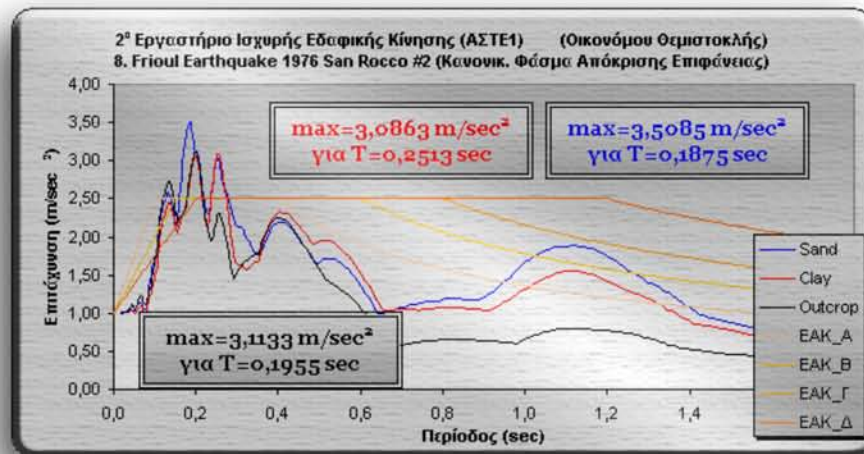


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»

# Α.Σ.Τ.Ε. Ι

Υπεύθυνοι: *Κ. Πιτιλάκης, Κ. Μάκρα*

*Ασκήσεις Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης*



Όνοματεπώνυμο: *Οικονόμου Θεμιστοκλῆς*

*Δευτέρα, 27 Ιανουαρίου 2003*

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ  
ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Μάθημα: Ισχυρή Εδαφική Κίνηση

Διδάσκοντες: Κ. Πιτιλάκης, Κ. Μάκρα

Θεσσαλονίκη, 29 Οκτωβρίου 2002

**ΑΣΚΗΣΗ**

Με δεδομένα τα επιταχυνσιογραφήματα των τριών συνιστωσών ενός σεισμού, να υπολογίσετε με τη βοήθεια του προγράμματος CYBERQUAKE και να παραστήσετε γραφικά τις παρακάτω συναρτήσεις:

1. το φάσμα Fourier (πλάτους και φάσης) - Δώστε και τον ορισμό του φάσματος Fourier
2. τα φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης για αποσβέσεις 5% και στη συνέχεια τα κανονικοποιημένα φάσματα απόκρισης
3. α) Ποια είναι η φυσική σημασία των φασμάτων απόκρισης και σε τι διαφέρουν από τα φάσματα Fourier; β) Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν τη μορφή των φασμάτων απόκρισης; γ) πώς οι τοπικές εδαφικές συνθήκες επηρεάζουν τη μορφή των φασμάτων απόκρισης;
4. τη διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης (διάγραμμα HUSID - ένταση ARIAS)

Όνομα αρχείου Σεισμού:

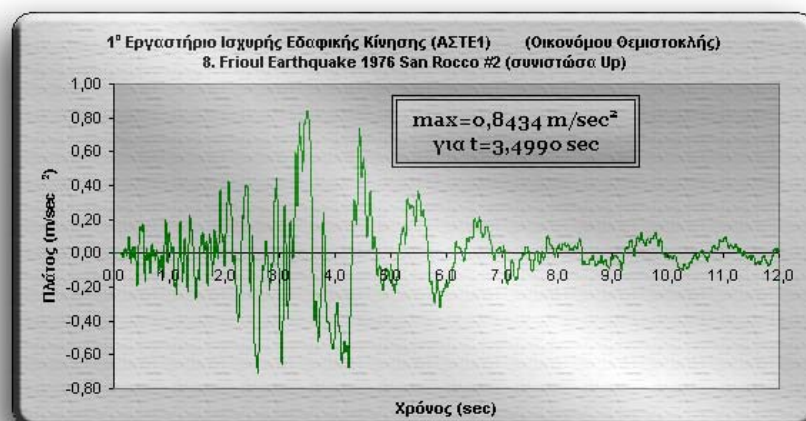
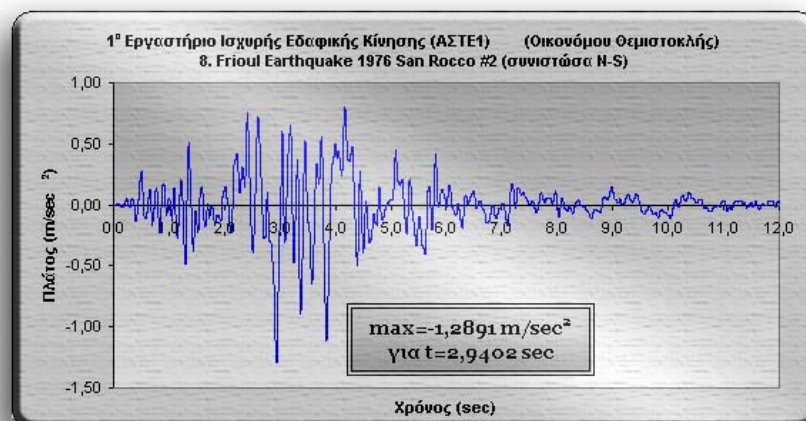
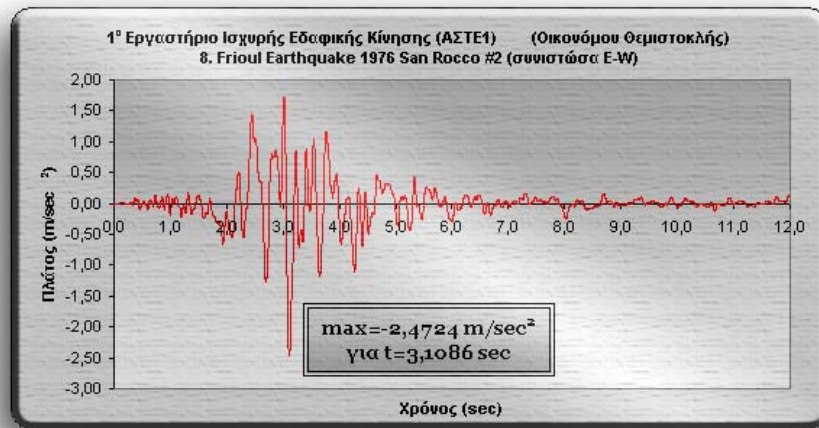
1. Saguenay Earthquake 1988 St Jean, Quebec
2. Valparaiso Earthquake 1985 Univ. of Santa Maria
3. Pejibaye de Turrialba Earthquake 1993 APGU, Presa #1
4. Pejibaye de Turrialba Earthquake 1993 APGU, Presa #2
5. Pejibaye de Turrialba Earthquake 1993 APGU, Presa #3
6. San Salvador Earthquake 1986 National Geographical Instituto
7. Frioul Earthquake 1976 San Rocco #1
8. Frioul Earthquake 1976 San Rocco #2
9. Irpinia Earthquake 1980 Bagnoli Irpino
10. Irpinia Earthquake 1980 Sturno
11. Irpinia Earthquake 1981 Cairano-3
12. Lazio-Abruzzo Earthquake 1984 Atina
13. Lazio-Abruzzo Earthquake 1984 Villetta Barrea
14. Sicily Earthquake 1978 Naso
15. Umbria Earthquake 1984 Nocera Umbra
16. Valnerina Earthquake 1979 Cascia-Albergo Pellegrino
17. Hakone Area (Ashigara) Earthquake 1990 KS1
18. Hakone Area (Ashigara) Earthquake 1990 KS2
19. Michoacan Earthquake 1985 Papanoa
20. Michoacan Earthquake 1985 El Suchil

Όνοματεπώνυμο: Οικονόμου Θεμιστοκλής

ΠΑΡΑΔΟΣΗ: 27 Ιανουαρίου 2003

Ο σεισμός με τον οποίο ασχοληθήκαμε στο εργαστήριο ήταν ο εξής:  
Frioul Earthquake 1976 San Rocco #2

Οι τρεις συνιστώσες του σεισμού είναι η E-W (κόκκινο χρώμα), η N-S (μπλε χρώμα) και η κατακόρυφη (πράσινο χρώμα) και είναι οι κάτωθι:



**1) Φάσμα Fourier – Ορισμός.**

Το πρόγραμμα Cyberquake, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια του εργαστηρίου αυτού, έχει τη δυνατότητα από το επιταχυνσιογράφημα κάποιας συνιστώσας του σεισμού να δημιουργήσει το φάσμα Fourier του, χρησιμοποιώντας προαιρετικά κάποιο φίλτρο.

