

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΖΩΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΠΟΥ ΓΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ

Ο Α Σ Π

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

ΑΘΗΝΑ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1986

35/α

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

	Σελ.
Πρόλογος.....	
1. Εισαγωγή.....	2
2. Μέθοδοι σύνθεσης των ισχυρών εδαφικών δονήσεων.....	3
3. Στοχαστική μέθοδος σύνθεσης των ισχυρών εδαφικών δονήσεων.....	8
4. Διαδικασία σύνθεσης των αναμενόμενων ισχυρών εδαφικών δονήσεων για την πόλη της Καλαμάτας.....	11
4.1. Ανάλυση σε μικρή επικεντρική απόσταση.....	11
4.2. Ανάλυση σε ενδιάμεση επικεντρική απόσταση.....	22
4.3. Ανάλυση σε μεγάλη επικεντρική απόσταση.....	22

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια της εκπόνησης της Μικροζωνικής μελέτης της πόλης της Καλαμάτας ανατέθηκε στον Τομέα Γεωφυσικής του Παν/μίου Αθηνών η σύνθεση των αναμενόμενων εδαφικών κινήσεων για την πόλη της Καλαμάτας (συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα) .

Στο παρόν τεύχος που αποτελεί και την τελική έκθεση περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και παρουσιάζονται τόσο οι χρονικές εξελίξεις όσο και τα φάσματα απόκρισης των αναμενόμενων εδαφικών κινήσεων (επιταχύνσεις , ταχύτητες, μετακινήσεις) για διάφορους "σεισμούς σχεδιασμού".

Πιστεύουμε ότι τα συγκεκριμένα αποτελέσματα σε συνδυασμό και με άλλες σχετικές εργασίες θα βοηθήσουν στο σωστό αντισεισμικό σχεδιασμό και στη δυναμική ανάλυση ειδικών κατασκευών για τη πόλη της Καλαμάτας.

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε από τους Δρ. Σεισμ.Γ. Σταυρακάκη, καθηγ. Ι. Δρακόπουλο (χωρίς αμοιβή) και επίκ. καθηγ.Κ.Μακρόπουλο (επιστ. υπεύθυνος).

Στην εργασία συμμετείχαν και άλλοι συνεργάτες του Τομέα ή εμπιστόμοι που εκπονούν διδακτορική διατριβή.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό, η μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας σε μια συγκεκριμένη περιοχή αποβλέπει στην εκτίμηση της πιθανότητας υπέρβασης μιας προκαθορισμένης στάθμης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης σε τ επόμενα χρόνια.

Ο υπολογισμός της πιθανότητας υπέρβασης γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά σεισμικότητας της εξεταζόμενης περιοχής, το σεισμοτεκτονικό πρότυπο που υιοθετείται και τον τρόπο απόσβεσης της σεισμικής ενέργειας κατά μήκος του δρόμου διαδρομής των σεισμικών κυμάτων.

Για την πόλη της Καλαμάτας προτάθηκαν διάφορα σεισμοτεκτονικά μοντέλα και εφαρμόστηκαν οι πλέον σύγχρονες μεθοδολογίες για την αποτύπωση της σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής με τον πλέον ρεαλιστικό τρόπο. Οι αναμενόμενες τιμές των μέγιστων εδαφικών παραμέτρων που εξετάστηκαν σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα και των άλλων μελετών που εκπονούνται στα πλαίσια της Μικροζωνικής θα βοηθήσουν σημαντικά στο να δοθούν συγκεκριμένες οδηγίες που θα συμβάλουν στο σωστό σχεδιασμό και στην κατασκευή αντισεισμικών έργων στην πόλη Καλαμάτας. Έτσι θα μειωθεί ο κίνδυνος της απώλειας ανθρώπινων ζωών και οικονομικών ζημιών που μπορεί να προκληθούν από μελλοντικούς σεισμούς στην ευρύτερη περιοχή.

Λόγω όμως της ιδιαιτερότητας του πρόσφατου καταστρεπτικού σεισμού της 13 Σεπτεμβρίου 1986, θεωρήθηκε σκόπιμο τα αποτελέσματα της σεισμικής επικινδυνότητας, που δίνουν μόνο τις μέγιστες τιμές των εδαφικών παραμέτρων, να συμπληρωθούν με τις χρονικές τους εξελίξεις για να προταθούν με αυτό τον τρόπο επιταχυνσιογραφήματα σχεδιασμού στο στερεό υπόβαθρο της πόλης της Καλαμάτας.

Θεωρώντας ότι τα σεισμικά κύματα κατά τη διάδοσή τους υφίστανται πολλαπλές και τυχαίες ανακλάσεις, διαθλάσεις και αποσβέσεις, εφαρμόστηκε το στοχαστικό μοντέλο σύνθεσης των αναμενόμενων ισχυρών δονήσεων και των φασμάτων απόκρισής τους στο στερεό υπόβαθρο της Καλαμάτας.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΙΣΧΥΡΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ

Η σύνθεση των αναμενόμενων εδαφικών δονήσεων σε μια περιοχή είναι ένα από τα σπουδαιότερα προβλήματα της Σεισμικής Μηχανικής σε διεθνές επίπεδο.

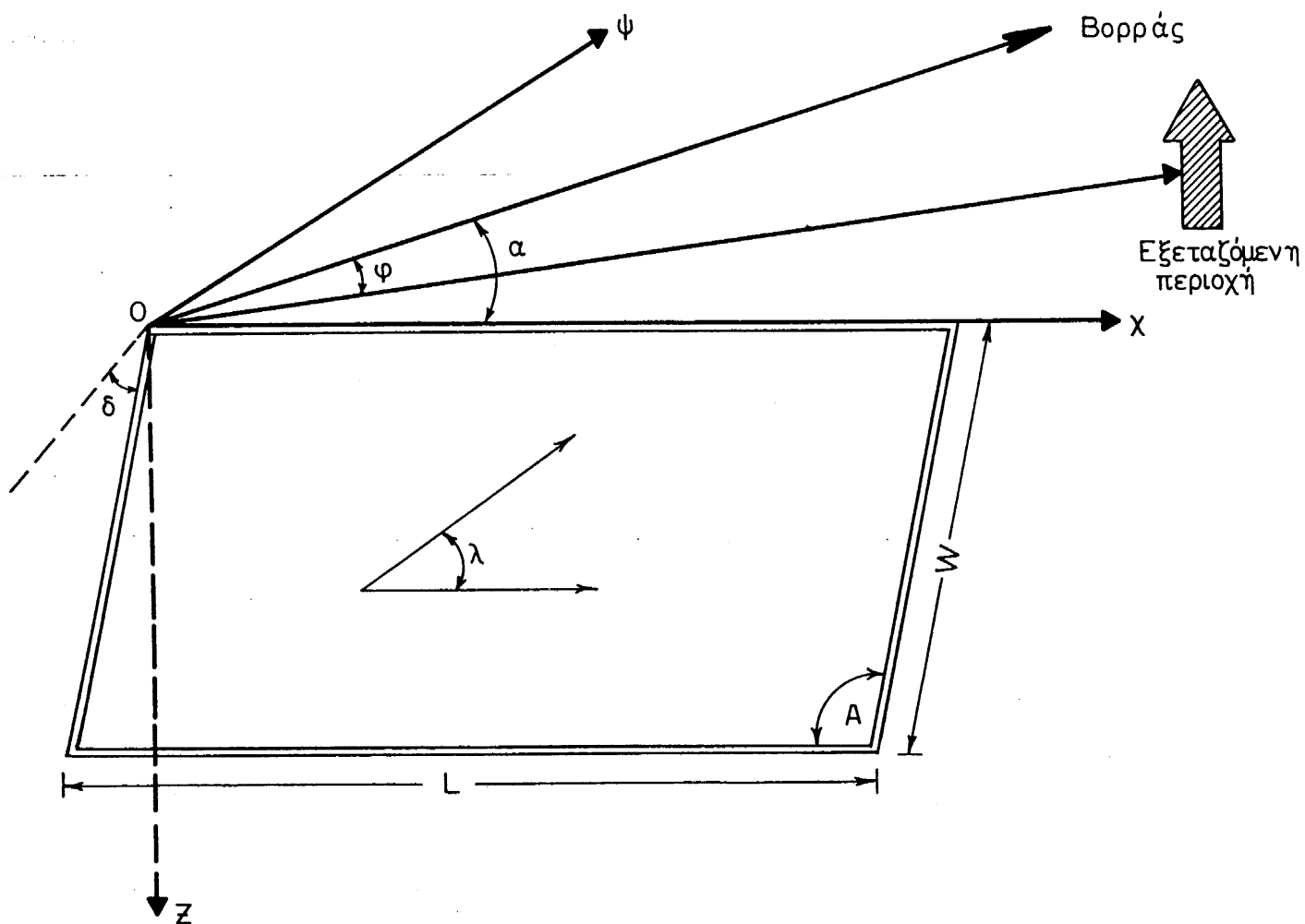
Η βασικότερη δυσκολία οφείλεται τόσο στην πολυπλοκότητα των εδαφικών δονήσεων, ιδιαίτερα στις υψηλές συχνότητες, όσο και στην έλλειψη πραγματικών επιταχυνσιογραφημάτων σε διαφορετικούς εδαφικούς σχηματισμούς, σε διαφορετικές θέσεις εντός των κατασκευών και κύρια σε διαφορετικές αποστάσεις και διευθύνσεις από τη σεισμική εστία.

Ιδιαίτερη δυσκολία παρουσιάζεται σε μικρές επικεντρωμένες αποστάσεις όπου κυριαρχούν οι υψηλές συχνότητες και η γεωμετρική απόσβεση θεωρείται σχεδόν αμελητέα.

