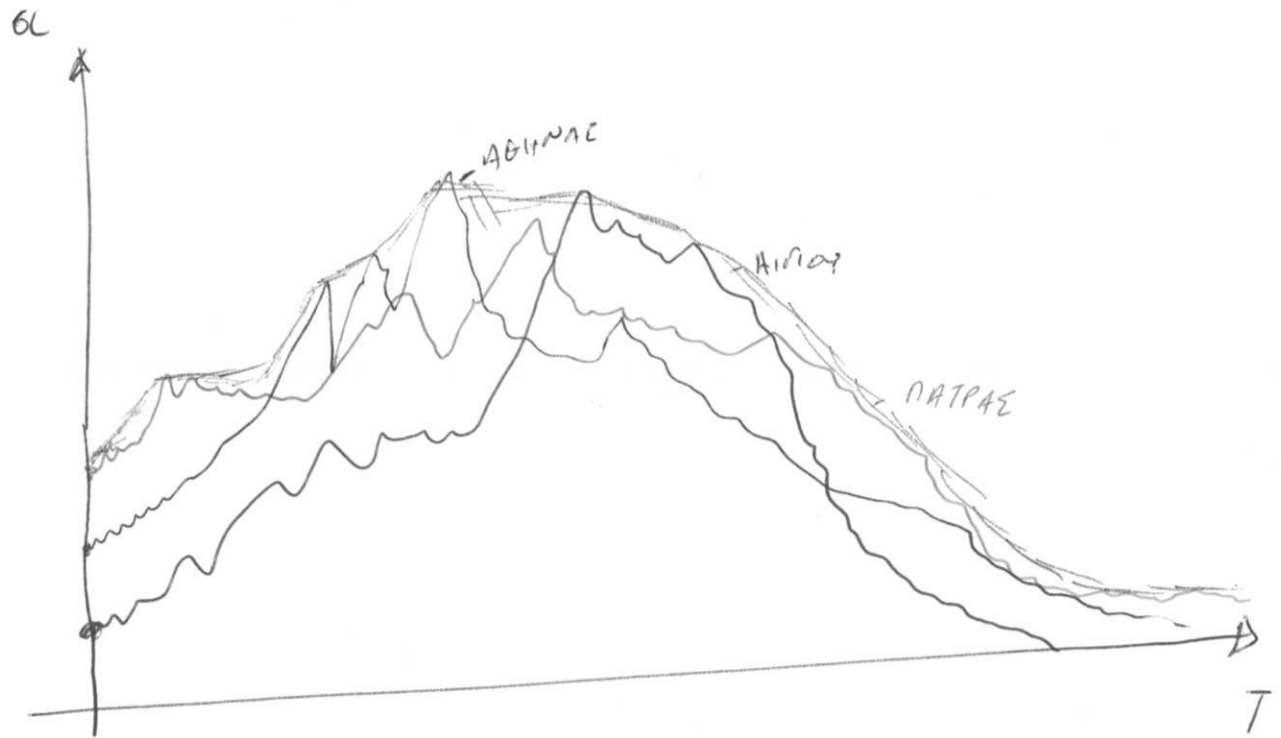
## ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

Φ. Α.

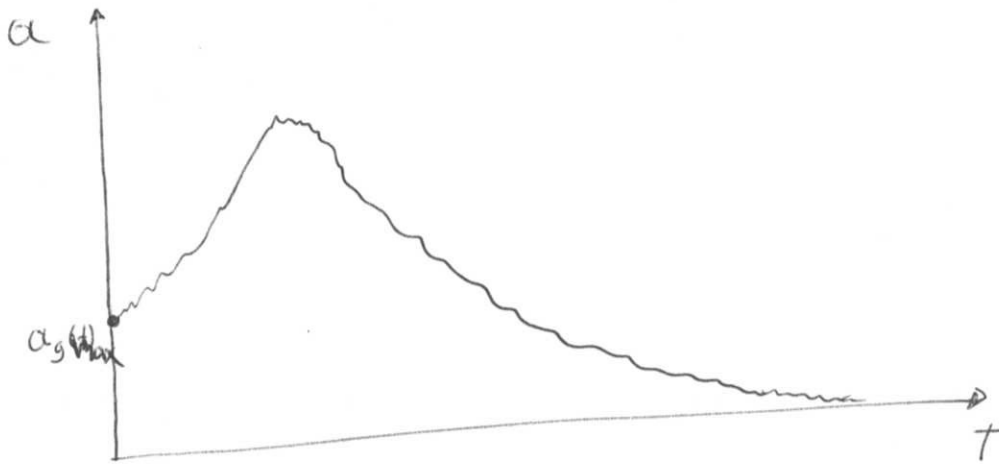
## ΕΤΡΕΞΗ Φ. Α.