**Ορισμός του φάσματος Fourier.**

Αποδεικνύεται ότι κάθε περιοδική πολύπλοκη κίνηση μπορεί να αναλυθεί σε απειρία αρμονικών, των οποίων το άθροισμα θα δώσει την αρχική κίνηση. Αν, λοιπόν, η αρχική κίνηση είναι  $\ddot{u}(t)$ , ισχύει:

$$\ddot{u}(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cdot \sin(\omega_n \cdot t + \phi_n)$$

$c_n$  : Το πλάτος της n-στής αρμονικής

$\phi_n$  : Η φάση της n-στής αρμονικής

$$\omega_n : \omega_n = \frac{2\pi}{T} n$$

Συχνότητες μεγαλύτερες από 20 Hz δεν έχουν αισθητή επιρροή στην τελική σύνθεση, οπότε μπορούμε να ορίσουμε συχνότητα αποκοπής για τα δικά μας επιταχυνσιογραφήματα τα 25 Hz.

Φάσμα πλάτους Fourier ορίζεται η γραφική παράσταση του πλάτους  $C_n$  με τη συχνότητα  $\omega_n$ .

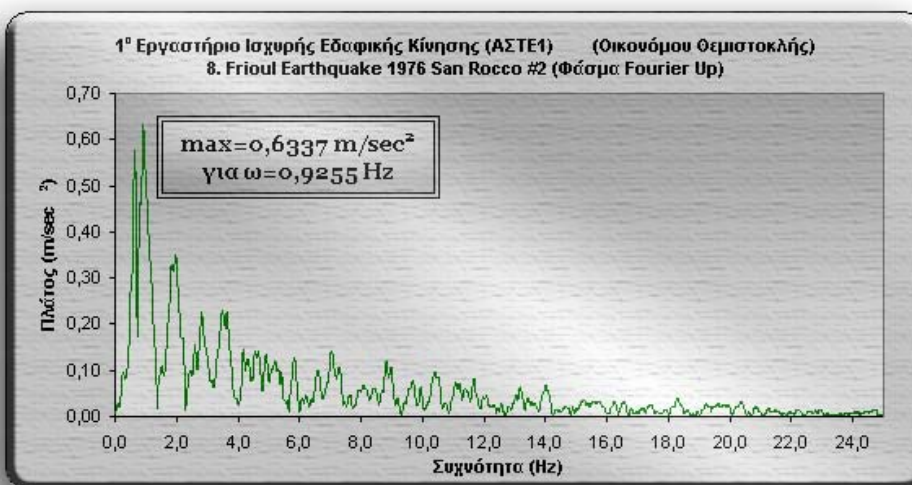
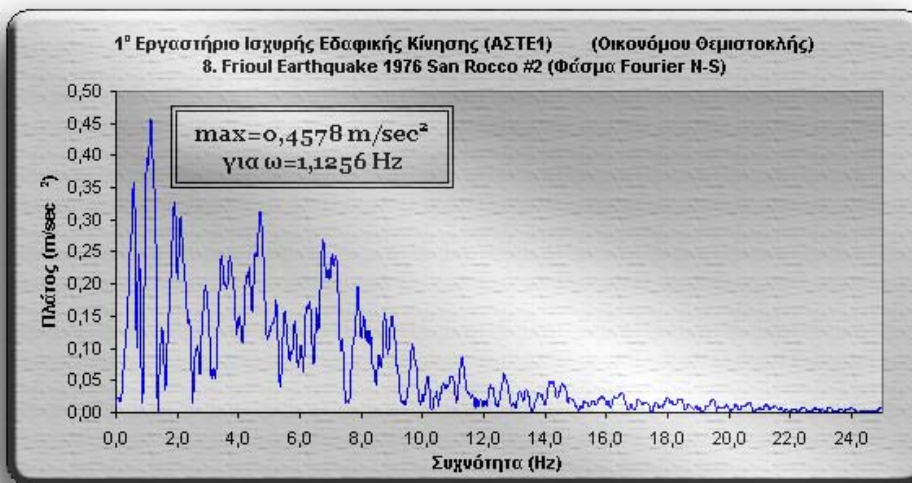
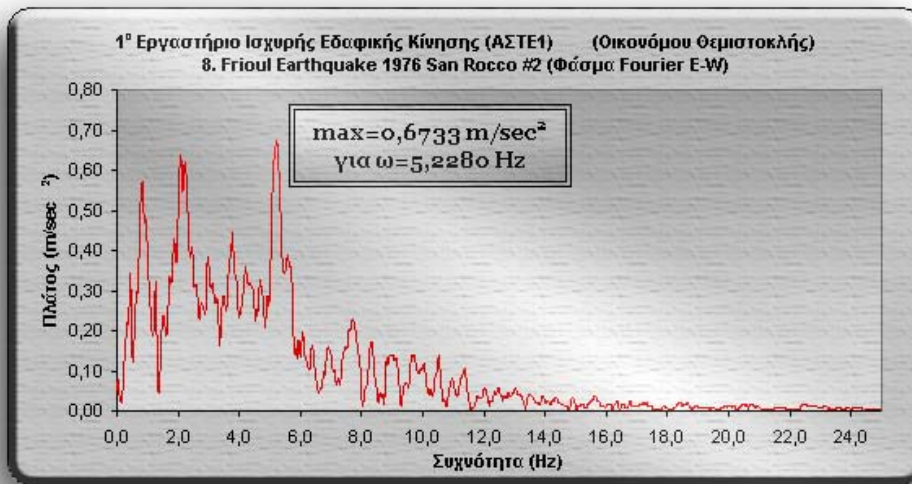
Φάσμα φάσης Fourier ορίζεται η γραφική παράσταση της φάσης  $\phi_n$  με τη συχνότητα  $\omega_n$ .

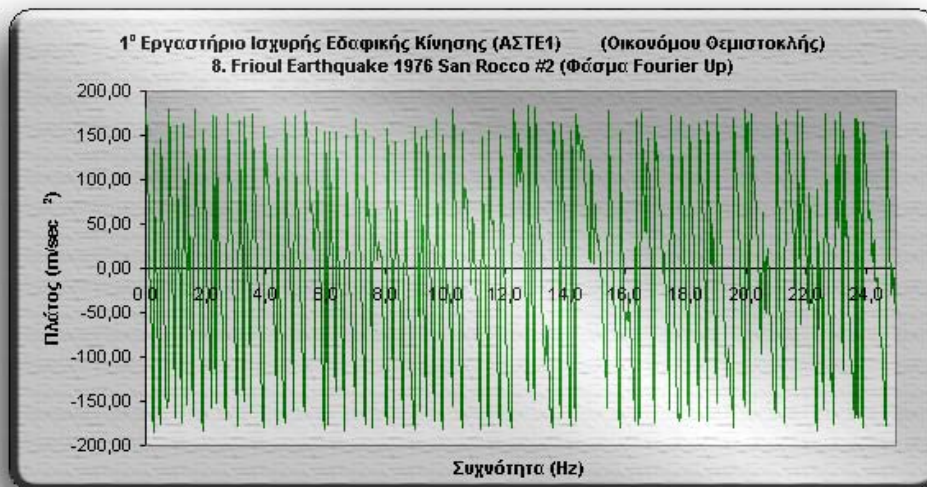
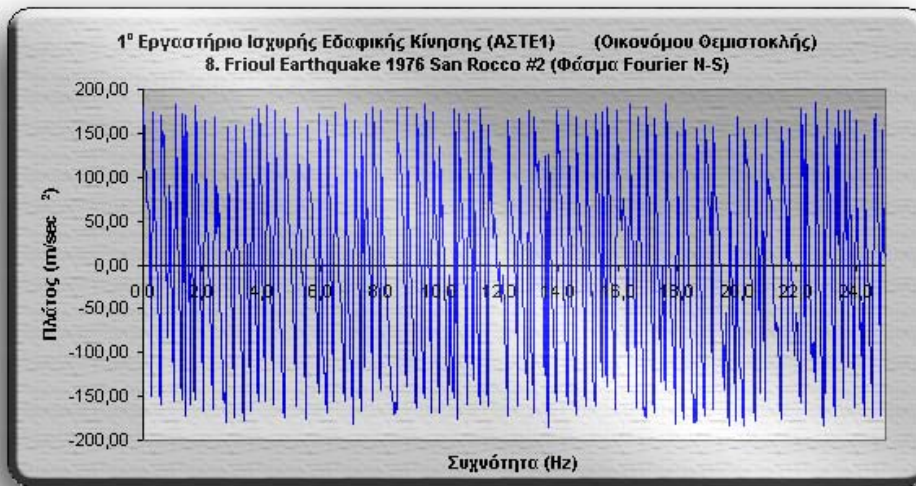
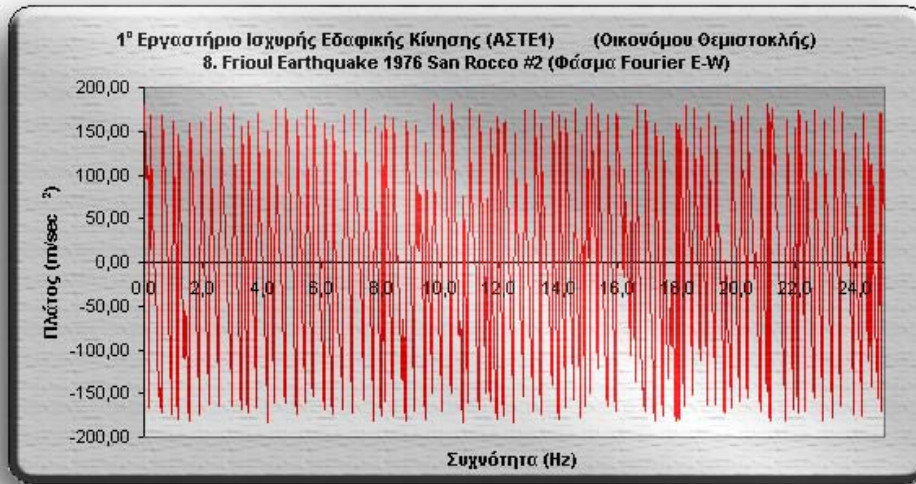
Το φάσμα Fourier είναι χρήσιμο επειδή βοηθά στον υπολογισμό της συνολικής σεισμικής ενέργειας που περιέχεται σε μία ισχυρή εδαφική κίνηση διάρκειας  $t$ . Επίσης, μπορεί να μας δώσει μια γενική εικόνα για το ποιές συχνότητες είναι αυτές που ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες για κάποια συγκεκριμένη κίνηση.

