

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

**ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΝΤΑΞΗ
ΝΕΟΥ ΧΑΡΤΗ ΖΩΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ
ΕΛΛΑΔΑΣ ΣΥΜΒΑΤΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΙΣΧΥΟΝΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΟ
ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΚΑΙ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8**

**ΦΟΡΕΑΣ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ
Ο.Α.Σ.Π.**

**ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ
ΧΡΗΣΤΟΣ Α. ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ
ΚΥΡΙΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2001**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	3
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	11
3.1 ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΛΟΓΟΙ ΣΕΙΣΜΩΝ	11
3.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ	16
3.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	24
4. ΧΑΡΤΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	25
4.1 ΧΑΡΤΗΣ ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΝ	25
4.2 ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ	28
4.3 ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ	32
4.4 ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΜΕΤΑΘΕΣΕΩΝ	35
4.5 ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ	36
4.6 ΧΑΡΤΕΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ	39
5. ΧΑΡΤΕΣ ΖΩΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	43
6. ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ	51
6.1 ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ	51
6.2 ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ	53
6.3 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	57
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	

1. ΓΕΝΙΚΑ

Σύμφωνα με τη σύμβαση η οποία υπογράφηκε μεταξύ του ΟΑΣΠ και του ΙΤΣΑΚ και τα σχετικά παραρτήματα ο ΟΑΣΠ ανέθεσε στο ΙΤΣΑΚ σε συνεργασία με το Γ.Ι. του Ε.Α.Α., το Εργ. Γεωφυσικής του ΑΠΘ και τα Εργαστήρια Σεισμολογίας των Πανεπιστημίων Αθηνών και Πατρών ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο: *“Συλλογή & επεξεργασία σεισμικών δεδομένων και εκπόνηση νέου χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας συμβατού με τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό και τον Ευρωκώδικα 8”*.

Το κείμενο αυτό είναι η τελική έκθεση του ανωτέρω ερευνητικού προγράμματος, υποβάλλεται από το Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας & Αντισεισμικών Κατασκευών (Ι.Τ.Σ.Α.Κ.) στα πλαίσια των υποχρεώσεων που απορρέουν από τη σχετική Σύμβαση που υπογράφηκε μεταξύ των δύο φορέων. Το πρόγραμμα αυτό εκπονήθηκε στο χρονικό διάστημα 18-12-2001 έως 31-12-2001.

Στην έκθεση αυτή περιγράφονται οι ενέργειες που έγιναν για την επίτευξη των στόχων του προγράμματος και παρουσιάζεται ο επιστημονικός απολογισμός του, δηλαδή, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ερευνητική προσπάθεια ερευνητών του ΙΤΣΑΚ. Ταυτόχρονα παρατίθεται σύντομη ανασκόπηση της έρευνας στον Ελληνικό χώρο και δίνονται πρόσθετες πληροφορίες. Στο Παράρτημα δίνονται οι δημοσιεύσεις οι οποίες εκπονήθηκαν στα πλαίσια του Προγράμματος.

Σε σύγκριση με την εκπόνηση του προηγούμενου χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας στην εκπόνηση αυτού του προγράμματος αξιοποιήθηκε η πρόσφατη σεισμολογική έρευνα λαμβάνοντας υπόψη:

- ✓ Τα νεότερα μοντέλα σεισμικών πηγών (Papaioannou and Papazachos, 2000) αλλά και τον καθορισμό ενός νέου υβριδικού μοντέλου.
- ✓ Τον καθορισμό των ρηγμάτων των ισχυρών σεισμών στο Ν. Βαλκανικό χώρο (Παπαζάχος και συν. 2001).
- ✓ Τις πρόσφατες απόψεις για τη σεισμικότητα και τη γεωφυσική του Ελληνικού χώρου (Papazachos et al., 1998; Papazachos, 1999)
- ✓ Την ενσωμάτωση της ανισότροπης ακτινοβολίας (Papazachos 1993; Μάργαρης 1994)
- ✓ Τη νέα σχέση απόσβεσης της Μακροσεισμικής Έντασης (Papazachos & Papaioannou, 1997).
- ✓ Τις νέες σχέσεις απόσβεσης των τιμών των μέγιστων εδαφικών παραμέτρων (Μάργαρης και συν., 2001)
- ✓ Την αξιοποίηση νέων βελτιωμένων αλγορίθμων για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας

Όπως προκύπτει από την ανάγνωση των επιμέρους κεφαλαίων όλοι οι προβλεπόμενοι στόχοι του προγράμματος έχουν υλοποιηθεί πλήρως.

Στην εκπόνηση του προγράμματος αυτού συμμετείχαν οι:

Χρήστος Α. Παπαϊωάννου,	Δρ. Σεισμολόγος, Κύριος Ερευνητής (Επιστημονικός Υπεύθυνος)
Νίκος Θεοδουλίδης,	Δρ. Σεισμολόγος, Κύριος Ερευνητής
Βασίλης Μάργαρης,	Δρ. Σεισμολόγος, Εντεταλμένος Ερευνητής
Νίκος Κλήμης,	Δρ. Πολ. Μηχανικός, Εντεταλμένος Ερευνητής
Βασίλης Λεκίδης,	Δρ. Πολ. Μηχανικός, Εντεταλμένος Ερευνητής

επίσης συμμετείχε χωρίς αμοιβή και ο Αναστάσιος Αναστασιάδης, Δρ. Πολ. Μηχανικός, Εντεταλμένος Ερευνητής. Ο Πρόεδρος του ΙΤΣΑΚ, ομότιμος καθηγητής Βασ. Κ. Παπαζάχος, συμμετείχε χωρίς αμοιβή και είχε ενεργό συμμετοχή στην παρακολούθηση και καθοδήγηση της εργασίας. Επίσης διέθεσε για τις ανάγκες του προγράμματος αδημοσίευτα δεδομένα.. Το προσωπικό του Διοικητικού και Οικονομικού Τμημάτων του ΙΤΣΑΚ είχε ενεργή έμμεση εμπλοκή διεκπεραιώνοντας με ευσυνειδησία και ταχύτητα το έργο της υποστήριξης. Για το λόγο αυτό εκφράζονται οι ευχαριστίες του επιστημονικά υπεύθυνου.

2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

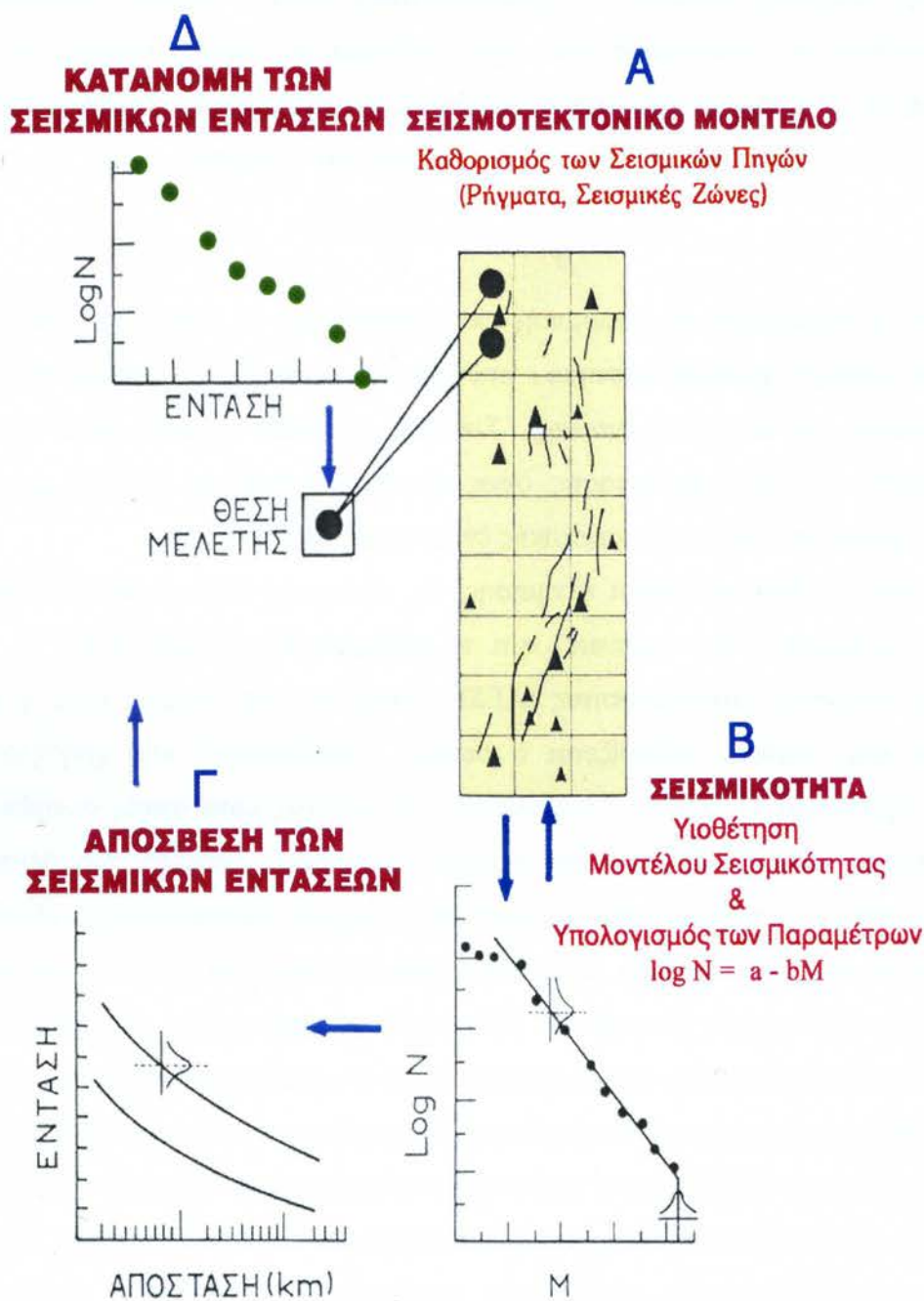
Με τον όρο *σεισμική επικινδυνότητα* σε ένα τόπο εννοούμε την αναμενόμενη στον τόπο αυτό τιμή της σεισμικής έντασης, Y , (μακροσεισμική ένταση, μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, ή οι φασματικές τους τιμές, διάρκεια της ισχυρής κίνησης) σε καθορισμένο χρονικό διάστημα με ορισμένη πιθανότητα υπέρβασης της τιμής αυτής. Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος της σεισμικής επικινδυνότητας δίνεται από τη σχέση:

$$Y_t = \frac{\ln N_0 t}{\beta} - \frac{\ln[-\ln(1 - P_t)]}{\beta} \quad (1)$$

όπου Y_t είναι η παράμετρος της σεισμικής επικινδυνότητας, η οποία έχει πιθανότητα P_t να υπερβληθεί σε ορισμένο χρονικό διάστημα t ετών και N_0, β σταθερές οι οποίες υπολογίζονται από σχέσεις κατανομής της σεισμικής έντασης. Συνήθως οι σταθερές αυτές υπολογίζονται από την κατανομή θεωρητικών τιμών της έντασης όπως προκύπτουν αυτές με βάση τη χρήση καταλόγων σεισμών και σχέσεις απόσβεσης της σεισμικής έντασης με την απόσταση.

Δύο είναι οι βασικοί τρόποι εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας σε μία θέση ή περιοχή, η αιτιοκρατική (deterministic) και η πιθανολογική (probabilistic). Η αιτιοκρατική εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας (ΑΕΣΕ) βασίζεται στη επιλογή ενός ή περισσότερων σεισμών από τους οποίους καθορίζεται ο σεισμός “σχεδιασμού” που χρησιμοποιείται στον αντισεισμικό σχεδιασμό. Ο σεισμός “σχεδιασμού” για κρίσιμες κατασκευές συνήθως καθορίζεται από σεισμολογικές καταγραφές ιστορικών σεισμών και φυσικές ιδιότητες των σεισμικών πηγών. Από την άλλη πλευρά, η πιθανολογική εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας (ΠΕΣΕ) καθορίζει τα βασικά ερωτήματα, **πόσο ισχυρά** και **πόσο συχνά** το έδαφος θα κινηθεί, λαμβάνοντας υπόψη όλους του πιθανούς σεισμούς οι οποίοι θα μπορούσαν να επηρεάσουν μία εξεταζόμενη θέση. Η ΠΕΣΕ συνδυάζει πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με το μέγεθος των σεισμικών συμβάντων, την εξεταζόμενη θέση και την ετήσια πιθανότητα επανάληψης των σεισμών που απειλούν την θέση. Σε αντίθεση με την τυπική ΑΕΣΕ η οποία υιοθετηθεί συγκεκριμένους σεισμούς, η ΠΕΣΕ επιτρέπει τη χρησιμοποίηση πολλαπλών σεισμικών συμβάντων διαφόρων σεισμικών μεγεθών περιλαμβάνοντας επίσης και τις αβεβαιότητες των αντίστοιχων υπολογισμών. Σε πρόσφατη αναλυτική σύγκριση των ΑΕΣΕ και ΠΕΣΕ ο McGuire (2001) προτείνει ότι οι δύο προσεγγίσεις της εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας πρέπει να είναι συμπληρωματικές. Η δυνατότητα της μία προσέγγισης σε σχέση με την άλλη εξαρτάται από τις αποφάσεις μείωσης του σεισμικού κινδύνου, από το σεισμικό περιβάλλον της περιοχής και το σκοπό της μελέτης για την οποία πραγματοποιείται η εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας.

Η μεθοδολογία η οποία συνήθως χρησιμοποιείται για την πιθανολογική εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας (ΠΕΣΕ) προτάθηκε αρχικά από τον Cornell (1968). Τα βασικά βήματα αυτής δίνονται στο σχήμα 1 και μπορούν να συνοψιστούν παρακάτω.



Σχήμα 1. Βήματα εργασίας για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας.

- A. Καθορισμός των σεισμικών πηγών. Καθορίζονται οι σεισμικές πηγές οι οποίες πιθανά να επηρεάσουν την εξεταζόμενη θέση. Οι πηγές αυτές καθορίζονται με βάση σεισμολογικά και σεισμοτεκτονικά στοιχεία της περιοχής. Οι σεισμικές πηγές καθορίζονται ως ομοιόμορφες

σεισμικά περιοχές όπου η πιθανότητα να συμβεί ένα σεισμός δεδομένου μεγέθους είναι ίδια σ' ολόκληρη την πηγή.

- B. Καθορισμός μοντέλου σεισμικότητας. Στο βήμα αυτό καθορίζεται το μοντέλο ρυθμού επανάληψης των σεισμικών συμβάντων σε κάθε σεισμική πηγή. Σε αντίθεση με την ΑΕΣΕ όπου επιλέγεται ένα χαρακτηριστικός σεισμός για κάθε σεισμική πηγή, στην ΠΕΣΕ κάθε σεισμική πηγή χαρακτηρίζεται από μία σεισμική πιθανοτική κατανομή ή ένα μοντέλο ρυθμού επανάληψης. Το μοντέλο επανάληψης παρουσιάζει την πιθανότητα ενός σεισμού δεδομένου μεγέθους ο οποίος μπορεί να συμβεί παντού μέσα στην σεισμική πηγή για δεδομένο χρονικό διάστημα, συνήθως ενός έτους. Για κάθε σεισμική πηγή επιλέγεται και ένας μέγιστος σεισμός, ο οποίος σε αντίθεση με την ΑΕΣΕ που χρησιμοποιείται ως ο μοναδικός σεισμός της ανάλυσης, στην ΠΕΣΕ αποτελεί το ανώτερο όριο μεγέθους σεισμού το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη. Το μοντέλο του ρυθμού επανάληψης κάθε σεισμικής πηγής μπορεί να απεικονισθεί με μία ευθεία γραμμή η οποία καθορίζεται από τα δεδομένα παρατήρησης και η κλίση της εξαρτάται από τη σεισμικότητα της εξεταζόμενης πηγής. Κατά την ΠΕΣΕ συνήθως υιοθετούνται δύο μοντέλα εμφάνισης σεισμών στις διάφορες σεισμικές πηγές. Τα μοντέλα αυτά είναι το χρονικά ανεξάρτητο (χωρίς μνήμη) και το χρονικά εξαρτημένο. Το μοντέλο χωρίς μνήμη υποθέτει ότι κάθε σεισμός που συμβαίνει σε μία σεισμική πηγή δεν έχει καμία απολύτως επίδραση στη θέση και το μέγεθος του επόμενου σεισμικού συμβάντος. Η υπόθεση χωρίς μνήμη ονομάζεται μοντέλο Poisson βασίζεται στην πιθανοτική κατανομή Poisson (Benjamin and Cornell, 1970) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κάνει μερικές χρήσιμες προσεγγίσεις. Αντίθετα το χρονικά εξαρτημένο μοντέλο θεωρεί βασική προϋπόθεση την εξάρτηση του μεγέθους και της γένεσης των επόμενων σεισμικών συμβάντων από τα προηγούμενα.
- Γ. Καθορισμός σχέσεων πρόβλεψης της ισχυρής κίνησης. Οι σχέσεις πρόβλεψης της ισχυρής κίνησης περιγράφουν την μεταβολή του πλάτους των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης (μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, διάρκεια της ισχυρής κίνησης, φασματικές τιμές της ψευδο-ταχύτητας και ενέργειας) σε συνάρτηση με το μέγεθος του σεισμού την απόσταση (σεισμικής πηγής – σταθμού καταγραφής) και τις τοπικές εδαφικές συνθήκες της θέσης του επιταχυνσιογράφου. Διάφορες σχέσεις πρόβλεψης της ισχυρής κίνησης έχουν προταθεί υιοθετώντας διαφορετικούς ορισμούς του μεγέθους, της απόστασης και των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Οι σχέσεις αυτές έχουν επίσης αναπτυχθεί για καταγραφές που προέρχονται από διάφορα σεισμοτεκτονικά περιβάλλοντα και διάφορους μηχανισμούς γένεσης σεισμών (ρήγματα ανάστροφα, κανονικά, διεύθυνσης).

Δ. Καθορισμός πιθανολογικής ανάλυσης της σεισμικής επικινδυνότητας. Η ΠΕΣΕ είναι διαφορετική από τη διαδικασία η οποία υιοθετείται κατά την ΑΕΣΕ. Στην συγκεκριμένη περίπτωση οι επιδράσεις των διαφορετικών μεγεθών σεισμών που συμβαίνουν σε διαφορετικές θέσεις σε διάφορες σεισμικές πηγές με διαφορετικές πιθανότητες επανάληψης, ολοκληρώνονται σε μία καμπύλη. Αυτή παρουσιάζει την πιθανότητα υπέρβασης διαφορετικών επιπέδων της εδαφικής κίνησης σε μία θέση κατά τη διάρκεια καθορισμένου χρονικού διαστήματος. Με βάση κάποιες υποθέσεις η πιθανότητα αυτή μπορεί να γραφεί:

$$P(z) = \sum_{i=1}^N a_i \int_{m_0}^{m_u} \int_{r=0}^{r=\infty} f_i(m) f_i(r) P(Z > z/m, r) dr dm. \quad (2)$$

όπου $P(z)$ είναι ο αναμενόμενος αριθμός των υπερβάσεων της εδαφικής επιπέδου z κατά τη διάρκεια ενός καθορισμένου χρονικού διαστήματος t . Ο μέσος ρυθμός επανάληψης, a_i , των σεισμών μεταξύ κατώτερου και ανώτερου ορίου μεγέθους (m_0 και m_u) μελετάται στην i -στη σεισμική πηγή. Οι $f_i(m)$ και $f_i(r)$ είναι οι πιθανοτικές κατανομές πυκνότητας του σεισμικού μεγέθους και της απόστασης μέσα στην σεισμική πηγή i .

Κάθε ένα από τα παραπάνω βήματα περιέχει αβεβαιότητες οι οποίες μοντελοποιούνται και αναλύονται με τη χρήση πιθανολογικών μεθόδων. Η πιθανότητα υπέρβασης μίας ορισμένης τιμής της εδαφικής κίνησης για ένα συγκεκριμένο σεισμικό συμβάν υπολογίζεται από το θεώρημα της ολικής πιθανότητας:

$$P(Y > y) = \int P(Y > y/x) f(x) dx \quad (3)$$

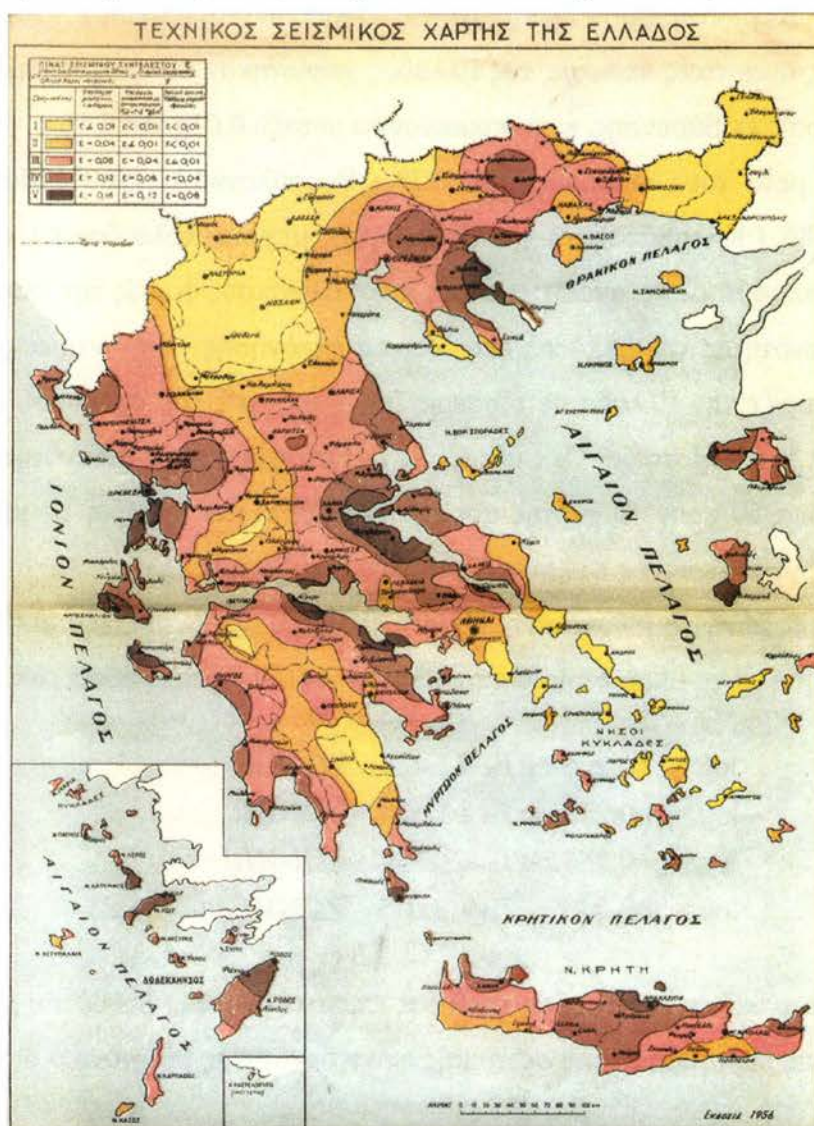
όπου P είναι η πιθανότητα, Y η ένταση της εδαφικής κίνησης, y το επίπεδο έντασης της εδαφικής κίνησης για το οποίο εκτιμάται η πιθανότητα υπέρβασης, X είναι το άνωσμα των τυχαίων μεταβλητών που επηρεάζουν τις τιμές του Y και η ολοκλήρωση γίνεται για όλα τα δυνατά αποτελέσματα της X . Για τον προσδιορισμό της πιθανότητας υπέρβασης της συγκεκριμένης εδαφικής κίνησης κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος, η παραπάνω πιθανότητα προσδιορίζεται με το μοντέλο εμφάνισης των σεισμικών συμβάντων στο χρόνο. Η πλέον κοινή επιλογή των μεταβλητών X είναι το μέγεθος του σεισμού, M και η απόσταση από την εστία R . Με αυτή την υπόθεση η προηγούμενη σχέση γίνεται:

$$P(Y > y) = \int \int_{R, M} P(Y > y/m, r) f_R f_M dm dr \quad (4)$$

η οποία χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας σε μία θέση.

Η σχέση (1), για τη σεισμική επικινδυνότητα θεωρεί ότι οι υπολογισμοί για την τιμή της παραμέτρου Y_i της σεισμικής επικινδυνότητας δεν εξαρτώνται χρονικά από την σεισμική δράση του παρελθόντος, δηλαδή θεωρεί ότι οι σεισμοί κατανέμονται τυχαία στο χρόνο. Θεωρείται δηλαδή ότι οι σεισμοί ακολουθούν μία κατανομή Poisson. Ο λόγος για τον οποίο το μοντέλο Poisson έχει

εφαρμοστεί σε ευρεία κλίμακα σε μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας είναι α) ότι είναι απλό στην εφαρμογή του και β) περιγράφεται με παραμέτρους οι οποίες υπολογίζονται με εύκολο τρόπο, χωρίς μεγάλα σφάλματα. (Cornel, 1968; Anagnos and Kiremidjian, 1988).



Σχήμα 2.- Τεχνικός Σεισμικός Χάρτης της Ελλάδας (Ρουσόπουλος, 1956).

Στο παρελθόν έχουν εκπονηθεί δύο επίσημοι χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας. Ο πρώτος χάρτης (ο οποίος δίνεται στο σχήμα 2) με την ονομασία *Τεχνικός Σεισμικός Χάρτης της Ελλάδας* (Τεχνικά Χρονικά, τεύχος 184, 1939) διαίρουσε την Ελλάδα σε ζώνες και σε κάθε ζώνη όριζε τον συντελεστή οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης, ϵ , εισάγοντας για κάθε ζώνη τέσσερις περιπτώσεις σεισμικής επιτάχυνσης αναλόγως του είδους του εδάφους. Στη δεύτερη έκδοση του χάρτη αυτού (Ρουσόπουλος, 1956) έγιναν μεταβολές λόγω των νεώτερων δεδομένων μέχρι το 1949 και επίσης περιλήφθηκαν τα Δωδεκάνησα, τα οποία είχαν ήδη περιέλθει στην Ελλάδα. Οι τιμές του

συντελεστή, ε , κυμαίνονταν μεταξύ 0.01g και 0.16g. Όπως φαίνεται ο χάρτης είχε βασιστεί στη κατανομή των μεγίστων εντάσεων από τους σεισμούς της τελευταίας εκατονταετίας.

Στον Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959 (Βασιλικό Διάταγμα 19/26.2.1959, ΦΕΚ 36Α) δίνονταν πίνακας “Χαρακτηρισμού Σεισμικότητας Οικισμών της Ελλάδας”. Με βάση τον Πίνακα αυτό οι κυριότερες οικιστικές περιοχές της Ελλάδας χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες με τιμές του συντελεστή σεισμικής επιβάρυνσης, ε , να κυμαίνονται μεταξύ 0.01g και 0.16g.

Το 1986 μετά τους σεισμούς του 1978 (:Θεσσαλονίκη), 1980 (:Μαγνησία) και 1981 (:Αλκυονίδες), 1986 (:Καλαμάτα), οι οποίοι έπληξαν μεγάλα πολεοδομικά συγκροτήματα της χώρας, ο ΟΑΣΠ αποφάσισε να αναθέσει στους σεισμολογικούς φορείς την εκπόνηση νέου χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας στα πλαίσια εκπόνησης νέου αντισεισμικού κανονισμού. Ο χάρτης αυτός χώριζε την Ελλάδα σε τέσσερις ζώνες με τιμές του σεισμικού συντελεστή 0.12g, 0.16g, 0.24g και 0.36g αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούσαν σε πιθανότητα υπέρβασης 10% για χρονική διάρκεια 50 ετών. Ο χάρτης αυτός ισχύει μέχρι και σήμερα, με μία τροποποίηση το 1995 για την ένταξη της περιοχής Κοζάνης-Γρεβενών στη ζώνη II. (Σχήμα 3).