- ΠΛΗΘΟΣ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΩΝ ΤΑΤΑΝΤΩΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡ. ΠΕΡΙΟΔΟ Τ ΔΙΕΓΕΙΡΟΝΤΑΙ ΣΤΟΝ ΛΟΔΑ ΜΕΣ = ΜΙΑΣ ΕΣΦΑΡΙΚΗΣ ΕΛΙΤΑΧΥΜΕΝΗΣ Ο ΚΑΘΕ ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ ΕΚΤΕΛΕΙ ΜΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ
- ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΤΑΙ Η ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΚΡΙΣΗΣ
  - ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ  $d$
  - - / - ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ  $v$
  - ΑΠΟΛΥΤΗΣ ΕΛΙΤΑΧΥΜΕΣΗΣ  $a$
- ΟΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ ΚΑΘΕ ΤΑΛΑΝΤΩΤΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΟΝΤΑΙ ΩΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ  $S_d$ ,  $S_v$ ,  $S_a$ , ΑΠΟΤΥΠΩΝΟΝΤΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΣΗΜΕΙΑ ΣΥΝΔΕΟΝΤΑΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΤΩ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΕΙΝΑΙ ΕΝΑ ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ
- ΤΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
  - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ
  - ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



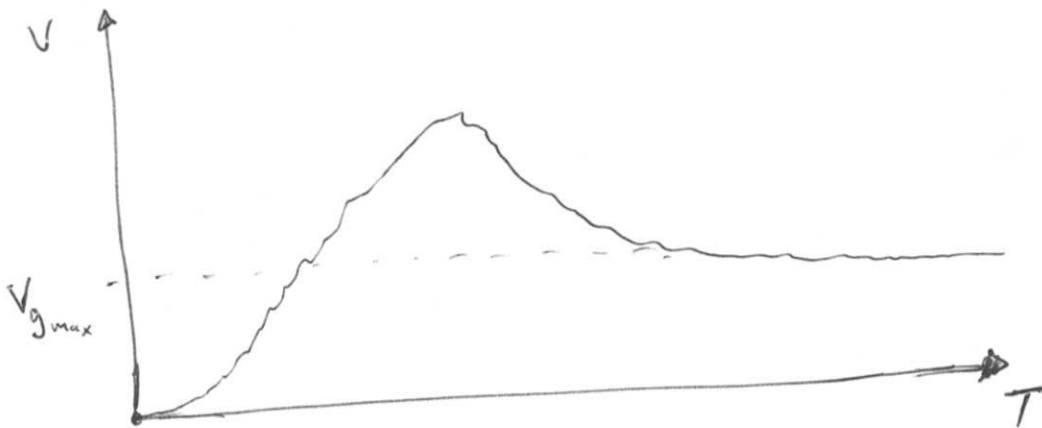


- ΚΑΘΕ ΣΕΙΣΜΟΣ  $\Rightarrow$  ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ
- ΠΕΡΙΒΑΛΟΥΣΑ ΤΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ  $\Rightarrow$  ΤΟ "ΦΑΣΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ"