Με τα ανωτέρω υπόψιν και με τη βοήθεια του προγράμματος Cyberquake, παίρνουμε τα παρακάτω φάσματα πλάτους Fourier και φάσματα φάσης Fourier για τη συνιστώσα E-W (κόκκινο χρώμα), τη συνιστώσα N-S (μπλε χρώμα) και την κατακόρυφη συνιστώσα (πράσινο χρώμα) του σεισμού με τον οποίο ασχολούμαστε.

Παρατηρούμε ότι η κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού έχει πλούσιες χαμηλές συχνότητες σε αντίθεση με ό,τι παρατηρούμε στις οριζόντιες συνιστώσες. Οι λόγοι έχουν εξηγηθεί ήδη στα πλαίσια εργασίας στο ίδιο μάθημα, αλλά αρκεί να αναφερθεί ότι γενικά η διαστρωμάτωση του εδάφους οδηγεί σε διαφορετικές «αλλοιώσεις» μεταξύ της κατακόρυφης συνιστώσας ενός σεισμού και των οριζοντίων του.









## **2) Κανονικοποιημένα και μη φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης.**

Το πρόγραμμα Cyberquake, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια του εργαστηρίου αυτού, έχει τη δυνατότητα από το επιταχυνσιογράφημα κάποιας συνιστώσας του σεισμού να δημιουργήσει το φάσμα απόκρισής του, με το ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης που επιθυμούμε.

### **Ορισμός του φάσματος απόκρισης.**

Το φάσμα απόκρισης μιας σεισμικής κίνησης ορίζεται η γραφική παράσταση των τιμών της μέγιστης απόκρισης (εδώ: της επιτάχυνσης) όλων των μονοβάθμιων ταλαντωτών με συγκεκριμένη απόσβεση, ως συνάρτηση της φυσικής τους ιδιοσυχνότητας ή ιδιοπεριόδου (εδώ: ιδιοπεριόδου) και του συντελεστή απόσβεσης, όταν αυτοί οι ταλαντωτές διεγείρονται από τη συγκεκριμένη σεισμική κίνηση.

Δηλαδή, αν θέλουμε το φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων κάποιας συνιστώσας ενός σεισμού κάνουμε την εξής διαδικασία:

Διεγείρουμε μία σειρά μονοβάθμιων ταλαντωτών με ίδια απόσβεση (π.χ. 5%) με τη συνιστώσα του σεισμού. Οι ταλαντωτές αυτοί έχουν διαφορετική ιδιοπερίοδο (π.χ.  $\approx 0$  sec, 0.02 sec, 0.04 sec κ.ο.κ). Σημειώνουμε για κάθε ταλαντωτή τη μέγιστη τιμή απόκρισης (π.χ. επιτάχυνση) που προκάλεσε η συνιστώσα του σεισμού. Τέλος, μεταφέρουμε τα ζεύγη (ιδιοπερίοδος ταλαντωτή, μέγεθος απόκρισης) σε ένα διάγραμμα που ονομάζεται φάσμα απόκρισης.

### **Ορισμός του κανονικοποιημένου φάσματος απόκρισης.**

Είναι η διαίρεση ενός φάσματος απόκρισης με την αντίστοιχη μέγιστη τιμή (μετακίνησης, ταχύτητας ή επιτάχυνσης) του επιταχυνσιογραφήματος από το οποίο προήλθε.

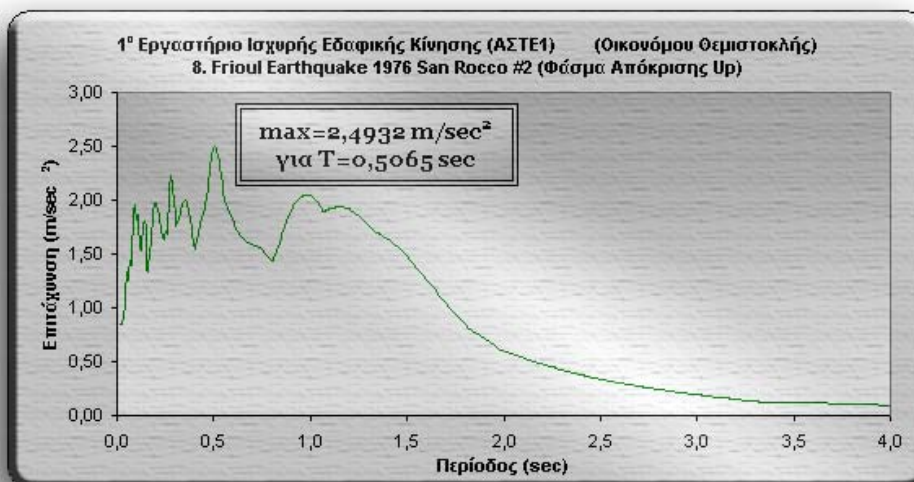
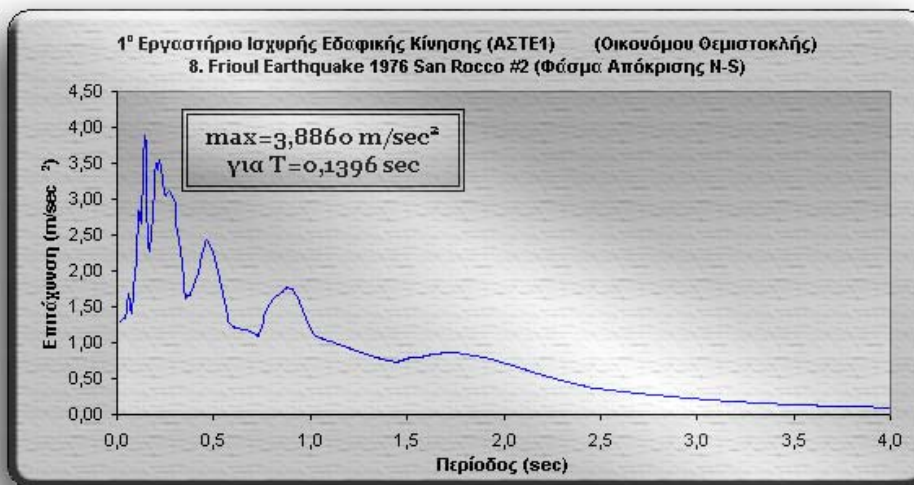
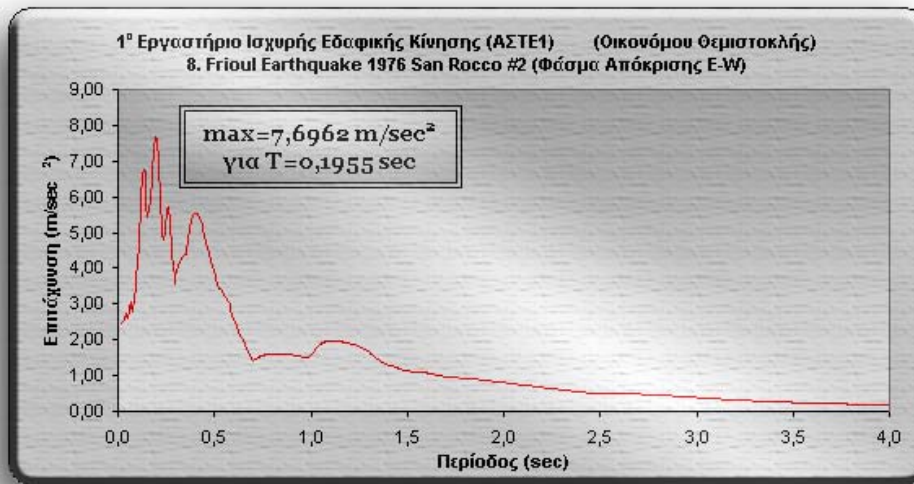
Ως έλεγχο του αποτελέσματος της κανονικοποίησης, αναφέρουμε ότι η τιμή (π.χ. της επιτάχυνσης) του κανονικοποιημένου φάσματος απόκρισης θα πρέπει να είναι για  $T=0$  ίση με τη μονάδα.