Για κάθε μία ζώνη η πιθανότερη μέγιστη τιμή της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, γ_m , δίνεται σε συνάρτηση με τη μέση περίοδο επανάληψης T_m . Οι σχέσεις αυτές είναι:

$$\begin{aligned} \log \gamma_m &= 0.266 \log T_m + 1.424 & \text{ZΩNHI} \\ \log \gamma_m &= 0.277 \log T_m + 1.579 & \text{ZΩNHII} \\ \log \gamma_m &= 0.264 \log T_m + 1.739 & \text{ZΩNHIII} \\ \log \gamma_m &= 0.240 \log T_m + 2.015 & \text{ZΩNHIV} \end{aligned} \quad (5)$$

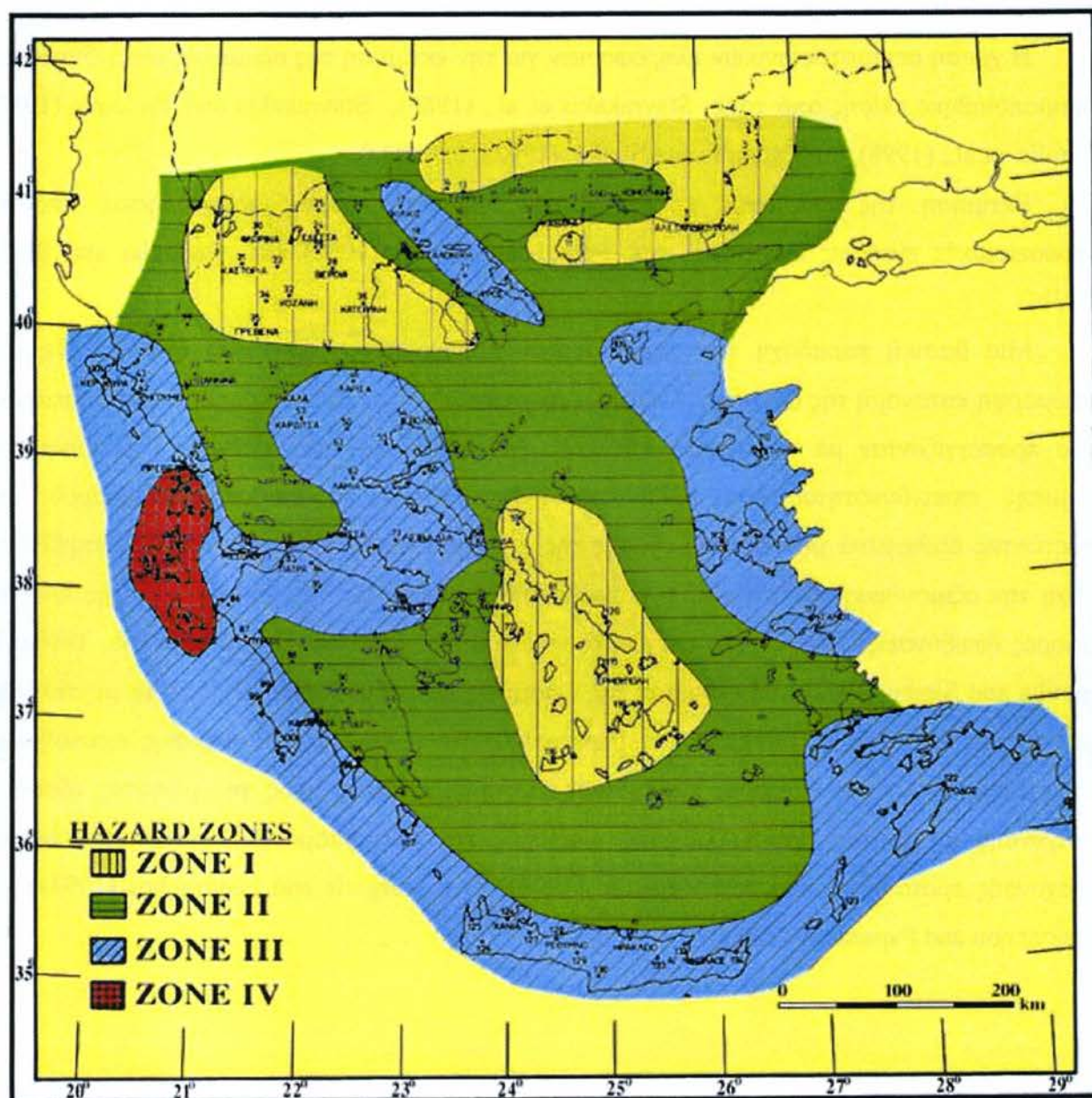
Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέση περίοδος επανάληψης, T_m , συνδέεται με την πιθανότητα υπέρβασης, P_t , μίας παραμέτρου της σεισμικής επικινδυνότητας σε χρονικό διάστημα, Dt , με την σχέση:

$$T_m = -\frac{Dt}{\ln(1 - P_t)} \quad (6)$$

είναι προφανές ότι σε συνδυασμό με τις σχέσεις (5) και (6) μπορεί για κάθε ζώνη του ΕΑΚ να υπολογίσουμε την αναμενόμενη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, για οποιαδήποτε μέση περίοδο επανάληψης.

Οι έρευνες πάνω στο πρόβλημα της εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας στην Ελλάδα έχουν γίνει τις τελευταίες δεκαετίες: στις πρώτες εργασίες περιλαμβάνονταν χάρτες με τη γεωγραφική κατανομή ορισμένων παραμέτρων της σεισμικής επικινδυνότητας, όπως των μεγίστων μακροσεισμικών εντάσεων που είχαν παρατηρηθεί (Galanopoulos and Delibasis, 1972), των

μέγιστων αναμενόμενων μακροσεισμικών εντάσεων (Shebalin et al. 1976, Παπαϊωάννου 1984, Papazachos et al. 1985), της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης ή ταχύτητας (Algermissen et al. 1976, Drakopoulos and Makropoulos 1983, Παπαϊωάννου 1984, Makropoulos and Burton 1986) και της διάρκειας της ισχυρής σεισμικής κίνησης (Margaris et al. 1990, Papazachos et al. 1992).



Σχήμα 3. Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας (Παπαζάχος και συνεργ. 1989).

Ο Σταυρακάκης (1985) έκανε εφαρμογή της μεθόδου Bayes, Η σεισμικότητα θεωρήθηκε ότι περιγράφεται από το μοντέλο Poisson-Gamma. Η Παπούλια (1988) εφάρμοσε την πρώτη και τρίτη κατανομή του Gumbell (1956) και την μέθοδο Cornell σε διάφορες πόλεις του Ελληνικού

χώρου και βρήκε ότι οι δύο κατανομές των ακραίων τιμών δίνουν συγκρίσιμα αποτελέσματα ενώ σε σχέση με την μέθοδο Cornell τα αποτελέσματα είναι υπερεκτιμημένα. Αυτό αποδόθηκε στις αβεβαιότητες της μεθοδολογίας Cornell σχετικά με το σεισμοτεκτονικό μοντέλο, την κατανομή των σεισμών και τις σχέσεις απόσβεσης. Οι Papaioannou and Papazachos (2000) εφάρμοσαν το χρονικά εξαρτημένο μοντέλο σεισμικότητας για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας σε 146 οικισμούς του Ελληνικού χώρου.

Η χρήση σεισμοτεκτονικών πληροφοριών για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκε επίσης από τους Stavrakakis et al., (1986), Stavrakakis and Tselentis (1987), Papoulia et al., (1998), και Papoulia and Slejko, (1992a, b; 1993a).

Εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας με απ' ευθείας παρατηρήσεις από τις μακροσεισμικές εντάσεις έγινε από τους Papazachos et al., (1990) και Papoulia and Slejko (1993b).

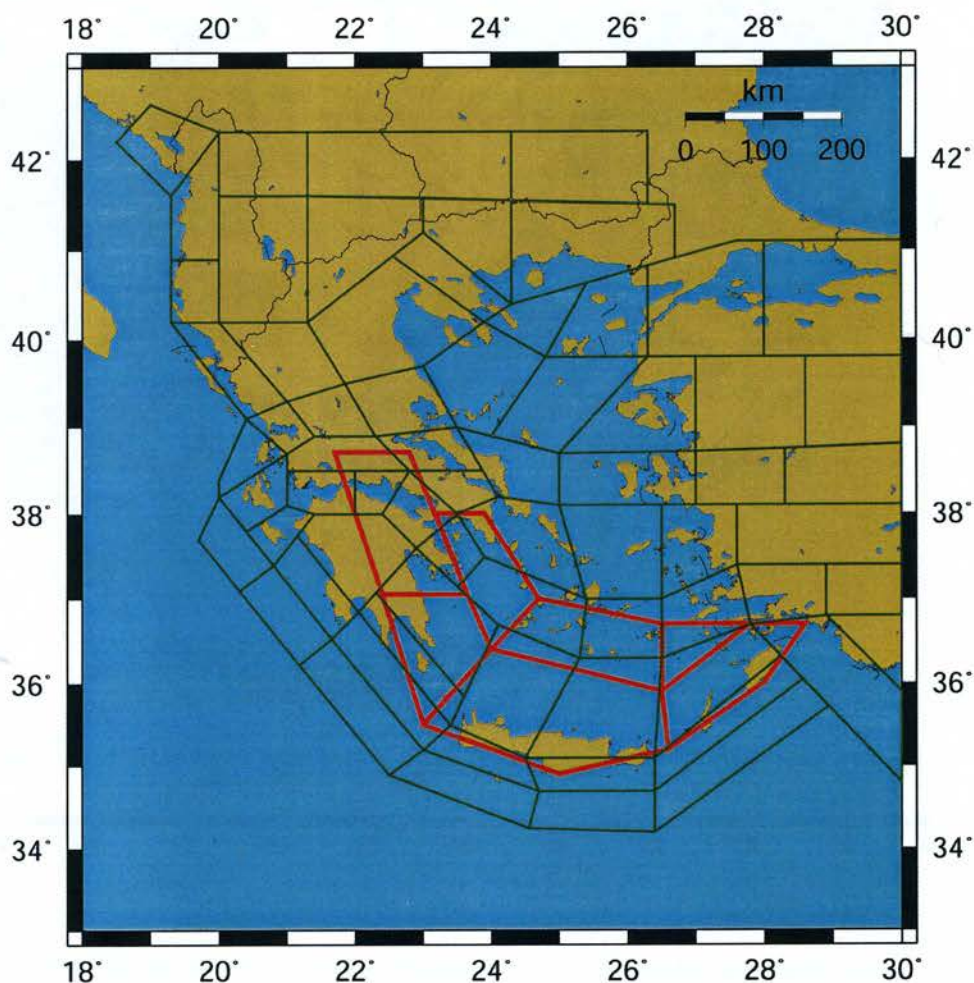
Μία βασική παραδοχή των περισσότερων προηγούμενων εργασιών ήταν ότι δεχόταν ομοιόμορφη κατανομή της σεισμικής ενέργειας στην εστία του σεισμού, δηλαδή το μακροσεισμικό πεδίο προσεγγίζονταν με την μορφή κύκλων. Με σκοπό την ρεαλιστικότερη εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου έγιναν προσπάθειες καθορισμού της, υιοθετώντας εξελιγμένα μοντέλα απόσβεσης της ισχυρής κίνησης. Τα μοντέλα αυτά λαμβάνουν υπόψη την αξιμουθιακή διάδοση ή την ανισότροπη ακτινοβολία της ισχυρής κίνησης προς τις διάφορες διευθύνσεις (Stavrakakis and Drakopoulos, 1988; Stavrakakis and Papoulia, 1990a, b; Papoulia and Slejko, 1992b). Η εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας με βάση το μοντέλο της αξιμουθιακής απόσβεσης (Margaris and Papazachos, 1991) και της ανισότροπης ακτινοβολίας (Papazachos, 1992) για διάφορες παραμέτρους ισχυρής κίνησης όπως της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, περιβαλλόμενης διάρκειας και των φασματικών τιμών της ψευδο-επιτάχυνσης προτάθηκαν από τον Μάργαρη (1994), τους Margaris and Papazachos (1994a) και Papaioannou and Papazachos (2000).

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

3.1 ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΛΟΓΟΙ ΣΕΙΣΜΩΝ

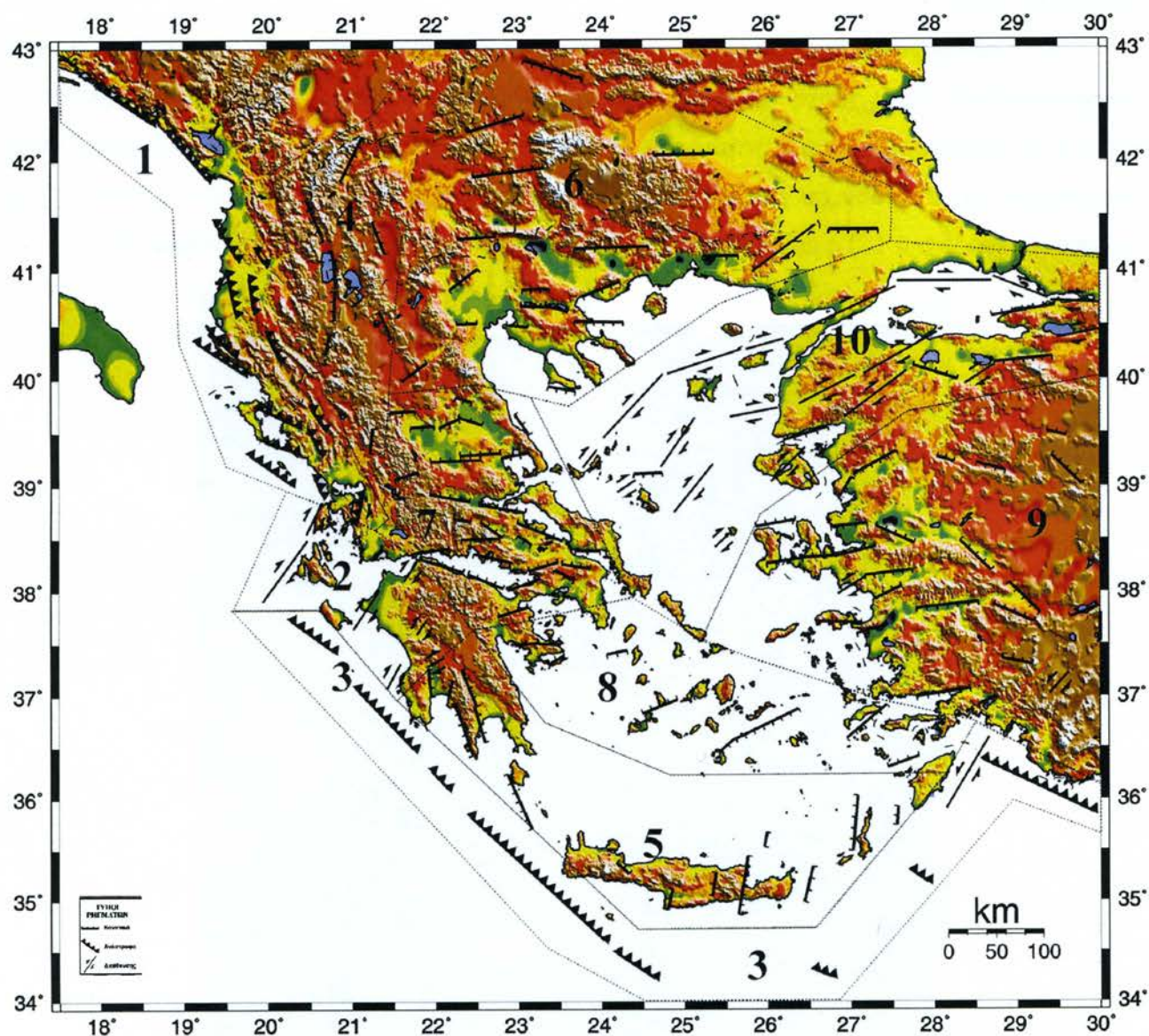
Το πρώτο μοντέλο σεισμικών πηγών για τον Αιγαίο χώρο προτάθηκε από τον Papazachos (1980). Στη συνέχεια σημαντικό τμήμα της έρευνας για τη σεισμική επικινδυνότητα βασίστηκε στο χωρισμό της ευρύτερης περιοχής του Αιγαίου σε σεισμικές ζώνες (Χατζηδημητρίου 1984, Papazachos 1990, Papazachos and Papaioannou 1993, Papaioannou and Papazachos 2000), για την εφαρμογή της μεθόδου που έχει προταθεί από τον Cornell (1968) με βάση τον κώδικα H/Y EQRISK (McGuire, 1976).

Το σεισμοτεκτονικό μοντέλο, το οποίο προτάθηκε από τον Papazachos (1990) χρησιμοποιήθηκε στον χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας του ΕΑΚ. Για κάθε σεισμική πηγή δόθηκαν οι παράμετροι σεισμικότητας. Οι περιοχές οι οποίες δεν ήταν μέσα σε σεισμικές πηγές θεωρήθηκαν ότι ανήκουν σε περιοχές με σεισμικότητα υποβάθρου (back-ground seismicity) με μέγιστο μέγεθος $M=6.1$. Το μοντέλο αυτό βασίστηκε σε ενόργανα και ιστορικά δεδομένα.



Σχήμα 4. Σεισμικές πηγές των επιφανειακών (μαύρες γραμμές) και ενδιάμεσου βάθους (κόκκινες) σεισμών (Papaioannou and Papazachos, 2000).

Πρόσφατα οι Papaioannou and Papazachos (2000) πρότειναν για τον Νότιο Βαλκανικό χώρο ένα μοντέλο (σχήμα 4) το οποίο αποτελείται από 67 σεισμικές πηγές επιφανειακών σεισμών και 7 για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους, για τις οποίες καθόρισαν τις παραμέτρους σεισμικότητας. Το μοντέλο αυτό βασίστηκε σε μεγαλύτερο όγκο ιστορικών δεδομένων (Papazachos and Papazachou, 1997), έλαβε υπόψη τους μεταγενέστερους από το μοντέλο του 1990 ισχυρούς σεισμούς (Κοζάνης 1995, Αιγίου 1995, Κόνιτσας 1996), τον καθορισμό των ζωνών διάρρηξης ισχυρών σεισμών στον Αιγαίο χώρο (Papazachos et al., 1999a) και τις νέες απόψεις για την σεισμοτεκτονική του Αιγαίου χώρου (Papazachos et al., 1998; McClusky et al., 2000).



Σχήμα 5. Τα κύρια σεισμικά ρήγματα επιφανειακών σεισμών στον ευρύτερο Αιγαίο χώρο (Παπαζάχος και συν. 2001).

Στα πλαίσια της εκπόνησης του παρόντος ερευνητικού προγράμματος καταβλήθηκε προσπάθεια για τον εντοπισμό των κύριων ρηγμάτων (ζωνών διάρρηξης) του ελληνικού χώρου και των γύρω περιοχών (Παπαζάχος και συνεργάτες, 2001) όπου γεννήθηκαν οι γνωστοί ισχυροί ($M \geq 6.0$) σεισμοί από τον 5^ο π.Χ. αιώνα μέχρι το 2000 (Papazachos and Papazachou, 1997). Για το σκοπό αυτό συλλέχθηκαν, μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν όλες οι σημαντικές γνωστές δημοσιευμένες γεωφυσικές και γεωλογικές παρατηρήσεις για την ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου. Ορίστηκαν 159 ρήγματα, χωρισμένα σε 10 ομάδες ανάλογα με τη θέση τους στο χώρο και με το είδος τους και δόθηκαν οι παράμετροι τους (Παπαζάχος και συνεργάτες, 2001). Τα ρήγματα αυτά και η χωροθέτηση των 10 ομάδων δίνονται στο χάρτη του σχήματος 5 και έχουν χρησιμοποιηθεί τρεις διαφορετικοί συμβολισμοί για τους τρεις τύπους ρηγμάτων. Ο Παπαζάχος (2001: προσωπική επικοινωνία) υπολόγισε τις παραμέτρους σεισμικότητας για 133 από τα ρήγματα αυτά με βάση ιστορικά και ενόργανα δεδομένα των ισχυρών ($M \geq 6.0$) σεισμών.

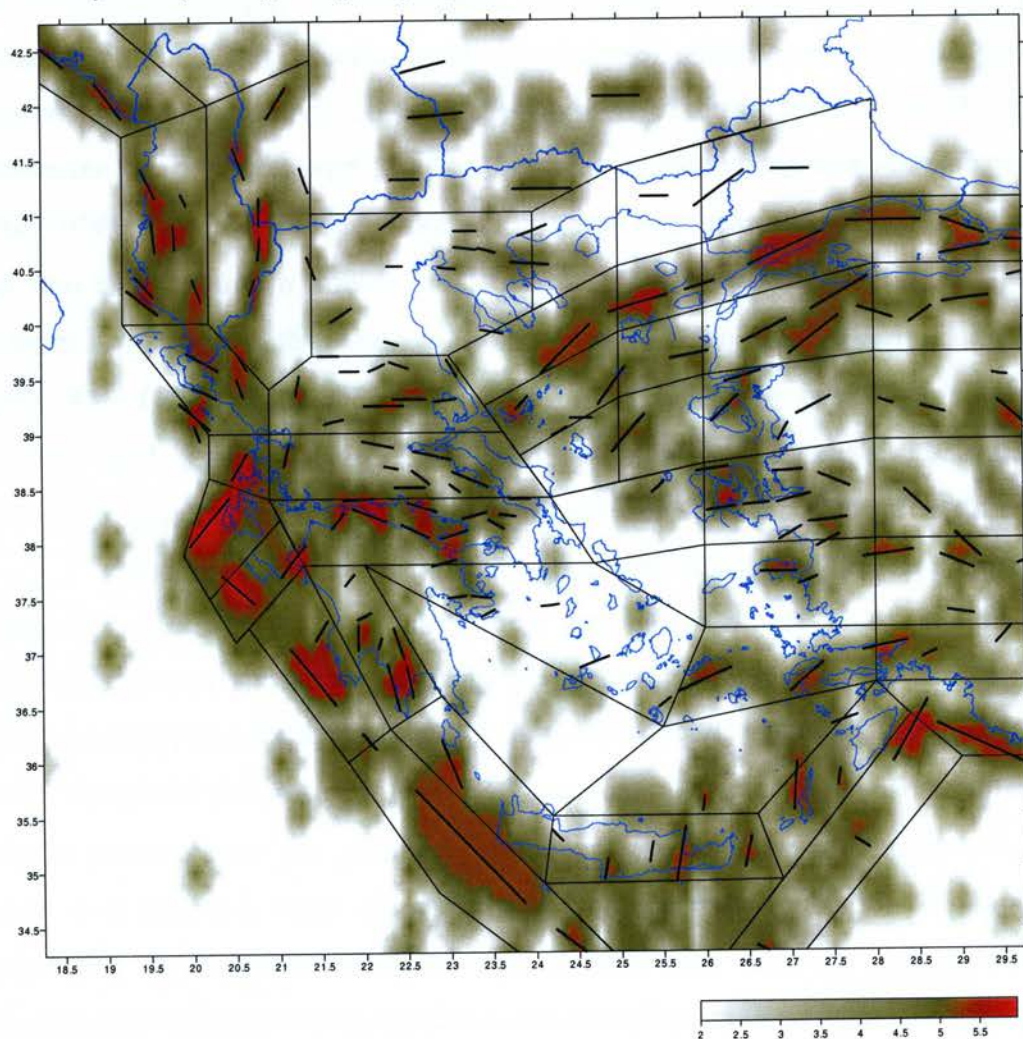
Για τον υπολογισμό των παραμέτρων σεισμικότητας χρησιμοποιήθηκε ο κατάλογος επιφανειακών και ενδιάμεσου βάθους σεισμών των Papazachos et al. (2000), στον οποίο δίνονται πληροφορίες για τις βασικές εστιακές παραμέτρους (χρόνος γένεσης, επίκεντρο, εστιακό βάθος, μέγεθος) των σεισμών που έγιναν στον Αιγαίο χώρο και τις γύρω περιοχές στα παρακάτω χρονικά διαστήματα με μεγέθη μεγαλύτερα από ορισμένα ελάχιστα μεγέθη: 550 π.Χ.-1910 $M \geq 6.0$, 1911-1949 $M \geq 4.9$, 1950-1999 $M \geq 4.0$. Η πληρότητα του καταλόγου αυτού ποικίλει από περιοχή σε περιοχή αλλά ο κατάλογος θεωρείται πλήρης για τα ακόλουθα διαστήματα, για σεισμούς με τα παρακάτω ελάχιστα μεγέθη: 464 π.Χ.- 1500 $M \geq 8.0$, 1501-1840 $M \geq 7.3$, 1841-1900 $M \geq 6.5$, 1901-1910 $M \geq 6.0$, 1911-1949 $M \geq 5.2$, 1950-1964 $M \geq 4.8$, 1965-1980 $M \geq 4.5$, 1981-1999 $M \geq 4.0$. Ο έλεγχος της πληρότητας του καταλόγου βασίστηκε στη μελέτη των ρυθμών σεισμικότητας για διάφορα ελάχιστα μεγέθη και χρονικές περιόδους σε όλη την υπό μελέτη περιοχή.

Τα μεγέθη όλων των σεισμών του καταλόγου αυτού έχουν εκφρασθεί σε κλίμακα ισοδύναμη με την κλίμακα σεισμικής ροπής με κατάλληλες σχέσης μετατροπής των μεγεθών μεταξύ των διαφόρων κλιμάκων (Papazachos et al. 1997a, Papazachos and Papaioannou, 1997). Τα σφάλματα στον υπολογισμό τους είναι περίπου ± 0.25 για τους σεισμούς που έγιναν στο διάστημα 1911-1999 και περίπου ± 0.35 για τους ιστορικούς σεισμούς για τους οποίους ο αριθμός των διαθέσιμων μακροσεισμικών παρατηρήσεων (αριθμός θέσεων όπου η ένταση είναι γνωστή) είναι ίσος ή μεγαλύτερος του 10. Στις περιπτώσεις ιστορικών σεισμών με μικρότερο αριθμό μακροσεισμικών παρατηρήσεων τα σφάλματα στον υπολογισμό των μεγεθών τους είναι ± 0.5 .

Τα επίκεντρα των σεισμών της περιόδου 1965-1999 υπολογίστηκαν από ενόργανα δεδομένα και τα σφάλματα υπολογισμού τους είναι της τάξης των 20km για αυτούς που έγιναν στο διάστημα

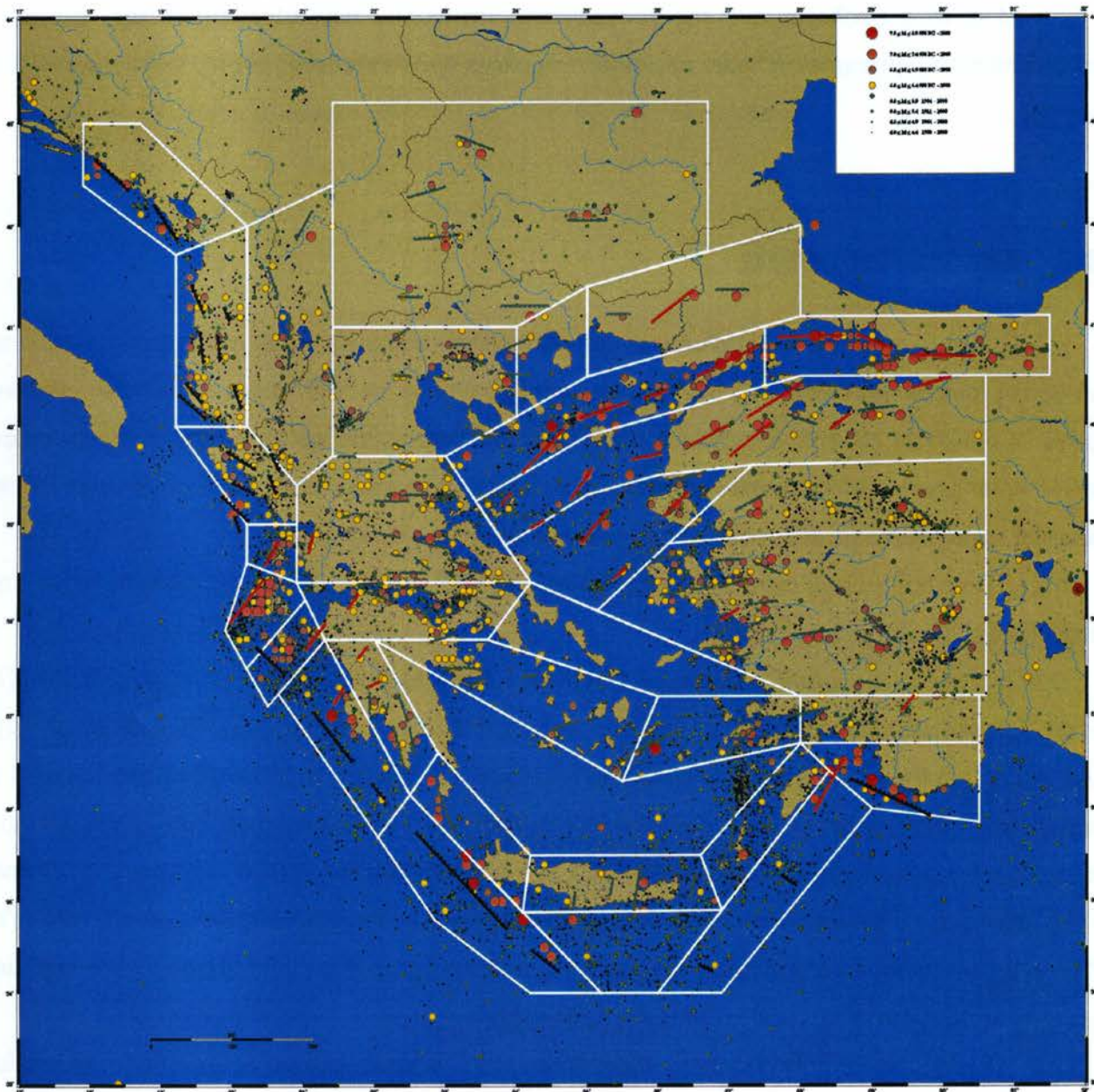
1965-1980 και περίπου 10km για αυτούς που έγιναν στο διάστημα 1981-1999. Τα επίκεντρα των σεισμών της περιόδου 1901-1964 υπολογίστηκαν από ενόργανα και μακροσεισμικά δεδομένα με σφάλματα της τάξης των 30km. Παρόμοια σφάλματα έχουν και τα επίκεντρα των ιστορικών σεισμών ενώ για όσους από αυτούς υπήρχαν λιγότερες από 10 διαθέσιμες μακροσεισμικές παρατηρήσεις, τα σφάλματα υπολογισμού των epicέντρων τους μπορεί να είναι έως 50km.

Τα εστιακά βάθη δίνονται μόνο για ορισμένους επιφανειακούς σεισμούς όταν τα σφάλματα στον υπολογισμό τους είναι μικρά (~2km), ενώ για όλους τους άλλους επιφανειακούς σεισμούς χρησιμοποιείται το σύμβολο n. Παρά το γεγονός ότι τυπικά το σύμβολο αυτό αντιστοιχεί σε εστιακό βάθος μικρότερο των 60km, οι επιφανειακοί σεισμοί στην περιοχή του Αιγαίου έχουν εστιακό βάθος μικρότερο των 20km, εκτός από ορισμένους από αυτούς που έγιναν κατά μήκος του Ελληνικού Τόξου, όπου τα εστιακά βάθη μπορεί να είναι έως 50km. Για τους σεισμούς ενδιάμεσου εστιακού βάθους χρησιμοποιείται το σύμβολο i. Τα σφάλματα στον υπολογισμό των εστιακών βαθών των ενδιάμεσου βαθούς σεισμών μπορεί να είναι έως 30km.



Σχήμα 6. Γεωγραφική κατανομή της παραμέτρου a/b για τους επιφανειακούς σεισμούς στον ευρύτερο Αιγαίο χώρο. Φαίνονται επίσης τα ρήγματα (Παπαζάχος και συνεργ., 2001).