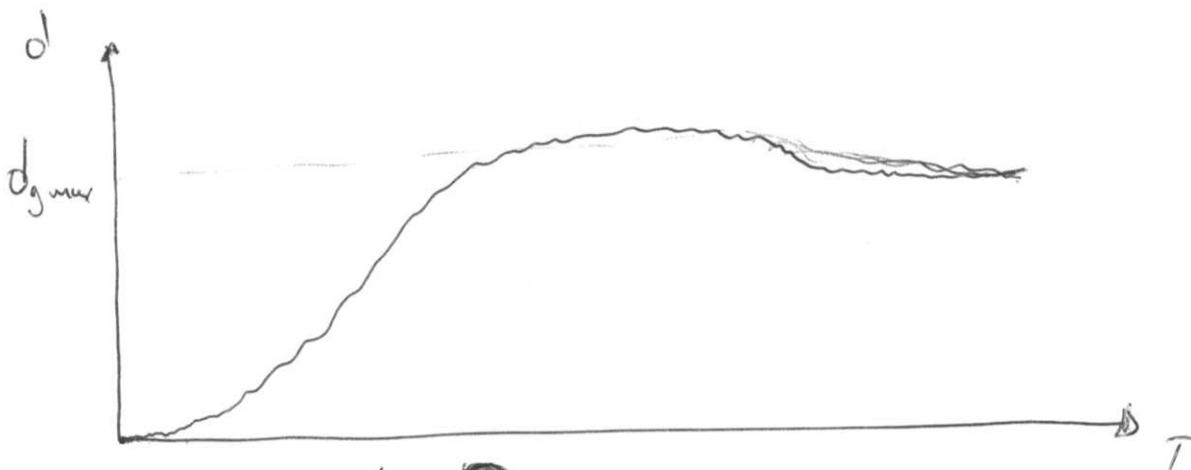
$$T \rightarrow 0 \quad \alpha \approx \alpha_g(\max)$$

$$T \rightarrow \infty \quad \alpha \rightarrow 0$$



$$T \rightarrow 0 \quad V = 0$$

$$T \rightarrow \infty \quad V = V_{g \max}$$



$$T \rightarrow \infty$$

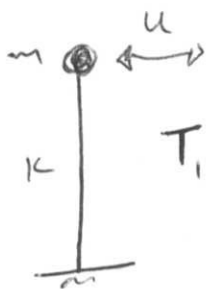
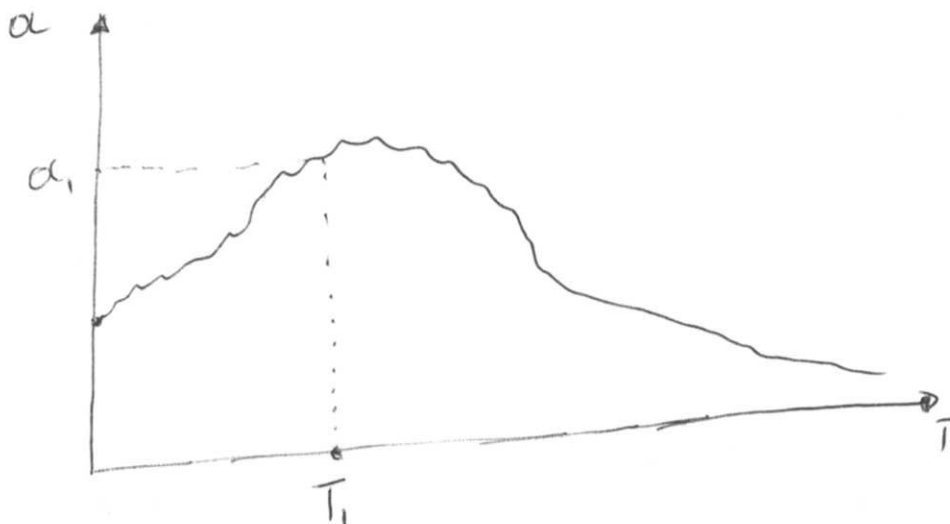
$$d = d_{g \max}$$

$v \approx \omega d$       ΨΕΥΔΟ ΤΑΧΥΤΗΤΑ

$\alpha = \omega^2 d$       ΨΕΥΔΟΕΡΙΤΑΧΥΝΣΗ

$\omega^2 = \frac{k}{m}$

- ΑΥΞΗΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΕΩΣ ΑΠΟ ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΤ ΣΥΣΤ.

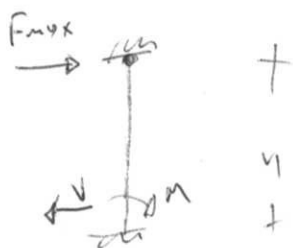


$\max \ddot{u} = \alpha_1$

$\max u = d = \frac{\alpha_1}{\omega^2}$

$\max \dot{u} = v = \frac{\alpha_1}{\omega}$

$F_{max} = m \alpha_1$



ΑΜΦΙΠΛΑΚΤΟ

$M = \frac{F_{max} \cdot h}{2}$

$V = F_{max}$

ΜΟΜΟΠΛΑΚΤΟ

$M = F_{max} \cdot h$

$V = F_{max}$