Έχοντας τα ανωτέρω υπόψιν, εισάγουμε τις 3 συνιστώσες του σεισμού του θέματος στο πρόγραμμα Cyberquake και με δεδομένη απόσβεση (5%), το τελευταίο δημιουργεί τα αντίστοιχα φάσματα απόκρισης. Έχοντας ήδη τις μέγιστες τιμές για καθεμία από τις συνιστώσες, με μια απλή διαίρεση των φασμάτων απόκρισης, παίρνουμε επίσης τα κανονικοποιημένα φάσματα απόκρισης.

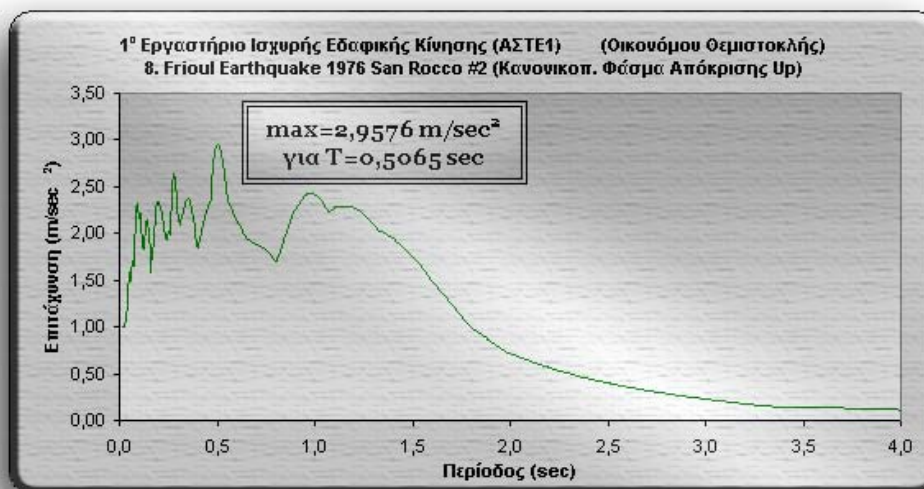
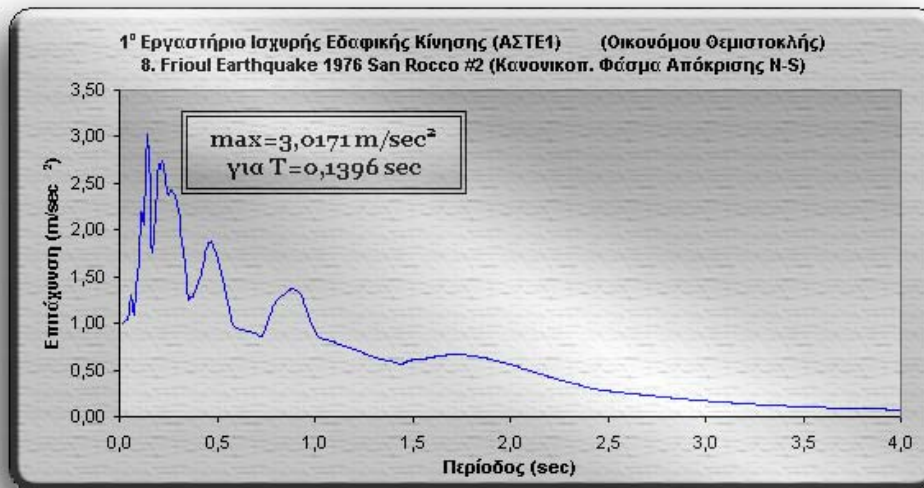
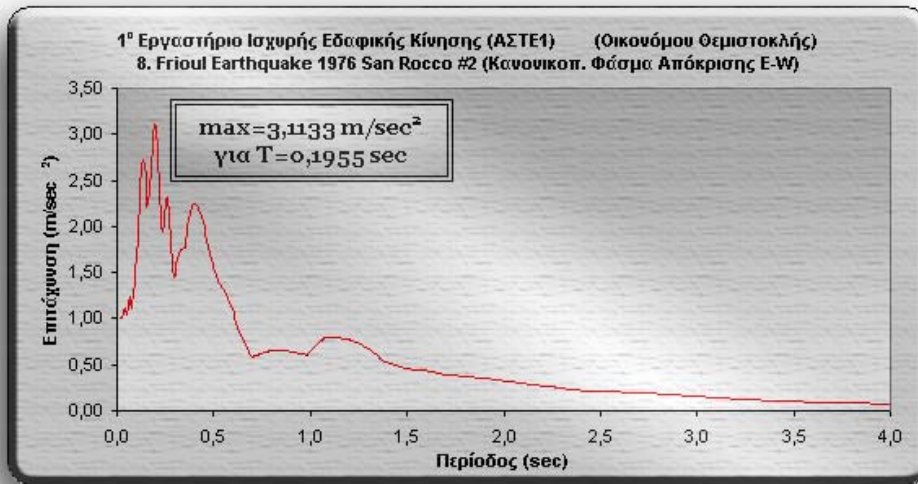
Συνιστώσα E-W → κόκκινο χρώμα.

Συνιστώσα N-S → μπλε χρώμα.

Κατακόρυφη Συνιστώσα → πράσινο χρώμα.







**3) Γενικές ερωτήσεις φασμάτων απόκρισης.****3.1) Ποια είναι η φυσική σημασία των φασμάτων απόκρισης και σε τι διαφέρουν από τα φάσματα Fourier;**

Το φάσμα των απόλυτων μετακινήσεων  $S_d$  δίνει απ' ευθείας την μέγιστη μετακίνηση και συνεπώς και την μέγιστη ελαστική δύναμη (για δεδομένη ιδιοσυχνότητα  $\omega$  και απόσβεση  $\xi$ ):

$$F_{s,\max} = K \cdot S_d \text{ και}$$

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} S_d(\xi, \omega) = |u_g(t)|_{\max}$$

Το φάσμα απόλυτης επιτάχυνσης  $S_a$  (ή και ψευδοεπιτάχυνσης PSA) δίνει τη μέγιστη δύναμη αδράνειας της μάζας της κατασκευής, που για συνηθισμένες τιμές απόσβεσης ( $\xi \leq 5\%$ ), ορίζει ουσιαστικά και την ελαστική δύναμη που επιβάλλεται στο σύστημα:

$$S_a \approx PSA \approx \omega_n \cdot PSV = \omega_n^2 \cdot S_d$$

$$F_{s,\max} = K \cdot u_{\max} = K \cdot S_d = \omega^2 \cdot m \cdot S_a = m \cdot S_a$$

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} PSA = |\ddot{u}_g(t)|_{\max}$$

Ο λόγος  $\frac{PSA}{\ddot{u}_{g,\max}}$  εκφράζει, ανάλογα και με την ιδιοπερίοδο της κατασκευής, τον συντελεστή μεγέθυνσης (ή και μείωσης) των επιταχύνσεων της κάθε κατασκευής, σχετικά με την μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους.

Η φασματική ταχύτητα εκφράζει τη συνολική (κινητική και δυναμική) ενέργεια που εισάγεται στη κατασκευή ανά μονάδα μάζας:

$$E = \frac{1}{2} \cdot S_v^2$$

Τα φάσματα απόκρισης μας βοηθούν να υπολογίσουμε για κάθε συχνότητα ή περίοδο τις μέγιστες τιμές της κίνησης (απόκριση). Ουσιαστικά, αν ξέρουμε ότι το έδαφος (ή εναλλακτικά μια κατασκευή) έχει μια συγκεκριμένη ιδιοπερίοδο, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε πώς αναμένεται να είναι η απόκρισή της σε συγκεκριμένη σεισμική κίνηση, της οποίας έχουμε το φάσμα απόκρισης (απλότητα δυναμικών υπολογισμών). Για αυτό το λόγο, με έναν απλό τρόπο (που επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωσή τους σε κανονισμούς) μπορεί να περιγραφεί πλήρως το πολύπλοκο φαινόμενο της ισχυρής εδαφικής κίνησης.

Η διαφορά τους από τα φάσματα Fourier έγκειται στο γεγονός ότι τα φάσματα Fourier προέρχονται από ανάλυση της σεισμικής κίνησης σε «άπειρες» αρμονικές, με τις τετμημένες και τεταγμένες του διαγράμματος να είναι συχνότητα  $\omega_n$  κάθε αρμονικής με το πλάτος  $C_n$  (ή τη φάση  $\Phi_n$ ) που αντιστοιχεί σε αυτήν, αντίστοιχα.

Τα φάσματα Fourier για τον ανωτέρω λόγο έχουν μικρότερη σημασία στη σεισμική μηχανική απ' ό,τι τα φάσματα απόκρισης, παρ' ό,τι τα τελευταία βοηθούν σε έμμεση περιγραφή της ισχυρής εδαφικής κίνησης.