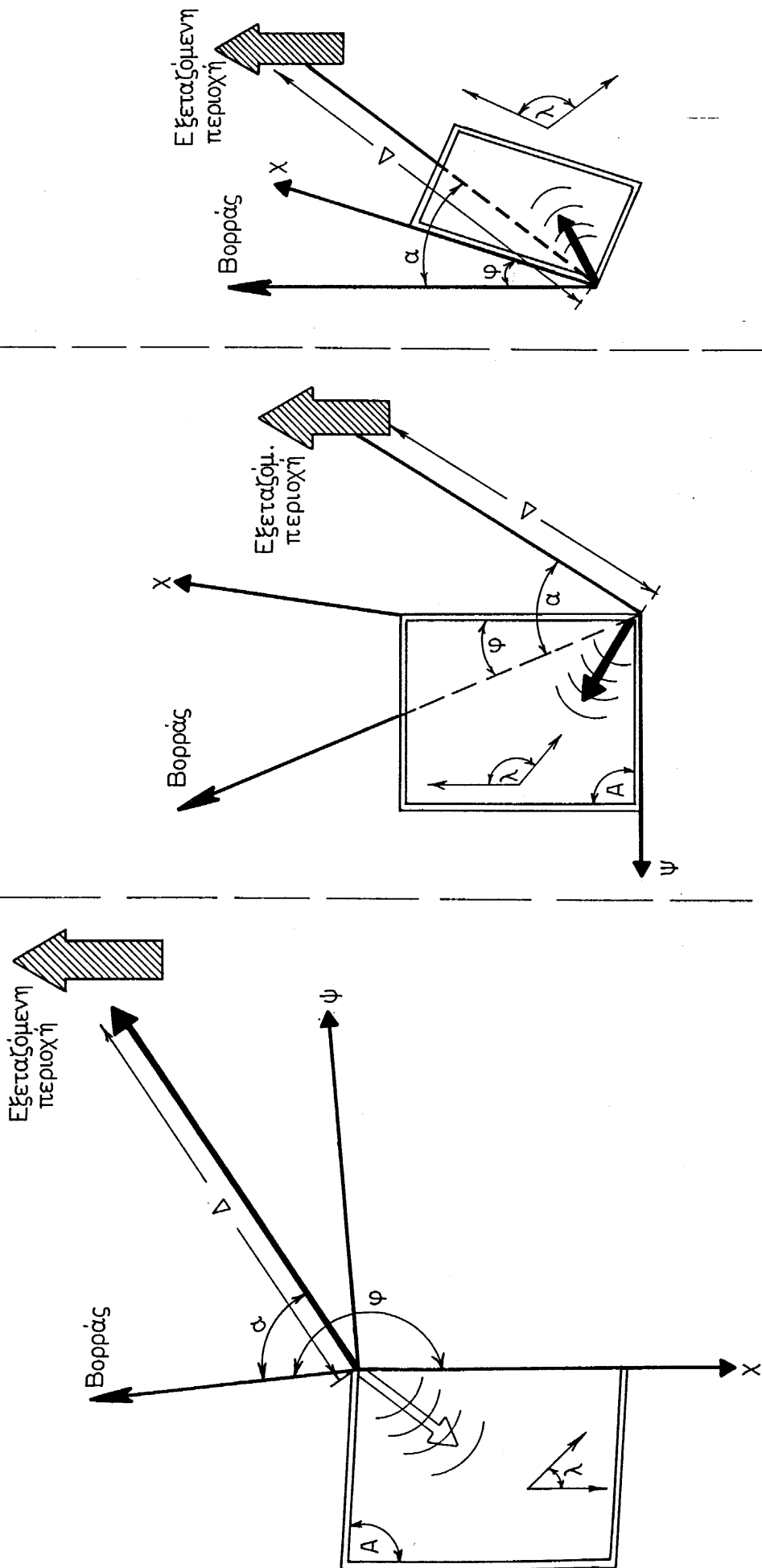
Δύο βασικές θεωρίες έχουν προταθεί για τη σύνθεση των αναμενόμενων ισχυρών δονήσεων σε μια περιοχή. Η πρώτη, η αιτιοκρατική μέθοδος προϋποθέτει λεπτομερή γνώση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του επιπέδου του ρήγματος (διεύθυνση και κλίση), του τρόπου και της ταχύτητας διάρρηξης U_r , της πτώσης τάσης πριν και μετά τη διάρρηξη, του χρόνου διάρρηξης και γενικά όλων των στατικών και δυναμικών χαρακτηριστικών του σεισμού. Η μέθοδος αυτή θεωρείται σήμερα η πλέον αξιόπιστη, απαιτεί όμως μεγάλο αριθμό σεισμολογικών δεδομένων σε διαφορετικές επικεντρωμένες αποστάσεις και σε διάφορες αζιμουθιακές θέσεις.

Στο σχήμα 2.1 φαίνονται παραστατικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του επιπέδου του ρήγματος (A) που προσδιορίζουν τις αναμενόμενες ισχυρές εδαφικές κινήσεις στην εξεταζόμενη περιοχή. L και W είναι το μήκος και το πλάτος του ρήγματος, αντίστοιχα, λ είναι η γωνία ολίσθησης, α η διεύθυνση του ρήγματος, δ η κλίση του και φ το αζιμούθιο της εξεταζόμενης περιοχής ως προς το επίκεντρο.

Στο σχήμα 2.2 παρουσιάζονται διάφορες θέσεις προσανατολισμού του επιπέδου του ρήγματος και της εξεταζόμενης περιοχής για ναδειχθεί μόνο ενδεικτικά, πρώτον η πολυπλοκότητα που παρουσιάζει η σύνθεση των ισχυρών εδαφικών δονήσεων, και δεύτερον η ακρίβεια υπολογισμού που απαιτείται στις παραμέτρους που καθορίζουν τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα και μετατόπιση σε μια προκαθορισμένη θέση.



Σχ.2.1. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του επιπέδου του ρήγματος που επηρεάζουν τις ισχυρές εδαφικές δονήσεις σε μία περιοχή. L είναι το μήκος, W το πλάτος, α η διεύθυνση, δ η κλίση του επιπέδου του ρήγματος και λ η γωνία ολίσθησης.



Σχ.2.2. Πιθανές θέσεις του επιπέδου του ρήγματος και της εξεταζόμενης περιοχής.
(Η ερμηνεία των συμβόλων φαίνεται στο σχήμα 2.1).

Στο σχήμα 2.3 φαίνεται το γενικό διάγραμμα ροής που ακολουθείται σήμερα για τη σύνθεση των ισχυρών σεισμικών δονήσεων και πιο συγκεκριμένα για τη σύνθεση της φασματικής ταχύτητας με βάση τα στατικά και δυναμικά χαρακτηριστικά της διάρρηξης. Στο στάδιο (1) υπολογίζονται όλες οι παράμετροι που αναφέρονται στο σχήμα (2.2) με βάση τα σεισμολογικά δεδομένα τόσο στο κοντινό όσο και στο μακρινό πεδίο. Στο στάδιο (2) υπολογίζεται η εδαφική κίνηση σύμφωνα με το μοντέλο διάρρηξης του Savage (1972) το οποίο προϋποθέτει γνώση του τρόπου διάδοσης της ακτινοβολίας ($R_S(\theta, \phi, r)$), του τρόπου διάδοσης της διάρρηξης στο χώρο ($F_2(\omega, \tau_0, \tau_\pi)$) και τέλος του τρόπου απόσβεσης των εγκάρσιων S-κυμάτων κατά μήκος του δρόμου διαδρομής τους (περιγράφεται από τον εκθετικό όρο).

Η σύνθεση του φάσματος Fourier γίνεται με βάση τη σχέση

$$F_A(\omega) = B(\omega) \cdot A(\omega)$$

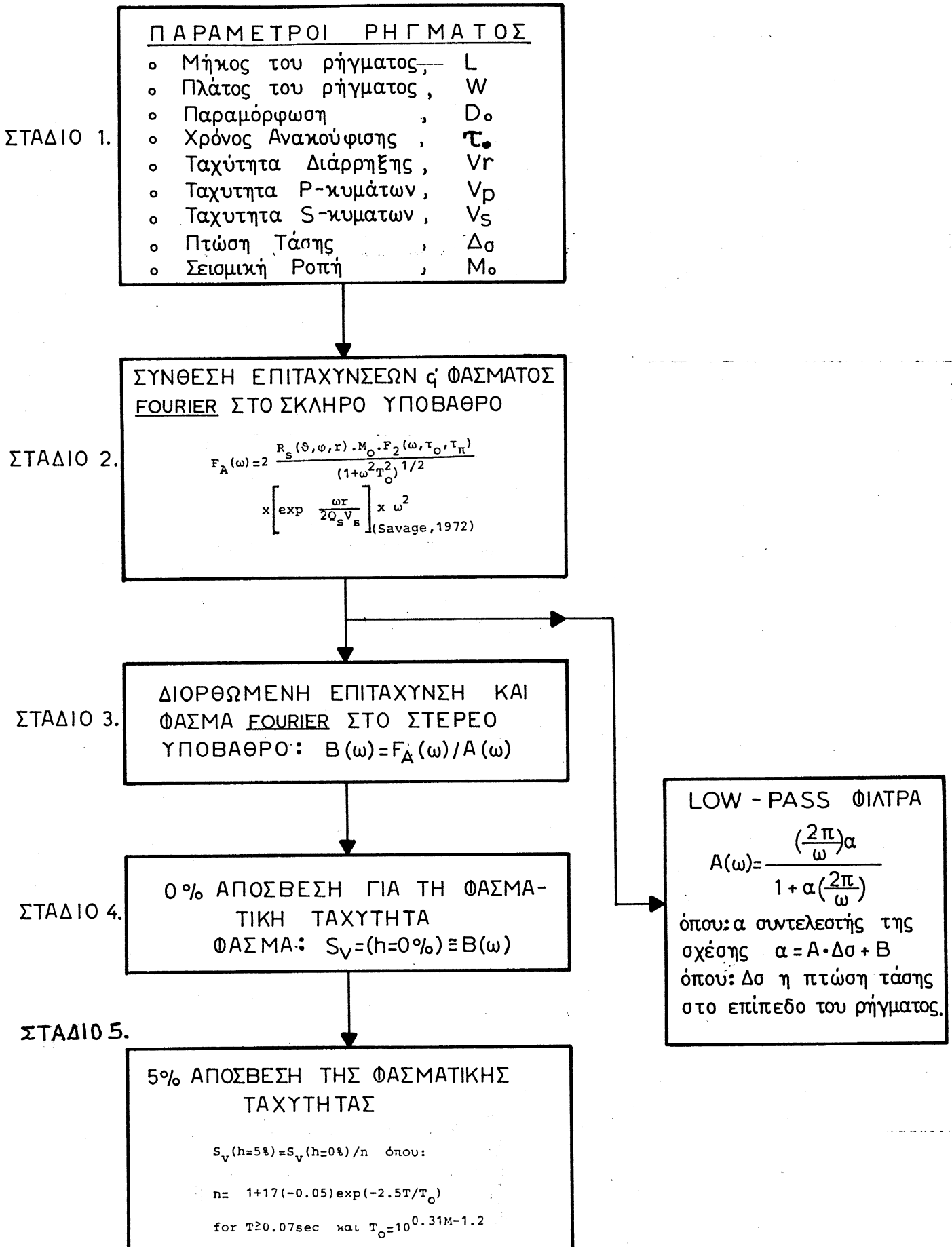
όπου, $A(\omega)$ είναι το φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων (low-pass) και $B(\omega)$ είναι το παρατηρούμενο φάσμα Fourier στο στερεό υπόβαθρο κατά τη διάρκεια του σεισμού. Το $B(\omega)$ στην επιφάνεια του εδάφους θα είναι :

$$B(\omega) = O(\omega) / H(\omega)$$

όπου, $O(\omega)$ το φάσμα Fourier στην ελεύθερη επιφάνεια, και $H(\omega)$ η συνάρτηση μεταφοράς των στρωμάτων από το στερεό υπόβαθρο στην επιφάνεια.

Στο στάδιο (3) γίνεται η διόρθωση βάσης της επιτάχυνσης και στο στάδιο (4) υπολογίζεται η φασματική ταχύτητα για απόσβεση 0%. Τέλος, στο στάδιο (5) υπολογίζεται το φάσμα ταχυτήτων για οποιαδήποτε επιθυμητή απόσβεση με βάση τη σχέση του σχήματος (2.3), αφού προηγουμένως έχει σχεδιαστεί ειδικό φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων με βάση τα χαρακτηριστικά της έκλυσης των συσσωρευμένων τεκτονικών τάσεων στο επίπεδο ρήγματος.

Από τη παραπάνω μεθοδολογία γίνεται φανερό πόσο ρεαλιστικά αναμένονται να είναι τα αποτελέσματα της σύνθεσης των ισχυρών εδαφικών δονήσεων, αφού στον υπολογισμό τους υπεισέρχονται όλες οι φυσικές παράμετροι της διάρρηξης.



Σχ.2.3. Γενικό διάγραμμα ροής σύνθεσης των εδαφικών δονήσεων.

3. ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΙΣΧΥΡΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ

Η βασική φιλοσοφία της στοχαστικής διαδικασίας σύνθεσης των ναμενόμενων ισχυρών εδαφικών δονήσεων σε μία περιοχή περιγράφεται από τη σχέση:

$$a(t) = j(t) \cdot b(t) \quad (3.1)$$

όπου $a(t)$ είναι η μή στάσιμη εδαφική δόνηση, $j(t)$ η αιτιοκρατική συνάρτηση έντασης και $b(t)$ η στοχαστική τυχαία κίνηση της οποίας οι φασικές γωνίες θεωρούνται τυχαίες μεταβλητές με ομοιόμορφη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας. Συνήθως, η κίνηση $b(t)$ περιγράφεται από τη σχέση:

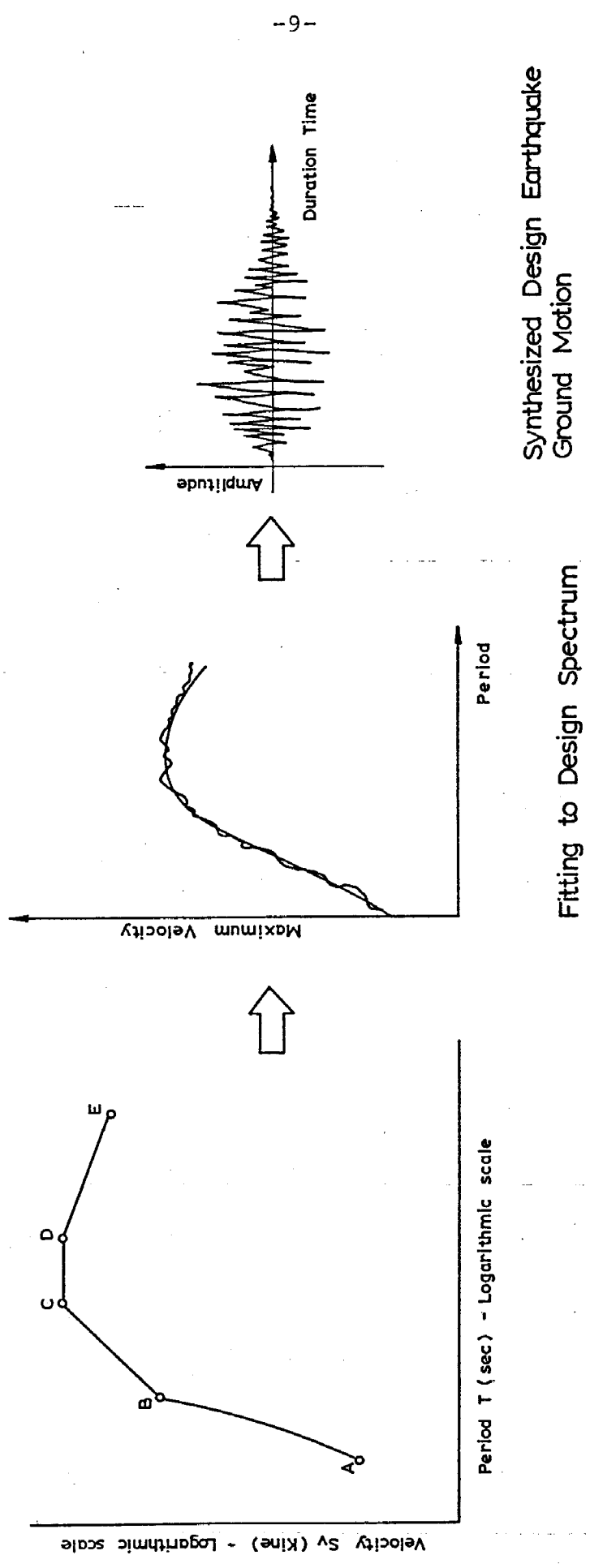
$$b(t) = \sum_{j=1}^N A_j \cos(\omega_j t + \phi) \quad (3.2)$$

όπου N είναι ο συνολικός αριθμός των στοιχειωδών κυμάτων (κραδασμών) που θα χρησιμοποιηθούν στη σύνθεση.

Η αιτιοκρατική συνάρτηση έντασης $j(t)$ φανερώνει τη χρονική διαφοροποίηση των μέγιστων τιμών του αναμενόμενου επιταχυνσιογραφήματος καθώς επίσης και τη χρονική διάρκεια της ισχυρής φάσης της δόνησης.

Στο σχήμα 3.1 φαίνεται περιγραφικά η διαδικασία που ακολουθείτε στη στοχαστική μέθοδο σύνθεσης των ισχυρών εδαφικών δονήσεων. Αναλυτικότερα, στο πρώτο στάδιο γίνεται ο σχεδιασμός φάσματος με στοχαστικές μεθόδους και για ένα συγκεκριμένο συντελεστή απόσβεσης j . Στη συνέχεια υπολογίζεται η συνάρτηση φασματικής πυκνότητας $G(\omega)$ που χαρακτηρίζει τη σχετική κατανομή της σεισμικής ενέργειας σε συνάρτηση της συχνότητας και υπολογίζεται, μέσω του φάσματος απόκρισης των επιταχύνσεων ή ταχυτήτων που υποθέτονται για την περιοχή, από τη σχέση (Tajimi, 1960).

$$G(\omega) = \frac{[1 + 4j_g^2 (\omega/\omega_g)^2] G_0}{[1 - (\omega/\omega_g)^2]^2 + 4j_g^2 (\omega/\omega_g)^2} \quad (3.3)$$



Σχ.3.1.1. Στοχαστική διαδικασία σύνθεσης των ισχυρών εδαφικών δονήσεων

ή από τη σχέση (Gasparini and Vanmarcke, 1976)

$$G(\omega_n) = \frac{1}{\omega_n \left(\frac{\pi}{4jS} - 1 \right)} \cdot \left[\frac{(S_a)^2 S_{,P}}{R_{S,P}^2} - \int_0^{\omega_n} G(\omega) d\omega \right]^{1/2} \quad (3.4)$$

όπου:

ω_n : τυχαία συχνότητα

j : ο συντελεστής απόσβεσης.

$R_{S,P}$: συντελεστής που εκφράζει για ένα συγκεκριμένο επίπεδο πιθανότητας P την σχέση μεταξύ της μέγιστης και της μέσης τετραγωνικής τιμής της επιτάχυνσης ενός ταλαντωτή με φυσική συχνότητα ω που διεγέρθηκε από σεισμό διάρκειας S και φασματικής πυκνότητας $G(\omega)$.

Βάσει της σχέσης (3.2) υπολογίζονται οι χρονικές εξελίξεις των συνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων και το πλάτος A_n προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$G(\omega_n) \cdot \Delta\omega = \frac{A_n^2}{2} \quad (3.5)$$

Στη συνέχεια γίνεται η προσαρμογή των επιταχυνσιογραφημάτων μέσω της αιτιοκρατικής συνάρτησης έντασης $j(t)$ και έτσι εισάγεται η ασυνέχεια που παρατηρείται στις πραγματικές εγγραφές. Ακολουθεί η διόρθωση της γραμμής βάσης και υπολογίζεται η μέγιστη επιτάχυνση για κάθε συνθετικό επιταχυνσιογράφημα.

Τέλος, υπολογίζεται το φάσμα απόκρισης για κάθε συνάρτηση της μορφής $a(t) = j(t) \cdot b(t)$ και συγκρίνεται με το αρχικό που θεωρήθηκε για το ξεκίνημα της διαδικασίας σύνθεσης. Στην περίπτωση που τα φάσματα δεν συμπίπτουν τροποποιείται το πλάτος της φασματικής ενέργειας σύμφωνα με τη σχέση:

$$G(\omega)_N = G(\omega)_\pi \cdot \frac{S_a(\omega)_1}{S_a(\omega)_2} \quad (3.5)$$

όπου:

$G(\omega)_N$: το νέο φασματικό πλάτος

$G(\omega)_\pi$: το παλαιό φασματικό πλάτος

$S_\alpha(\omega)_1$: το θεωρούμενο φάσμα της περιοχής και

$S_\alpha(\omega)_2$: το συνθετικό φάσμα που έχει υπολογιστεί.

Στο σχήμα 3.2 φαίνεται το διάγραμμα ροής του προγράμματος H/Y που χρησιμοποιήθηκε για τη σύνθεση των αναμενόμενων ισχυρών εδαφικών δονήσεων όπως αναλυτικά περιγράφεται στην παράγραφο που ακολουθεί.

4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΩΝ ΙΣΧΥΡΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

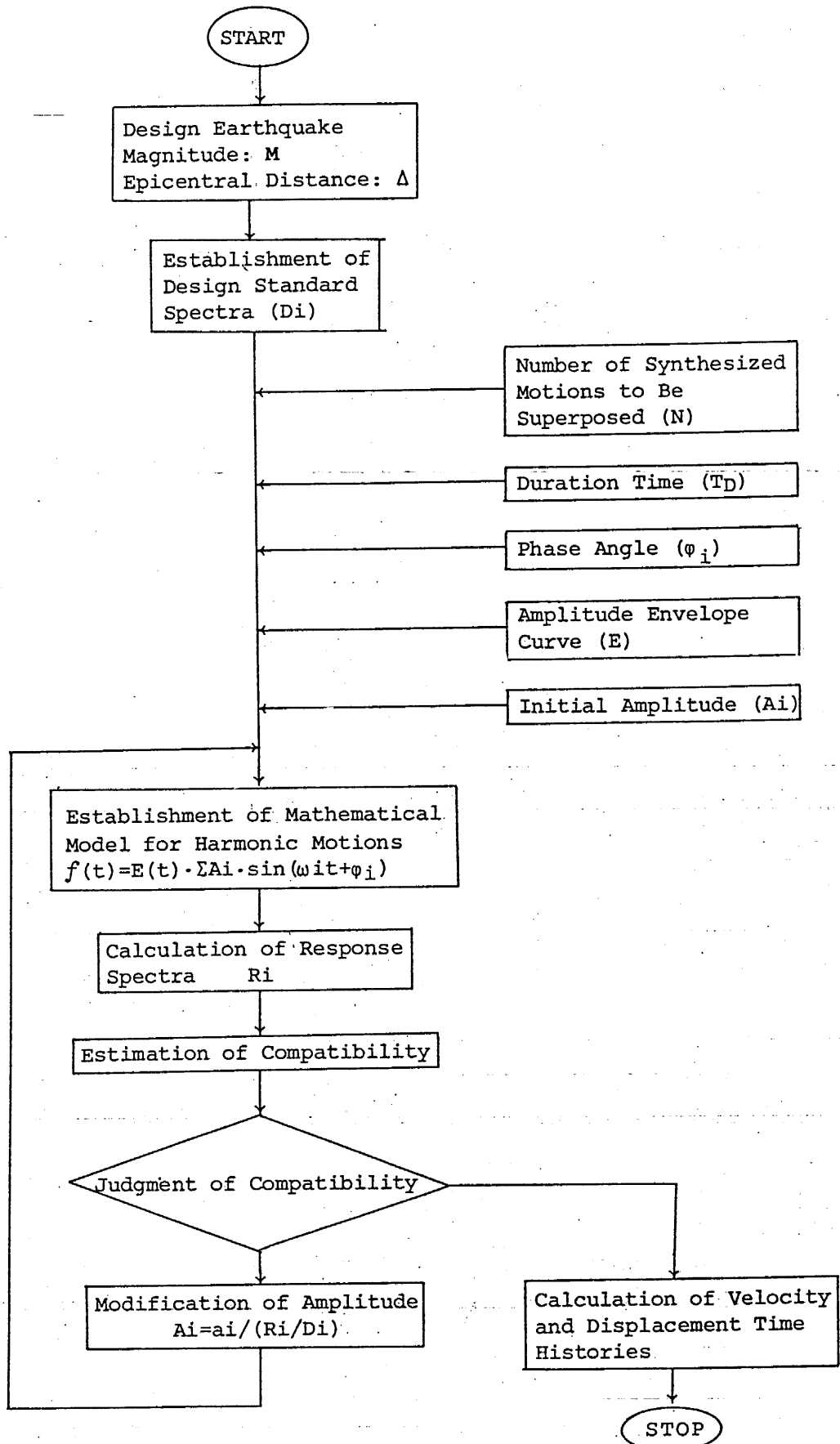
Επειδή τόσο τα μέγιστα πλάτη όσο και το περιεχόμενο συχνότητας των αναμενόμενων εδαφικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων εξαρτώνται κύρια από το μέγεθος του σεισμού και την επικεντρική απόσταση, εξετάστηκαν τρία χαρακτηριστικά μοντέλα "σεισμού σχεδιασμού" για την πόλη της Καλαμάτας, λαμβάνοντας έτσι τις πιο πιθανές περιπτώσεις σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά σεισμικότητας της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκε ένας σεισμός σχεδιασμού σε μικρή επικεντρική απόσταση από την Καλαμάτα, ένας σε ενδιάμεση και ένας σε μακρινή επικεντρική απόσταση, όπως αναλυτικά παρουσιάζεται παρακάτω:

4.1. Ανάλυση σε μικρή Επικεντρική Απόσταση

Για ένα δεδομένο σεισμικό μέγεθος M και υποκεντρική απόσταση Δ υπολογίζεται το μέγιστο πλάτος της εδαφικής ταχύτητας από τη σχέση (Kanai, 1968).

$$V_{\max} = 10^{0.61M - P \log X - Q} \quad (4.1)$$

όπου:



Σχ.3.2. Διάγραμμα ροής (του προγράμματος Η/Υ) για τη σύνθεση των ισχυρών σεισμικών εδαφικών δονήσεων.

V_{max} : τό μέγιστο πλάτος της οριζόντιας συνιστώσας της εδαφικής ταχύτητας σε cm/sec

M : το εξεταζόμενο σεισμικό μέγεθος

$$X^2 = \Delta^2 + D^2 \quad (4.1A)$$

Δ : η επικεντρική απόσταση σε km

D : το εστιακό βάθος σε km

$$P = 1.66 + 3.60/X \quad \text{και}$$

$$Q = 0.631 + 1.83/X.$$

Γιά τον υπολογισμό της διάρκειας της ισχυρής φάσης της εδαφικής κίνησης χρησιμοποιήθηκε η σχέση των Hisada and Ando (1973).

$$T_d = 10^{0.31M - 0.774} \quad (4.2)$$

όπου:

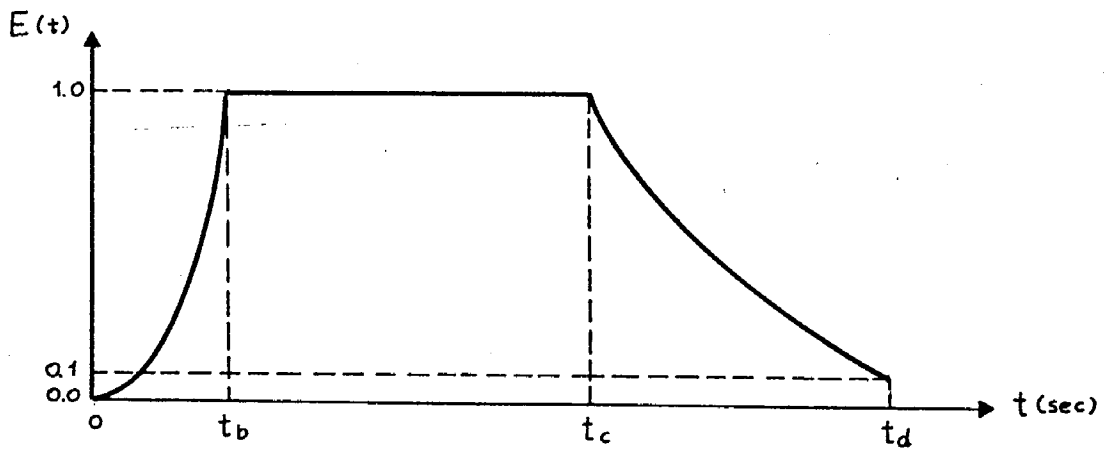
T_d : η χρονική διάρκεια, σε sec, στην οποία το πλάτος υπερβαίνει το 1/10 του μέγιστου πλάτους της δόνησης και

M : το σεισμικό μέγεθος.

Όπως έχει ήδη τονιστεί, η αιτιοκρατική συνάρτηση έντασης φανερώνει τις χρονικές μεταβολές του πλάτους της δόνησης και μπορεί να έχει διάφορες μορφές. Στην περίπτωση της Καλαμάτας, θεωρήθηκε ότι έχει την μορφή του σχήματος 4.1 και δίνεται από τη σχέση:

$$E(t) = \begin{cases} (T/T_b)^2 & \text{για } 0 \leq T \leq T_b \\ 1 & \text{" } T_b \leq T \leq T_c \\ e^{-a(T-T_c)} & \text{" } T_c \leq T \leq T_b \end{cases} \quad (4.3)$$

όπου, a σταθερά εξαρτώμενη από το σεισμικό μέγεθος M.



ΣΧ.4.1. Αλληλοκρατική συνάρτηση έντασης.

Οι χρονικές μεταβολές T_b/T_d και T_c/T_d φαίνονται στον πίνακα 4.1 για ορισμένο εύρος σεισμικών μεγεθών. Για διαφορετικά σεισμικά μεγέθη, οι αντίστοιχες μεταβολές υπολογίζονται με γραμμική παρεμβολή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: Σημεία Ελέγχου της Περιβαλλούσας της Αιτιοκρατικής συνάρτησης Έντασης

Σεισμικό Μέγεθος (M)	T_b/T_d	T_c/T_d
6	0.16	0.54
7	0.12	0.50
8	0.08	0.46

Το διάστημα $T_e = T_c - T_b$ ορίζεται σαν ενεργός διάρκεια της ισχυρής φάσης της δόνησης και υπολογίζεται προσεγγιστικά από τη σχέση:

$$T_e = 10^{0.31M-1.2} \quad (4.4)$$

Τα σημεία ελέγχου T_b και T_c για το δοσμένο σεισμικό μέγεθος υπολογίζονται από τη σχέση:

$$T_b = T_d \left(\frac{T_b}{T_d} \right) \quad (4.5)$$

$$T_c = T_d \left(\frac{T_c}{T_d} \right) \quad (4.6)$$

Έτσι, ο "σεισμός σχεδιασμού" για μικρές επικεντρικές αποστάσεις από την πόλη της Καλαμάτας θεωρήθηκε με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Σεισμικό Μέγεθος, $M = 6.5$
- Εστιακό Βάθος, $D = 10 \text{ km}$
- Επικεντρ.Απόσταση, $\Delta = 10 \text{ km}$

Από τις σχέσεις (4.1A) υπολογίστηκαν οι παράμετροι X, P, Q και το μέγιστο πλάτος της εδαφικής ταχύτητας. Τονίζεται ιδιαίτερα, ότι ολόκληρη η διαδικασία σύνθεσης βασίστηκε στις μέγιστες τιμές των εδαφικών ταχυτήτων επειδή πιστεύεται ότι οι παρατηρούμενες βλάβες από τους σεισμούς ερμηνεύονται καλύτερα με βάση το φάσμα ταχυτήτων, αφού η εκλυόμενη σεισμική ενέργεια είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας δόνησης των μορίων στο επίπεδο του ρήγματος.

Η ολική διάρκεια των αναμενόμενων εδαφικών δονήσεων στην πόλη της Καλαμάτας υπολογίστηκε από τη σχέση (4.2) και η ενεργός διάρκεια της ισχυρής φάσης της δόνησης από τη σχέση (4.4). Ο συνολικός αριθμός των στοιχειωδών κινήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνθεση υπολογίστηκε από τη σχέση $NN = \text{ολική διάρκεια} / DT$, όπου DT θεωρήθηκε ίσο με 0.02 sec.

Η περιβάλλουσα της αιτιοκρατικής συνάρτησης έντασης (βλ. σχήμα 4.2) προσδιορίστηκε υπολογίζοντας τα σημεία ελέγχου T_b και T_c από τις σχέσεις γραμμικής παρεμβολής:

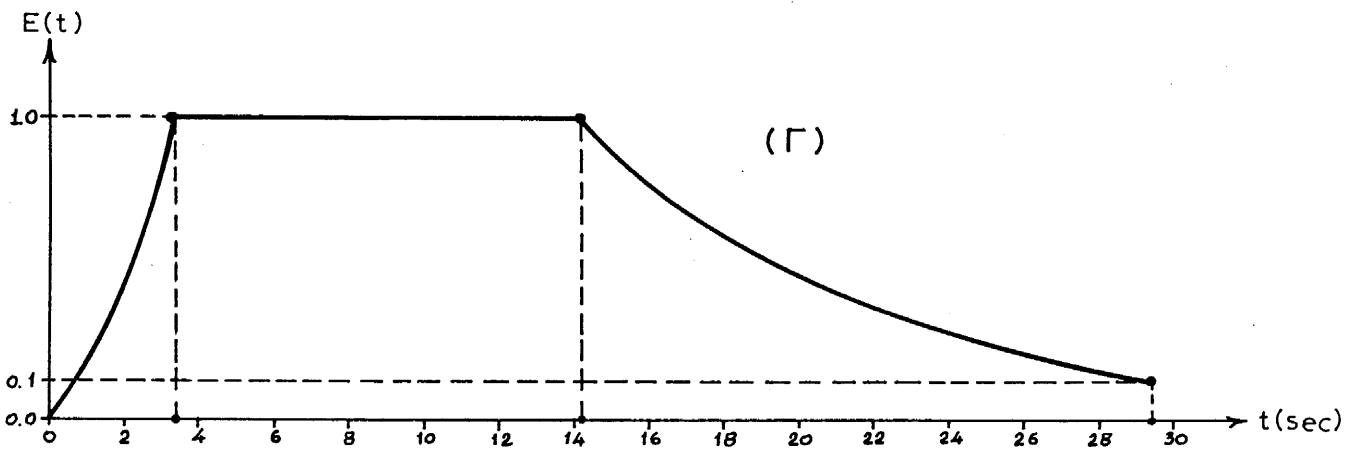
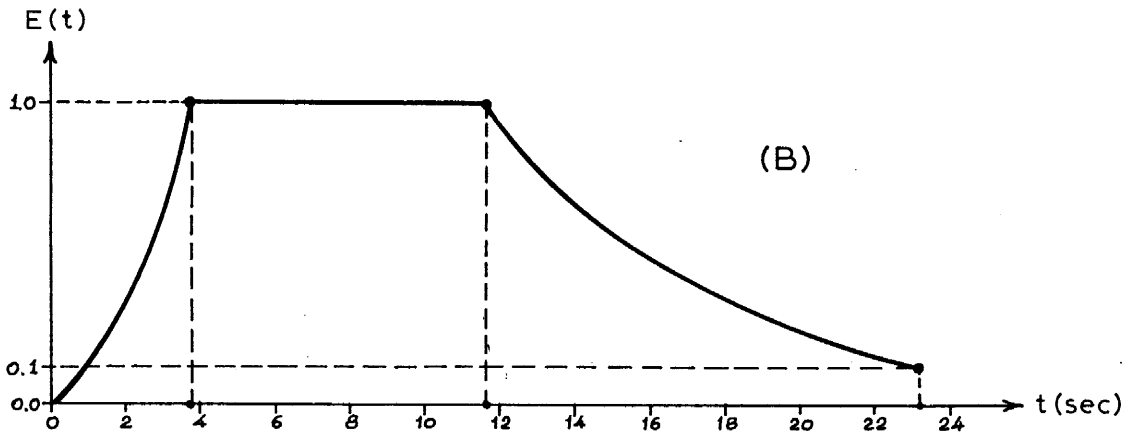
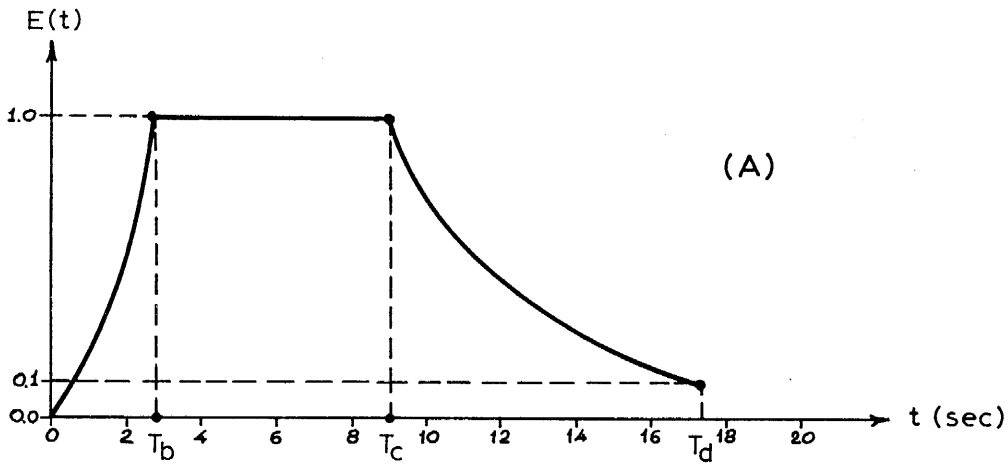
$$T_b = [0.12 - (M-7.0)0.04] T_d \quad (4.7)$$