Για να ληφθεί υπόψη η σεισμικότητα υποβάθρου (background seismicity) προτάθηκε για τους σκοπούς του προγράμματος ένα αρχικό μοντέλο με επιφάνειες σεισμικών ζωνών (:area seismic sources), το οποίο βασίστηκε στον χάρτη του σχήματος (5) για τη συσχέτιση των ισχυρών ($M \geq 6.0$) σεισμών με τα ρήγματα, τον κατάλογο των σεισμών Papazachos et al. (2000), και το μοντέλο των σεισμικών πηγών (Papaioannou and Papazachos, 2000). Βρέθηκαν τα πλήρη δεδομένα για κάθε σεισμική ζώνη και υπολογίστηκε η τιμή της παραμέτρου a/b (:πιθανότερο ετήσιο μέγεθος). Η τιμή της παραμέτρου a/b υπολογίστηκε και για όσα ρήγματα υπήρχαν επαρκή δεδομένα και ήταν δυνατός ο αξιόπιστος υπολογισμός της παραμέτρου a . Η γεωγραφική κατανομή της παραμέτρου για τον Αιγαίο χώρο και τις γύρω περιοχές δίνεται στο χάρτη του σχήματος (6).



Σχήμα 7. Υβριδικό μοντέλο ρηγμάτων των ισχυρών σεισμών και επιφανειών σεισμικών ζωνών στον ευρύτερο Αιγαίο χώρο (Παπαζάχος και συν. 2001: προσ. επικοινων.).

Ο χάρτης του σχήματος (7), (Παπαζάχος και συν. 2001: προς. επικ.), δίνει το υβριδικό μοντέλο με την γεωγραφική κατανομή των ρηγμάτων των ισχυρών σεισμών και τις επιφάνειες σεισμικών ζωνών στον ευρύτερο Αιγαίο χώρο. Στο μοντέλο αυτό όλοι οι ισχυροί ($M \geq 6.0$) σεισμοί συσχετίστηκαν με τα ρήγματα ενώ οι σεισμοί με μεγέθη $4.5 \leq M \leq 5.9$ χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των παραμέτρων σεισμικότητας των σεισμικών ζωνών. Στο χάρτη αυτό οι κύκλοι παριστάνουν τα επίκεντρα των σεισμών οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς των παραμέτρων σεισμικότητας. Ο Παπαζάχος (2001: προσωπική επικοινωνία) καθόρισε επίσης τέσσερα ρήγματα (γεωμετρικά χαρακτηριστικά και παραμέτρους σεισμικότητας) για τους ισχυρούς σεισμούς ενδιαμέσου βάθους.

Για τους υπολογισμούς της γεωγραφικής κατανομής των παραμέτρων της σεισμικής επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα τα οποία φαίνονται στους χάρτες των σχημάτων (4) και (7).

3.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Οι σχέσεις απόσβεσης οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα αυτό αφορούν τόσο τη μεταβολή των παραμέτρων της ισχυρής σεισμικής κίνησης με την απόσταση και το μέγεθος (μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση) όσο και τη μακροσεισμική ένταση καθώς επίσης και σχέσεις, οι οποίες συνδέουν τη μακροσεισμική ένταση με την μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση και ταχύτητα καθώς και τις φασματικές τιμές.

Η γενική μορφή των σχέσεων απόσβεσης της ισχυρής σεισμικής κίνησης είναι της μορφής:

$$\ln Y = c_1 + c_2 M + c_3 \ln (R + R_0) + c_4 S + \sigma_{\ln Y} P \quad (7)$$

όπου Y είναι η εξεταζόμενη παράμετρος της ισχυρής σεισμικής κίνησης $\{I_{MM}, PGA, PGV, PGD\}$, M είναι το μέγεθος του σεισμού (επιφανειακό ή μέγεθος ροπής), R η επικεντρική απόσταση, S η παράμετρος που χαρακτηρίζει τις εδαφικές συνθήκες (0 για αλλουβιακές και 1 για σκληρό πέτρωμα). R_0 είναι παράμετρος που σχετίζεται με την απόσβεση της ισχυρής κίνησης στο κοντινό πεδίο και $\sigma_{\ln Y}$ είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των υπολοίπων της εξαρτημένης μεταβλητής $\ln Y$. P είναι 0 για το μέσο όρο των τιμών $\ln Y$ και 1 για το μέσο όρο συν ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα. c_1, \dots, c_4 είναι οι συντελεστές αναγωγής της σχέσης (3).

Οι σχέσεις απόσβεσης των παραμέτρων της ισχυρής σεισμικής κίνησης οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στον χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας του NEAK δεν λάμβαναν υπόψη τις εδαφικές συνθήκες. ($c_4=0.0$). Οι σχέσεις αυτές είχαν προταθεί από τον Makropoulos (1978) και

Θεοδουλίδης (1988). Η πρώτη προτάθηκε σαν μέση σχέση από 8 δημοσιευμένες σχέσεις ενώ η δεύτερη βασίστηκε στις μέγιστες τιμές από 121 οριζόντιες συνιστώσες επιταχυνσιογραμμάτων του Ελληνικού χώρου με μεγέθη $4.5 \leq M \leq 7.0$ καθώς και από καταγραφές σεισμών με μεγέθη $7.0 \leq M \leq 7.5$ από άλλες περιοχές της Γης με παρόμοιο σεισμοτεκτονικό περιβάλλον. Οι σχέσεις αυτές είναι αντίστοιχα οι εξής:

$$a = 2164 e^{0.7m} (R+20)^{-1.80} \quad (8)$$

$$\ln a_g = 4.22 + 1.20M_S - 1.83 \ln(R+15) \quad (9)$$

στις οποίες οι τιμές της επιτάχυνσης δίνονται σε cm/sec^2 .

Με βάση 70 οριζόντιες συνιστώσες 28 σεισμών από περιβάλλοντα ζωνών κατάδυσης οι Theodulidis and Papazachos (1990) πρότειναν τις παρακάτω σχέσεις απόσβεσης για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, a_g , (σε cm/sec^2), ταχύτητα (σε cm/sec) και μετάθεση (σε cm) για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους:

$$\ln a_g = 3.47 + 0.75M - 0.85 \ln R_{\text{CER}} + 0.27S + 0.66P \quad (10\alpha)$$

$$\ln v_g = -1.05 + 0.88M - 0.58 \ln R_{\text{CER}} - 0.26S + 0.73P \quad (10\beta)$$

$$\ln d_g = -5.13 + 1.30M - 0.71 \ln R_{\text{CER}} - 0.23S + 0.86P \quad (10\gamma)$$

όπου R_{CER} είναι η απόσταση από το κέντρο έκλυσης ενέργειας.

Με βάση 105 οριζόντιες συνιστώσες 36 επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ($4.5 \leq M \leq 7.0$, $1\text{km} \leq R \leq 128\text{km}$) και 16 οριζόντιες συνιστώσες 4 σεισμών από περιβάλλοντα ζωνών κατάδυσης ($7.2 \leq M \leq 7.5$, $48\text{km} \leq R \leq 236\text{km}$), οι Theodulidis and Papazachos (1992) πρότειναν σχέσεις απόσβεσης για την οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, PGA , (σε cm/sec^2), ταχύτητα, PGV , (σε cm/sec) και μετάθεση, PGD , (σε cm).

Πρόσφατη προσπάθεια καθορισμού σχέσεων απόσβεσης της ισχυρής σεισμικής κίνησης επιφανειακών σεισμών στον Ελληνικό χώρο έγινε από τους Μάργαρη και συνεργάτες (2001), οι οποίοι εξέτασαν τις δύο ακόλουθες γενικές μορφές σχέσεων:

$$\ln Y = c_0 + c_1 M_W + c_2 \ln(R+R_0) + c_3 S \quad (11)$$

$$\ln Y = c_0 + c_1 M_W + c_2 \ln(R^2+h_0^2)^{1/2} + c_3 S \quad (12)$$

όπου ο όρος S περιγράφει την επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Χρησιμοποιήθηκε μία απλή γραμμική αντιστοιχία $B \Leftrightarrow S=0$, $C \Leftrightarrow S=1$ και $D \Leftrightarrow S=2$ για τους τρεις τύπους εδαφικών συνθηκών (κατά UBC 1997) οι οποίοι προαναφέρθηκαν για τους σταθμούς καταγραφής του Ελληνικού χώρου. Η παραπάνω αντιστοιχία είναι αυθαίρετη, αφού δεν είναι αναγκαίο η ποσοτική επίδραση της μετάβασης $B \rightarrow C$ και $C \rightarrow D$ να είναι ίδια. Οι σταθερές c_0 , c_1 , c_2 και c_3 είναι οι συντελεστές αναγωγής.

Οι σχέσεις (11) και (12) είναι σχεδόν ταυτόσημες, με τη μόνη διαφορά ότι η σχέση (12) χρησιμοποιεί την υποκεντρική απόσταση $(R^2+h_0^2)^{1/2}$, όπου h_0 το «ενεργό» βάθος του σεισμού

(βάθος έκλυσης της σεισμικής ενέργειας), ενώ η σχέση (11) έχει πιο απλουστευμένη μορφή για την απόσταση, σύμφωνα με την πρόταση του Esteva (1970). Γενικά οι σχέσεις της μορφής αυτής είναι στην πράξη σχεδόν ταυτόσημες, εκτός από το κοντινό πεδίο όπου εμφανίζουν μικρές διαφορές.

Με τη χρήση 744 οριζοντίων συνιστωσών, 142 επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου προτάθηκαν οι παρακάτω σχέσεις απόσβεσης - της μορφής (11) και (12) αντίστοιχα - για τις μέγιστες οριζόντιες συνιστώσες της εδαφικής επιτάχυνσης, $PGA(cm/sec^2)$, ταχύτητας, $PGV(cm/sec)$, και μετάθεσης, $PGD(cm)$:

$$\ln PGA = 4.16 + 0.69M_W - 1.24\ln(R+6) + 0.12S \pm 0.70 \quad (13)$$

$$\ln PGA = 3.52 + 0.70M_W - 1.14\ln(R^2+7^2)^{1/2} + 0.12S \pm 0.70 \quad (14)$$

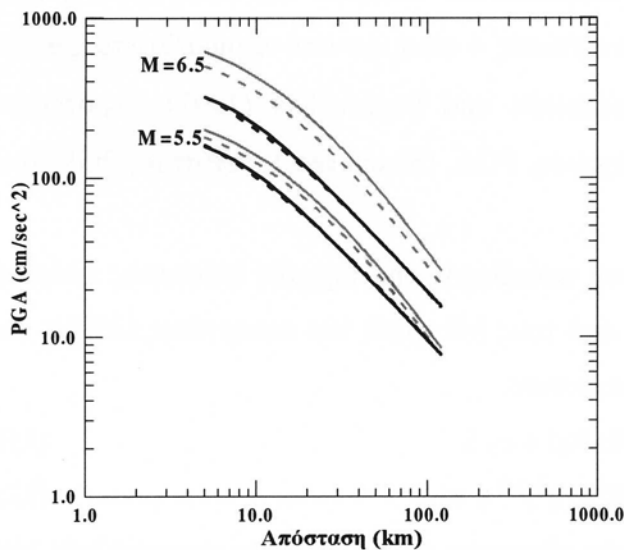
$$\ln PGV = -1.51 + 1.11M_W - 1.20\ln(R+5) + 0.29S \pm 0.80 \quad (15)$$

$$\ln PGV = -2.08 + 1.13M_W - 1.11\ln(R^2+6^2)^{1/2} + 0.29S \pm 0.80 \quad (16)$$

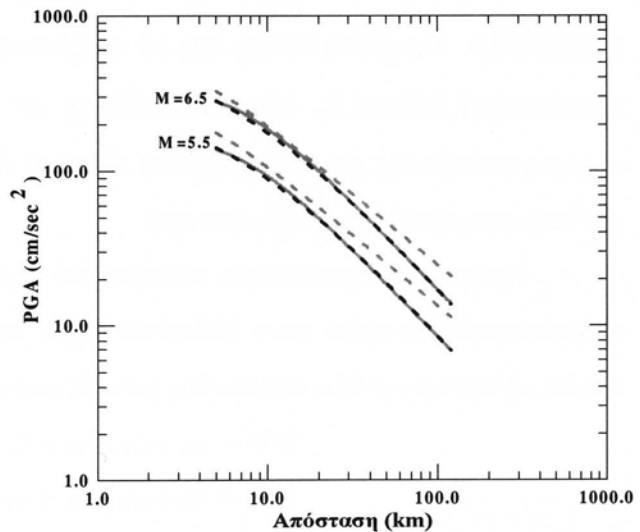
$$\ln PGD = -6.63 + 1.66M_W - 1.34\ln(R+5) + 0.50S \pm 1.08 \quad (17)$$

$$\ln PGD = -7.26 + 1.68M_W - 1.24\ln(R^2+6^2)^{1/2} + 0.50S \pm 1.08 \quad (18)$$

Στο σχήματα (8) και (9) δίνονται οι μέσες σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης που προκύπτουν από τις σχέσεις (13) και (14), σε σύγκριση με ανάλογες σχέσεις απόσβεσης που προτάθηκαν για τον Ελληνικό (Θεοδουλίδης 1991 Theodulidis and Papazachos 1992) και τον Ευρωπαϊκό χώρο (Ambraseys et al. 1996).



Σχήμα 8. Σύγκριση των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων των εμπειρικών σχέσεων (13) [μαύρη συνεχόμενη γραμμή] και (14) [μαύρη διακεκομμένη γραμμή] (Μάργαρης και συν. 2001), με τις αντίστοιχες του Θεοδουλίδη (1991) για Ελληνικά δεδομένα [γκρί διακεκομμένη γραμμή] και ενισχυμένων [γκρί συνεχόμενη γραμμή].



Σχήμα 9. Σύγκριση των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων των εμπειρικών σχέσεων (13) [γκρί συνεχόμενη γραμμή] και (14) [μαύρη διακεκομμένη γραμμή] Μάργαρης και συν. (2001), με τις αντίστοιχες των Ambraseys et al. (1996) [γκρί διακεκομμένη γραμμή] για M5.5 και 6.5 και εδαφικές συνθήκες σκληρού πετρώματος.

Θεοδουλίδης (1988). Η πρώτη προτάθηκε σαν μέση σχέση από 8 δημοσιευμένες σχέσεις ενώ η δεύτερη βασίστηκε στις μέγιστες τιμές από 121 οριζόντιες συνιστώσες επιταχυνσιογραμμάτων του Ελληνικού χώρου με μεγέθη $4.5 \leq M \leq 7.0$ καθώς και από καταγραφές σεισμών με μεγέθη $7.0 \leq M \leq 7.5$ από άλλες περιοχές της Γης με παρόμοιο σεισμοτεκτονικό περιβάλλον. Οι σχέσεις αυτές είναι αντίστοιχα οι εξής:

$$a = 2164 e^{0.7m} (R+20)^{-1.80} \quad (8)$$

$$\ln a_g = 4.22 + 1.20M_s - 1.83 \ln(R+15) \quad (9)$$

στις οποίες οι τιμές της επιτάχυνσης δίνονται σε cm/sec^2 .

Με βάση 70 οριζόντιες συνιστώσες 28 σεισμών από περιβάλλοντα ζωνών κατάδυσης οι Theodulidis and Papazachos (1990) πρότειναν τις παρακάτω σχέσεις απόσβεσης για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, a_g , (σε cm/sec^2), ταχύτητα (σε cm/sec) και μετάθεση (σε cm) για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους:

$$\ln a_g = 3.47 + 0.75M - 0.85 \ln R_{\text{CER}} + 0.27S + 0.66P \quad (10\alpha)$$

$$\ln v_g = -1.05 + 0.88M - 0.58 \ln R_{\text{CER}} - 0.26S + 0.73P \quad (10\beta)$$

$$\ln d_g = -5.13 + 1.30M - 0.71 \ln R_{\text{CER}} - 0.23S + 0.86P \quad (10\gamma)$$

όπου R_{CER} είναι η απόσταση από το κέντρο έκλυσης ενέργειας.

Με βάση 105 οριζόντιες συνιστώσες 36 επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ($4.5 \leq M \leq 7.0$, $1\text{km} \leq R \leq 128\text{km}$) και 16 οριζόντιες συνιστώσες 4 σεισμών από περιβάλλοντα ζωνών κατάδυσης ($7.2 \leq M \leq 7.5$, $48\text{km} \leq R \leq 236\text{km}$), οι Theodulidis and Papazachos (1992) πρότειναν σχέσεις απόσβεσης για την οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, PGA , (σε cm/sec^2), ταχύτητα, PGV , (σε cm/sec) και μετάθεση, PGD , (σε cm).

Πρόσφατη προσπάθεια καθορισμού σχέσεων απόσβεσης της ισχυρής σεισμικής κίνησης επιφανειακών σεισμών στον Ελληνικό χώρο έγινε από τους Μάργαρη και συνεργάτες (2001), οι οποίοι εξέτασαν τις δύο ακόλουθες γενικές μορφές σχέσεων:

$$\ln Y = c_0 + c_1 M_w + c_2 \ln(R+R_0) + c_3 S \quad (11)$$

$$\ln Y = c_0 + c_1 M_w + c_2 \ln(R^2+h_0^2)^{1/2} + c_3 S \quad (12)$$

όπου ο όρος S περιγράφει την επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Χρησιμοποιήθηκε μία απλή γραμμική αντιστοιχία $B \Leftrightarrow S=0$, $C \Leftrightarrow S=1$ και $D \Leftrightarrow S=2$ για τους τρεις τύπους εδαφικών συνθηκών (κατά UBC 1997) οι οποίοι προαναφέρθηκαν για τους σταθμούς καταγραφής του Ελληνικού χώρου. Η παραπάνω αντιστοιχία είναι αυθαίρετη, αφού δεν είναι αναγκαίο η ποσοτική επίδραση της μετάβασης $B \rightarrow C$ και $C \rightarrow D$ να είναι ίδια. Οι σταθερές c_0 , c_1 , c_2 και c_3 είναι οι συντελεστές αναγωγής.

Οι σχέσεις (11) και (12) είναι σχεδόν ταυτόσημες, με τη μόνη διαφορά ότι η σχέση (12) χρησιμοποιεί την υποκεντρική απόσταση $(R^2+h_0^2)^{1/2}$, όπου h_0 το «ενεργό» βάθος του σεισμού

(βάθος έκλυσης της σεισμικής ενέργειας), ενώ η σχέση (11) έχει πιο απλουστευμένη μορφή για την απόσταση, σύμφωνα με την πρόταση του Esteva (1970). Γενικά οι σχέσεις της μορφής αυτής είναι στην πράξη σχεδόν ταυτόσημες, εκτός από το κοντινό πεδίο όπου εμφανίζουν μικρές διαφορές.

Με τη χρήση 744 οριζοντίων συνιστωσών, 142 επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου προτάθηκαν οι παρακάτω σχέσεις απόσβεσης - της μορφής (11) και (12) αντίστοιχα - για τις μέγιστες οριζόντιες συνιστώσες της εδαφικής επιτάχυνσης, $PGA(cm/sec^2)$, ταχύτητας, $PGV(cm/sec)$, και μετάθεσης, $PGD(cm)$:

$$\ln PGA = 4.16 + 0.69M_W - 1.24\ln(R+6) + 0.12S \pm 0.70 \quad (13)$$

$$\ln PGA = 3.52 + 0.70M_W - 1.14\ln(R^2+7^2)^{1/2} + 0.12S \pm 0.70 \quad (14)$$

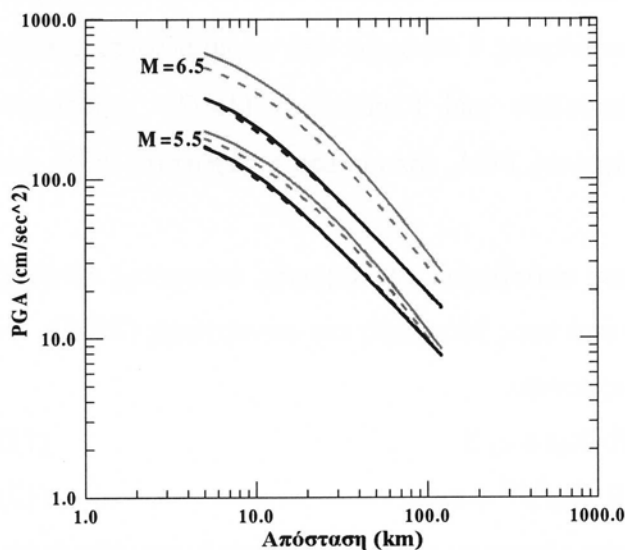
$$\ln PGV = -1.51 + 1.11M_W - 1.20\ln(R+5) + 0.29S \pm 0.80 \quad (15)$$

$$\ln PGV = -2.08 + 1.13M_W - 1.11\ln(R^2+6^2)^{1/2} + 0.29S \pm 0.80 \quad (16)$$

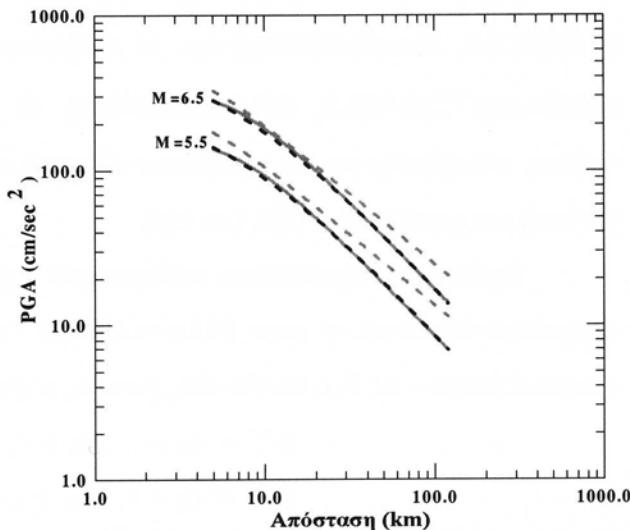
$$\ln PGD = -6.63 + 1.66M_W - 1.34\ln(R+5) + 0.50S \pm 1.08 \quad (17)$$

$$\ln PGD = -7.26 + 1.68M_W - 1.24\ln(R^2+6^2)^{1/2} + 0.50S \pm 1.08 \quad (18)$$

Στο σχήματα (8) και (9) δίνονται οι μέσες σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης που προκύπτουν από τις σχέσεις (13) και (14), σε σύγκριση με ανάλογες σχέσεις απόσβεσης που προτάθηκαν για τον Ελληνικό (Θεοδουλίδης 1991 Theodulidis and Papazachos 1992) και τον Ευρωπαϊκό χώρο (Ambraseys et al. 1996).

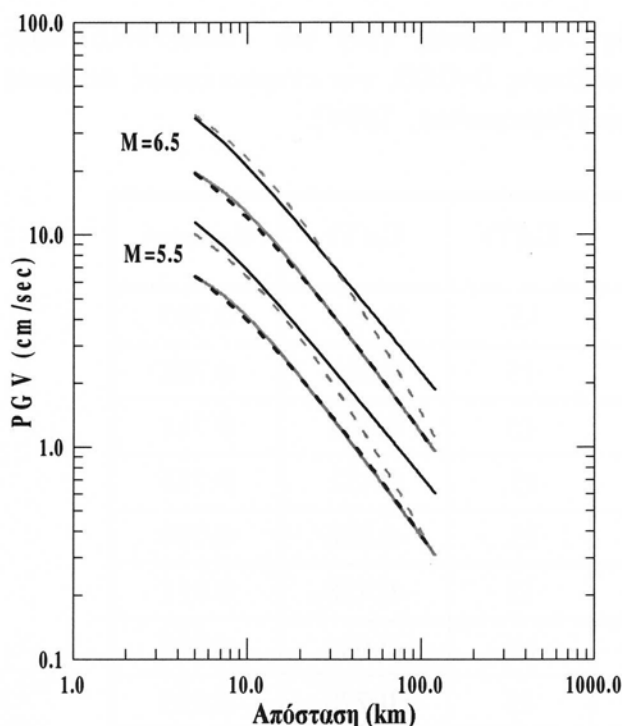


Σχήμα 8. Σύγκριση των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων των εμπειρικών σχέσεων (13) [μαύρη συνεχόμενη γραμμή] και (14) [μαύρη διακεκομμένη γραμμή] (Μάργαρης και συν. 2001), με τις αντίστοιχες του Θεοδουλίδη (1991) για Ελληνικά δεδομένα [γκρί διακεκομμένη γραμμή] και ενισχυμένων [γκρί συνεχόμενη γραμμή].

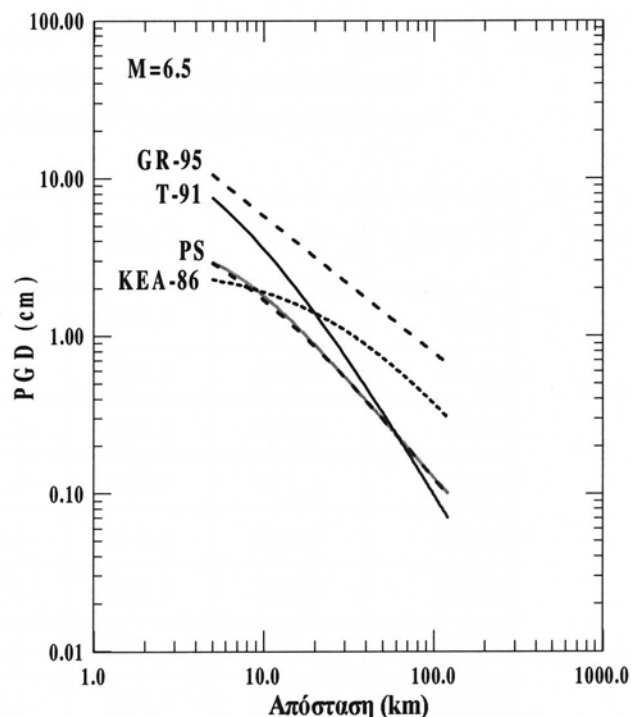


Σχήμα 9. Σύγκριση των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων των εμπειρικών σχέσεων (13) [γκρί συνεχόμενη γραμμή] και (14) [μαύρη διακεκομμένη γραμμή] Μάργαρης και συν. (2001), με τις αντίστοιχες των Ambraseys et al. (1996) [γκρί διακεκομμένη γραμμή] για M5.5 και 6.5 και εδαφικές συνθήκες σκληρού πετρώματος.

Στο Σχήμα (10) δίνονται οι μέσες σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας που προκύπτουν από τις σχέσεις (15) και (16), σε σύγκριση με ανάλογες σχέσεις απόσβεσης που προτάθηκαν για τον Ελληνικό (Θεοδουλίδης 1991) και τον Ιταλικό χώρο (Sabetta and Pugliese 1996). Τέλος, στο Σχήμα (11) δίνονται οι μέσες σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μεταθέσης που προκύπτουν από τις σχέσεις (17) και (18), σε σύγκριση με ανάλογες σχέσεις απόσβεσης που προτάθηκαν για τον Ελληνικό (Θεοδουλίδης 1991), τον Ιαπωνικό (Kawashima et al. 1986) και τον Αμερικανικό χώρο (Gregor 1995).



Σχήμα 10. Σύγκριση των εμπειρικών σχέσεων απόσβεσης των μεγίστων εδαφικών ταχυτήτων (15) [γκρί συνεχόμενη γραμμή] και (16) [μαύρη διακεκομένη γραμμή] Μάργαρης και συν. (2001), με τις αντίστοιχες των Sabetta and Pugliese (1996); [μαύρη συνεχόμενη γραμμή] και Θεοδουλίδη (1991); [γκρί διακεκομένη γραμμή] για $M=5.5$ και 6.5 και εδαφικές συνθήκες σκληρού πετρώματος.



Σχήμα 11. Σύγκριση των μεγίστων εδαφικών μεταθέσεων των εμπειρικών σχέσεων (17: γκρί συνεχόμενη γραμμή] και (18 :μαύρη διακεκομένη γραμμή-PS] (Μάργαρης και συν. (2001), με τις αντίστοιχες του Θεοδουλίδη (1991) [μαύρη συνεχόμενη γραμμή-T91], Gregor (1995) [μαύρη διακεκομένη γραμμή] και Kawashima et al. (1986) [Μαύρη διακεκομένη γραμμή KEA-86], για $M = 6.5$ και εδαφικές συνθήκες σκληρού πετρώματος.

Η σχέση που προτάθηκε (για τους επιφανειακούς σεισμούς) για τη συσχέτιση της φασματικής ψευδοταχύτητας, $PSV(T)$, (σε cm/sec) με το επιφανειακό μέγεθος, την επικεντρική απόσταση και τις τοπικές εδαφικές συνθήκες στη θέση καταγραφής είναι της μορφής (Theodulidis and Papazachos, 1994):

$$\ln PSV(T) = c_1(T) + c_2(T)M + c_3(T)\ln(R + R_0) + c_4(T)S + \sigma_{\ln PSV(T)}P \quad (19)$$

Στον Πίνακα Ι δίνονται οι τιμές των συντελεστών αναγωγής της σχέσης (19) για επιλεγμένες τιμές ιδιοπεριοδών, T . Οι τιμές αυτές είναι δυνατόν να μετατραπούν σε φασματικές τιμές επιτάχυνσης, $PSA(T)$, με βάση τη σχέση,

$$PSA(T) = \omega PSV(T) \quad (20)$$

Όπου ω είναι η κυκλική ιδιοσυχνότητα του ταλαντωτή χωρίς απόσβεση ($\omega = 2\pi/T$).

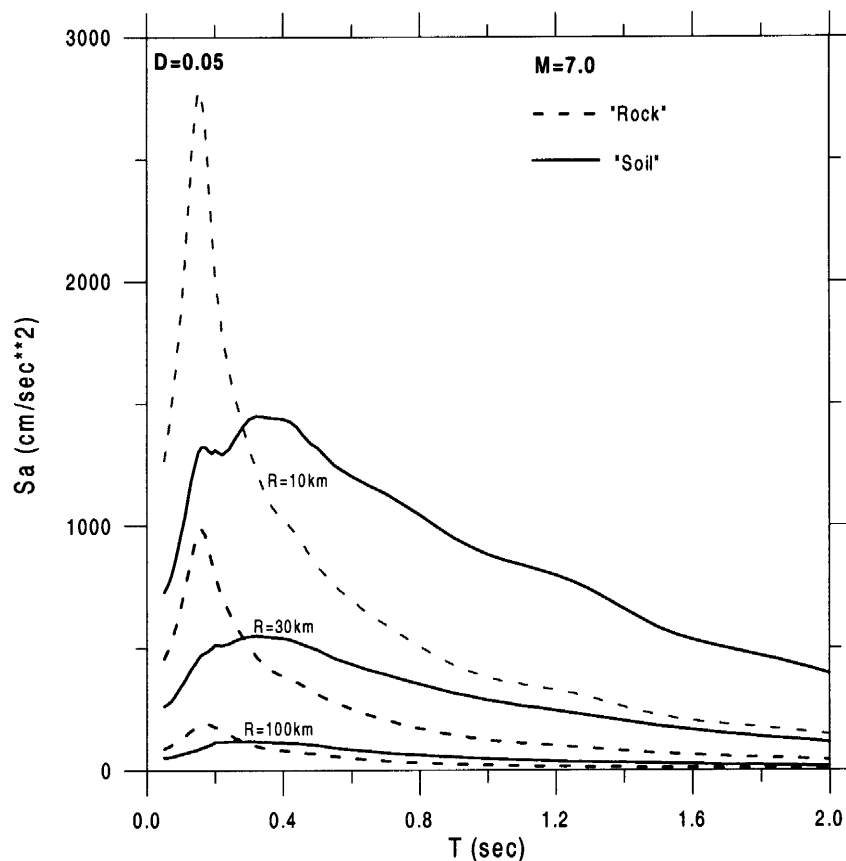
Πίνακας Ι. Τιμές των συντελεστών αναγωγής της σχέσης (19) για επιλεγμένες τιμές ιδιοπεριοδών, T , και παράγοντα απόσβεσης $D=0.05$, για επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου (Theodulidis and Papazachos, 1994).