### 3.2) Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν τη μορφή των φασμάτων απόκρισης;

Αποδεικνύεται ότι η μέγιστη απόκριση  $|u(t)_{\max}|$  ενός τυχαίου μονοβάθμιου ταλαντωτή με χαρακτηριστικά την κυκλική ιδιοσυχνότητα  $\omega_n$  και απόσβεση  $\xi$  είναι για διέγερση  $\ddot{u}_g(t)$ :

$$|u(t)_{\max}| = -\frac{1}{\omega_n \sqrt{1-\xi^2}} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) \cdot e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot (t-\tau)} \cdot \sin \omega_n \cdot \sqrt{1-\xi^2} \cdot (t-\tau) d\tau$$

Έτσι, λοιπόν, οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μορφή των φασμάτων απόκρισης (εκτός από την ίδια τη σεισμική κίνηση) είναι τα μεγέθη  $\omega_n$  και η απόσβεση  $\xi$ .

Γενικά μπορούμε να αναφέρουμε τους εξής παράγοντες που καθορίζουν τη μορφή των φασμάτων απόκρισης, καθώς και μερικά σχόλια για αυτούς:

- ❖ Τοπικές εδαφικές συνθήκες.
- ❖ Γεωλογικές και τοπογραφικές συνθήκες.
- ❖ Μηχανισμός διάρρηξης και διάδοσης της ενέργειας.
- ❖ Μέγεθος του σεισμού (σε συνδυασμό με τις τοπικές εδαφικές συνθήκες).
- ❖ Επικεντρική απόσταση (σε συνδυασμό με τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, κοντινοί σεισμοί έχουν φάσματα απόκρισης πλούσια σε υψηλές συχνότητες).
- ❖ Υποκεντρικό βάθος (σεισμοί ενδιάμεσου ή μεγάλου βάθους έχουν ελαστικά φάσματα απόκρισης πλούσια σε χαμηλές συχνότητες, σε αντίθεση με τους επιφανειακούς σεισμούς που έχουν φάσματα απόκρισης πλούσια σε υψηλές συχνότητες).
- ❖ Διαφορετικό συχνοτικό περιεχόμενο στις δύο πλευρές του ρήγματος.
- ❖ Ισχυροί παλμοί μακράς περιόδου.
- ❖ Οι οριζόντιες συνιστώσες έχουν διαφοροποιημένο φάσμα απόκρισης από την κατακόρυφη (η κατακόρυφη συνιστώσα κατά κανόνα είναι πλούσια μόνο σε χαμηλές περιόδους επειδή διαμορφώνεται κυρίως από κύματα P και S<sub>v</sub>).

### 3.3) Πώς οι τοπικές εδαφικές συνθήκες επηρεάζουν τη μορφή των φασμάτων απόκρισης;

Όπως με τον τραγικότερο τρόπο απέδειξε ο σεισμός στο Michoacan το 1985, οι εδαφικές συνθήκες είναι δυνατόν να επηρεάσουν τη μορφή των φασμάτων απόκρισης. Πιο συγκεκριμένα, η ύπαρξη εξαιρετικά χαλαρών εδαφών σε τμήματα της πόλης αλλοίωσαν το συχνοτικό περιεχόμενο του σεισμού. Αποτέλεσμα ήταν, ενώ σε συνθήκες outcrop να έχουμε επικράτηση χαμηλών περιόδων στα φάσματα απόκρισης, σε μερικά σημεία της πόλης με χαρακτηριστικό το εξαιρετικά μαλακό έδαφος είχαμε εντυπωσιακή επικράτηση (με αντίστοιχα μεγάλες τιμές πλάτους) των περιόδων γύρω στα 2 sec.



#### 4) Διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης.

Ως γνωστόν, μεταξύ δύο «ίδιων» σεισμικών κινήσεων, καταστροφικότερη είναι αυτή που έχει τη μεγαλύτερη διάρκεια επειδή:

- 1) Ο μεγαλύτερος σε χρονική διάρκεια σεισμός έχει ως αποτέλεσμα την προοδευτική μείωση των υλικών και των δομικών στοιχείων (που επιπλέον θα είναι πιο ευάλωτα πλέον σε μελλοντικούς μετασεισμούς που θα συμβούν με σχετικά μεγάλο βαθμό βεβαιότητας),
- 2) Η δημιουργούμενη αύξηση της πίεσης των πόρων Δυ οδηγεί σε μείωση των ενεργών τάσεων, δηλαδή τελικά της διατμητικής αντοχής του εδάφους, ή τελικά επιτείνει το φαινόμενο της στερεοποίησης που δημιουργεί καθιζήσεις.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι να προσδιοριστεί και να ποσοτικοποιηθεί ο χρόνος της ισχυρής εδαφικής κίνησης. Οι δύο επικρατέστεροι είναι:

**1) Bracket duration  $T_{BD}$  (Bolt 1974).**

Είναι ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της πρώτης και τελευταίας υπέρβασης ενός προκαθορισμένου πλάτους καταγραφής (π.χ.  $0,05 \cdot g$ )

**2) Σημαντική διάρκεια  $T_{SD}$  / Ένταση Arias (Husid 1969, Arias 1970).**

Είναι ο χρόνος που απαιτείται για να αυξηθεί από 5% σε 95% η ένταση Arias:

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_{t_o}^{t_f} [\ddot{u}(t)]^2 dt$$

Εμείς επειδή έχουμε το επιταχυνσιογράφημα, θα χρησιμοποιήσουμε τον δεύτερο ορισμό. Έτσι, με τη βοήθεια του προγράμματος Cyberquake, θα κάνουμε τα εξής βήματα για κάθε συνιστώσα της σεισμικής κίνησης:

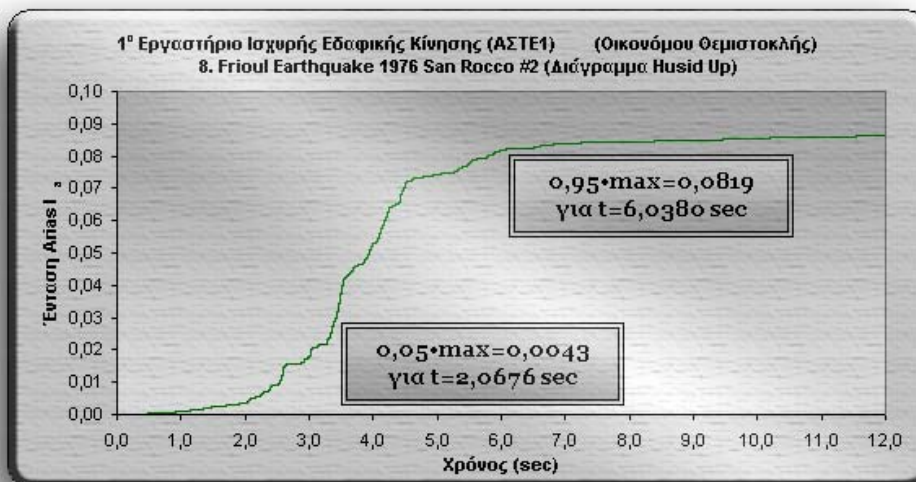
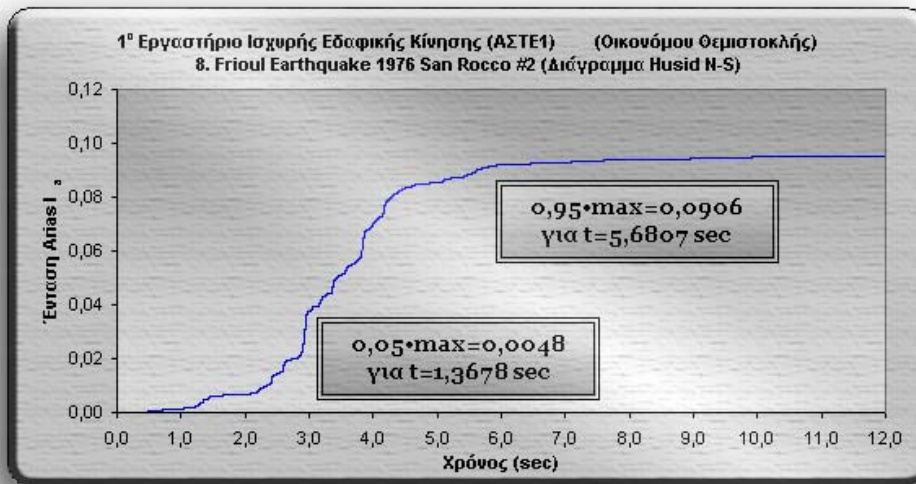
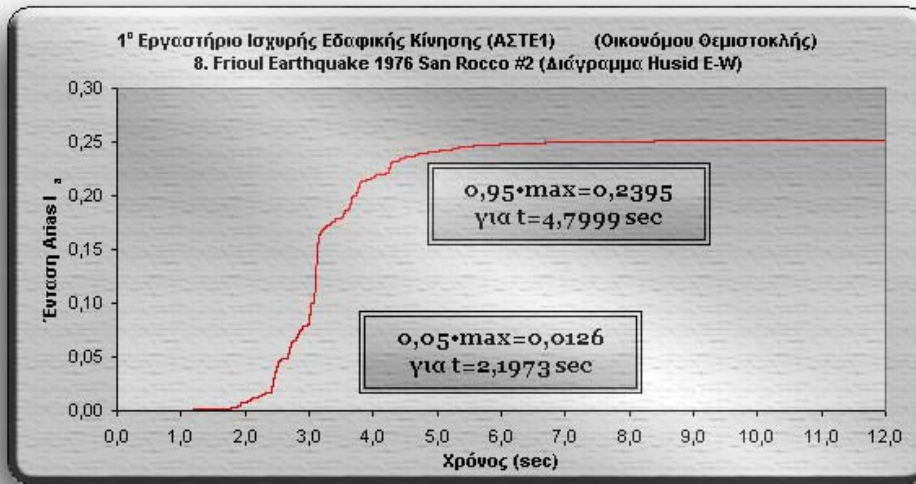
- 1) Υπολογισμός του  $[\ddot{u}(t)]^2$  από το  $\ddot{u}(t)$
- 2) Ολοκλήρωση του ανωτέρω αποτελέσματος με αρχική τιμή ίση με το μηδέν.
- 3) Πολλαπλασιασμός του αποτελέσματος με τον όρο  $\frac{\pi}{2g}$ .
- 4) Υπολογισμός (αν χρειαστεί και με τη βοήθεια γραμμικής παρεμβολής) της τιμής του χρόνου στον οποίο έχουμε το 5% της τιμής της έντασης Arias για το χρονικό διάστημα που εξετάζουμε.
- 5) Υπολογισμός (αν χρειαστεί και με τη βοήθεια γραμμικής παρεμβολής) της τιμής του χρόνου στον οποίο έχουμε το 95% της τιμής της έντασης Arias για το χρονικό διάστημα που εξετάζουμε.
- 6) Η διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης είναι η αφαίρεση της τιμής του χρόνου που υπολογίστηκε στο βήμα [5] από την αντίστοιχη τιμή του βήματος [4].