$$T_c = [0.50 - (M-7.0)0.04] T_d \quad (4.8)$$

Όλες οι παραπάνω παράμετροι για το μοντέλο του σεισμού σχεδιασμού σε μικρή επικεντρική απόσταση από την πόλη της Καλαμάτας συνοψίζονται στον πίνακα 4.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: Μοντέλο Σεισμού Σχεδιασμού σε Μικρή Επικεντρική Απόσταση από την Πόλη της Καλαμάτας

	Δ (km)	D (km)	X	P	φ	T_d (sec)	NN	V_{max} (cm/sec)
M=6.5	10	10	14.1	1.91	0.76	17.41	6.5	10.23



Σχ.4.2. Περιβάλλουσα της αιτιοκρατικής συνάρτησης έντασης για αναμενόμενο σεισμό σε (Α) μικρή, σε (Β) ενδιάμεση και (Γ) σχετικά μεγάλη επικεντρική απόσταση από την πόλη της Καλαμάτας.

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα (4.2) και με τη χρήση του προγράμματος H/Y όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής (σχ. 3.2) υπολογίστηκαν οι αναμενόμενες εδαφικές δονήσεις στην πόλη της Καλαμάτας.

Στο σχήμα 4.3 φαίνονται οι χρονικές εξελίξεις της εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης καθώς και η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της τυχαίας γωνίας φάσης με το αντίστοιχο κριτήριο σύγκλισης. Στο ίδιο σχήμα γράφονται επίσης οι μέγιστες τιμές τους, που είναι 341 gals για την εδαφική επιτάχυνση, 17.0 Kine (cm/sec) για την εδαφική ταχύτητα και 6.4 cm για την εδαφική μετατόπιση.

Στο σχήμα 4.4 φαίνεται το φάσμα ψευδο-επιτάχυνσης για μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 341 gals και για απόσβεση 5%. Η διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο μέσο ομαλό φάσμα. Το φάσμα ψευδο-ταχύτητας που απεικονίζεται στο σχήμα 4.4, υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$PSV = T \frac{PSA}{2\pi} \quad (4.9)$$

όπου:

PSV : η φασματική ψευδοταχύτητα

PSA : η " ψευδοεπιτάχυνση και

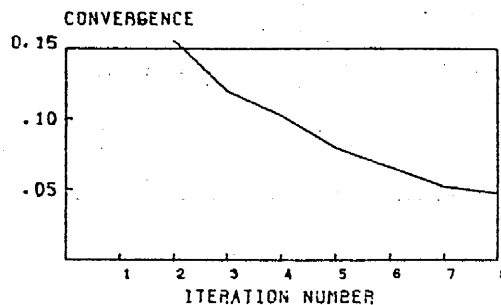
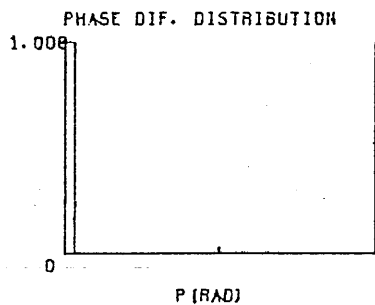
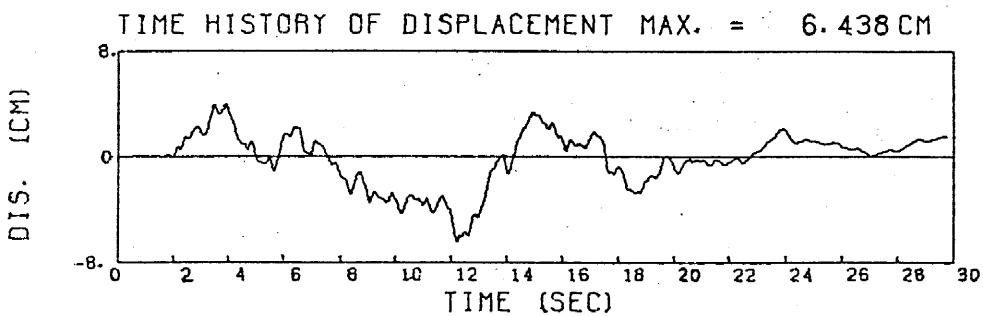
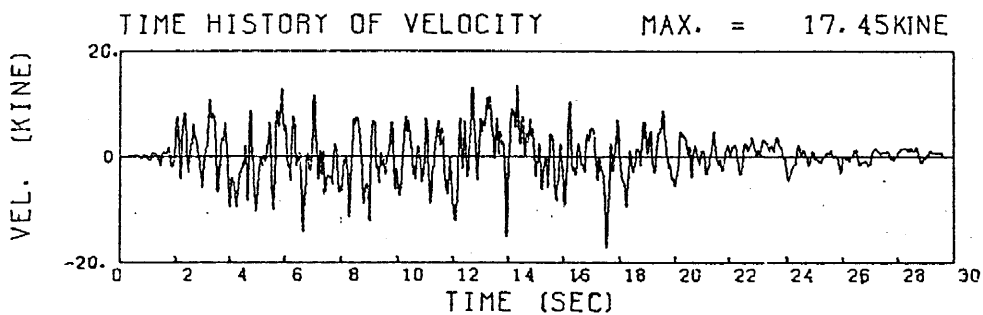
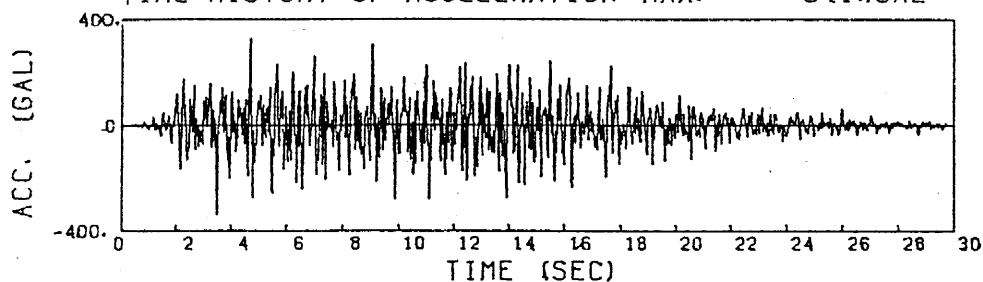
T : η περίοδος.

Τονίζεται ιδιαίτερα ότι, επιταχυνσιογράφος του Ινστιτούτου Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικής Μηχανικής ΙΤΣΑΚ που ήταν εγκατεστημένος στη Βάση 7όροφου κτιρίου στην Καλαμάτα κατέγραψε μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση ίση με 0.27 gals (TRANS), η διάρκεια της δόνησης ήταν περίπου 20.0 sec και η διάρκεια της ισχυρής φάσης της δόνησης περίπου 5.8 sec.

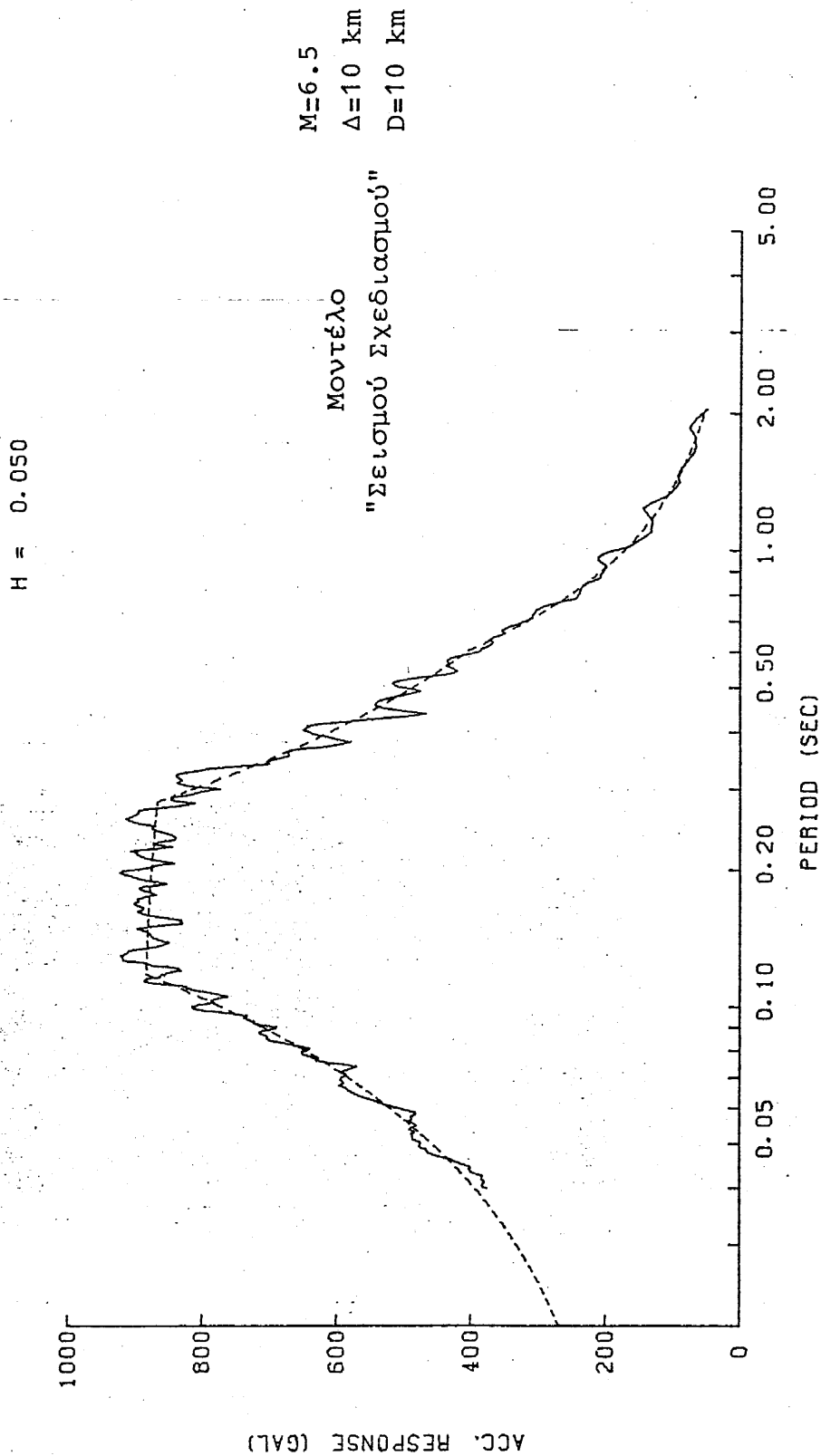
Σε διαφορετική θέση, επιταχυνσιογράφος του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Αστεροσκοπείου Αθηνών που ήταν εγκατεστημένος στη βάση 3όροφου κτιρίου στην Καλαμάτα, κατέγραψε μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση ίση με 295 gals (TRANS), και μέγιστη κατακόρυφη ίση με 368 gals. Οι τιμές που παρατηρήθηκαν βρίσκονται σε πολύ καλή συμφωνία με τα αποτελέσματα της σύνθεσης για το υποτιθέμενο κοντινό μοντέλο του σεισμού σχεδιασμού της πόλης της Καλαμάτας.