T (sec)	$C_1(T)$	$C_2(T)$	$C_3(T)$	$C_4(T)$	$C_5(T)$	$\sigma_{\ln PSV(T)}$
0.05	-0.706	1.149	-1.732	15.	0.551	0.709
0.10	0.464	1.129	-1.751	15	0.668	0.708
0.15	0.881	1.182	-1.776	15	0.760	0.711
0.20	1.217	1.090	-1.591	15.	0.432	0.735
0.30	1.460	1.148	-1.636	15.	-0.086	0.790
0.50	0.466	1.368	-1.674	15	-0.458	0.811
0.75	0.021	1.534	-1.830	15.	-0.683	0.879
0.80	-0.128	1.566	-1.847	15	-0.720	0.895
1.00	-0.696	1.684	-1.910	15.	-0.843	0.945
2.00	-3.137	2.114	-2.121	15.	-0.989	1.049

Στο σχήμα (12) δίνονται τα προβλεπόμενα ($M=7.0$) μέσα φάσματα επιτάχυνσης για επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου, για δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών, που προκύπτουν από τις σχέσεις (19), (20) και τους συντελεστές αναγωγής του Πίνακα Ι.

Για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους η σχέση που προτάθηκε για τη συσχέτιση της φασματικής ψευδοταχύτητας, $PSV(T)$, (σε cm/sec) με το μέγεθος ροπής σεισμών ενδιαμέσου βάθους, την απόσταση από το κέντρο έκλυσης ενέργειας ή την υποκεντρική, R_{CER} , και τις τοπικές εδαφικές συνθήκες στη θέση καταγραφής είναι της μορφής (Theodulidis and Papazachos, 1990).

$$\ln\{PSV(T)\} = c_1(T) + c_2(T)M + c_3(T)\ln R_{CER} + c_4(T)S + \sigma_{\ln PSV(T)}P \quad (21)$$



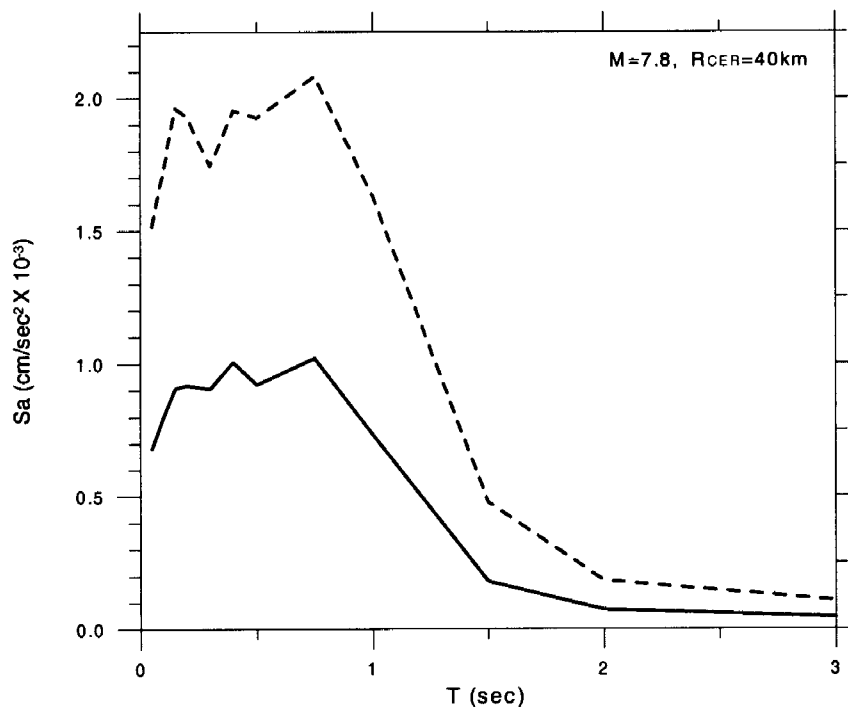
Σχήμα 12. Μέσες προβλεπόμενες τιμές φασματικής επιτάχυνσης, S_a , επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου για διάφορες επικεντρικές αποστάσεις και δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών (Theodulidis and Papazachos, 1994).

Στον Πίνακα II δίνονται οι τιμές των συντελεστών αναγωγής της σχέσης (21) για επιλεγμένες τιμές ιδιοπεριόδων, T .

Πίνακας II. Τιμές των συντελεστών αναγωγής της σχέσης (21) για επιλεγμένες τιμές ιδιοπεριόδων, T , και παράγοντα απόσβεσης $D=0.05$, για σεισμούς ενδιάμεσου βάθους του Ελληνικού χώρου (Theodulidis and Papazachos, 1990).

T (sec)	$C_1(T)$	$C_2(T)$	$C_3(T)$	$C_5(T)$	$\sigma_{\ln PSV(T)}$
0.05	-1.032	0.694	-0.778	0.309	0.804
0.10	0.315	0.657	-0.822	0.263	0.763
0.15	0.814	0.652	-0.805	0.228	0.750
0.20	0.826	0.644	-0.697	0.110	0.731
0.30	0.661	0.681	-0.634	-0.052	0.670
0.50	0.280	1.014	-0.991	-0.187	0.722
0.75	-1.250	1.267	-0.997	-0.334	0.730
0.80	-1.480	1.278	-0.956	-0.373	0.739
1.00	-1.961	1.309	-0.885	-0.442	0.815
2.00	-4.223	1.077	-0.209	-0.577	0.918

Στο σχήμα (13) δίνεται το προβλεπόμενο (μέσο+μία τυπική απόκλιση φάσμα) φάσμα επιτάχυνσης σεισμού ενδιαμέσου βάθους ($M=7.8$), για ενδιαμέσες εδαφικές συνθήκες, με βάση τη σχέση (21) και τους συντελεστές αναγωγής του Πίνακα II.



Σχήμα 13. Μέσες προβλεπόμενες τιμές φασματικής επιτάχυνσης, S_a , σεισμού ενδιαμέσου βάθους, για ενδιαμέσες εδαφικές συνθήκες (Theodulidis and Papazachos, 1990).

Εκτός από τα δεδομένα των επιταχύνσεων υπάρχει και μεγάλος όγκος μακροσεισμικών παρατηρήσεων. Η μακροσεισμική ένταση είναι μια ποσότητα η οποία μετράει τη σφοδρότητα της ισχυρής εδαφικής κίνησης σε μια θέση αλλά δεν υπάρχει άμεσος φυσικός νόμος που να δείχνει ότι αυτή θα μπορούσε να συσχετισθεί με τις μέγιστες τιμές της ισχυρής εδαφικής κίνησης (Trifunac and Brady 1975). Παρόλα αυτά, η μακροσεισμική ένταση αντιπροσωπεύει, μέχρι και σήμερα, το μόνο διαθέσιμο μέτρο σφοδρότητας των ιστορικών σεισμών το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του επιπέδου της σεισμικής δραστηριότητας σε μια περιοχή. Συνεπώς η κατά το δυνατόν ακριβέστερη συσχέτιση της μακροσεισμικής έντασης με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, η οποία θα περιλαμβάνει και τις εγγενείς αβεβαιότητες, είναι χρήσιμη ιδιαίτερα για περιοχές οι οποίες στερούνται ενόργανων μετρήσεων ισχυρής εδαφικής κίνησης. Προσπάθειες συσχέτισης της μακροσεισμικής κίνησης με τις μέγιστες εδαφικές τιμές της ισχυρής σεισμικής κίνησης στον Ελληνικό χώρο, έγινε από τον Παπαϊωάννου (1984) και τους Theodulidis and Papazachos (1992).

Θεωρώντας ότι οι σχέσεις απόσβεσης είναι ίδιας σπουδαιότητας με τις σχέσεις απόσβεσης των επιταχύνσεων, ειδικά όταν υπάρχουν σχέσεις οι οποίες συνδέουν αυτές τις ποσότητες, η

ερευνητική ομάδα του ΙΤΣΑΚ έκανε επιπρόσθετα χρήση των σχέσεων απόσβεσης και των μακροσεισμικών εντάσεων και στη συνέχεια μετατροπή τους σε μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις.

Η σχέση η οποία χρησιμοποιήθηκε για την απόσβεση των μακροσεισμικών εντάσεων των επιφανειακών σεισμών είναι η ακόλουθη:

$$I = 2.26 + 1.43 M - 1.56 \ln(\Delta + 6) \quad (22)$$

(Papazachos and Papaioannou, 1997) ενώ για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους χρησιμοποιήθηκε η σχέση (Παπαϊωάννου, 1984):

$$I = 0.78 + 1.69 M - 1.45 \ln(\Delta + 30) \quad (23)$$

Η φυσική βάση για τη συσχέτιση της μακροσεισμικής έντασης με τις ενόργανες μετρήσεις της ισχυρής εδαφικής κίνησης είναι σε μεγάλο βαθμό ασαφής. Παρόλα αυτά από τους περισσότερους ερευνητές έχει προταθεί η παρακάτω γενική σχέση,

$$\ln Y = c_1 + c_2 I_{MM} + c_3 S + \sigma_{\ln Y} P \quad (24)$$

όπου Y είναι η παράμετρος της ισχυρής εδαφικής κίνησης, όπως η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, I_{MM} , η μακροσεισμική ένταση, S η παράμετρος που χαρακτηρίζει τις εδαφικές συνθήκες (0 για αλλουβιακές και 1 για σκληρό πέτρωμα), c_1 , c_2 , c_3 , συντελεστές αναγωγής και $\sigma_{\ln Y}$ το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της εξαρτημένης μεταβλητής, $\ln Y$. Η παράμετρος P παίρνει τιμή 0 για το μέσο όρο της εξαρτημένης μεταβλητής, $\ln Y$, και 1 για το μέσο όρο συν μια τυπική απόκλιση.

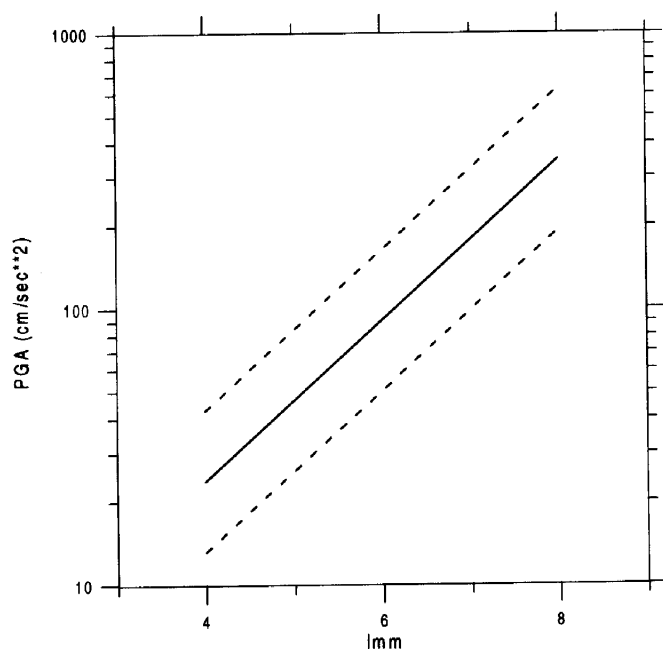
Με τη χρήση 70 οριζοντίων συνιστωσών επιταχυνσιογραφημάτων επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου προτάθηκαν οι παρακάτω σχέσεις μεταξύ της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, PGA (cm/sec^2), ταχύτητας, PGV (cm/sec), μετάθεσης, PGD (cm), με τη μακροσεισμική ένταση, I_{MM} , (Theodulidis and Papazachos 1992),

$$\ln a_g = 0.28 + 0.67 I_{MM} + 0.42 S + 0.59 P \quad (25)$$

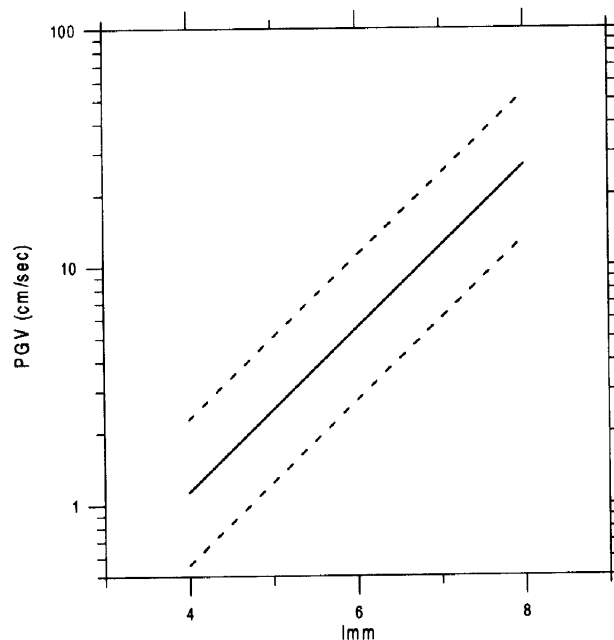
$$\ln v_g = -3.02 + 0.79 I_{MM} + 0.04 S + 0.70 P \quad (26)$$

$$\ln d_g = -5.82 + 0.96 I_{MM} + 0.49 S + 1.24 P \quad (27)$$

Στα σχήματα (14α και β) παρουσιάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ της μακροσεισμικής έντασης και της παρατηρημένης μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης και ταχύτητας, για ενδιάμεσες εδαφικές συνθήκες με βάση τις σχέσεις (25) και (26), αντίστοιχα.



Σχ. 14α



Σχ. 14β

Σχήμα 14. Συσχέτιση μεταξύ της παρατηρημένης μακροσεισμικής έντασης, I_{mm} , με τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, PGA , (σχ.14α) και τη μέγιστη οριζόντια εδαφική ταχύτητα, PGV , (σχ.14β) (μέση \pm μία τυπική απόκλιση) για ενδιάμεσες εδαφικές συνθήκες στον Ελληνικό χώρο (Theodulidis and Parazachos, 1992).

3.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Οι αλγόριθμοι οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια του προγράμματος αυτού (EQRISK -McGuire, 1976 και FRISK88M, 1996) βασίζονται σε τροποποιήσεις της ημιαιτιοκρατικής μεθόδου Cornell (1968). Στα προγράμματα αυτά οι διαφοροποιήσεις τους έγκεινται στο τρόπο θεώρησης των σεισμικών πηγών.

Ο McGuire (1976) ανέπτυξε ένα πρόγραμμα H/Y εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας χρησιμοποιώντας σαν σεισμικές πηγές επιφάνειες και αργότερα (McGuire, 1978) μόνο ρήγματα. Στη πρώτη περίπτωση η βασική παραδοχή είναι ότι η σεισμικότητα μέσα σε κάθε σεισμική πηγή είναι ομογενής, δηλαδή ανεξάρτητα από την κατανομή των επικέντρων η πιθανότητα να συμβεί ένας σεισμός μέσα σε μία σεισμική πηγή είναι ίδια για όλες τις θέσεις. Βασικός νόμος ο οποίος ισχύει για την κατανομή των μεγεθών σε κάθε σεισμική πηγή είναι ο νόμος των Gutenberg-Richter. Η πιθανότητα υπέρβασης μίας ορισμένης τιμής της εδαφικής κίνησης για ένα συγκεκριμένο σεισμικό συμβάν υπολογίζεται από το θεώρημα της ολικής πιθανότητας:

$$P(Y > y) = \int P(Y > y / x) f(x) dx \quad (28)$$

όπου P είναι η πιθανότητα, Y η ένταση της εδαφικής κίνησης, y το επίπεδο έντασης της εδαφικής κίνησης για το οποίο εκτιμάται η πιθανότητα υπέρβασης, x είναι το άνωμα των τυχαίων

μεταβλητών που επηρεάζουν τις τιμές του Y και η ολοκλήρωση γίνεται για όλα τα δυνατά αποτελέσματα της x . Για τον προσδιορισμό της πιθανότητας υπέρβασης της συγκεκριμένης εδαφικής κίνησης κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος, η παραπάνω πιθανότητα προσδιορίζεται με το μοντέλο εμφάνισης των σεισμικών συμβάντων στο χρόνο. Η πλέον κοινή επιλογή των μεταβλητών x είναι το μέγεθος του σεισμού, M και η απόσταση από την εστία R . Με αυτή την υπόθεση η προηγούμενη σχέση γίνεται:

$$P(Y > y) = \int \int_{R, M} P(Y > y / m, r) f_M(m) f_R(r) dm dr \quad (29)$$

η οποία χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας σε μία θέση.

Για να ληφθούν υπόψη νεότερες απόψεις για την κατανομή των ισχυρών σεισμών πάνω σε μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες και ότι στην περίπτωση αυτή η σεισμική ενέργεια εκλύεται από ζώνη διάρρηξης και όχι ένα σημείο, ο McGuire (1978) εκπόνησε ένα πρόγραμμα στο οποίο σαν χώρος γένεσης ενός μελλοντικού ισχυρού σεισμού θεωρείται ένα ολόκληρο ρήγμα, ενώ η διάρρηξη σχετίζεται με τμήμα του ρήγματος το οποίο σπάει κατά την διάρκεια γένεσης του σεισμού. Θεωρείται ότι το κάθε ρήγμα αποτελείται από άθροισμα τεμαχίων και ο σεισμός μπορεί να γίνει σε οποιαδήποτε θέση του. Επίσης οι εστίες, τα μεγέθη και οι άλλες παράμετροι των διαδοχικών σεισμών οι οποίοι μπορεί να γίνουν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Οι βασικοί νόμοι οι οποίοι ισχύουν στην περίπτωση αυτή είναι ο νόμος των Gutenberg-Richter και σχέσεις οι οποίες συνδέουν το μέγεθος με το μήκος διάρρηξης. Στην περίπτωση αυτή το θεώρημα της ολικής πιθανότητας εφαρμόζεται από τη σχέση:

$$P(Y > y) = \int \int_{R, M} P(Y > y / m, l_r(m), r) f_M(m) f_L(l_r) f_R(r) dm dl_r dr \quad (30)$$

όπου $P[Y > y/m, l_r(m), r]$ είναι η δεσμευμένη πιθανότητα να εμφανιστεί η τιμή Y μίας παραμέτρου μεγαλύτερης από μία δοσμένη τιμή, y , λαμβάνοντας υπόψη σεισμό μεγέθους m , ο οποίος αντιστοιχεί σε μήκος διάρρηξης l_r και σε απόσταση r .

Το βασικότερο από τα δεδομένα σε οποιοδήποτε από τα προγράμματα σεισμικής επικινδυνότητας είναι η υιοθέτηση του μοντέλου των σεισμικών πηγών. Επειδή η πιθανότητα γένεσης ισχυρών ($M \geq 6.0$) εκτός των σεισμικών πηγών δεν είναι μηδενική σε κανένα μοντέλο και λαμβάνοντας υπόψη ότι η υιοθέτηση οποιουδήποτε μοντέλου επιφανειακών σεισμικών πηγών περιέχει αβεβαιότητες σχετικά με την γεωμετρία των πηγών, υπάρχει η πιθανότητα να προταθεί ένα μοντέλο υψηλών συντελεστών ασφαλείας (συντηρητικό μοντέλο) με εκτενείς σεισμικές πηγές, το οποίο όμως θα εξομαλύνει τα αποτελέσματα σε μία ευρεία περιοχή μελέτης με σχετική αύξηση των αποτελεσμάτων σε περιοχές χαμηλής σεισμικότητας στα όρια των πηγών, σε σχέση με τις θέσεις οι οποίες είναι κοντά σε μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες. Στην περίπτωση της υιοθέτησης ενός μοντέλου με χαμηλότερους συντελεστές τότε οδηγούμαστε σε έντονες διαφοροποιήσεις των αποτελεσμάτων με βαθμίδα μεταβολής στα όρια των σεισμικών πηγών σημαντικά αυξημένη.

Επίσης η εμπειρία τόσο από την χρήση των προγραμμάτων EQRISK και FRISK σε διεθνές επίπεδο αλλά και η δημοσίευση εργασιών σε θέματα ανάλυσης σφαλμάτων και των αβεβαιοτήτων στα αποτελέσματα σεισμικής επικινδυνότητας, οδήγησε στην εκπόνηση του προγράμματος FRISK88M (McGuire, 1996) το οποίο κάνει χρήση ταυτόχρονα επιφανειακών σεισμικών πηγών και ρηγμάτων, πραγματοποιεί ανάλυση σφαλμάτων και μπορεί να δώσει εκτενή αποτελέσματα στα οποία περιλαμβάνεται η διερεύνηση της επίδρασης όλων των δεδομένων του προγράμματος (παράμετροι σεισμικότητας, γεωμετρία σεισμικών πηγών, σχέσεων απόσβεσης) στο τελικό αποτέλεσμα. Είναι έτσι δυνατόν οι ισχυροί σεισμοί να συσχετιστούν με ρήγματα αλλά και ταυτόχρονα να ληφθεί υπόψη και η γένεση σεισμών ενδιαμέσου μεγέθους ($5.0 \leq M \leq 5.9$) οι οποίοι μπορεί να έχουν μία ομογενή κατανομή μέσα σε μία πηγή και να προκαλέσουν βλάβες σε κατοικημένες περιοχές. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει επίσης τη δυνατότητα ώστε να κάνει συνδυασμούς των διαφόρων παραδοχών για τις τιμές των παραμέτρων και δίνει αναλυτικά τα αποτελέσματα υπό την μορφή λογικών διαγραμμάτων (logical trees) (Kulkarni et al., 1986). Για την κατανομή των μεγεθών των σεισμών ειδικά για τα ρήγματα παρέχεται η δυνατότητα είτε να γίνει χρήση της εκθετικής κατανομής των μεγεθών είτε να χρησιμοποιηθεί το χαρακτηριστικό μοντέλο (Youns and Copersmith, 1985). Το τελικό αποτέλεσμα για μία θέση δεν είναι μία μοναδική καμπύλη σεισμικής επικινδυνότητας αλλά ένα σύνολο ανάλογα με τις αβεβαιότητες των δεδομένων. Η ταυτόχρονη χρήση ρηγμάτων και επιφανειακών σεισμικών πηγών παρέχει αποδεκτό επίπεδο ασφαλείας τόσο για τις θέσεις κοντά σε ρήγματα όσο και για όσες είναι σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

4. ΧΑΡΤΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Η εκπόνηση του τελικού χάρτη των αναμενόμενων μέγιστων οριζόντιων εδαφικών επιταχύνσεων βασίστηκε στον μέσο όρο τριών επιμέρους χαρτών και συγκεκριμένα:

- A. τον χάρτη των μακροσεισμικών εντάσεων οι τιμές του οποίου μετατράπηκαν σε μέγιστες οριζόντιες εδαφικές επιταχύνσεις για εδαφικές συνθήκες “βράχος” με χρήση της σχέσης (25). Τα αποτελέσματα για την αναμενόμενη τιμή της μακροσεισμικής έντασης για μέση περίοδο επανάληψης $T_R=475$ έτη (ή ισοδύναμα 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια) προέκυψαν από το πρόγραμμα FRISK88M, χρησιμοποιώντας τις σχέσεις απόσβεσης (22) για τους επιφανειακούς σεισμούς και (23) για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους και το υβριδικό σεισμοτεκτονικό μοντέλο του σχήματος (7) ,
- B. τον χάρτη των μέγιστων οριζόντιων εδαφικών επιταχύνσεων με βάση το σεισμοτεκτονικό μοντέλο των Papaioannou and Papazachos (2000) και
- Γ. τον χάρτη των μέγιστων οριζόντιων εδαφικών επιταχύνσεων με βάση το υβριδικό μοντέλο του σχήματος (7).

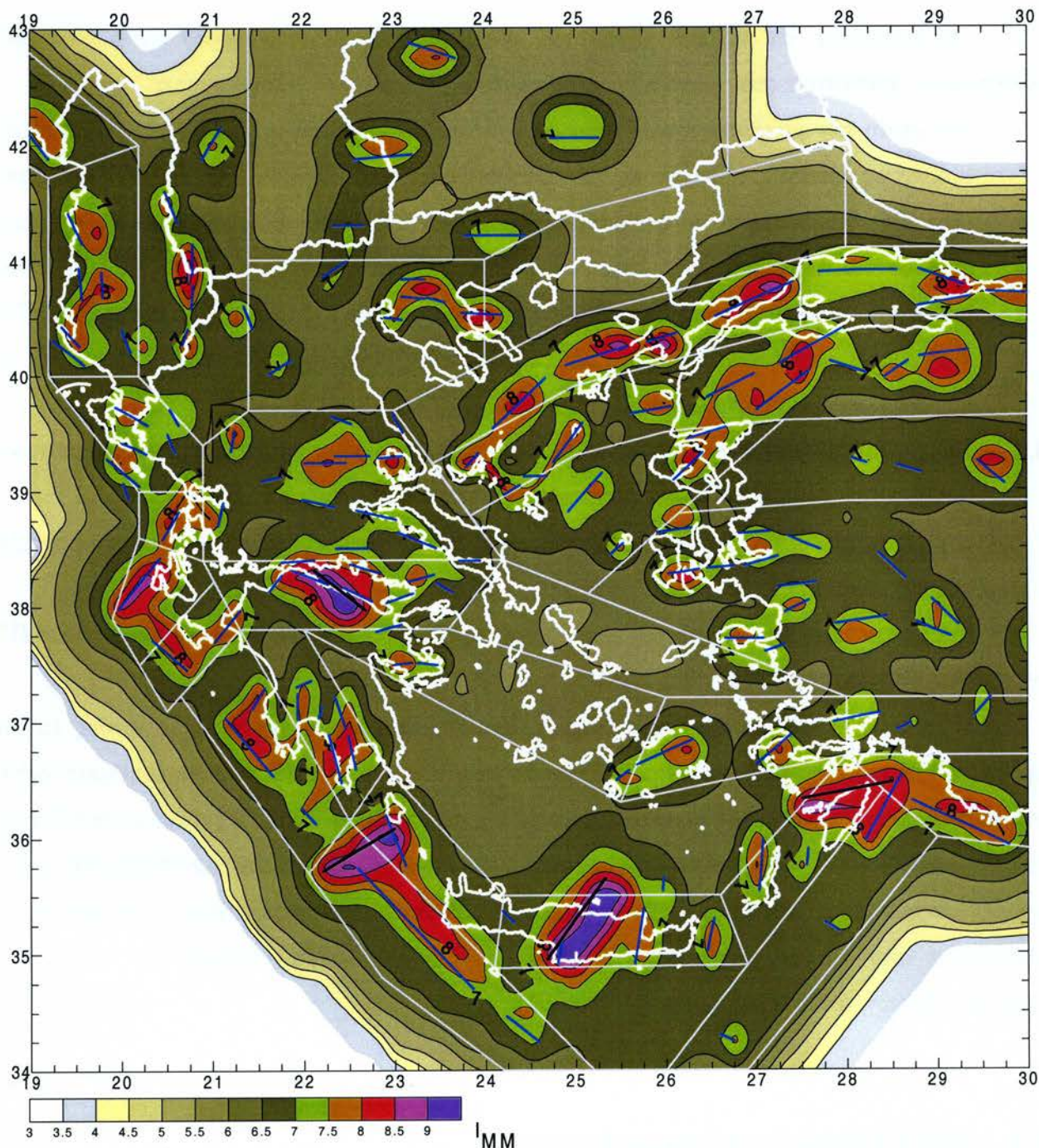
Για την περίπτωση (B) χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα EQRISK ενώ στην περίπτωση (Γ) έγινε χρήση του προγράμματος FRISK88M

Η χρήση των χαρτών των τριών ανωτέρω περιπτώσεων έγινε για τους εξής λόγους: (α) να ληφθεί υπόψη η ανισότροπη ακτινοβολία ((Papazachos, 1992) στην εστία η οποία χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα EQRISK (β) οι σχέσεις απόσβεσης των μακροσεισμικών εντάσεων βασίζονται σε πολύ μεγαλύτερο πλήθος παρατηρήσεων από ό,τι οι σχέσεις απόσβεσης των παραμέτρων της ισχυρής σεισμικής κίνησης (γ) η εκπόνηση του νέου υβριδικού μοντέλου (σχήμα 7) μπορούσε να αξιοποιηθεί από προγράμματα H/Y τα οποία λαμβάνουν υπόψη ρήγματα και επιφάνειες σεισμικών ζωνών, όπως το πρόγραμμα FRISK88M.

4.1 ΧΑΡΤΗΣ ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΝ

Ο χάρτης του σχήματος (15), δίνει τη γεωγραφική κατανομή της μακροσεισμικής έντασης για μέση περίοδο επανάληψης $T_R=475$ έτη (ή ισοδύναμα 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια). Τα αποτελέσματα της σεισμικής επικινδυνότητας με βάση τη κατανομή των μακροσεισμικών εντάσεων είναι σχετικά εύκολο να συγκριθούν επειδή για τη περιοχή του Αιγαίου χώρου υπάρχει σημαντικός όγκος μακροσεισμικών παρατηρήσεων (Papazachos et al., 1997b,c; Papazachos et al., 1999b). Το πρόγραμμα FRISK88M τροποποιήθηκε κατάλληλα τόσο για να λαμβάνει υπόψη του διαφορετικές σχέσεις απόσβεσης για τους επιφανειακούς και

ενδιαμέσου βάθους σεισμούς όσο και για τη χρήση των μακροσεισμικών εντάσεων επειδή ο αρχικός σχεδιασμός του είναι για τις μέγιστες εδαφικές τιμές της ισχυρής σεισμικής κίνησης.