Έτσι έχουμε:

Συνιστώσα E-W (κόκκινο χρώμα)  $\rightarrow t = 4,7999 - 2,1973 \rightarrow t = 2,6026 \text{ sec.}$

Συνιστώσα N-S (μπλε χρώμα)  $\rightarrow t = 5,6807 - 1,3678 \rightarrow t = 4,3130 \text{ sec.}$

Κατακόρυφη Συνιστώσα (πράσινο χρώμα)  $\rightarrow t = 6,0380 - 2,0676 \rightarrow t = 3,9704 \text{ sec.}$



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ  
ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ (Α.Σ.Τ.Ε.)

Μάθημα: Τεχνική Σεισμολογία - Εδαφοδυναμική  
Εργαστήριο 5 Αναλυτική - αριθμητική μελέτη της σεισμικής απόκρισης εδαφικών σχηματισμών.  
Διδάσκοντες: Κ. Μάκρας, Κ. Πιτιλάκης

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

1. Εδαφικό Προσομοίωμα (Γεωμετρία και Δυναμικά χαρακτηριστικά)

A. Πίνακας δεδομένων

H (m)	50	Vs <sub>mean</sub> (m/sec)	300	Sand	Dr(max)	Clay	PI=0	Gravel	Max
	80		500		Dr(min)		PI=30		Min
	110		700						

B. Βραχώδες Υπόβαθρο ( $V_s=1500\text{m/sec}$  &  $\gamma=2.4\text{m/sec}$ )

Γ. Η διακριτοποίηση του εδαφικού προσομοιώματος να γίνει σε στρώσεις των 5μ.

Δ. Οι καμπύλες μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης  $G/G_{\max}$  με τη διατμητική παραμόρφωση,  $\gamma$ , καθώς και οι αντίστοιχες καμπύλες μεταβολής της απόσβεσης DT(%) με τη διατμητική παραμόρφωση,  $\gamma$  δίνονται στη βιβλιοθήκη του προγράμματος CYBERQUAKE σύμφωνα με την περιγραφή του εδάφους (§ A)

2. Σεισμός Εισαγωγής στο βραχώδες υπόβαθρο (ο ίδιος που χρησιμοποιήσατε στην προηγούμενη άσκηση) με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0.24g.

ΖΗΤΟΥΜΕΝΑ

- Για τα παραπάνω εδαφικά προσομοιώματα, να υπολογίσετε με τη χρήση του προγράμματος CYBERQUAKE:

1. Το επιταχυνσιογράφημα στην επιφάνεια

2. Τα (απόλυτα και κανονικοποιημένα) φάσματα απόκρισης στην επιφάνεια για ποσοστό απόσβεσης 5%.

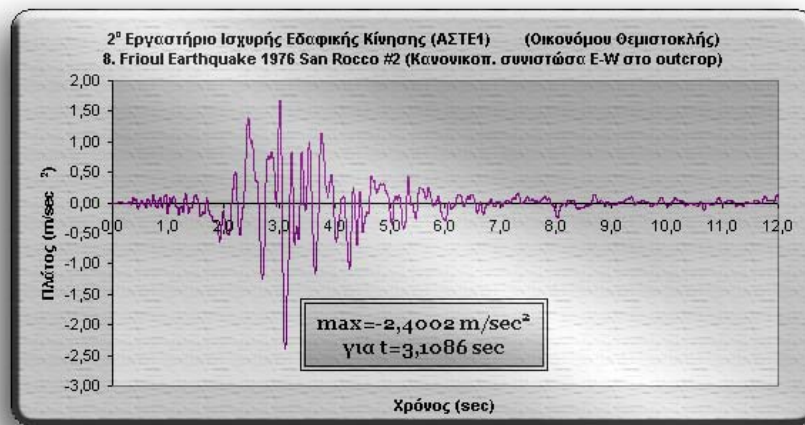
- Να σχολιάσετε συγκριτικά τα αποτελέσματα σε σχέση με την μεταβαλλόμενη παράμετρο.

- Να συγκρίνετε τα κανονικοποιημένα φάσματα απόκρισης (5%) με τα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού του κανονισμού και να σχολιάσετε το αποτέλεσμα της σύγκρισης.



Ο σεισμός με τον οποίο ασχοληθήκαμε στο 1<sup>ο</sup> εργαστήριο ήταν ο εξής:  
Frioul Earthquake 1976 San Rocco #2

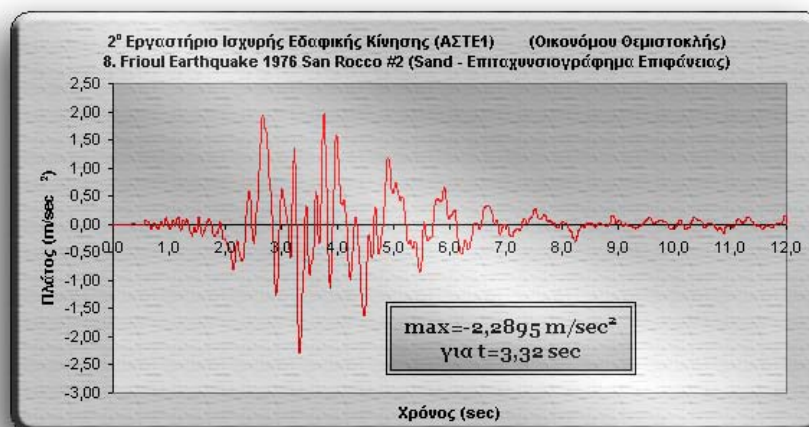
Για το δεύτερο εργαστήριο, πήραμε την συνιστώσα E-W του προαναφερθέντος σεισμού και την ομαλοποιήσαμε ώστε το μέγιστο πλάτος της να είναι ίσο με  $0,24g$  ( $2,3544 \text{ m/sec}^2 \approx 2,4 \text{ m/sec}^2$  χωρίς βλάβη της γενικότητας). Αυτή η ομαλοποιημένη συνιστώσα παριστάνεται παρακάτω:



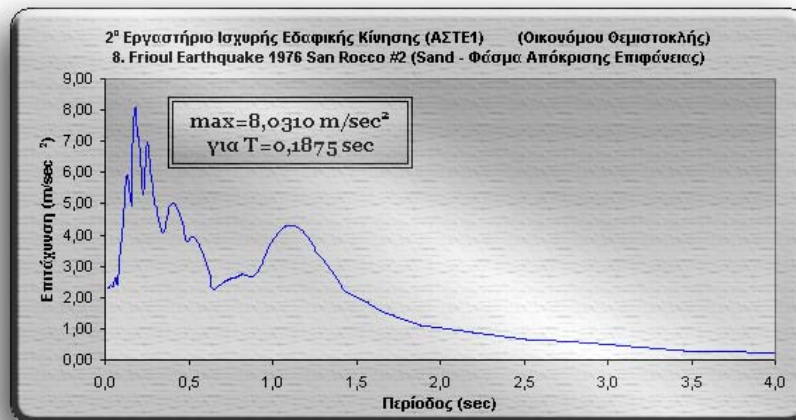
## 1) Αμμώδες έδαφος.