Μοντέλο M=6.5
"Σεισμού Σχεδιασμού" Δ=10 km
D=10 km

ITERATION ; 8, H= 0.05 IR= 4543
TIME HISTORY OF ACCELERATION MAX. = 341.7GAL



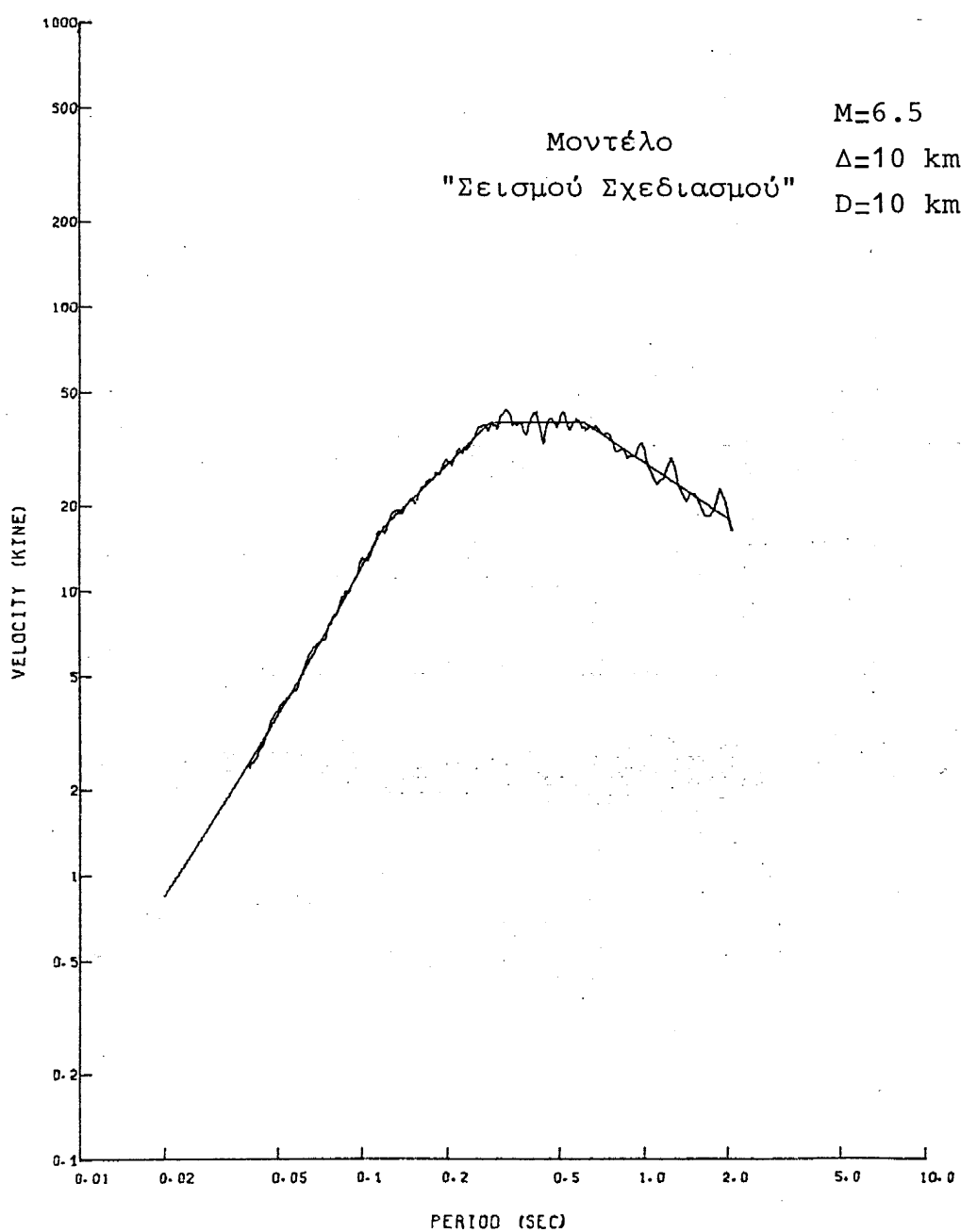
Σχ.4.3. Χρονικές εξελίξεις της αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης σε περίπτωση σεισμού με επικεντρική απόσταση 10 km από την πόλη της Καλαμάτας.



ΣΧ.4.4. Αναμενόμενες φασματικές επιταχύνσεις σε περίπτωση σεισμού με επι-
κεντρική απόσταση 10 km από την πόλη της Καλαμάτας.

***SYNTHESIZED GROUND MOTION

H = 0.050



Σχ.4.5. Αναμενόμενες φασματικές ταχύτητες σε περίπτωση σεισμού με επικεντρική απόσταση 10 km από την πόλη της Καλαμάτας.

4.2. Ανάλυση σε Ενδιάμεση Επικεντρική Απόσταση

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για το δεύτερο μοντέλο του σεισμού σχεδιασμού για ενδιάμεση επικεντρική απόσταση από την πόλη της Καλαμάτας. Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζονται όλες οι χαρακτηριστικές παράμετροι που υπολογίστηκαν από τις σχέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, και στο σχ.4.2(B) φαίνεται η περιβάλλουσα της αιτιοκρατικής συνάρτησης έντασης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3. Μοντέλο Σεισμού Σχεδιασμού για Ενδιάμεση Επικεντρική Απόσταση από την Πόλη της Καλαμάτας

	Δ (km)	D (km)	X	P	Q	T_d (sec)	T_e (sec)	NN	V_{max} (Kine)
M=6.9	45	10	46.1	1.738	0.67	23.17	8.69	1159	4.5

Στο σχήμα 4.6 φαίνονται οι χρονικές εξελίξεις της εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης για το παραπάνω μοντέλο. Οι μέγιστες τιμές είναι 157 gals για την επιτάχυνση, 10.4 Kine (cm/sec) για την ταχύτητα και 6.08 cm για την μετακίνηση.

Τέλος στα σχήματα 4.7 και 4.8 παρουσιάζονται τα φάσματα ψευδο-επιτάχυνσης και ψευδο-ταχύτητας, αντίστοιχα.

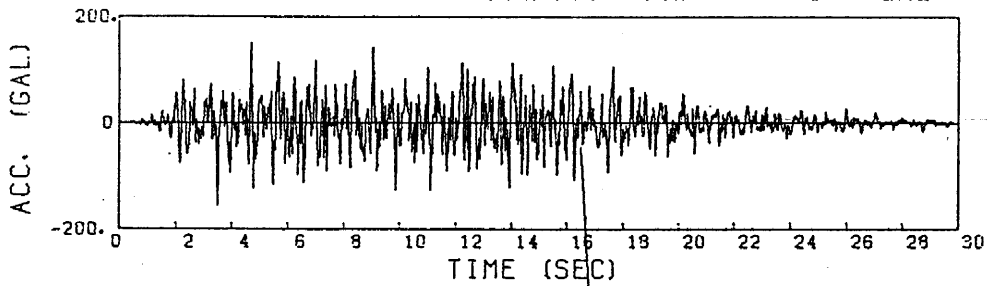
4.3. Ανάλυση σε Μεγάλη Επικεντρική Απόσταση

Στον πίνακα 4.4 συνοψίζονται οι παράμετροι του σεισμού σχεδιασμού που αντιστοιχούν στο μεγάλη επικεντρική απόσταση από την Καλαμάτα, και στο σχ.4.2(Γ) φαίνεται η περιβάλλουσα της αιτιοκρατικής συνάρτησης έντασης που αντιστοιχεί στο παραπάνω μοντέλο.

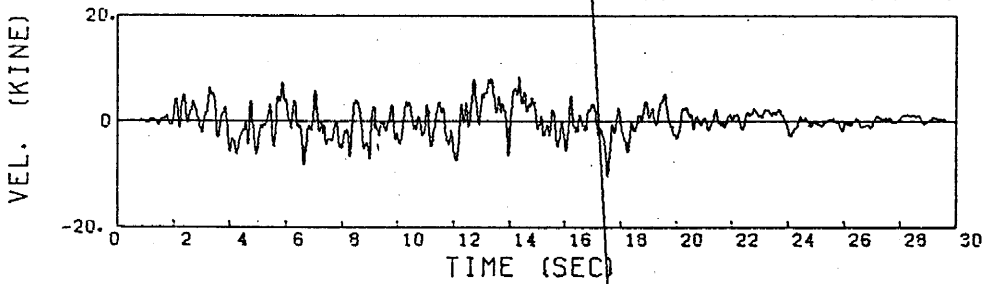
Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία έγινε η σύνθεση της χρονικής εξέλιξης της εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης όπως φαίνεται στο σχήμα 4.9. Οι αντίστοιχες μέγιστες τιμές είναι 72.2 gals για την επιτάχυνση, 5.3 Kine για την ταχύτητα και 3.0 cm για την μετατόπιση. Τέλος στα σχήματα 4.10 και 4.11 παρουσιάζονται τα φάσματα ψευδο-επιτάχυνσης και ψευδο-ταχύτητας, αντίστοιχα.