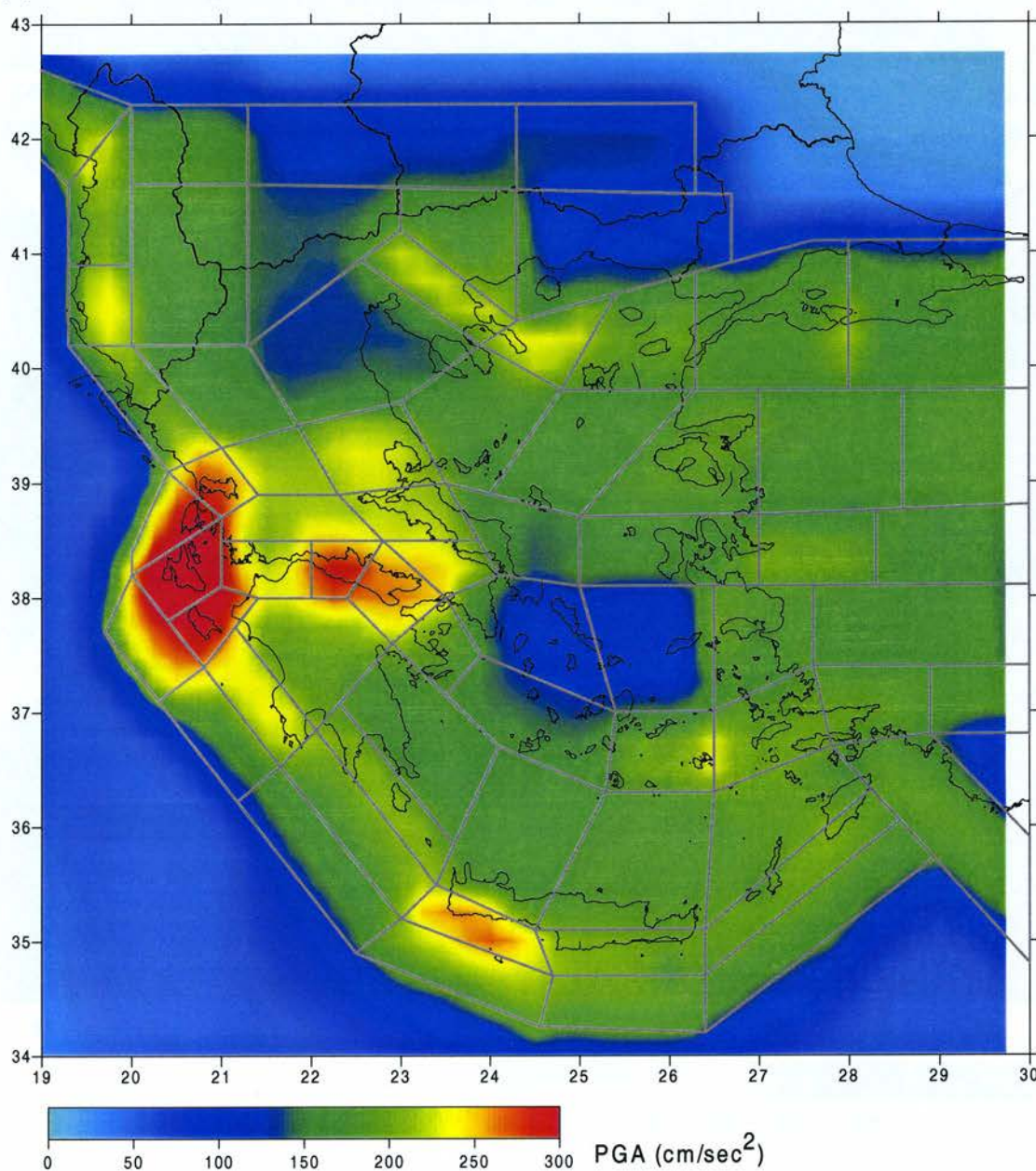
Σχήμα 15. Γεωγραφική κατανομή των αναμενόμενων μακροσεισμικών εντάσεων για μέση περίοδο επανάληψης $T_R=475$ έτη στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές.

Για την εκπόνηση του χάρτη του σχήματος αυτού όπως και για όλους τους χάρτες οι υπολογισμοί έγιναν σε πλέγμα $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (σύμφωνα με τις συστάσεις της επιτροπής παρακολούθησης). για την περιοχή οι οποία καλύπτεται από τους μεσημβρινούς 19° - 30° B και τους παράλληλους 34° - 43° A. Για την κατασκευή των χαρτών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SURFER[®] ver 7.00 της Golden Software Inc και για την χάραξη των καμπύλων ίσων τιμών έγινε η επιλογή της μεθόδου "Nearest Neighboring" ενώ γύρω από κάθε σημείο επιλέχθηκαν τα γειτονικά του σε απόσταση $0.50^\circ \times 0.50^\circ$. Η μέθοδος αυτή αποτρέπει τη δημιουργία "νησίδων" υψηλών τιμών

(bull's eye effect). Λόγω του ότι η εκτίμηση της μακροσεισμικής έντασης γίνεται με ακρίβεια 0.5 της μονάδας της έντασης για το λόγο αυτό η τιμή των καμπυλών επιλέχθηκε ίση με την τιμή αυτή.

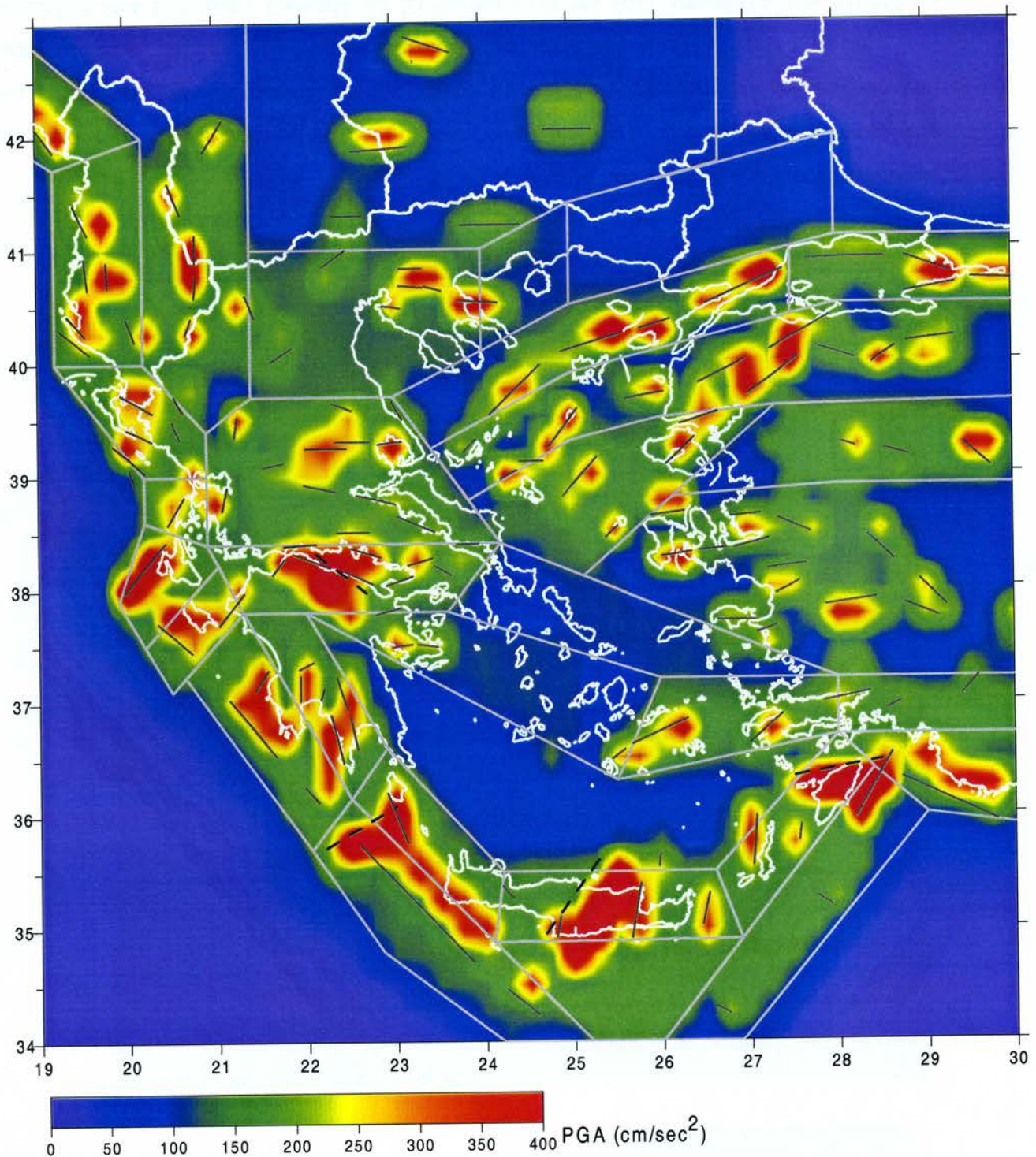
4.2 ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ

Οι χάρτες των σχημάτων (16) και (17) δίνουν τη γεωγραφική κατανομή των μέγιστων οριζοντίων εδαφικών επιταχύνσεων για μέση περίοδο επανάληψης 475 έτη με εφαρμογή των προγραμμάτων EQRISK και FRISK88M αντίστοιχα και χρήση των σχέσεων απόσβεσης (13) για τους επιφανειακούς σεισμούς και (10α) για τους ενδιαμέσου βάθους σεισμούς. Στους ίδιους χάρτες φαίνονται επίσης και τα όρια των σεισμικών ζωνών.



Σχήμα 16. Γεωγραφική κατανομή των αναμενόμενων τιμών των μέγιστων οριζοντίων εδαφικών επιταχύνσεων $T_R=475$ έτη στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές με εφαρμογή του μοντέλου Ραπαϊοαννου and Ραπαζαχος (2000) και του προγράμματος EQRISK.

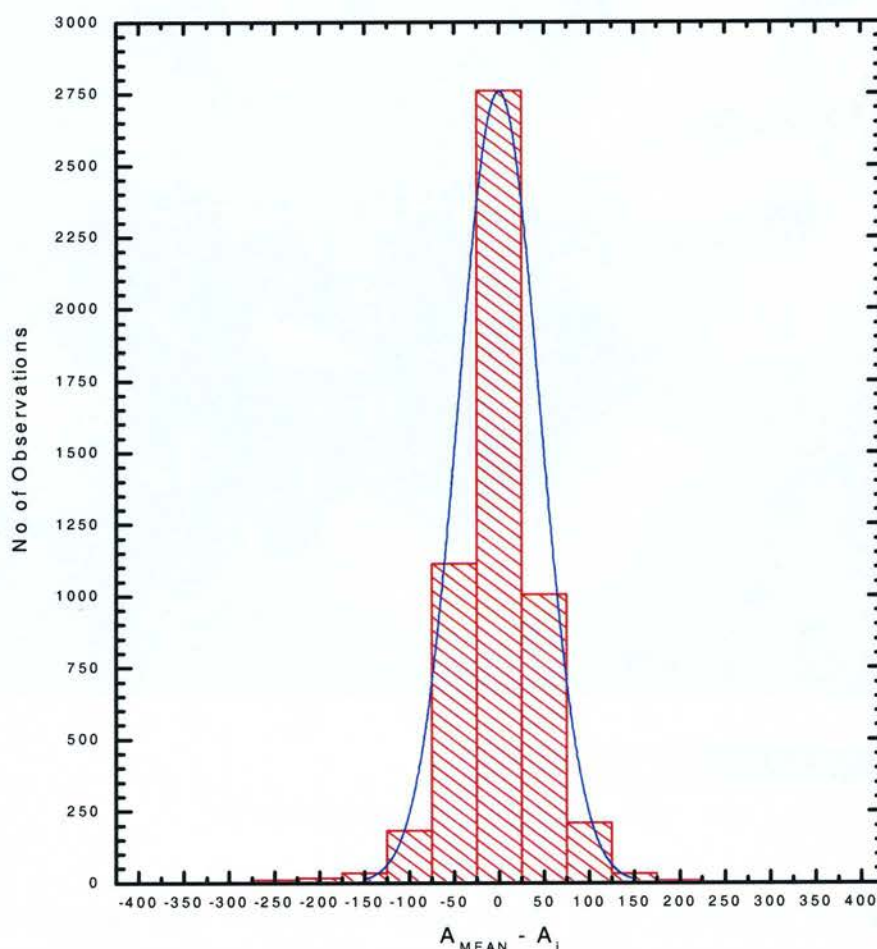
Από τη σύγκριση των χαρτών φαίνεται ότι το μοντέλο των Παραϊοαννου and Παπαζαχος (2000) με εφαρμογή του προγράμματος EQRISK δίνει πιο εξομαλυμένες τιμές, ενώ οι τιμές του χάρτη του σχήματος (17) είναι επηρεασμένες στη θέση των ρηγμάτων και μάλιστα οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στη περιοχή των άνω τεμαχίων των ρηγμάτων.



Σχήμα 17. Γεωγραφική κατανομή των αναμενόμενων τιμών των μέγιστων οριζοντίων εδαφικών επιταχύνσεων $T_R=475$ έτη στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές με εφαρμογή του υβριδικού μοντέλου του σχήματος (7) και του προγράμματος FRISK88M.

Για την εκπόνηση του τελικού χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας με παράμετρο τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση με πιθανότητα υπέρβασης 10% σε χρονικό διάστημα 50 ετών ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία.

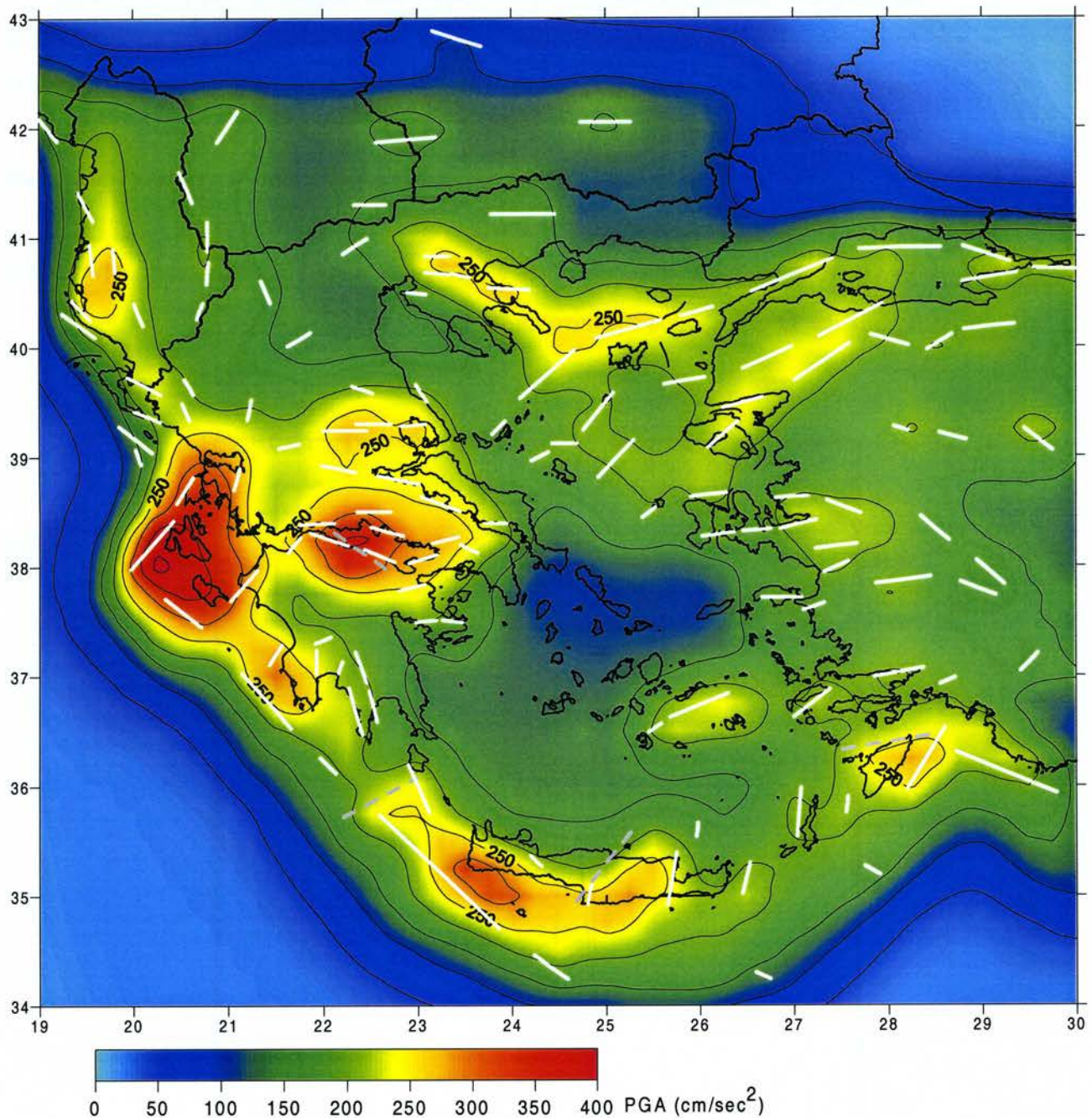
- A. Οι τιμές στις θέσεις του πλέγματος του χάρτη του σχήματος (15) μετατράπηκαν σε οριζόντιες εδαφικές επιταχύνσεις και μαζί με τις αντίστοιχες τιμές των χαρτών, οι οποίοι δίνονται στα σχήματα (16) και (17) των σχημάτων χρησιμοποιήθηκαν για να βρεθούν οι μέσοι όροι των τιμών.
- B. Για κάθε θέση του πλέγματος υπολογίστηκαν τα υπόλοιπα (:residuals) των τριών τιμών από τον μέσο όρο. Βρέθηκαν συνολικά 5358 τιμές υπολοίπων
- Γ. Έγινε το διάγραμμα συχνότητας των τιμών των υπολοίπων το οποίο δίνεται στο σχήμα 18. Ο μέσος όρος της κατανομής είναι $0 \pm 45.27 \text{ cm/sec}^2$



Σχήμα 18. Διάγραμμα συχνότητας των τιμών των υπολοίπων για τις θέσεις του πλέγματος για τους τρεις χάρτες των μέγιστων οριζοντίων εδαφικών επιταχύνσεων.

- Δ. Έγινε έλεγχος των επιμέρους τιμών για κάθε θέση του κανάβου και εξαιρέθηκαν οι τιμές οι οποίες ήταν έξω από το διάστημα $M.O. \pm 1\sigma$. Στις περιπτώσεις αυτές των θέσεων έγινε νέος υπολογισμός του μέσου όρου. Οι τελικές τιμές των μέσων όρων

χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση του χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας με παράμετρο τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση. Ο χάρτης αυτός δίνεται στο σχήμα (19).



Σχήμα 19. Γεωγραφική κατανομή των μέσων όρων των τιμών των μεγίστων οριζοντίων επιταχύνσεων για μέση περίοδο επανάληψης $T_R=475$ έτη στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές.

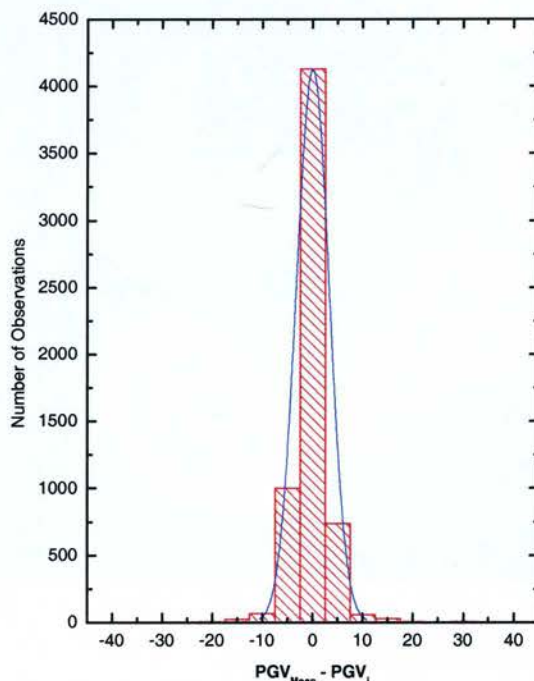
Από τον χάρτη του σχήματος (19) φαίνεται ότι οι μέγιστες επιταχύνσεις εμφανίζονται στη περιοχή των Ιονίων νησιών και του Κορινθιακού Κόλπου ενώ οι μικρότερες στη περιοχή της Θράκης και του κεντρικού Αιγαίου.

4.3 ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ

Για τον χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας με παράμετρο την μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με τον τελικό χάρτη των επιταχύνσεων. Έτσι για την εκπόνηση του χάρτη αυτού χρησιμοποιήθηκαν οι μέσοι όροι των τιμών των ακόλουθων χαρτών οι οποίοι εκπονήθηκαν στα πλαίσια του προγράμματος:

- A. Του χάρτη του σχήματος (15), οι τιμές του πλέγματος του οποίου μετατράπηκαν σε μέγιστες οριζόντιες εδαφικές επιταχύνσεις με εφαρμογή της σχέσης (26),
- B. Του χάρτη των μέγιστων οριζόντιων εδαφικών ταχυτήτων με βάση το σεισμοτεκτονικό μοντέλο των Papaioannou and Papazachos (2000) και εφαρμογή των σχέσεων (15) για τους επιφανειακούς σεισμούς και (10β) για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους.
- Γ. Του χάρτη των μέγιστων οριζόντιων εδαφικών ταχυτήτων με βάση το υβριδικό μοντέλο του σχήματος (7) και εφαρμογή των σχέσεων (15) για τους επιφανειακούς σεισμούς και (10β) για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους.

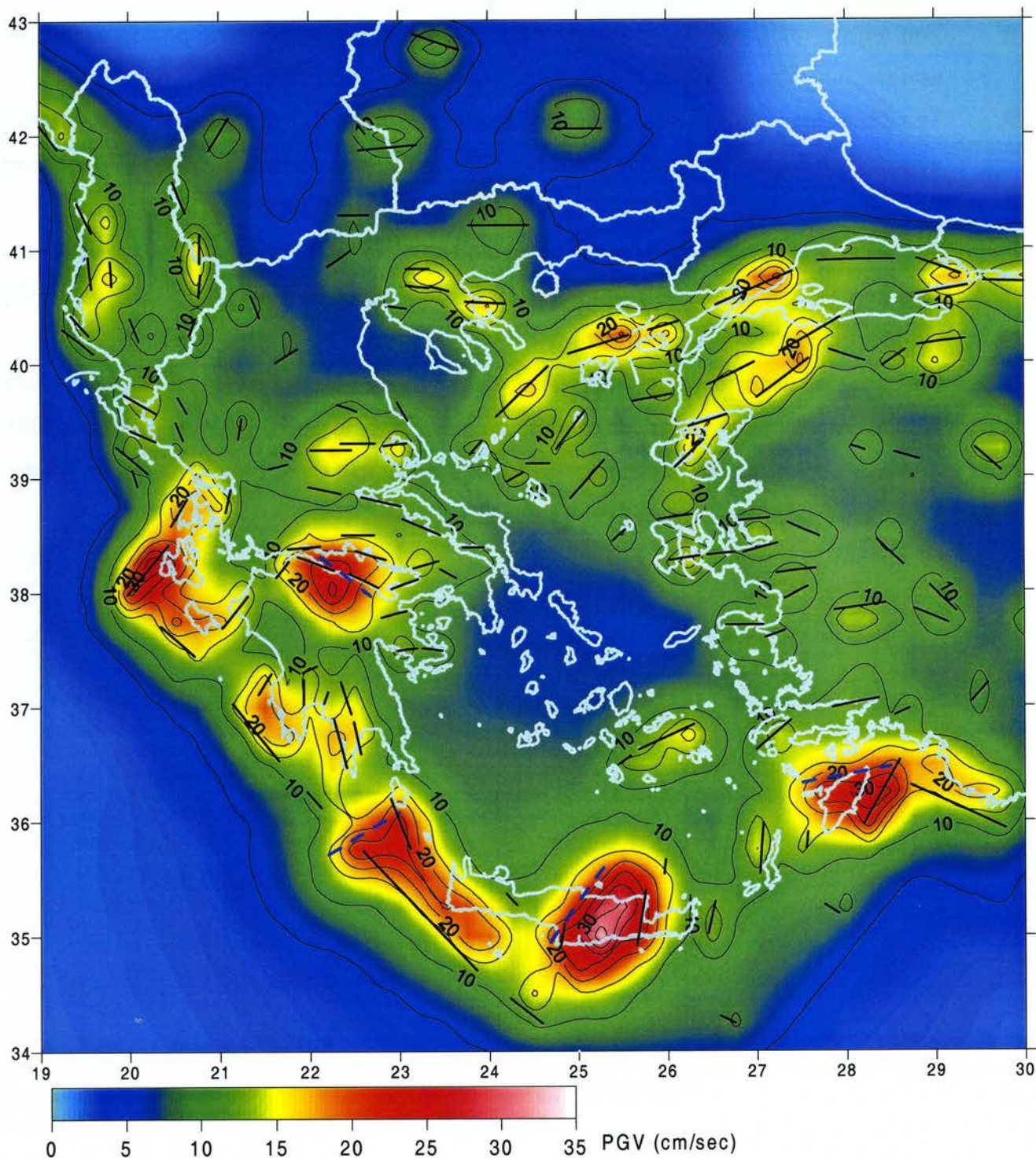
Βρέθηκαν οι μέσοι όροι για κάθε θέση του κανάβου και στη συνέχεια για κάθε θέση υπολογίστηκαν τα υπόλοιπα (residuals) των τριών τιμών από τον μέσο όρο και βρέθηκαν 5358 τιμές υπολοίπων. Έγινε το διάγραμμα συχνότητας των τιμών των υπολοίπων το οποίο δίνεται στο σχήμα 20. Ο μέσος όρος της κατανομής είναι $0 \pm 45.27 \text{ cm/sec}$.



Σχήμα 20. Διάγραμμα συχνότητας των τιμών των υπολοίπων για τις θέσεις του πλέγματος για τους τρεις χάρτες των μέγιστων οριζόντιων εδαφικών ταχυτήτων.

Στη συνέχεια έγινε έλεγχος των επιμέρους τιμών για κάθε θέση του πλέγματος και εξαιρέθηκαν οι τιμές οι οποίες ήταν έξω από το διάστημα $M.O. \pm 1\sigma$. Στις περιπτώσεις αυτές των

θέσεων έγινε νέος υπολογισμός του μέσου όρου. Οι τελικές τιμές των μέσων όρων χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση του χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας με παράμετρο τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ο οποίος δίνεται στο σχήμα (21). Στο ίδιο σχήμα φαίνονται επίσης και τα ρήγματα των επιφανειακών και ενδιάμεσου βάθους σεισμών (Παπαζάχος και συν. 2001).



Σχήμα 21. Γεωγραφική κατανομή των μέσων όρων των τιμών των μεγίστων οριζοντίων ταχυτήτων για μέση περίοδο επανάληψης $T_R=475$ έτη στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές.

Από τον χάρτη του σχήματος (21) φαίνεται ότι οι μέγιστες ταχύτητες εμφανίζονται εκτός από τη περιοχή των Ιονίων νησιών και του Κορινθιακού Κόλπου και στις θέσεις οι οποίες επηρεάζονται από μεγάλους σεισμούς είτε στα ρήγματα των σεισμών ενδιαμέσου βάθους είτε στα ρήγματα τα οποία έχουν δώσει τους μεγάλους ($M \geq 8.0$) σεισμούς το 365 μΧ και 1303 (Papazachos 1996; Παπαζάχος και συν., 2001). Οι μικρότερες εδαφικών ταχυτήτων βρέθηκαν για τις περιοχές της Θράκης και του κεντρικού Αιγαίου.