Πάνω από το βραχώδες υπόβαθρο βρίσκεται ένα στρώμα αμμώδους εδάφους με πάχος 110 μέτρα,  $V_{s, μέσο} = 700 \text{ m/sec}$  και  $\gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$ . Το βραχώδες υπόβαθρο έχει  $V_s = 1500 \text{ m/sec}$  και  $\gamma = 2,4 \text{ t/m}^3$ . Το αμμώδες έδαφος διακριτοποιείται σε στρώσεις των 5 μέτρων. Η καμπύλη G-D- $\gamma$  ( $D_{r, min}$ ) που το περιγράφει είναι ενσωματωμένη στο πρόγραμμα Cyberquake και εφαρμόζεται σε αυτές τις στρώσεις για ανελαστική ανάλυση. Στο βραχώδες υπόβαθρο εφαρμόζεται η ομαλοποιημένη συνιστώσα του σεισμού και ενεργοποιείται η ελαστική ανάλυση.

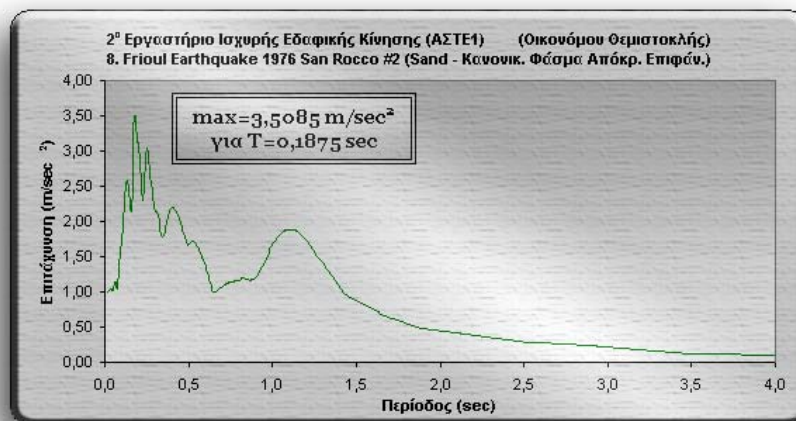
Μετά από τρέξιμο του προγράμματος με τα ανωτέρω δεδομένα, έχουμε το εξής επιταχυνσιογράφημα στην επιφάνεια:



Με την ίδια διαδικασία που έχει ήδη περιγραφεί στα πλαίσια του πρώτου εργαστηρίου, το φάσμα απόκρισης στην επιφάνεια (το οποίο έχει προέλθει από το επιταχυνσιογράφημα στην επιφάνεια) είναι το εξής:



Το ομαλοποιημένο διάγραμμα προκύπτει από το ακριβώς προηγούμενο διαιρεμένο με την μέγιστη τιμή του επιταχυνσιογραφήματος της ομαλοποιημένης συνιστώσας στην επιφάνεια:



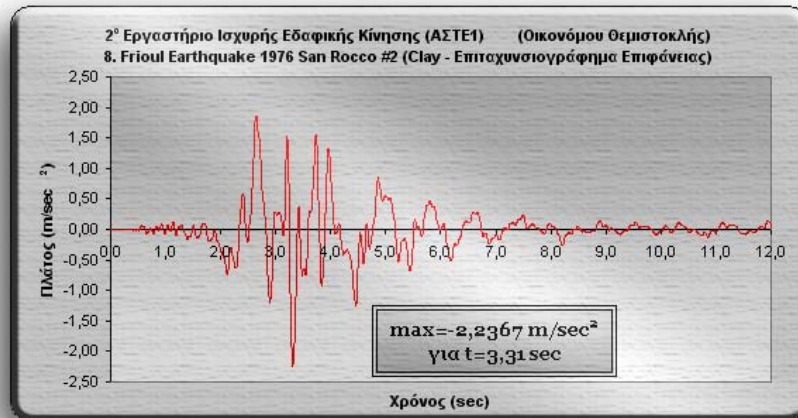
## 2) Αργιλικό έδαφος.

Πάνω από το βραχώδες υπόβαθρο βρίσκεται ένα στρώμα αργιλικού εδάφους με πάχος 110 μέτρα,  $V_{s, μέσο} = 700$  m/sec και  $\gamma = 2,0$  t/m<sup>3</sup>. Το βραχώδες υπόβαθρο έχει  $V_s = 1500$  m/sec και  $\gamma = 2,4$  t/m<sup>3</sup>.

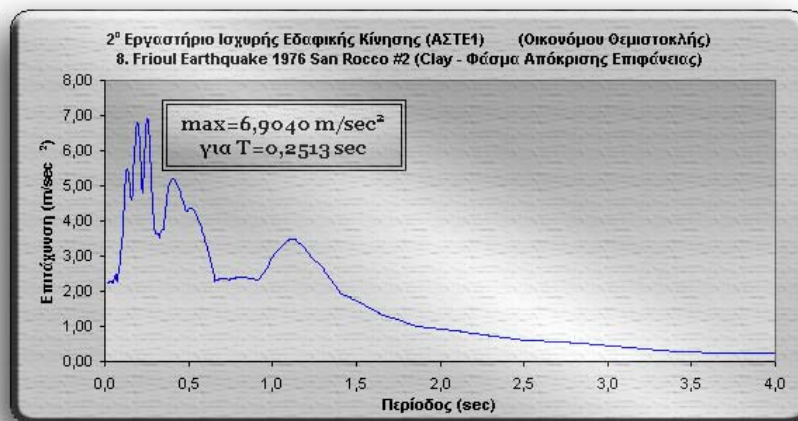
Το αργιλικό έδαφος διακριτοποιείται σε στρώσεις των 5 μέτρων. Η καμπύλη G-D- $\gamma$  (PI = 0) που το περιγράφει είναι ενσωματωμένη στο πρόγραμμα Cyberquake και εφαρμόζεται σε αυτές τις στρώσεις για ανελαστική ανάλυση. Στο βραχώδες υπόβαθρο εφαρμόζεται η ομαλοποιημένη συνιστώσα του σεισμού και ενεργοποιείται η ελαστική ανάλυση.

Μετά από τρέξιμο του προγράμματος με τα ανωτέρω δεδομένα, έχουμε το εξής επιταχυνσιογράφημα στην επιφάνεια:

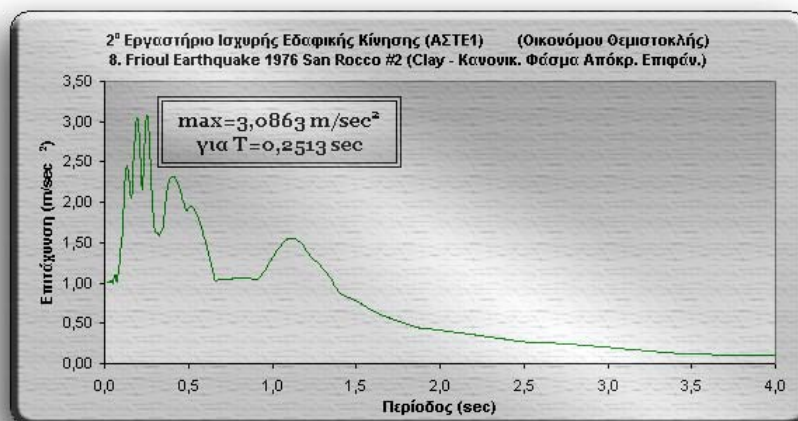




Με την ίδια διαδικασία που έχει ήδη περιγραφεί στα πλαίσια του πρώτου εργαστηρίου, το φάσμα απόκρισης στην επιφάνεια (το οποίο έχει προέλθει από το επιταχυνσιογράφημα στην επιφάνεια) είναι το εξής:

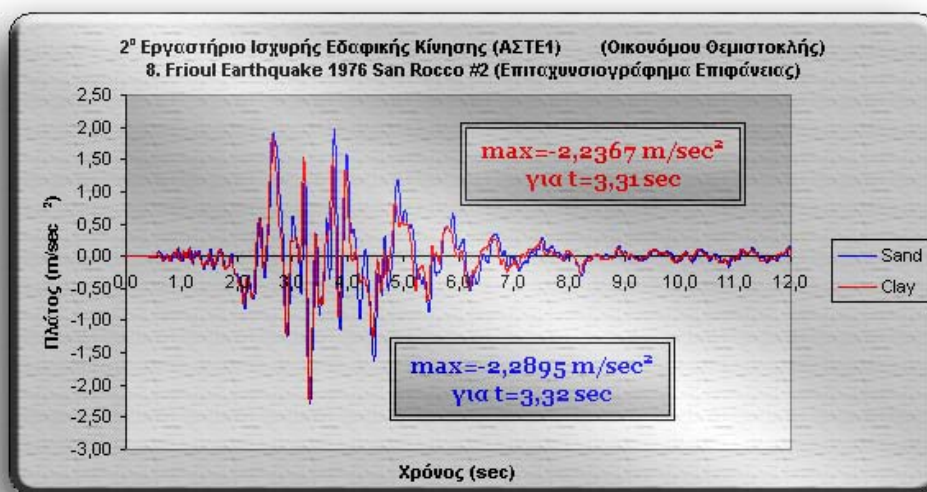


Το ομαλοποιημένο διάγραμμα προκύπτει από το ακριβώς προηγούμενο διαιρεμένο με την μέγιστη τιμή του επιταχυνσιογραφήματος της ομαλοποιημένης συνιστώσας στην επιφάνεια:

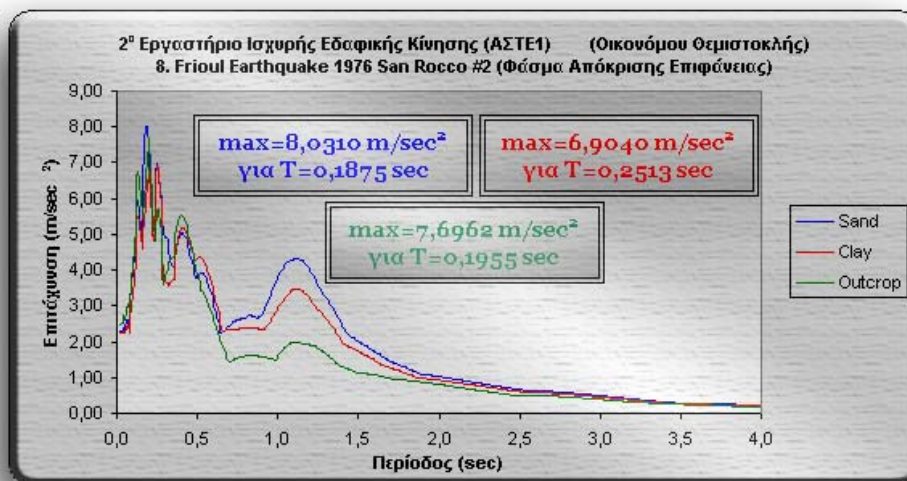




## 3) Συγκρίσεις αποτελεσμάτων.

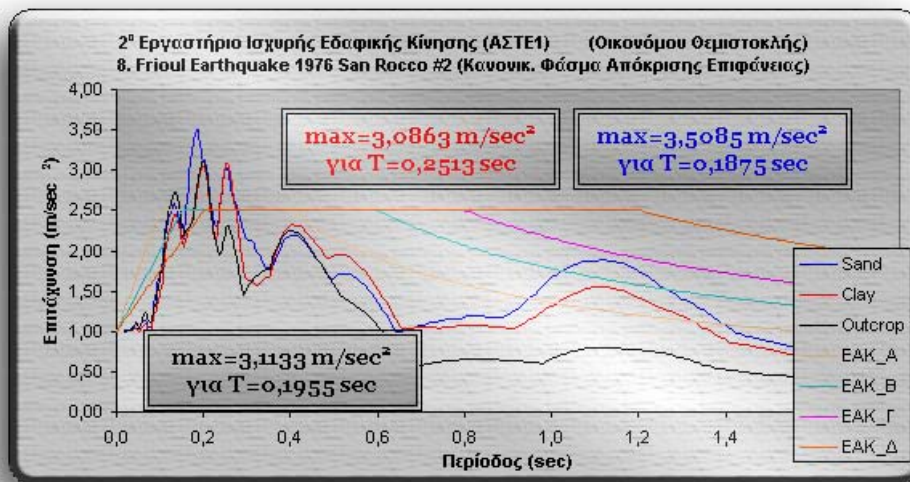


Όπως βλέπουμε από το ανωτέρω διάγραμμα, δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στα επιταχυνσιογραφήματα στην επιφάνεια μεταξύ αμμώδους και αργιλικού εδάφους. Η διαφορά στις μέγιστες τιμές είναι περίπου 2,3%, ενώ η μορφή τους είναι παραπλήσια. Οι όποιες διαφορές θα φανούν στο φάσμα απόκρισης που ακολουθεί:



Μεταξύ του αμμώδους και του αργιλικού εδάφους, εκτός από την περιοχή  $0,41 \text{ sec} < T < 0,67 \text{ sec}$ , έχουμε μεγαλύτερες επιταχύνσεις στην περίπτωση του πρώτου εδάφους. Η διαφορά στις μέγιστες επιταχύνσεις είναι 14%, ενώ στο κομμάτι  $1,0 \text{ sec} < T < 1,5 \text{ sec}$  η διαφορά είναι 19,5% περίπου. Γενικά, όμως, έχουμε ουσιαστική εδαφική ενίσχυση από  $0,7 \text{ sec} < T < 1,8 \text{ sec}$  και στα δύο εδάφη. Στο υπόλοιπο φάσμα των περιόδων δεν υπάρχει μεγάλη εδαφική ενίσχυση.

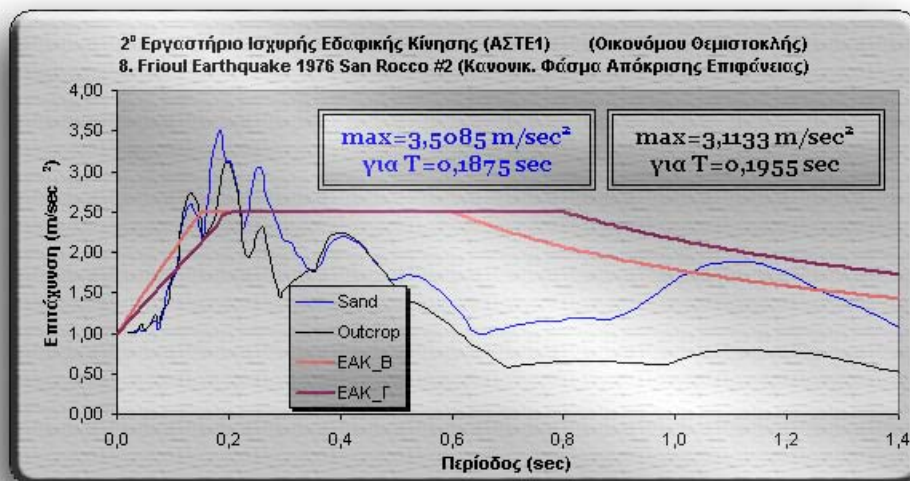
Αν ομαλοποιήσουμε τα ανωτέρω φάσματα και παραβάλλουμε το ομαλοποιημένο ελαστικό φάσμα σχεδιασμού του κανονισμού (εδάφη Α, Β, Γ και Δ), παίρνουμε το εξής διάγραμμα:



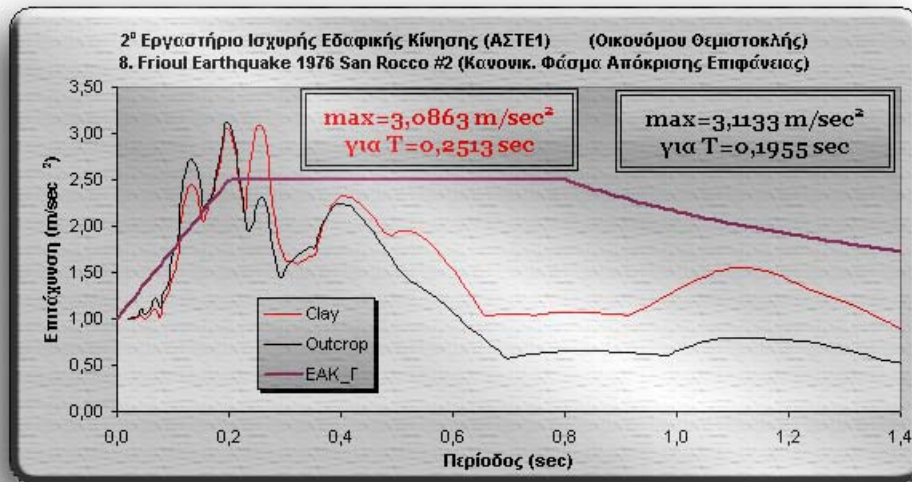
Σύμφωνα με τα δεδομένα του ΕΑΚ2000, το μιν αμμώδες έδαφος ανάλογα με το τι πυκνότητα θα θεωρήσουμε ανήκει είτε στο **έδαφος Β** (Στρώσεις κοκκώδους υλικού μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70 μ.), είτε στο **έδαφος Γ** (Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70 μ.), η δε (μη προσυμπιεσμένη) άργιλος ανήκει στην κατηγορία **εδάφους Γ** (Ιλλοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.).

Έτσι, στο ανωτέρω διάγραμμα συγκρίνουμε:

### 1) Αμμώδες έδαφος – ΕΑΚ2000 (εδάφη Β & Γ).



Παρατηρούμε συγκεκριμένες υπερβάσεις στην περιοχή  $0,1 \text{ sec} < T < 0,22 \text{ sec}$  καθώς και ειδικά για το έδαφος ΕΑΚ2000 Β στην περιοχή  $1,05 \text{ sec} < T < 1,25 \text{ sec}$ .

**2) Άργιλος – ΕΑΚ2000 (έδαφος Γ).**

Παρατηρούμε υπερβάσεις του ΕΑΚ2000 στην περιοχή  $0,13\text{sec} < T < 0,25\text{sec}$ .