Μοντέλο
"Σεισμού Σχεδιασμού"
M=6.9
Δ=45 km
D=10 km

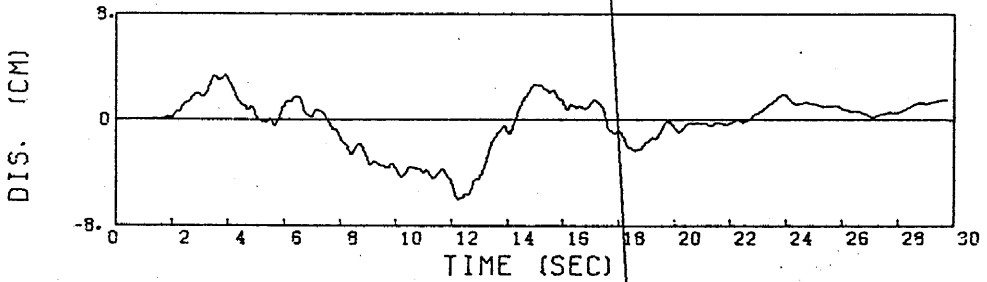
ITERATION ; 8. H= 0.05 IR= 4543
TIME HISTORY OF ACCELERATION MAX. = 157.6 GAL



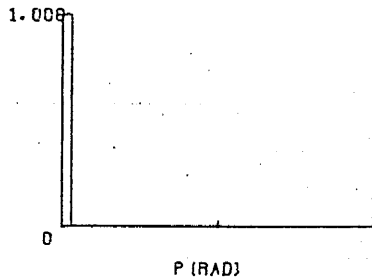
TIME HISTORY OF VELOCITY MAX. = 10.43 KINE



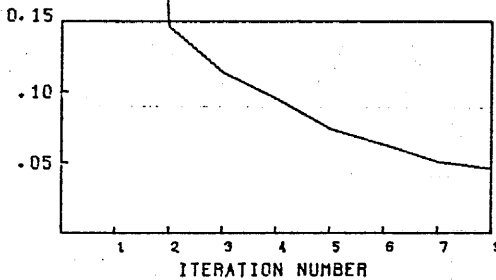
TIME HISTORY OF DISPLACEMENT MAX. = 6.081 CM



PHASE DIF. DISTRIBUTION



CONVERGENCE



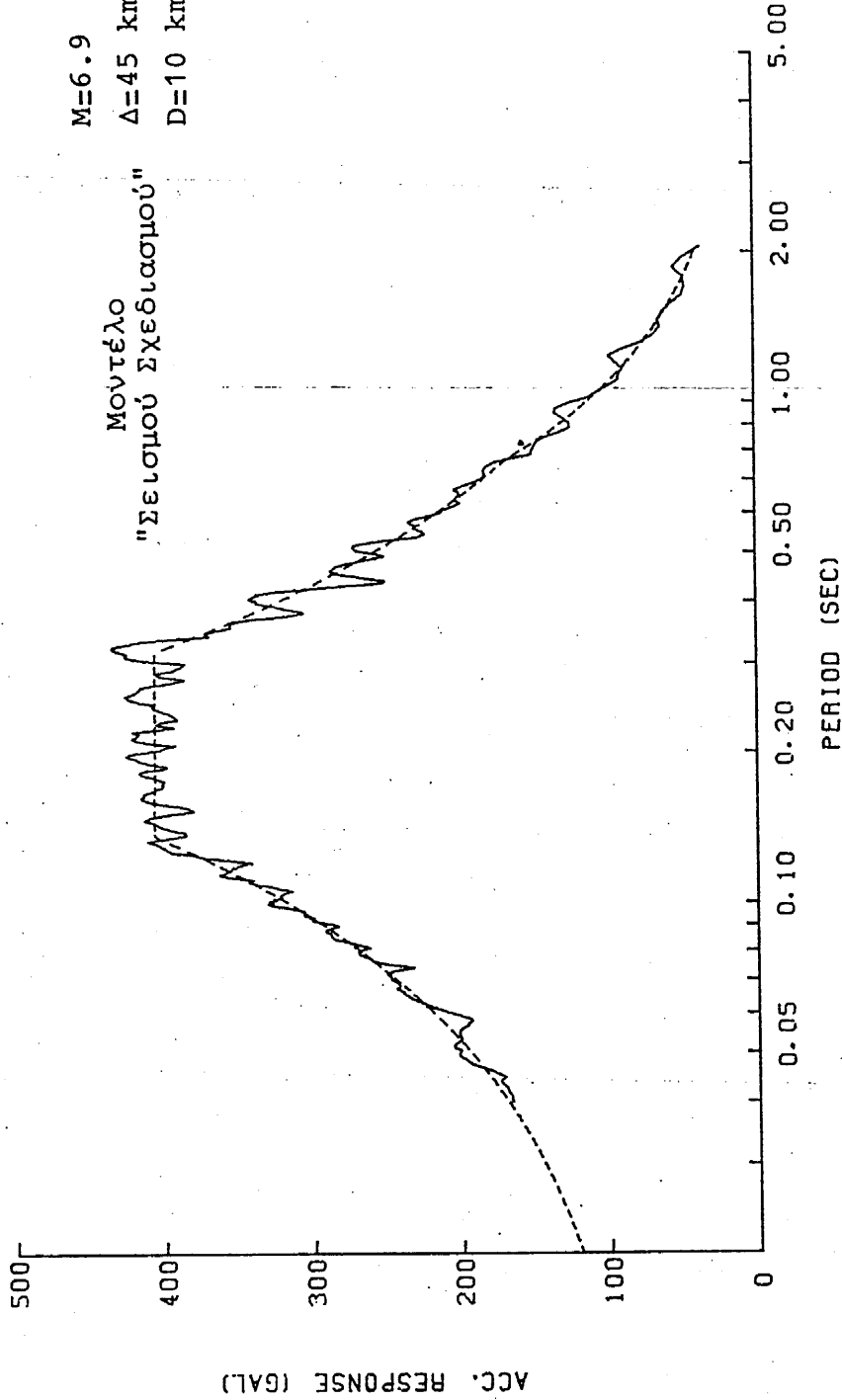
Σχ.4.6. Αναμενόμενες χρονικές εξελίξεις της εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης σε περίπτωση σεισμού με επικεντρική απόσταση 45 km από την πόλη της Καλαμάτας.

***SYNTHESIZED GROUND MOTION

MAX. ACC. 157.44 (GAL)
H = 0.050

M=6.9
Δ=45 km
D=10 km

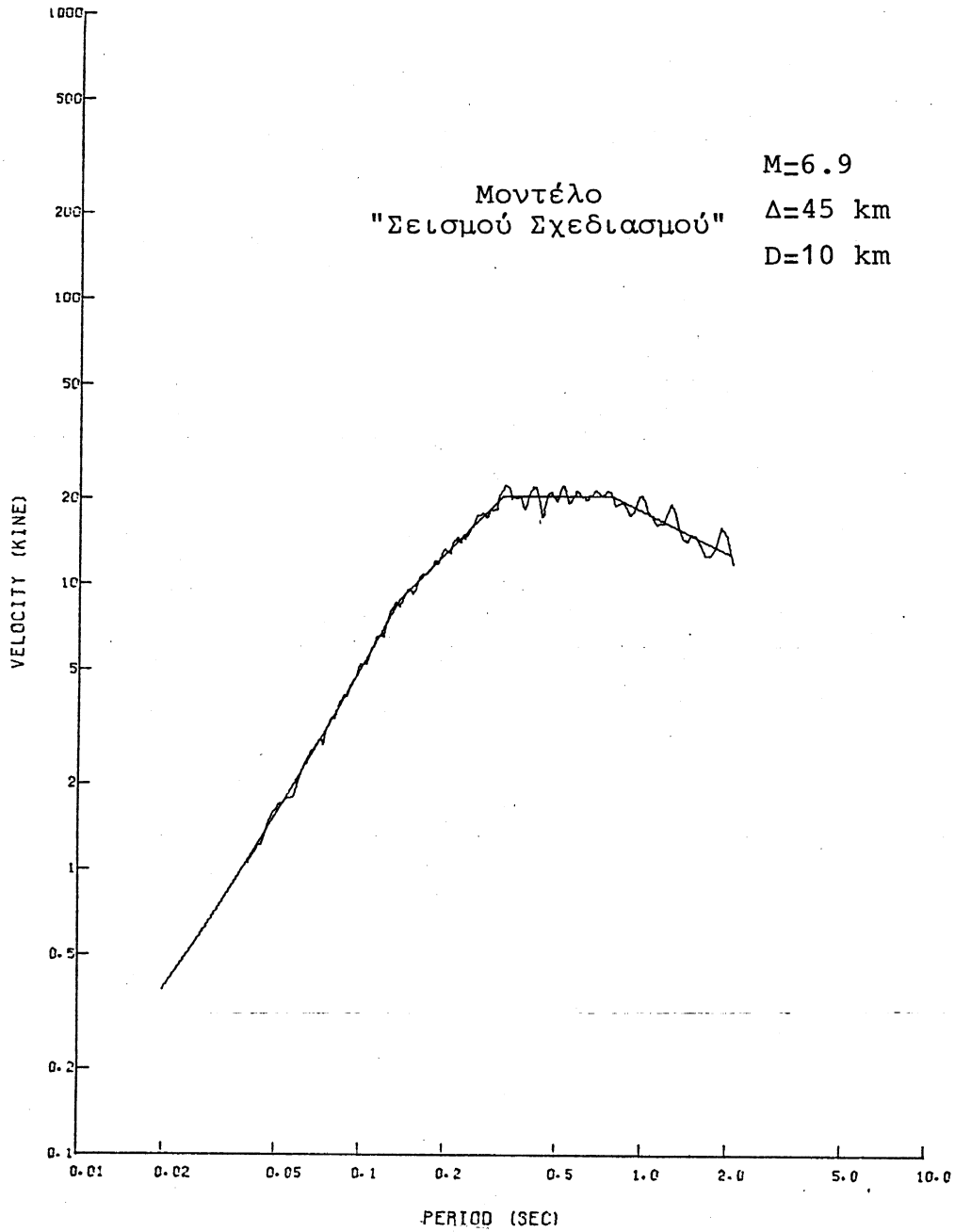
Μοντέλο
"Σεισμού Σχεδιασμού"



ΣΧ.4.7. Αναμενόμενες φασματικές επιταχύνσεις σε περίπτωση σεισμού με επικεντρική απόσταση 45 km από την πόλη της Καλαμάτας.