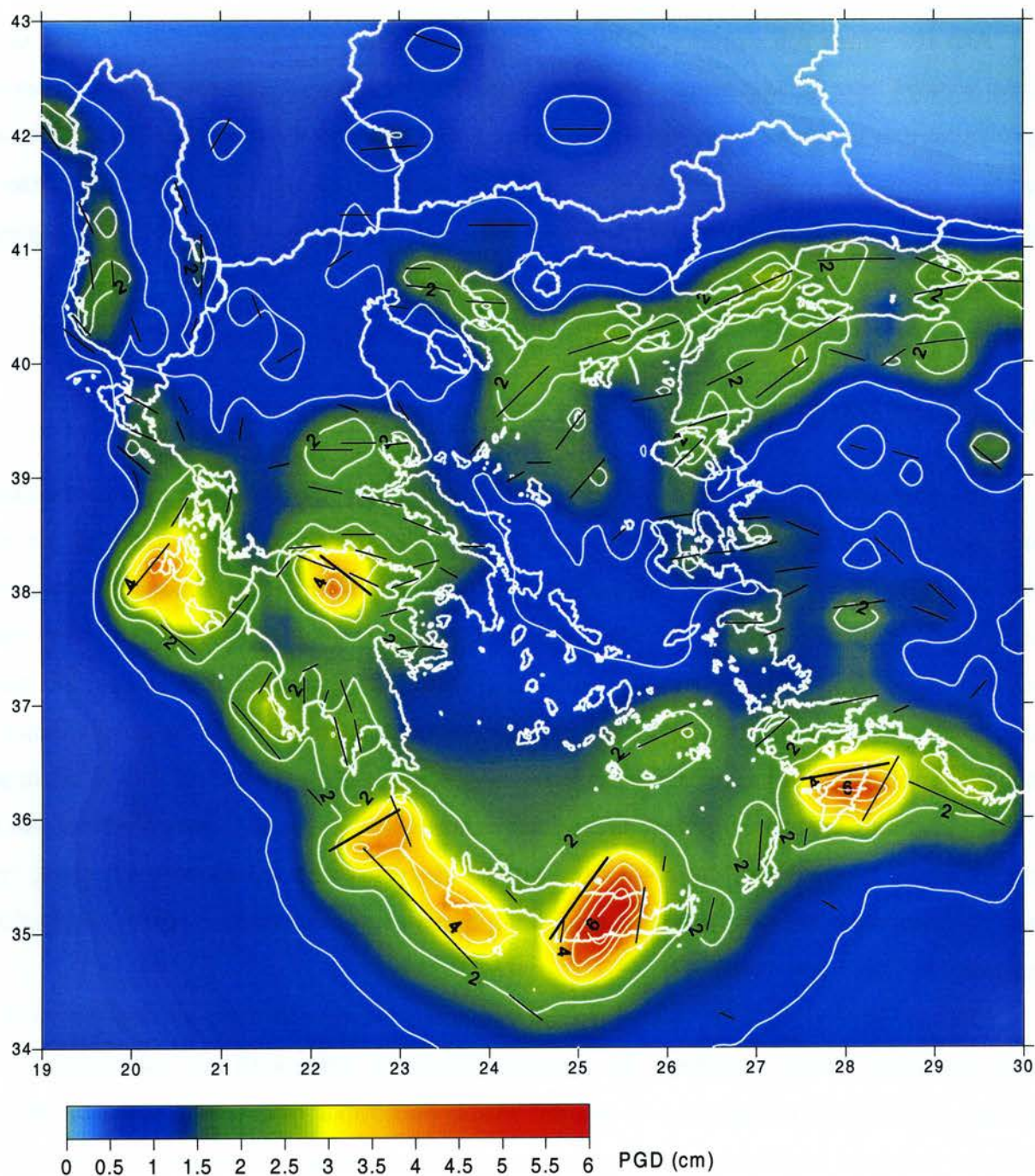
4.4 ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΜΕΤΑΘΕΣΕΩΝ

Τα σφάλματα που προκύπτουν από τη συσχέτιση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης με την μακροσεισμική ένταση είναι γενικά μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα για τις ταχύτητες και σημαντικά μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα για τις επιταχύνσεις. Επίσης τα σφάλματα κατά την επεξεργασία και διόρθωση των επιταχυνσιογραμμάτων εμπεριέχονται στα πλάτη των μεγάλων περιόδων της εδαφικής κίνησης όπου εμφανίζεται κυρίως η μέγιστη μετάθεση. Για τους λόγους αυτούς η συσχέτιση της μέγιστης τιμής της εδαφικής μετάθεσης με τη μακροσεισμική ένταση είναι ασθενής. Για τις τυπικές κατασκευές η μέγιστη επιτάχυνση μπορεί να σχετίζεται με την μακροσεισμική ένταση λόγω των αδρανειακών δυνάμεων, οι οποίες αναπτύσσονται και η μέγιστη εδαφική ταχύτητα με την ενέργεια, η οποία εισάγεται στις κατασκευές και μέρος της οποίας μετατρέπεται σε ενέργεια πλαστικής παραμόρφωσης, η οποία επίσης καθορίζει σημαντικά τον βαθμό των βλαβών.

Για τον λόγο αυτό στον τελικό χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας με παράμετρο την μέγιστη οριζόντια εδαφική μετάθεση δεν χρησιμοποιήθηκε η μετατροπή των μακροσεισμικών εντάσεων σε εδαφικές μεταθέσεις. Ο χάρτης αυτός βασίστηκε στις μέσες τιμές οι οποίες προέκυψαν από τον υπολογισμό των μέγιστων οριζόντιων εδαφικών μεταθέσεων για μέση περίοδο επανάληψης 475 ετών με βάση:

- A. Το σεισμοτεκτονικό μοντέλο των Papaioannou and Papazachos (2000) και αφ' ετέρου με βάση το υβριδικό μοντέλο του σχήματος (7).
- B. Εφαρμογή και στις δύο περιπτώσεις των σχέσεων (17) για τους επιφανειακούς σεισμούς και (10γ) για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους.

Ο χάρτης του σχήματος (22) δίνει τη γεωγραφική κατανομή των μέγιστων οριζοντίων εδαφικών μεταθέσεων με πιθανότητα υπέρβασης 10% για χρονικό διάστημα 50 ετών. Οι μαύρες γραμμές παριστάνουν τα ρήγματα των επιφανειακών και ενδιαμέσου βάθους σεισμών (Παπαζάχος και συν. 2001). Οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στις περιοχές της κεντρικής Κρήτης και της Ρόδου, οι οποίες βρίσκονται κοντά στα ρήγματα των σεισμών ενδιαμέσου βάθους με μέγιστα μεγέθη $M \geq 7.5$ (Παπαζάχος και συν. 2001). Σχετικά υψηλές τιμές εμφανίζονται επίσης στη περιοχή του Δυτικού τμήματος του Ελληνικού τόξου, στη Κεφαλονιά και στον Κορινθιακό κόλπο.



Σχήμα 22. Γεωγραφική κατανομή των μέσων όρων των τιμών των μεγίστων οριζοντίων μεταθέσεων για μέση περίοδο επανάληψης $T_R=475$ έτη στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές.

4.5 ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ

Από τα μέσα της δεκαετίας του '80 φάνηκε ότι η διάρκεια της ισχυρής σεισμικής κίνησης είναι μία παράμετρος η οποία επηρεάζει σημαντικά τις εύκαμπτες κατασκευές. Η διάρκεια της ισχυρής σεισμικής κίνησης είναι μία συνάρτηση της συχνότητας των σεισμικών κυμάτων, του πλάτους της καταγραφμένης εδαφικής κίνησης και του σεισμικού μεγέθους. Διάφοροι ορισμοί της διάρκειας της ισχυρής κίνησης έχουν προταθεί με βάση το τρόπο μέτρησης. Ο Bolt (1974) όρισε

ως περιβαλλόμενη διάρκεια, BD_g , το χρόνο που παρεμβάλλεται μεταξύ της πρώτης και τελευταίας υπέρβασης των πλατών των επιταχύνσεων μίας καταγραφής, πάνω από ένα καθορισμένο επίπεδο επιτάχυνσης, π.χ. $a_g > 0.05g$. Η σημαντική διάρκεια, SD_g , καθορίζεται ως ο απαιτούμενος χρόνος για να αυξηθεί από 5% ως 95% η ένταση κατά Agias (1984), I_A , η οποία είναι μέτρηση της ενέργειας του επιταχυνσιογράμματος και δίνεται από τη σχέση:

$$I_A = \left(\frac{\pi}{2g} \right) \int_{t_0}^{t_r} a^2(t) dt \quad (31)$$

όπου a είναι η εδαφική επιτάχυνση του επιταχυνσιογραφήματος σε κάθε χρονική στιγμή, t , g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και t_r είναι η συνολική διάρκεια της καταγραφής. Ο Husid (1969) με σκοπό να μελετήσει την εξέλιξη του επιπέδου της κίνησης της καταγραφής, πρότεινε κατάλληλο γράφημα μεταβολής της έντασης κατά Agias σε συνάρτηση με το χρόνο. Αναλυτικές μελέτες έγιναν με βάση τη σημαντική διάρκεια, SD_g , παίρνοντας υπόψη την επίδραση των εδαφικών συνθηκών και τη σχέση της παραμέτρου αυτής με τις υπόλοιπες παραμέτρους της ισχυρής κίνησης (Trifunac and Brady, 1975; Dobry et al., 1978).

Στον Ελληνικό χώρο η διάρκεια της ισχυρής κίνησης μελετήθηκε κατά την διάρκεια της τελευταίας δεκαετία. Μία σημαντική προσπάθεια έγινε από τους Theofanopoulos and Drakopoulos (1986) με τη μελέτη της διάρκειας της ισχυρής κίνησης ορισμένων ισχυρών σεισμών του Ελληνικού χώρου με βάση κυρίως τη μέση τετραγωνική εδαφική επιτάχυνση. Η πρώτη προσπάθεια καθορισμού της διάρκειας ισχυρής κίνησης με όλες τις διαθέσιμες καταγραφές ισχυρής κίνησης του Ελληνικού χώρου έγινε από τους Margaritis et al. (1990). Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η περιβαλλόμενη διάρκεια της ισχυρής κίνησης όπως προτάθηκε από το Bolt (1974) καθώς και η σημαντική διάρκεια (Trifunac and Brady, 1975). Επιχειρήθηκε η συσχέτιση της διάρκειας της ισχυρής κίνησης με αυτήν που εκτιμήθηκε από το χρόνο διάρρηξης του σεισμικού ρήγματος (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 1989). Η διάρκεια της ισχυρής κίνησης συσχετίσθηκε επίσης με άλλες παραμέτρους και προτάθηκαν εμπειρικές σχέσεις.

Οι Papazachos et al., (1992) μελέτησαν την απόσβεση της περιβαλλόμενης διάρκειας της ισχυρής κίνησης στον Ελληνικό χώρο. Το μαθηματικό μοντέλο της απόσβεσης της διάρκειας της ισχυρής κίνησης είναι αυτό το οποίο χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα στον Ελληνικό χώρο. Η περιβαλλόμενη διάρκεια εξαρτήθηκε από το μέγεθος του σεισμού, την επικεντρική απόσταση, την παράμετρο των εδαφικών συνθηκών και το επίπεδο πάνω από το οποίο καθορίζεται η διάρκεια της ισχυρής κίνησης. Η σχέση η οποία προτάθηκε είναι:

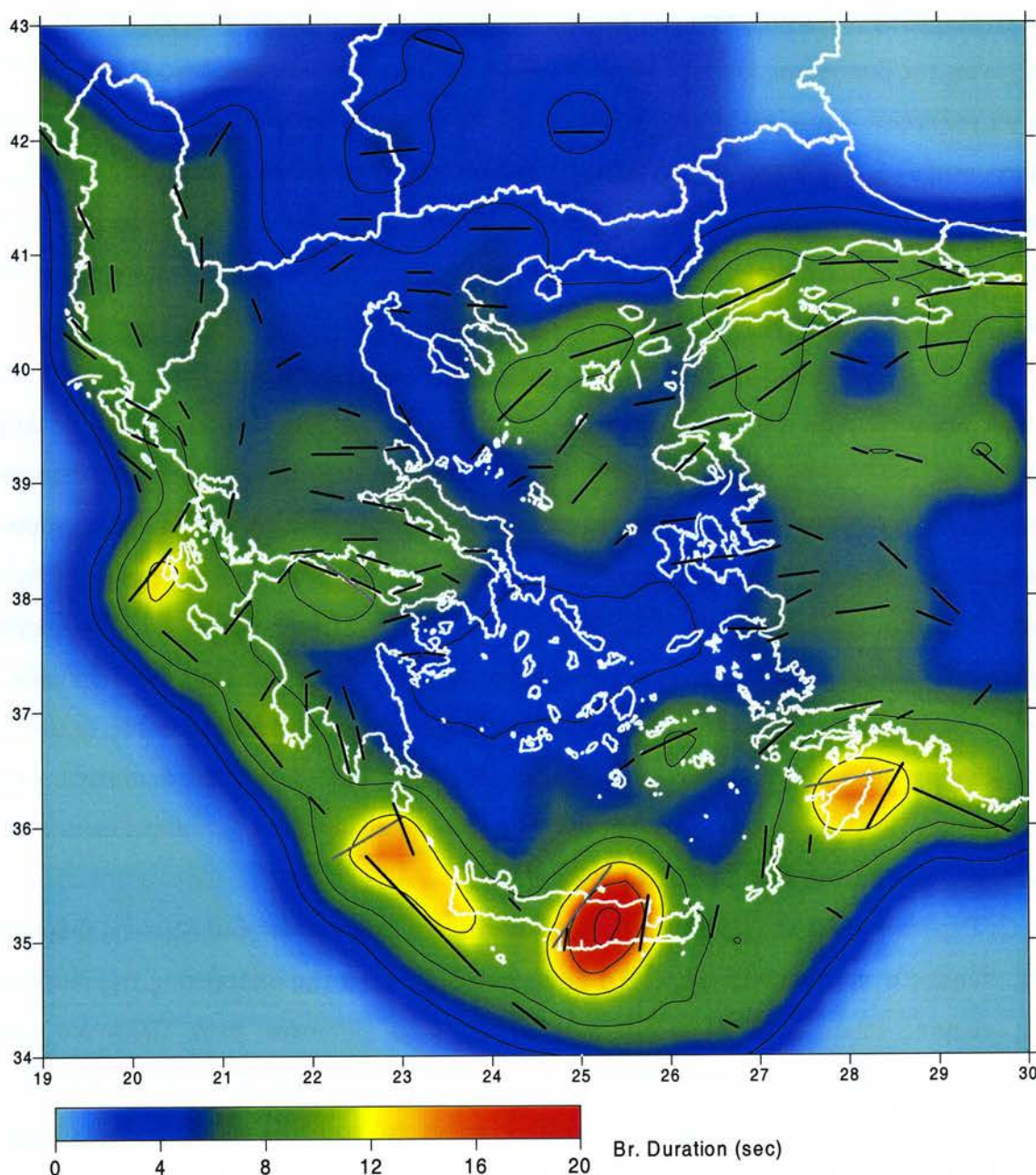
$$\ln BD_g = 1.84 + 0.81M - 1.04 \ln(R + 15) - 0.19S - 27.7L + 0.76 \quad (32)$$

όπου M είναι το επιφανειακό μέγεθος, R , είναι η επικεντρική απόσταση, S , είναι η παράμετρος των εδαφικών συνθηκών (0 για “αλλουβιακές αποθέσεις” και 1 για “σκληρό” πέτρωμα). L είναι η παράμετρος που σχετίζεται με το επίπεδο μέτρησης της περιβαλλόμενης διάρκειας της ισχυρής

κίνησης και 0.76 είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των υπολοίπων της σχέσης. Οι Koliopoulos et al. (1998) μελέτησαν τη διάρκεια της ισχυρής κίνησης και τα ενεργειακά χαρακτηριστικά του συνόλου των καταγραφών ισχυρής κίνησης του Ελληνικού χώρου.

Πρόσφατα οι Κουτράκης (2000) και Koutrakis et al., (2001) με τη χρήση 141 επιταχυνσιογραμμάτων τα οποία είχαν καταγραφεί σε αποστάσεις $1\text{km} \leq R \leq 128\text{km}$ από 93 σεισμούς με μεγέθη $4.5 \leq M_w \leq 6.9$ πρότειναν την ακόλουθη σχέση

$$\ln BDg = 1.88 + 2.05M - 2.05\ln(R + 30) - 0.05S - 27.74L + 1.50 \quad (33)$$



Σχήμα 23. Γεωγραφική κατανομή των τιμών της περιβαλλόμενης διάρκειας για μέση περίοδο επανάληψης $T_R=475$ έτη στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές.

Για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους δεν υπάρχει διαθέσιμη σχέση αντίστοιχη της (33). Ωστόσο για τους μεγάλους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους θεωρείται ότι είναι δυνατόν η διάρρηξη

να διαδοθεί προς τα επάνω και να φτάσει σε βάθη σημαντικά μικρότερα από το εστιακό βάθος. Για το λόγο αυτό για την εκπόνηση του χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας με παράμετρο την περιβαλλόμενη διάρκεια χρησιμοποιήθηκε η σχέση (33) και για τους ενδιαμέσου βάθους σεισμούς. Χρησιμοποιήθηκε το υβριδικό μοντέλο του σχήματος 7 και τα αποτελέσματα δίνονται στον χάρτη του σχήματος 23.

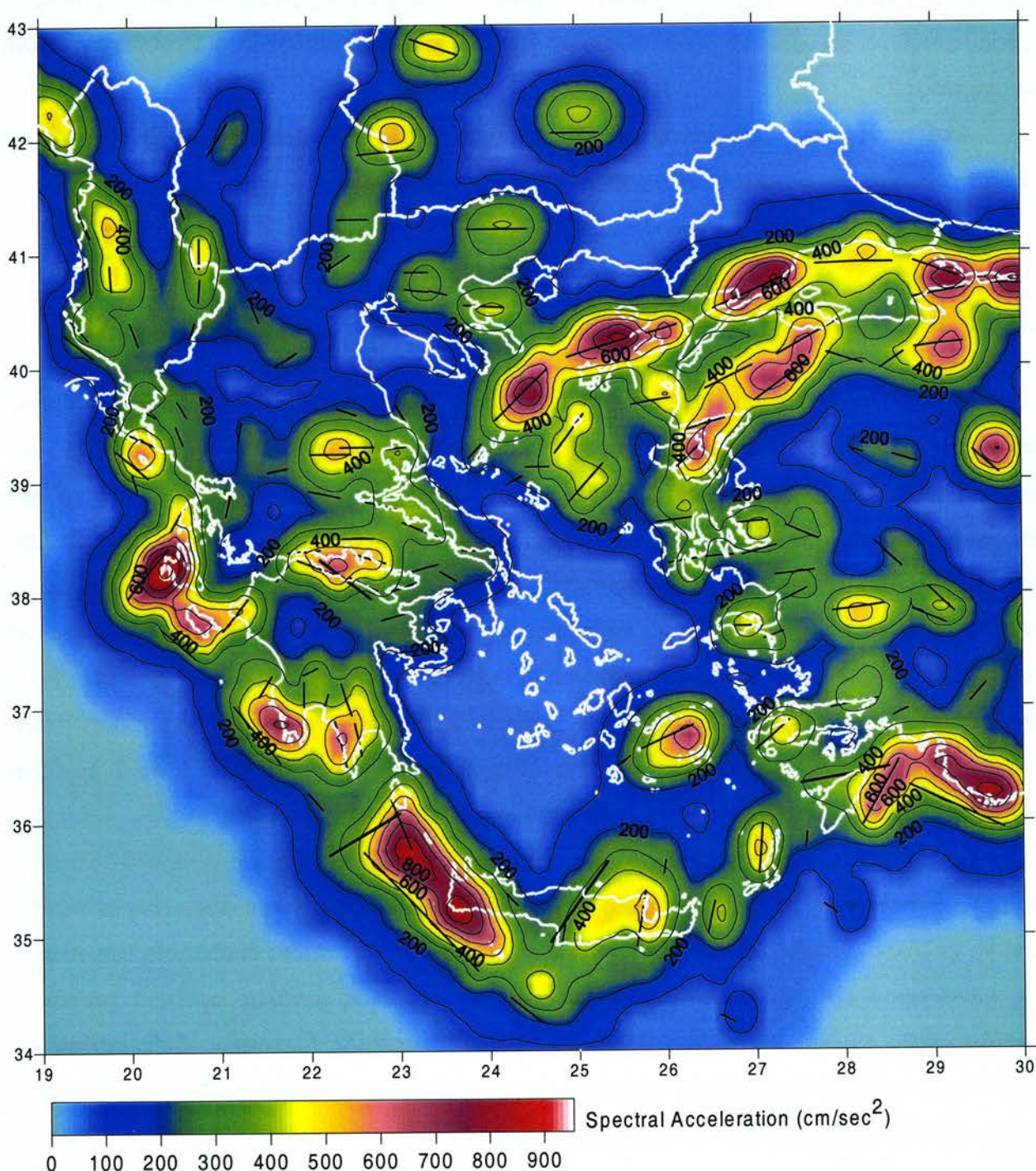
Από τον χάρτη αυτό φαίνεται ότι οι περιοχές με τις υψηλότερες τιμές είναι αυτές που βρίσκονται κοντά στα ρήγματα των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

4.6 ΧΑΡΤΕΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ

Η εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας σε μία θέση εκτός από την μονοπαραμετρική προσέγγιση μπορεί να γίνει και με τη φασματική προσέγγιση, δηλαδή τον προσδιορισμό των αναμενόμενων φασματικών τιμών σε επιλεγμένες ιδιοπεριόδους και σε καθορισμένο χρονικό διάστημα, σαν αποτέλεσμα των ισχυρών εδαφικών κινήσεων, οι οποίες απειλούν τη συγκεκριμένη θέση. Η φασματική απεικόνιση της σεισμικής επικινδυνότητας απαιτεί την επεξεργασία ικανού αριθμού φασμάτων απόκρισης για να καθοριστούν είτε συντελεστές φασματικής ενίσχυσης της εδαφικής κίνησης είτε πιθανολογικά φάσματα απόκρισης για τα οποία η πιθανότητα υπέρβασης κάθε φασματικής τεταγμένης, σε δεδομένο χρονικό διάστημα, είναι σταθερή (uniform hazard spectra). Τόσο οι συντελεστές φασματικής ενίσχυσης όσο και τα πιθανολογικά φάσματα απόκρισης αποτελούν τη βάση για τον καθορισμό των φασμάτων σχεδιασμού.

Είναι δυνατόν να εκπονηθούν χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας για φασματικές τιμές οι οποίες να αντιστοιχούν σε διάφορες τιμές ιδιοπεριόδων του πιθανολογικού φάσματος απόκρισης, ώστε να καλύπτονται όλες οι ιδιοπεριόδοι των κατασκευών. Μία τέτοια διαδικασία στα πλαίσια ενός κανονισμού είναι δύσκολη αφού απαιτεί την εκπόνηση μεγάλου αριθμού χαρτών με καμπύλες ίσων τιμών ώστε να καλύπτεται μεγάλος αριθμός διακριτών ιδιοπεριόδων του φάσματος απόκρισης. Το βραχέων περιόδων τμήμα ενός πιθανολογικού φάσματος καθορίζεται κυρίως από την τεταγμένη των 0.3 sec ενώ η απόκριση για μεγάλες ιδιοπεριόδους μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την τιμή της τεταγμένης ~1 sec και της ιδιοπεριόδου. Από μελέτες εκπόνησης φασμάτων ίσης πιθανότητας υπέρβασης στις ΗΠΑ σε περιοχές διαφορετικής σεισμικότητας και για περιόδους μεταξύ 0.05sec έως 4sec, προέκυψε ότι ένα πλήρες φάσμα ίσης πιθανότητας υπέρβασης για οποιαδήποτε θέση μπορεί να προσεγγιστεί με τη χρήση χαρτών οι οποίοι βασίζονται στις τιμές αυτές (USGS, 1995) Με το έγγραφο του ΟΑΣΠ 438/οικ/14.2.2001 διαβιβάστηκαν προτάσεις των μελών της επιτροπής παρακολούθησης Γ. Γκαζέτα και Μ. Φαρδή στο οποίο προτείνεται η εκπόνηση χαρτών φασματικών επιταχύνσεων, $S_a(T)$ για $T=0.3$ και 0.8

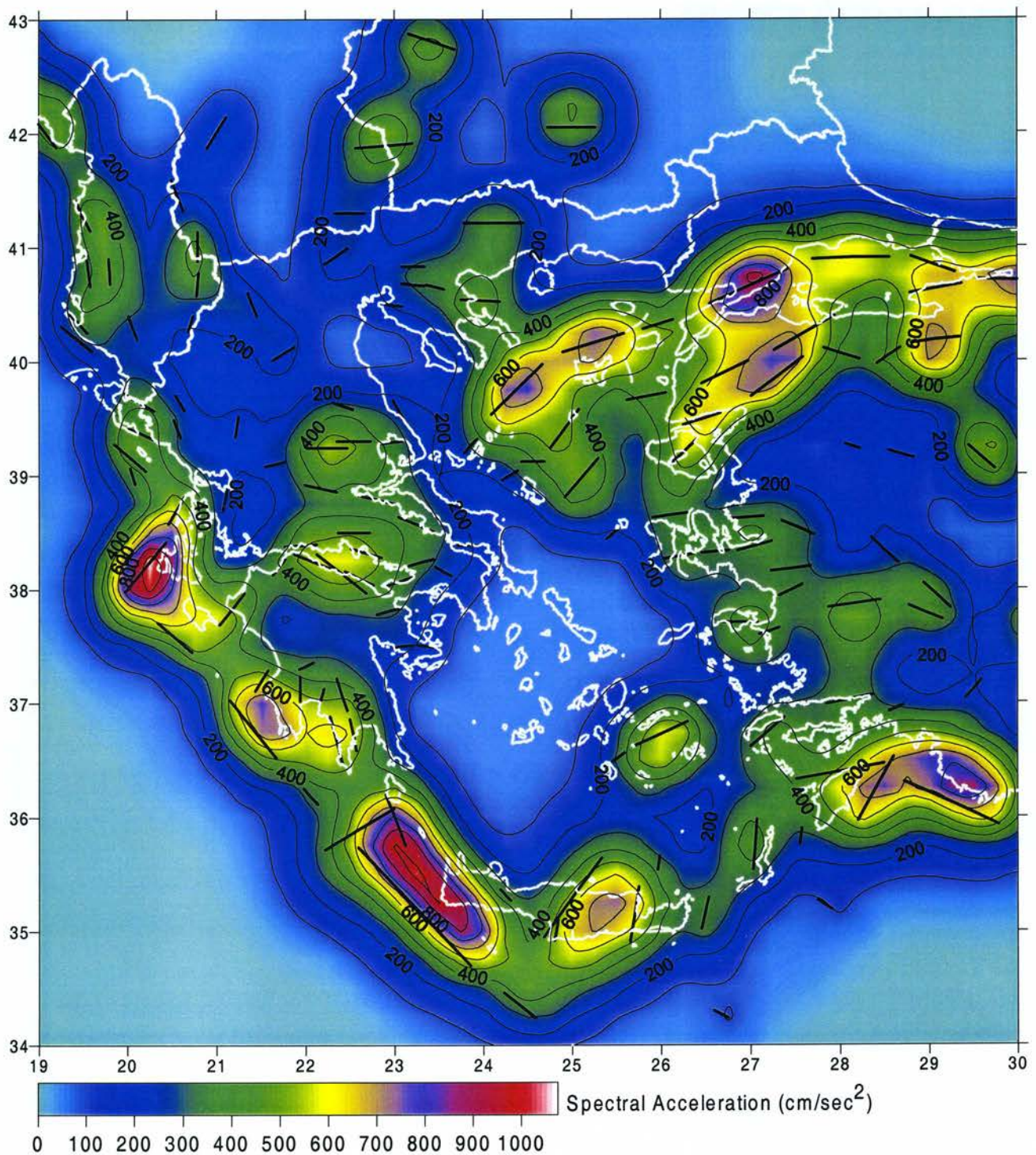
sec, για απόσβεση 5% και για εδαφικές συνθήκες “μαλακού/αποσαθρωμένου βράχου”. Οι χάρτες αυτοί δίνονται στα σχήματα 24 και 25 αντίστοιχα.



Σχήμα 24. Γεωγραφική κατανομή των τιμών της φασματικής επιτάχυνσης ($T = 0.3$ sec) για ενδιάμεσες εδαφικές συνθήκες, απόσβεση 5% και μέση περίοδο επανάληψης $T_R=475$ έτη στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές.

Για την εκπόνηση των χαρτών αυτών χρησιμοποιήθηκε το υβριδικό μοντέλο του σχήματος 7 και οι τιμές των συντελεστών αναγωγής της σχέσης (19), (21) από τους πίνακες (I) και (II)

αντίστοιχα. Οι τιμές της φασματικής ψευδοταχύτητας μετατράπηκαν σε τιμές φασματικών επιταχύνσεων με εφαρμογή της σχέσης (20).



Σχήμα 25. Γεωγραφική κατανομή των τιμών της φασματικής επιτάχυνσης ($T = 0.8 \text{ sec}$) για ενδιάμεσες εδαφικές συνθήκες απόσβεση 5% και μέση περίοδο επανάληψης $T_R=475$ έτη στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές.

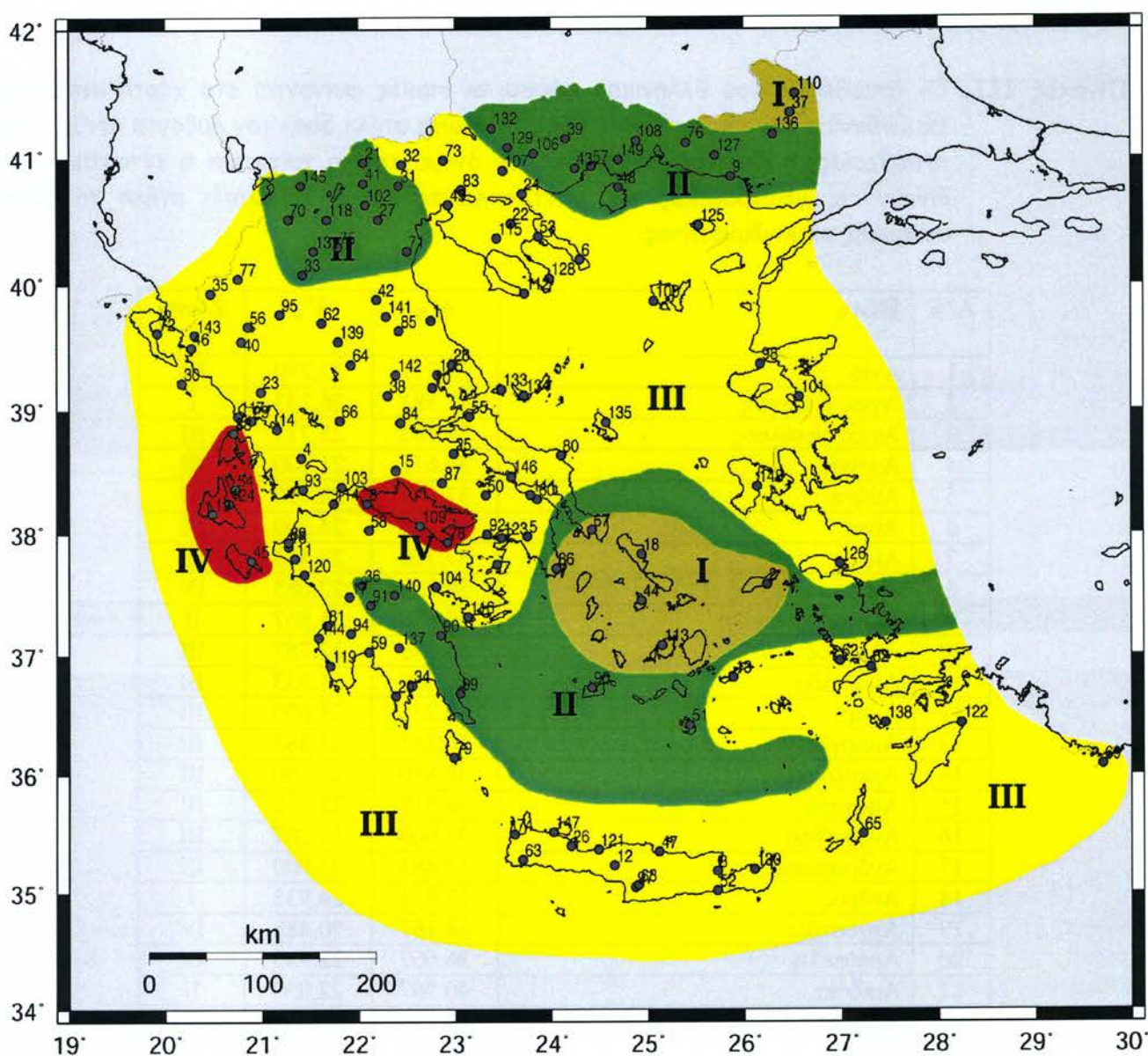
Θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι τιμές των σταθερών των σχέσεων (19) και (21) βασίστηκαν σε περιορισμένο αριθμό επιταχυνσιογραμμάτων. Σήμερα υπάρχει σημαντικά

μεγαλύτερος διαθέσιμος αριθμός καταγραφών, η επεξεργασία των οποίων για τον υπολογισμό νέων τιμών ήταν εκτός των συμβατικών υποχρεώσεων. Ωστόσο οι χάρτες των σχημάτων 24 και 25 μπορεί να αποτελέσουν τη βάση για τον καθορισμό των ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας με βάση τις φασματικές επιταχύνσεις.