***SYNTHESIZED GROUND MOTION

H = 0.050



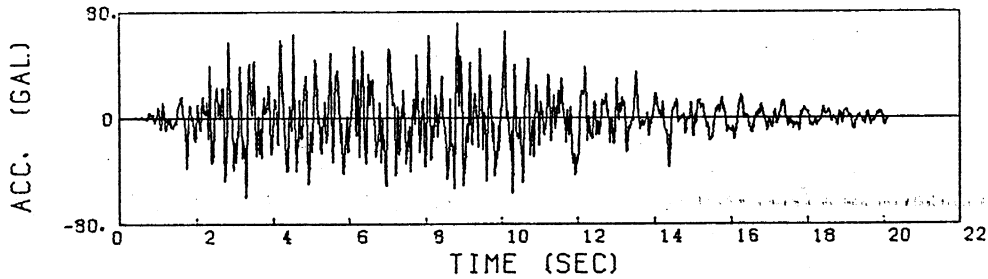
Σχ.4.8. Αναμενόμενες φασματικές ταχύτητες σε περίπτωση σεισμού με επικεντρική απόσταση 45 km από την πόλη της Καλαμάτας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4. Μοντέλο Σεισμού Σχεδιασμού για Μεγάλη Επικεντρική Απόσταση από την Πόλη της Καλαμάτας

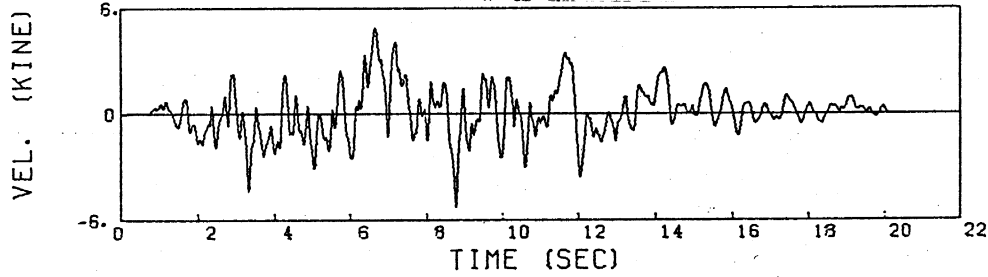
	Δ (km)	D (km)	X	P	Q	T_d (sec)	T_e (sec)	NN	V_{max} (Kine)
M=7.2	100	15	101.12	1.695	0.649	28.7	10.76	1435	2.21

Μοντέλο "Σεισμού Σχεδιασμού" M=7.2
Δ=100 km
D=15 km

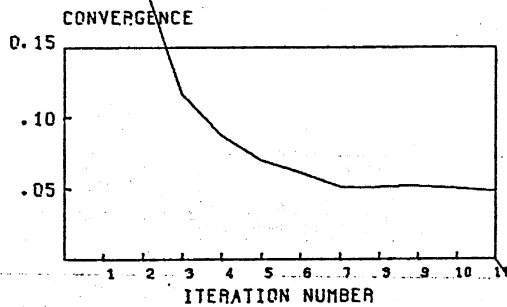
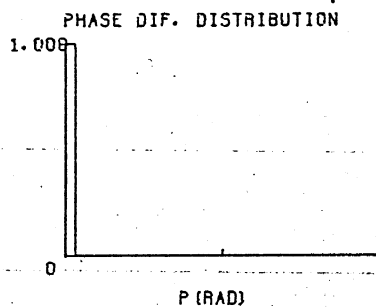
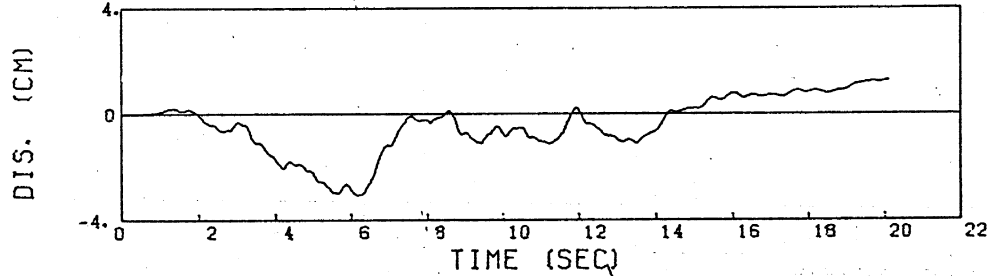
ITERATION ; 11 H= 0.05 IR= 4543
TIME HISTORY OF ACCELERATION MAX. = 72.2GAL



TIME HISTORY OF VELOCITY MAX. = 5.30 KINE



TIME HISTORY OF DISPLACEMENT MAX. = 3.087 CM



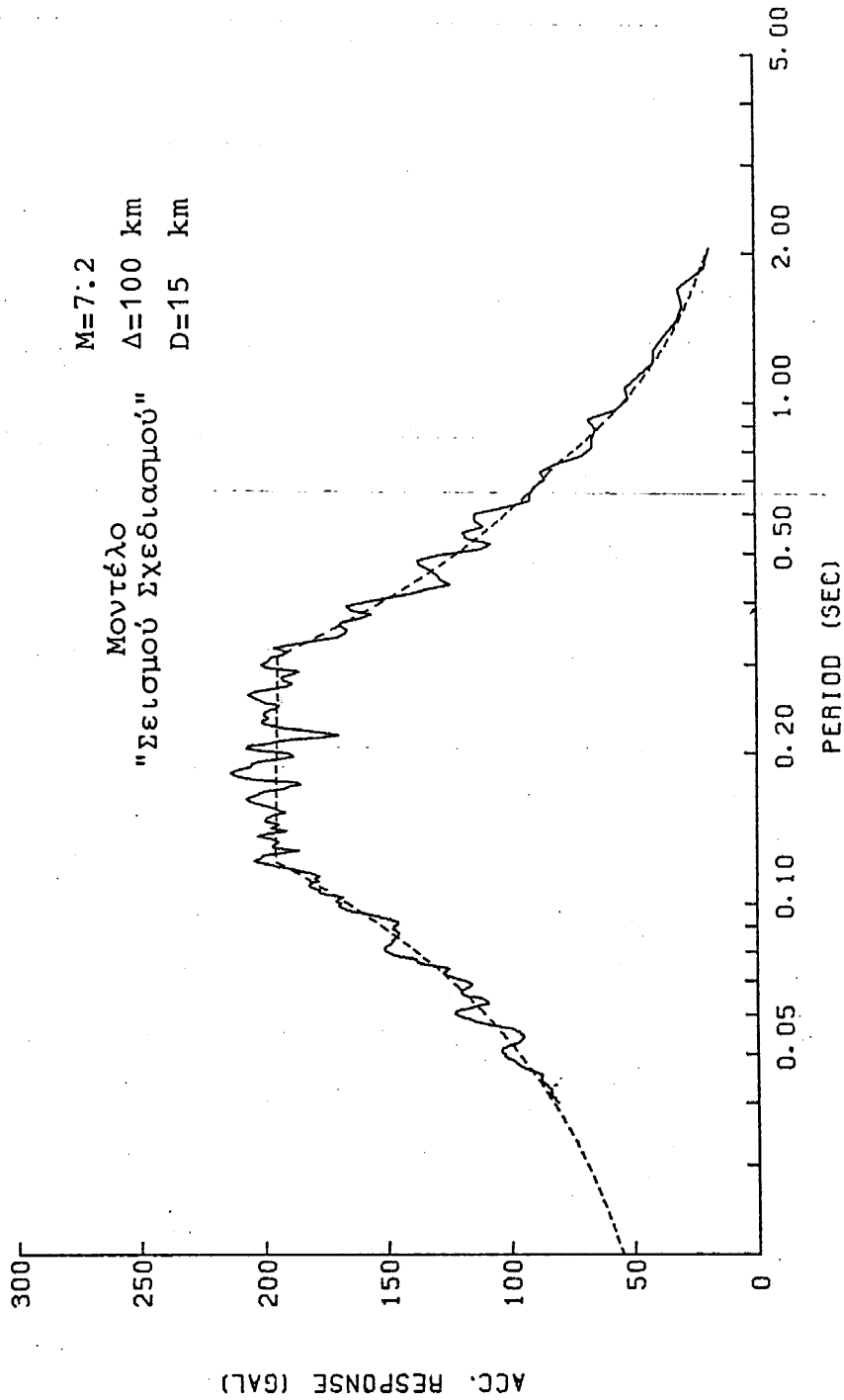
Σχ.4.9. Χρονικές εξελίξεις των αναμενόμενων εδαφικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων σε περίπτωση σεισμού με επικεντρική απόσταση 100 km από την πόλη της Καλαμάτας.

***SYNTHESIZED GROUND MOTION

MAX. ACC. 72.15 (GAL)
H = 0.050

M=7:2
 $\Delta=100$ km
D=15 km

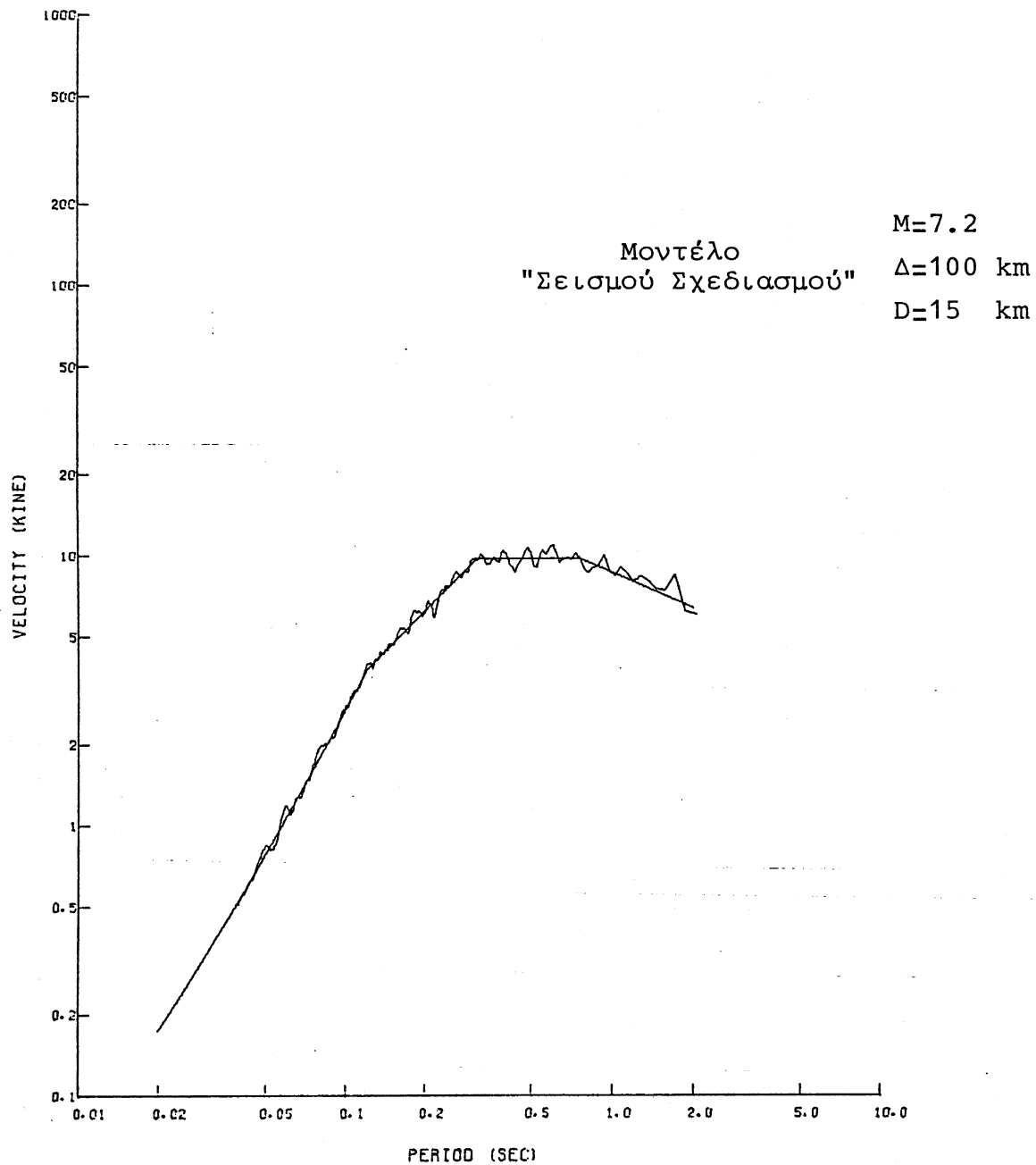
Μοντέλο
"Σεισμού Σχεδιασμού"



Σχ.4.10. Αναμενόμενες φασματικές επιταχύνσεις σε περίπτωση σεισμού με επικεντρική απόσταση 100 km από την πόλη της Καλαμάτας.

***SYNTHESIZED GROUND MOTION

H = 0.050



Σχ.4.11. Αναμενόμενες φασματικές ταχύτητες σε περίπτωση σεισμού με επικεντρική απόσταση 100 km από την πόλη της Καλαμάτας.