5. ΧΑΡΤΗΣ ΖΩΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Η πρόταση του χωρισμού του Ελληνικού χώρου σε ζώνες ίσης σεισμικής επικινδυνότητας βασίστηκε κυρίως στη κατανομή των τιμών των αναμενόμενων οριζοντίων επιταχύνσεων (Σχήμα 19.). Ωστόσο λήφθηκαν υπόψη και οι υπόλοιποι χάρτες του προηγούμενου κεφαλαίου όπως επίσης και πρόσθετες πληροφορίες όπως η γεωγραφική κατανομή των μέγιστων μακροσεισμικών εντάσεων, ο αθροιστικός αριθμός εμφάνισης έντασης $I_{MM} \geq VIII$ κα.

Με βάση όλες τις ανωτέρω πληροφορίες και σύμφωνα με τη συμβατική υποχρέωση για χωρισμό σε 4 ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας προτείνεται ο χάρτης του σχήματος 26.



Σχήμα 26. Γεωγραφική κατανομή των ζωνών ίσης σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου.

Η πρώτη ζώνη περιλαμβάνει το βορειοανατολικό τμήμα της Θράκης και τις Κεντρικές Κυκλάδες. Η Δυτική και Ανατολική Μακεδονία, το υπόλοιπο τμήμα της Θράκης και η Ανατολική

Πελοπόννησος ανήκουν στη δεύτερη ζώνη. Η υπόλοιπη περιοχή του Ελληνικού χώρου (εκτός από τον Κορινθιακό κόλπο και τα Ιόνια νησιά, τα οποία ανήκουν στην τέταρτη ζώνη) ανήκει στην τρίτη ζώνη. Συγκρίνοντας τον χάρτη του σχήματος 26 με τον χάρτη του σχήματος 3 φαίνεται ότι η πρώτη ζώνη έχει περιοριστεί, έχει διευρυνθεί η τρίτη ζώνη, η Δυτική Μακεδονία παραμένει ως ζώνη αλλά έχει αλλάξει κατηγορία και ο Κορινθιακός κόλπος έχει ενταχθεί στην τέταρτη ζώνη.

Σύμφωνα με τις συμβατικές υποχρεώσεις ο Πίνακας (III) περιλαμβάνει τα ονόματα και τις γεωγραφικές συντεταγμένες των τοποθεσιών που αναφέρονται στον ισχύοντα αντισεισμικό κανονισμό και την κατηγορία της σεισμικής ζώνης του χάρτη του σχήματος 26 στην οποία ανήκει ο κάθε οικισμός. Επιπλέον των θέσεων αυτών λήφθηκαν υπόψη και ορισμένες ακόμη θέσεις ώστε να υπάρχει καλύτερη κάλυψη του χώρου.

Πίνακας III. Οι τοποθεσίες του Ελληνικού χώρου, οι οποίες φαίνονται στο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας του σχήματος (26). Η πρώτη στήλη δίνει τον αύξοντα αριθμό της τοποθεσίας, η δεύτερη στήλη δίνει το όνομά της, η τρίτη και η τέταρτη στήλη δίνουν τις γεωγραφικές της συντεταγμένες και η τελευταία στήλη τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας.

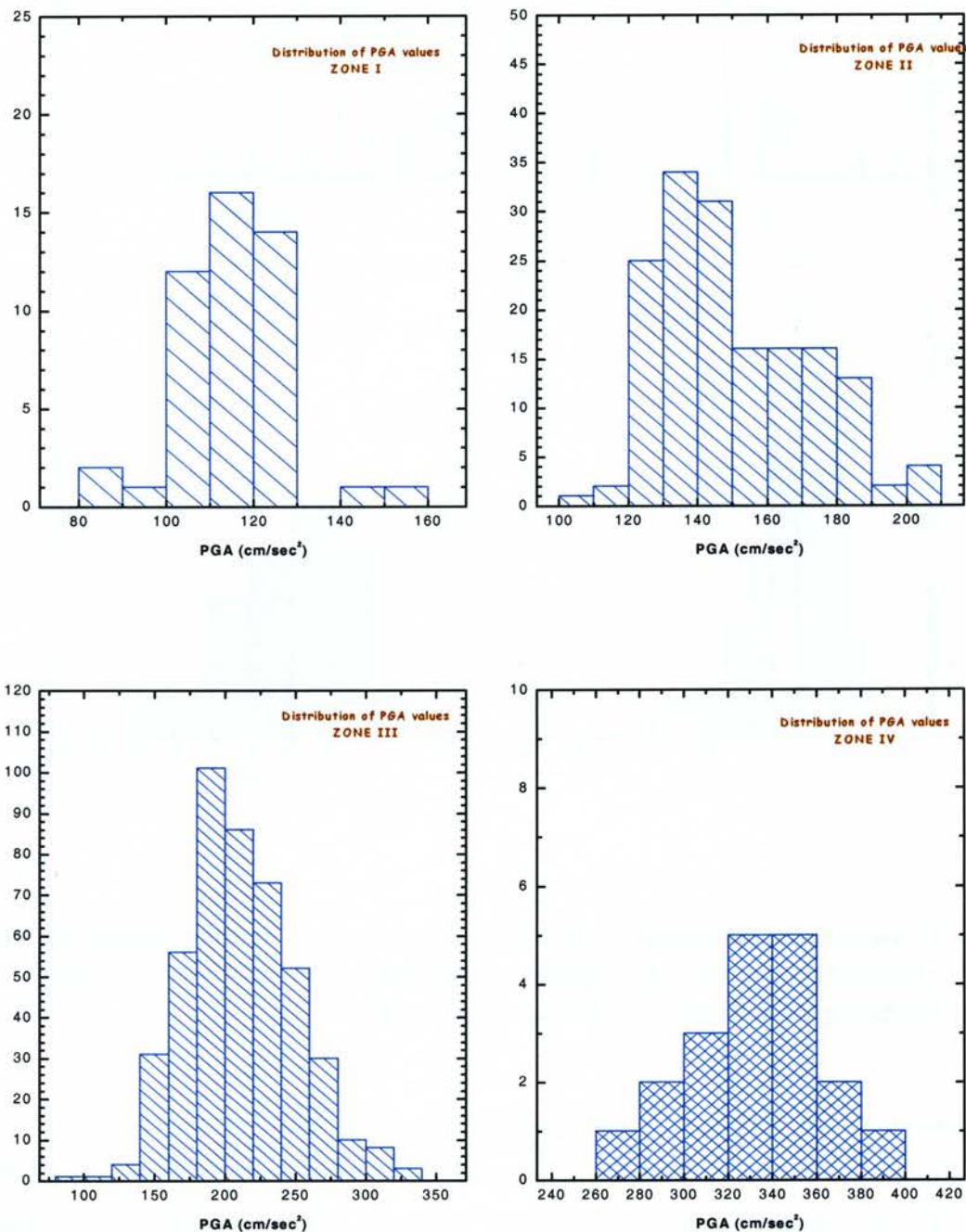
A/A	Θέση	φ° _B	λ° _A	Ζώνη
1	Αγιά	39.717	22.750	III
2	Άγιος Κήρυκος	37.583	26.233	I
3	Άγιος Νικόλαος	35.183	25.717	III
4	Αγρίνιο	38.617	21.400	III
5	Αθήνα	37.983	23.750	III
6	Άθως	40.200	24.300	III
7	Αίγινα	37.750	23.433	III
8	Αίγιο	38.250	22.083	IV
9	Αλεξανδρούπολη	40.850	25.867	II
10	Αλμυρός	39.183	22.767	III
11	Αμαλιάδα	37.800	21.333	III
12	Αμάρι	35.233	24.650	III
13	Αμοργός	36.817	25.883	III
14	Αμφιλοχία	38.850	21.150	III
15	Άμφισσα	38.517	22.383	III
16	Ανδραβίδα	37.900	21.267	III
17	Ανδρίτσαινα	37.483	21.900	III
18	Άνδρος	37.833	24.933	I
19	Αργοστόλι	38.167	20.483	IV
20	Αρεόπολη	36.667	22.383	III
21	Αριδαία	40.967	22.050	II
22	Αρναία	40.483	23.583	III
23	Άρτα	39.150	20.983	III
24	Ασπροβάλτα	40.717	23.700	III
25	Αταλάντη	38.650	22.983	III
26	Βάμος	35.400	24.200	III
27	Βέροια	40.517	22.200	II
28	Βόλος	39.367	22.967	III
29	Βόνιτσα	38.917	20.883	III
30	Γάιος (Παξοί)	39.217	20.167	III

31	Γιαννιτσά	40.783	22.417	II
32	Γουμένισσα	40.950	22.450	III
33	Γρεβενά	40.083	21.417	II
34	Γύθειο	36.750	22.550	III
35	Δελβινάκι	39.933	20.467	III
36	Δημητσάνα	37.583	22.033	II
37	Διδυμότειχο	41.350	26.483	I
38	Δομοκός	39.117	22.300	III
39	Δράμα	41.150	24.150	II
40	Δωδώνη	39.550	20.783	III
41	Έδεσσα	40.800	22.050	II
42	Ελασσόνα	39.883	22.183	III
43	Ελευθερούπολη	40.917	24.250	II
44	Ερμούπολη	37.450	24.933	I
45	Ζάκυνθος	37.783	20.883	IV
46	Ηγουμενίτσα	39.500	20.267	III
47	Ηράκλειο	35.350	25.117	III
48	Θάσος	40.767	24.700	II
49	Θεσσαλονίκη	40.633	22.933	III
50	Θήβα	38.317	23.317	III
51	Θήρα	36.417	25.433	II
52	Ιεράπετρα	35.020	25.720	III
53	Ιερισσός	40.383	23.867	III
54	Ιθάκη	38.367	20.717	IV
55	Ιστιαία	38.950	23.150	III
56	Ιωάννινα	39.667	20.850	III
57	Καβάλα	40.933	24.417	II
58	Καλάβρυτα	38.033	22.100	III
59	Καλαμάτα	37.033	22.100	III
60	Κάλαμος	38.283	23.850	III
61	Καλαμπάκα	39.700	21.617	III
62	Κάλυμνος	36.950	26.983	III
63	Κάνδαρος	35.283	23.700	III
64	Καρδίτσα	39.367	21.917	III
65	Κάρπαθος	35.500	27.217	III
66	Καρπενήσι	38.917	21.800	III
67	Κάρυστος	38.033	24.417	I
68	Καστέλλι	35.067	24.900	III
69	Καστελόριζο	36.083	29.700	III
70	Καστοριά	40.517	21.267	II
71	Κατερίνη	40.267	22.500	II
72	Κέρκυρα	39.617	19.917	III
73	Κιλκίς	40.983	22.883	III
74	Κίσσαμος	35.500	23.617	III
75	Κοζάνη	40.300	21.783	II
76	Κομοτηνή	41.117	25.400	II
77	Κόνιτσα	40.050	20.750	III
78	Κόρινθος	37.933	22.917	IV
79	Κύθηρα	36.150	22.983	III
80	Κύμη	38.633	24.100	III
81	Κυπαρισσία	37.250	21.667	III
82	Κώς	36.900	27.300	III
83	Λαγκαδάς	40.750	23.067	III
84	Λαμία	38.900	22.433	III
85	Λάρισα	39.633	22.417	III
86	Λαύριο	37.717	24.050	I
87	Λειβαδιά	38.417	22.867	III

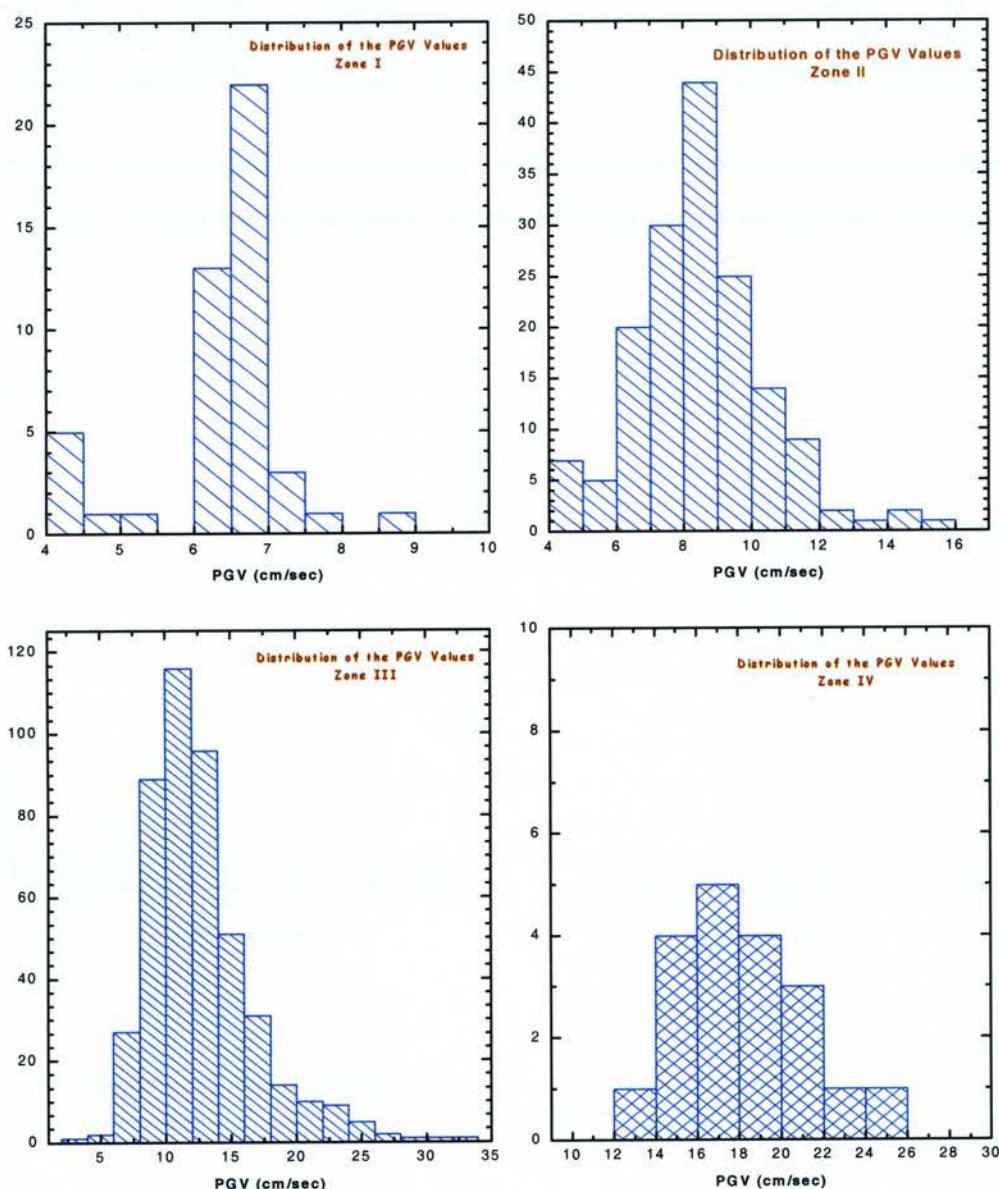
88	Λευκάδα	38.817	20.700	IV
89	Λεχαινά	37.933	21.267	III
90	Λεωνίδειο	37.167	22.850	II
91	Μεγαλόπολη	37.417	22.117	II
92	Μέγαρα	38.000	23.333	III
93	Μεσολόγγι	38.367	21.417	III
94	Μεσσήνη	37.183	21.917	III
95	Μέτσοβο	39.767	21.183	III
96	Μήλος	36.733	24.417	II
97	Μοίρες	35.050	24.867	III
98	Μόλυβος (Μήθυμνα)	39.367	26.167	III
99	Μονεμβασιά	36.683	23.050	II
100	Μύρινα	39.867	25.067	III
101	Μυτιλήνη	39.100	26.567	III
102	Νάουσα	40.633	22.067	II
103	Ναύπακτος	38.383	21.817	III
104	Ναύπλιο	37.567	22.800	III
105	Νέα Αγχίαλος	39.283	22.817	III
106	Νέα Ζίχνη	41.033	23.817	II
107	Νιγρίτα	40.900	23.500	III
108	Ξάνθη	41.133	24.883	II
109	Ξυλόκαστρο	38.067	22.633	IV
110	Ορεστιάδα	41.500	26.533	I
111	Ορωπός	38.317	23.783	III
112	Παλιούρι	39.932	23.720	III
113	Πάρος	37.083	25.150	I
114	Πάτρα	38.250	21.733	III
115	Πολύγυρος	40.367	23.433	III
116	Πορτοχέλι	37.317	23.133	III
117	Πρέβεζα	38.950	20.750	III
118	Πτολεμαίδα	40.517	21.667	II
119	Πύλος	36.917	21.700	III
120	Πύργος	37.667	21.433	III
121	Ρέθυμνο	35.367	24.483	III
122	Ρόδος	36.433	28.233	III
123	Σαλαμίνα	37.967	23.483	III
124	Σάμη	38.250	20.650	IV
125	Σαμοθράκη	40.467	25.533	III
126	Σάμος	37.750	26.983	III
127	Σάππες	41.017	25.700	II
128	Σάρτη	40.050	23.983	III
129	Σέρρες	41.083	23.550	II
130	Σητεία	35.200	26.100	III
131	Σιάτιστα	40.267	21.533	II
132	Σιδηρόκαστρο	41.233	23.383	II
133	Σκιάθος	39.167	23.483	III
134	Σκόπελος	39.117	23.717	III
135	Σκύρος	38.900	24.567	III
136	Σουφλί	41.183	26.300	II
137	Σπάρτη	37.067	22.417	III
138	Τήλος	36.434	27.450	III
139	Τρίκαλα	39.550	21.783	III
140	Τρίπολη	37.500	22.367	II
141	Τύρναβος	39.750	22.283	III
142	Φάρσαλα	39.283	22.383	III
143	Φυλιάτες	39.600	20.300	III
144	Φυλιατρά	37.150	21.583	III

145	Φλώρινα	40.783	21.400	II
146	Χαλκίδα	38.467	23.583	III
147	Χανιά	35.517	24.017	III
148	Χίος	38.383	26.133	III
149	Χρυσούπολη	40.983	24.700	II

Τα διαγράμματα συχνότητας των σχημάτων 27 και 28 αντιστοιχούν στην κατανομή των μέγιστων οριζοντίων επιταχύνσεων και μεταθέσεων για κάθε ζώνη του σχήματος 26.



Σχήμα 27. Ιστογράμματα κατανομής τιμών της αναμενόμενης μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης (cm/sec²) για περίοδο επανάληψης 475 ετών για τις τέσσερις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου.



Σχήμα 28. Ιστογράμματα κατανομής τιμών της αναμενόμενης μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας (cm/sec) για περίοδο επανάληψης 475 ετών για τις τέσσερις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου.

Σύμφωνα με τις συμβατικές υποχρεώσεις για κάθε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι των τιμών της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, PGA (σε cm/sec^2), ταχύτητας, PGV (σε cm/sec), μετάθεσης, PGD, (σε cm) και περιβαλλόμενης διάρκειας, BD, (σε sec) για μέση περίοδο επανάληψης 475 χρόνια.. Οι τιμές αυτές δίνονται στον πίνακα (IV) μαζί με την τιμή της τυπικής απόκλισης και το εύρος τιμών.

Πίνακας IV. Τιμές των παραμέτρων της ισχυρής σεισμικής κίνησης για τις τέσσερις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου.

	Ζώνη I	Ζώνη II	Ζώνη III	Ζώνη IV
Μέση Τιμή PGA (cm/sec²)	115	151	211	334
σ_{PGA}	12	21	39	32
Min _{PGA} & Max _{PGA}	86 157	109 207	84 399	273 386
Μέση Τιμή PGV (cm/sec)	6.3	8.5	12.9	18.2
σ_{PGV}	0.9	1.9	4.1	3.1
Min _{PGV} & Max _{PGV}	4.1 8.5	4.4 15.4	3.9 28.7	13.7 24.6
Μέση Τιμή PGD (cm)	1.0	1.3	1.9	2.9
σ_{PGD}	0.2	0.4	0.8	0.5
Min _{PGD} & Max _{PGD}	0.4 1.5	0.5 2.7	0.4 5.5	4.0 2.1
Μέση Τιμή BD (sec)	3.5	4.9	7.6	9.3
σ_{BD}	0.6	1.3	2.8	1.6
Min _{BD} & Max _{BD}	2.1 5.5	2.1 10.3	2.1 20.7	6.8 12.4

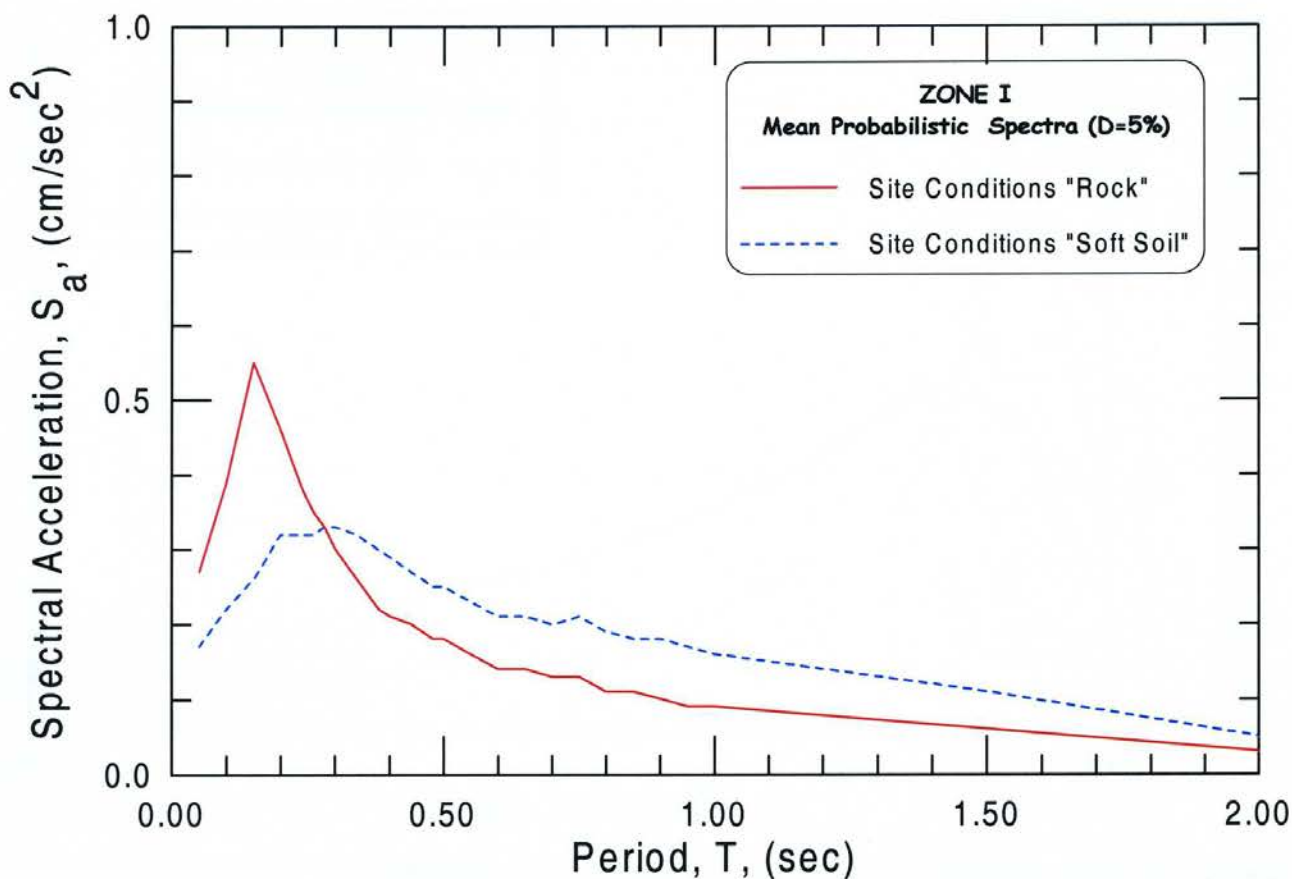
6. ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

6.1 ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ

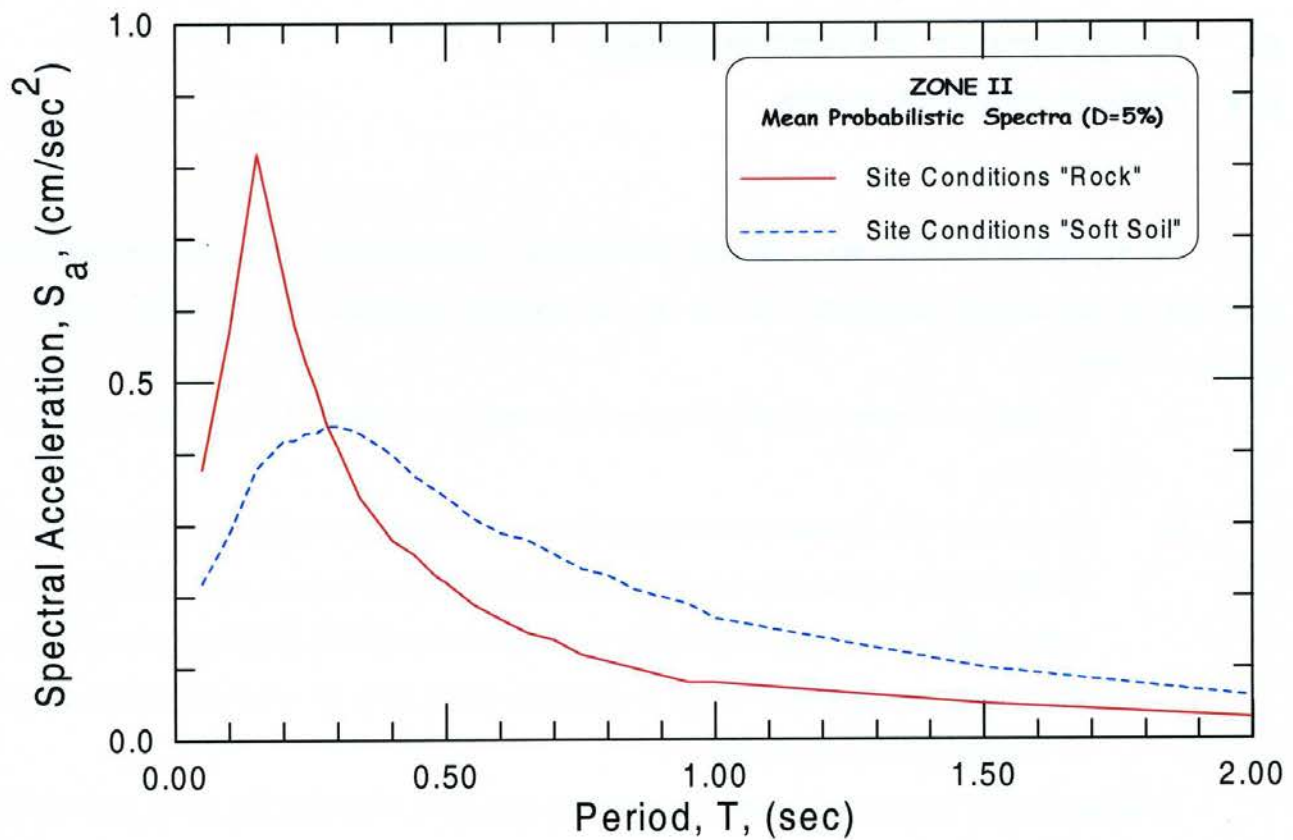
Για τις τέσσερις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας υπολογίστηκαν τα μέσα πιθανολογικά φάσματα για συντελεστή απόσβεσης 5% και για δύο εδαφικές συνθήκες. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν:

- A. Το σεισμοτεκτονικό μοντέλο Παπαϊοάννου and Παπαζαχός (2000) και το πρόγραμμα EQRISK,
- B. Οι σχέσεις (19: επιφανειακοί σεισμοί) και (21: σεισμοί ενδιάμεσου βάθους) για τη απόσβεση της φασματικής ψευδοταχύτητας, $PSV(T)$, με τιμές των σταθερών όπως καθορίστηκαν από τους Theodulidis and Παπαζαχός, (1990, 1994) και μετατροπή σε φασματική επιτάχυνση σε (%g) με βάση τη σχέση (20). Οι υπολογισμοί έγιναν για 17 διακριτές τιμές της περιόδου T .

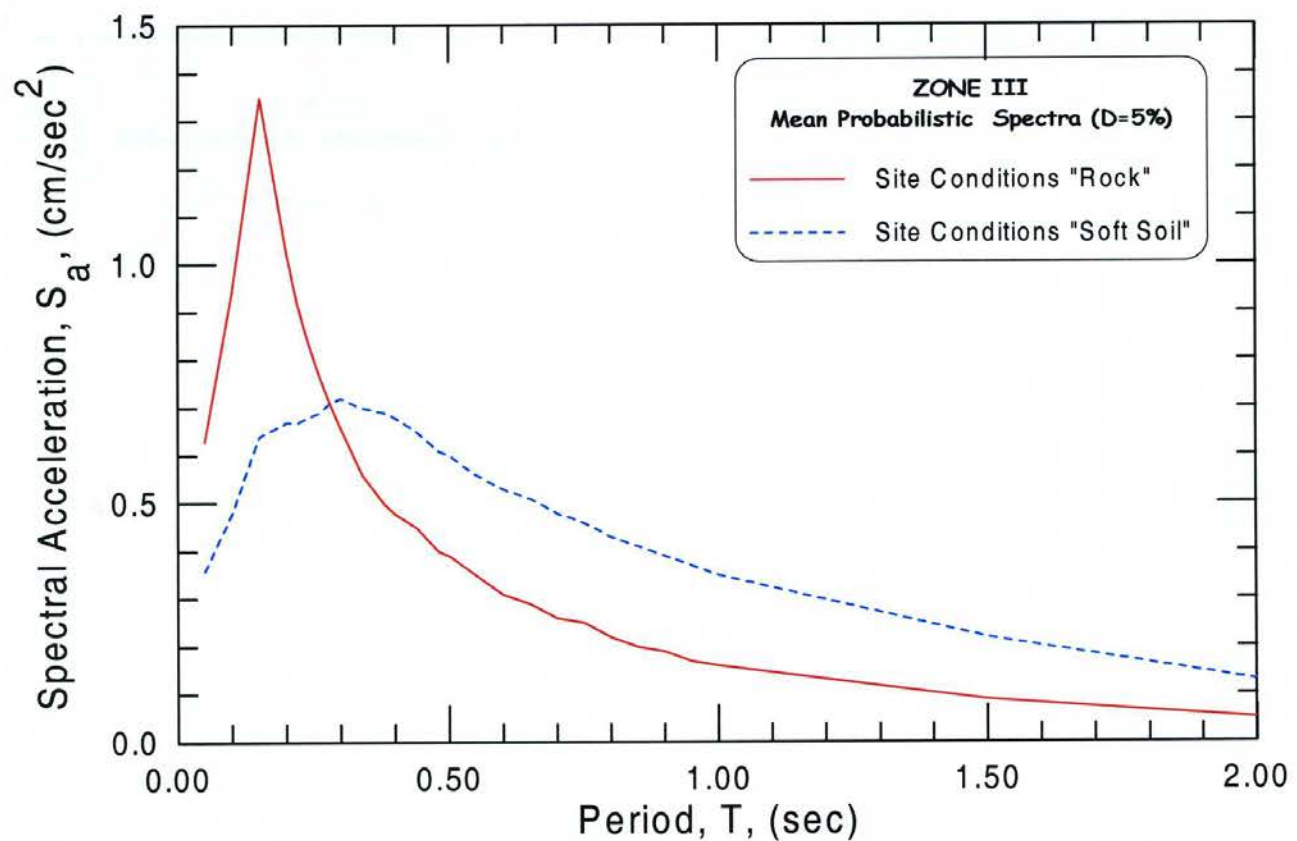
Τα πιθανολογικά φάσματα δίνονται στα σχήματα (29), (30), (31) και (32) για τις ζώνες I, II, III και IV αντίστοιχα. Οι υπολογισμοί έγιναν για πιθανότητα υπέρβασης 10% σε χρονικό διάστημα 50 ετών και για συντελεστή απόσβεσης 5%.



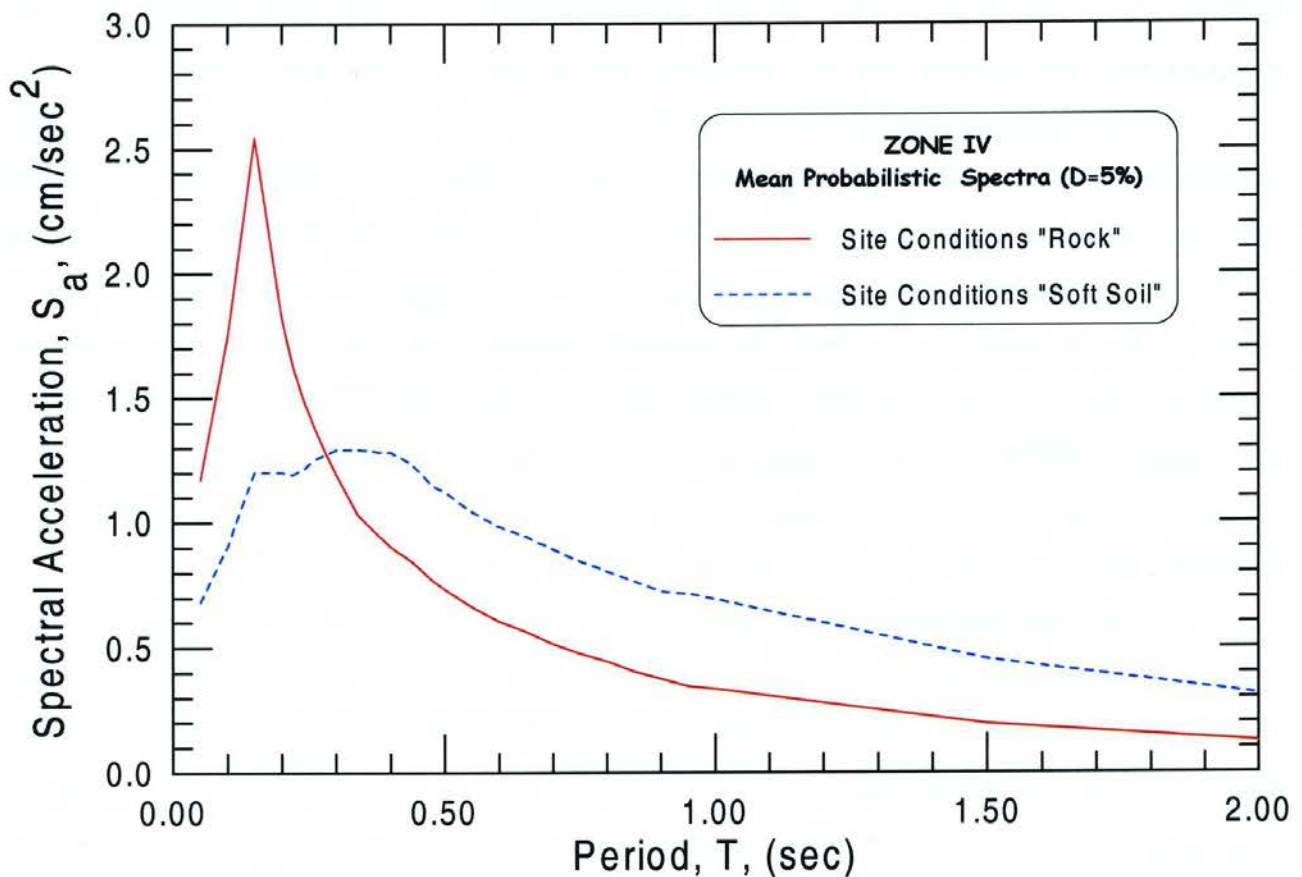
Σχήμα 29. Μέσα πιθανολογικά φάσματα για συντελεστή απόσβεσης 5% για την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I και για δύο εδαφικές κατηγορίες.



Σχήμα 30. Μέσα πιθανολογικά φάσματα για συντελεστή απόσβεσης 5% για την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II και για δύο εδαφικές κατηγορίες.



Σχήμα 31. Μέσα πιθανολογικά φάσματα για συντελεστή απόσβεσης 5% για την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας III και για δύο εδαφικές κατηγορίες.



Σχήμα 32. Μέσα πιθανολογικά φάσματα για συντελεστή απόσβεσης 5% για την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας IV και για δύο εδαφικές κατηγορίες.

Τα φάσματα τα οποία δίνονται στα σχήματα (29-32) είναι αξιόπιστα, μπορούν να ληφθούν υπόψη βοηθητικά αλλά δεν λύνουν το πρόβλημα του καθορισμού πιθανολογικών φασμάτων αφού σήμερα έχει αυξηθεί σημαντικά ο αριθμός των διαθέσιμων επιταχυνσιογραμμάτων του Ελληνικού χώρου. Ωστόσο στα χρονικά πλαίσια του συγκεκριμένου προγράμματος δεν ήταν δυνατή η επεξεργασία όλων των καταγραφών για τον υπολογισμό νέων τιμών για σχέσεις μεταβολής της φασματικής ψευδοταχύτητας, $PSV(T)$ σε συνάρτηση με το μέγεθος, την απόσταση και τις εδαφικές συνθήκες. Μία τέτοια εργασία μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο ενός νέου μελλοντικού προγράμματος από τον ΟΑΣΠ, όπως έχει συμβεί στις ΗΠΑ όπου έγινε εκπόνηση χαρτών σεισμικής επικινδυνότητας με βάση τόσο τις μέγιστες τιμές της ισχυρής σεισμικής κίνησης όσο και με τις φασματικές τιμές. (USGS, 1995, 1996).

6.2 ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ

Λόγω της εκτενούς αναφοράς στις εδαφικές συνθήκες όχι μόνο στον ΕΑΚ2000 αλλά και σε άλλους κανονισμούς (EC-8 κα.) καθώς επίσης και λόγω της αναφοράς στο κείμενο αυτό κρίθηκε

σκόπιμο να δοθούν πληροφορίες για την κατηγοριοποίηση των εδαφικών συνθηκών και την επίδραση τους στα ελαστικά φάσματα απόκρισης των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών.

Η ταξινόμηση των εδαφών και ο προσδιορισμός φασματικών συντελεστών ενίσχυσης έχει αποτελέσει θέμα επιστημονικής αναζήτησης και επανειλημμένες προσπάθειες έχουν καταγραφεί τόσο στον Ελληνικό χώρο (Klimis et al., 1999; Σέξτος κ.α., 1999; Αναστασιάδης κ.α., 2001), όσο και διεθνώς (Borcherdt, 1994; Crouse & McGuire, 1996; Dickenson & Seed, 1996; Dobry et al., 2000; Rodriguez-Marek et al., 1999). Οι παραπάνω επιστημονικές και ερευνητικές προσπάθειες έχουν αποτυπωθεί με τη μορφή κανονιστικών διατάξεων (EC8, UBC/97, AFPS/95, EAK/2000), ή και οδηγιών (NEHRP 1997), οι οποίες ωστόσο παρουσιάζουν αποκλίσεις μεταξύ τους. Τούτο, πρέπει να θεωρείται εύλογο δεδομένου ότι οι κανονισμοί αντικατοπτρίζουν διαφορετικές θεωρήσεις αλλά και εμπειρία στις διαφορετικές χώρες στις οποίες εφαρμόζονται.

Ο EAK2000 διαχωρίζει 4 κατηγορίες εδαφών (Α, Β, Γ, Δ) και 1 πρόσθετη κατηγορία για την οποία απαιτούνται ειδικές μελέτες και επομένως δεν μπορεί να ενταχθεί στα πλαίσια ενός κανονισμού (κατηγορία Χ). Η κατηγοριοποίηση κατά EAK/2000 βασίζεται σε ποιοτικά κριτήρια και ως εκ τούτου παρουσιάζει ορισμένες ασάφειες ενώ η ποιοτική αυτή προσέγγιση τον διαφοροποιεί σημαντικά από τους λοιπούς σύγχρονους ευρωπαϊκούς και αμερικάνικους αντισεισμικούς κανονισμούς. Ο συντελεστής φασματικής ενίσχυσης είναι σταθερός ($\beta_0=2.5$) ανεξαρτήτως κατηγορίας εδάφους και έντασης της σεισμικής διέγερσης, ενώ διαφοροποιείται μόνον ως προς το διάστημα περιόδων όπου εφαρμόζεται σύμφωνα με την κατηγορία εδάφους, δηλ. απουσιάζει παντελώς η επίδραση του εδάφους ακόμη και ως γραμμική συμπεριφορά.

Από την άλλη πλευρά, ο EC8 (prEN 1998-1 / October 1994), ο οποίος βρίσκεται επίσημα σε ισχύ μέχρι σήμερα, προβλέπει μόνον 3 κατηγορίες εδαφών, ενώ σε όσες περιπτώσεις τα εδαφικά προφίλ δεν μπορούν να ενταχθούν στις κατηγορίες που προβλέπει, απαιτείται ειδική μελέτη για την αποτίμηση της επίδρασης τους στα ελαστικά φάσματα απόκρισης. Η εδαφική επίδραση, επί των ελαστικών φασμάτων απόκρισης, λαμβάνεται υπόψη μέσω του εδαφικού συντελεστή S ο οποίος πολλαπλασιάζει το ελαστικό φάσμα και τον συντελεστή φασματικής ενίσχυσης (β_0) σε όλο το διάστημα των περιόδων του ελαστικού φάσματος απόκρισης. Σημειώνεται ωστόσο ότι, η επίδραση της κατηγορίας του εδάφους είναι πολύ περιορισμένη δεδομένου ότι ο συντελεστής $S=1$ για τις 2 κατηγορίες εδάφους (Α & Β) και $S=0.9$ για την κατηγορία C. Σήμερα ο EC8 βρίσκεται σε στάδιο αναθεώρησης και η υπό αναθεώρηση μορφή του (EC8 / prEN 1998-1, Draft May 2000) παρουσιάζει 5 βασικές κατηγορίες (Α, Β, C, D, E), η κατάταξη των οποίων βασίζεται στην ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων (V_s) στα πρώτα 30m της εδαφικής στήλης ή εναλλακτικά στις μέσες τιμές των N_{SPT} και της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής c_u για τα πρώτα 30m. Επίσης, αναφέρονται και 2 ειδικές κατηγορίες (S_1 , S_2) για την συμπεριφορά των οποίων σε σεισμική δράση απαιτείται επίσης ειδική μελέτη. Σημαντικά διαφοροποιείται η υπό αναθεώρηση μορφή του EC8 και ως προς τον συντελεστή S , ο οποίος αντανακλά την επίδραση της κατηγορίας

εδάφους στο ελαστικό φάσμα απόκρισης και οποίος μεταβάλλεται από 1 έως 1.5 για τις κατηγορίες εδάφους από Α έως Ε αντίστοιχα. Ωστόσο, η επίδραση του εδάφους παρουσιάζεται ανεξάρτητη της έντασης της σεισμικής διέγερσης και του διαστήματος των περιόδων στις οποίες αναφέρεται, δηλ. δεν λαμβάνεται υπόψη η μη γραμμική συμπεριφορά του εδάφους.

Τέλος, ο UBC (1997), ο οποίος ακολουθεί πιστά τις οδηγίες του NEHRP (1997), κατατάσσει το έδαφος θεμελίωσης επίσης σε 5 βασικές κατηγορίες (S_A , S_B , S_C , S_D , S_E) και 1 ειδική (S_F) όπου ο διαχωρισμός γίνεται με βάση την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων (V_S) στα πρώτα 30m της εδαφικής στήλης ή εναλλακτικά με τις μέσες τιμές των N_{SPT} και της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής c_u για τα πρώτα 30m. Αναφορικά με τους συντελεστές ενίσχυσης (site coefficients) αυτοί προσδιορίζονται συναρτήσει της κορυφαίας εδαφικής επιτάχυνσης (ένταση σεισμικής διέγερσης) και της κατηγορίας εδάφους, ενώ η φασματική ενίσχυση αποτυπώνεται με 2 συντελεστές ενίσχυσης (F_a : καλύπτει τις μικρές περιόδους από 0.1 έως 0.5sec, και F_v : για την υπόλοιπη περιοχή του φάσματος). Επομένως, αναγνωρίζεται πως η φασματική ενίσχυση είναι μη γραμμική συνάρτηση της έντασης της σεισμικής κίνησης και των τοπικών εδαφικών συνθηκών, κάτι που τον διαφοροποιεί σημαντικά από όλους τους προηγούμενους αντισεισμικούς κανονισμούς. Ειδικά, για τον προσδιορισμό των φασματικών συντελεστών ενίσχυσης από Ελληνικά δεδομένα (θεωρητικές αναλύσεις, πραγματικές καταγραφές και συνθετικές καταγραφές) έχει πραγματοποιηθεί έρευνα για τις κατηγορίες εδαφών C & D κατά UBC (1997) (Αναστασιάδης και συνεργ., 2001) και τα αποτελέσματα της εργασίας συγκρίνονται με τους προτεινόμενους φασματικούς συντελεστές ενίσχυσης από τον υπόψη κανονισμό.

Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη μονοπαραμετρική κλίμακα της ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στα πρώτα 30m αν και πλεονεκτεί έναντι της ποιοτικής κατάταξης των εδαφών υπό την έννοια ότι περιορίζει σημαντικά την αβεβαιότητα επιλογής κατηγορίας (περίπτωση του ΕΑΚ2000), ωστόσο παρουσιάζει και ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα. Συγκεκριμένα, παρά την απλότητα της μονοπαραμετρικής κατάταξης, υπάρχουν διατυπωμένες επιστημονικές επιφυλάξεις σχετικά με την ορθότητα και την αξιοπιστία της αποκλειστικής χρήσης της μέσης τιμής V_S των επιφανειακών 30m προκειμένου να περιγραφεί η επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών σε ισχυρές σεισμικές διεγέρσεις. Παρατηρήσεις και μετρήσεις ενόργανων καταγραφών από τη διεθνή βιβλιογραφία προερχόμενες από ισχυρές σεισμικές δονήσεις καταστρεπτικών σεισμών (π.χ. Loma Prieta 1989, Northridge 1994, Kobe 1995) τεκμηριώνουν ότι τα βαθύτερα στρώματα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο επίσης στη διαμόρφωση της ισχυρής σεισμικής κίνησης στην επιφάνεια του εδάφους, κυρίως στην περίπτωση μικρής δυστημσίας (σχετικά μαλακοί ή χαλαροί εδαφικοί σχηματισμοί σημαντικού πάχους), καθώς επίσης και η μεταβολή της δυστημσίας μεταξύ του «βραχώδους υποβάθρου» και των υπερκείμενων εδαφικών σχηματισμών αλλά και άλλοι παράγοντες όπως η ένταση της ισχυρής σεισμικής κίνησης.

Ενδεικτικά στον Πίνακα Ι που ακολουθεί, έχουν τοποθετηθεί οι κατατάξεις κατά ΕΑΚ2000 EC8 (1994) και UBC (1997). Δεν έχει περιληφθεί η αναθεωρημένη εκδοχή του EC-8 καθότι δεν αποτελεί προς το παρόν επίσημο κείμενο Ευρωκώδικα. Η συγκριτική παρουσίαση και αλληλοσυσχέτιση των κατατάξεων που προτείνονται στον παραπάνω πίνακα σύμφωνα με τους παραπάνω κανονισμούς, διαθέτει κυρίως ενδεικτικό χαρακτήρα, δοθέντος ότι έχει βασισθεί σε σχετικά περιορισμένο δείγμα (Klimis et al., 1998; Σέζτος κ.α., 1999).

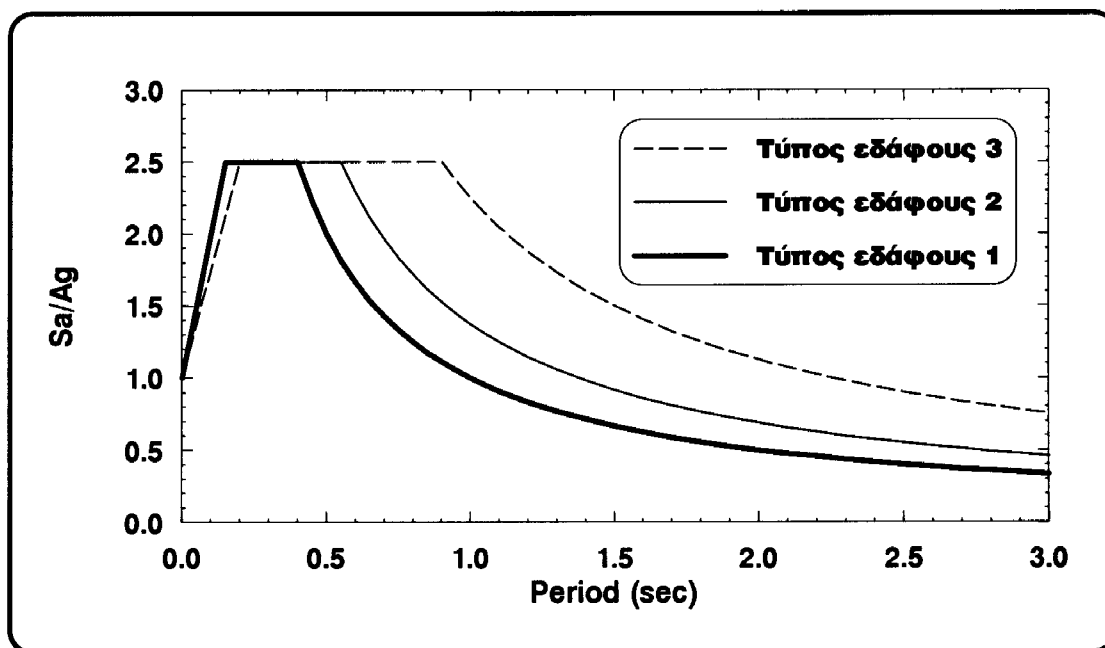
Πίνακας V. Κατηγοριοποίηση των εδαφών με βάση τους ΕΑΚ2000, UBC (1997) και EC-8/94.

V_{s30} (m/sec)	0		180	360	760	1500
UBC (1997)	S_E		S_D	S_C	S_B	S_A
ΕΑΚ2000	Κατηγορία Δ Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλαστιμότη- τητας ($PI > 50$) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10m	Κατηγορία Γ Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας, πάχους μεγαλύ- τερου των 5m, ή μέσης πυκνότητας και πάχους μεγαλύτερου των 70m	Κατηγορία Β Εντονα αποσθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5m ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70m. Στρώσεις σκληρής προσυμπίεσμνης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70m.		Κατηγορία Α Βραχώδεις ή ημι- βραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος με την προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση. Στρώσεις πυκνού κοκκώ- δους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70m. Στρώσεις σκληρής προσυμπίεσμνης αργίλου πάχους μικρότερου των 70m.	
EC 8 / 94	Κατηγορία C Χαλαρές άμμοι με ή χωρίς μαλακές αργιλικές ενστρώσεις έως μαλακές – μέσης συνεκτικότητας άργιλοι $V_s < 200\text{m/sec}$ στα ανώτερα 20m		Κατηγορία Β Μεγάλου πάχους αποθέσεις μέσης πυκνότητας / πυκνές άμμοις – αμμοχάλικα ή σκληρές αργίλους σημαντικού πάχους (μερικές δεκάδες έως και εκατοντάδες μέτρα) με $V_s > 200\text{m/sec}$ στα 10m αυξανόμενο σε τουλάχιστον 350m/sec σε βάθος 50m.		Κατηγορία Α Βραχώδεις έδαφος ή άλλοι γεωλογικοί σχηματισμοί με ταχύτητα $V_s > 800\text{m/sec}$ με μέγιστη εδαφική επικάλυψη χαλαρότερων – μαλακότερων σχηματισμών πάχους 5m. Πολύ πυκνές αμμόδεις – αμμοχαλικώδεις αποθέσεις ή υπερτεροποιημένες άργιλοι πάχους αρκετών δεκάδων μέτρων, χαρακτηριζόμενες από βαθμιαία αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών τους με το βάθος και με ταχύτητα $V_s > 400\text{m/sec}$ σε βάθος 10m.	

6.3 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Το φάσμα σχεδιασμού είναι μια περιγραφή σεισμικών φορτίων υπολογισμού και αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση της εξάρτησης του αντισεισμικού σχεδιασμού από τις ιδιαιτερότητες μιας συγκεκριμένης και μοναδικής εδαφικής κίνησης, η οποία είναι μαθηματικά βέβαιο πως δεν πρόκειται να επαναληφθεί στο μέλλον (Αναγνωστόπουλος, 1986).

Η ακανόνιστη μορφή των φασμάτων απόκρισης με τις αυξομειώσεις των φασματικών τεταγμένων για μικρές μεταβολές της ιδιοπεριόδου οφείλεται στην ιδιαιτερότητα των διαφόρων ισχυρών σεισμικών εδαφικών κινήσεων. Στατιστική επεξεργασία ενός μεγάλου αριθμού ισχυρών σεισμικών εδαφικών κινήσεων έχει οδηγήσει σε τυπικά φασματικά σχήματα από τα οποία τα γνωστότερα είναι των Newmark και Hall (1969) και των Seed και συνεργατών (1976). Τα τυπικά φασματικά σχήματα με την εισαγωγή τριών μόνο κατηγοριών εδάφους (Seed and Idriss, 1982), ανηγμένα στην ίδια μέγιστη επιτάχυνση εδάφους, φαίνονται στο σχήμα (33).



Σχήμα 33. Φασματικά σχήματα ανηγμένα στην ίδια μέγιστη επιτάχυνση (Seed and Idriss, 1982)

Οι τρεις κατηγορίες εδάφους είναι :

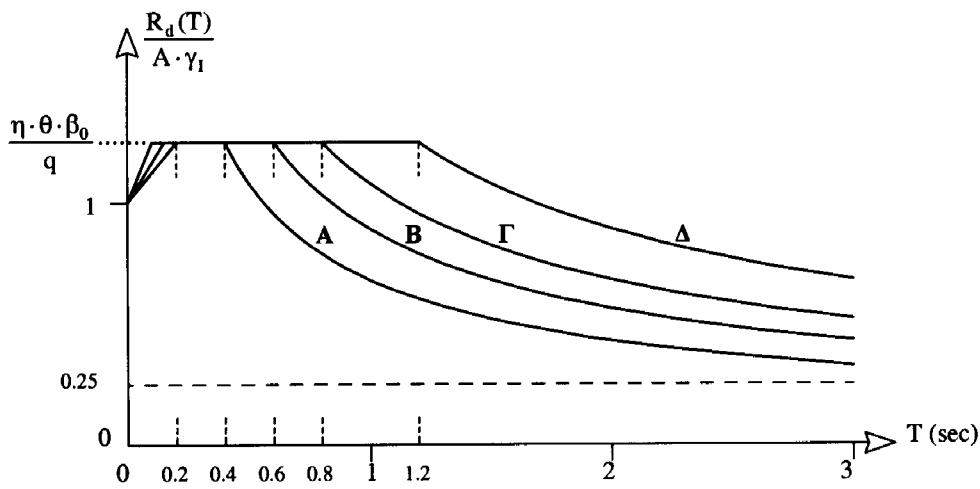
τύπος εδάφους 1: Βραχώδη πετρώματα, σκληρά εδάφη πάχους μικρότερου των 60m ή σκληρές άργιλοι, υπερκείμενες του μητρικού πετρώματος.

τύπος εδάφους 2: Μη συνεκτικά ή σκληρά αργιλικά εδάφη, πάχους μεγαλύτερου των 60 m με σταθερές αποθέσεις άμμων, αμμοχάλικων ή σκληρών αργίλων υπερκειμένων του μητρικού πετρώματος.

τύπος εδάφους 3: Μαλακές έως μέτριες άργιλοι πάχους 10m ή μεγαλύτερου.

Τα τυπικά φασματικά σχήματα (Seed et al, 1976) έχουν χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό των φασμάτων σχεδιασμού και των σεισμικών συντελεστών στο σχέδιο αντισεισμικού κανονισμού των ΗΠΑ τον ATC-3 (1978). Τα φάσματα σχεδιασμού του ATC-3 έχουν περιληφθεί στον κανονισμό UBC του 1991 των Η.Π.Α. Ο νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ2000) όπως αυτός δημοσιεύτηκε στο δεύτερο τεύχος του ΦΕΚ/2184Β'/20.12.99, καθώς και ο Ευρωκώδικας EC8 (2000) για αντισεισμικές κατασκευές έχουν υιοθετήσει ουσιαστικά τα φάσματα σχεδιασμού κατά ATC-3 με ορισμένες μικρές τροποποιήσεις.

Σύμφωνα με τον ΕΑΚ2000 το φάσμα σχεδιασμού θα αποτελείται από τρεις κλάδους, $T < T_1$, $T_1 \leq T \leq T_2$, $T_2 < T$, όπως φαίνεται στο σχήμα 34.



Σχήμα 34. Φάσμα Σχεδιασμού: $\frac{R_d(T)}{A \cdot \gamma_I}$ [Σχεδίαση για $\frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} = 2.5/2.0$]

Οι εξισώσεις για τις αντίστοιχες περιόδους είναι οι εξής:

Περιοχή Περιόδων

Εξίσωση

$$0 \leq T < T_1$$

$$\Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_1 \leq T \leq T_2$$

$$\Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q}$$

$$T_2 < T:$$

$$\Phi_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3}$$

όπου:

$A = \alpha \cdot g$ μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους,

g επιτάχυνση της βαρύτητας,

γ_I συντελεστής σπουδαιότητας του κτιρίου,

q συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής,

η διορθωτικός συντελεστής για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης $\neq 5\%$,
 θ συντελεστής επιρροής της θεμελίωσης,
 T_1 και T_2 χαρακτηριστικές περίοδοι του φάσματος,
 $\beta_0 = 2.5$ συντελεστής φασματικής ενίσχυσης και
 A, B, Γ, Δ κατηγορία εδάφους

Ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \zeta}} \geq 0.7 \quad (34)$$

όπου οι τιμές της κρίσιμης απόσβεσης $\zeta(\%)$ δίδονται στον Πίνακα (VI) για κάθε είδος κατασκευής.

Σε ειδικές περιπτώσεις συστημάτων που αποδεδειγμένα διαθέτουν ιδιαίτερα μεγάλη απόσβεση (π.χ. απόσβεση ακτινοβολίας στο υπέδαφος), το κάτω όριο του συντελεστή “ η ” επιτρέπεται να μειωθεί μέχρι την τιμή 0.5, ύστερα από συγκατάθεση του Κυρίου του Έργου και ειδική έγκριση της Προϊσταμένης Αρχής της ελέγχουσας υπηρεσίας. Για την έγκριση αυτή απαιτείται η σύνταξη λεπτομερούς ειδικής μελέτης, με την οποία αφενός μεν θα αιτιολογείται πλήρως η προέλευση της αυξημένης απόσβεσης (π.χ. εδαφοδυναμική μελέτη στην περίπτωση της απόσβεσης ακτινοβολίας), αφετέρου δε θα γίνεται ποσοτική αποτίμηση της συμμετοχής της στην συνολική απόσβεση του συστήματος.

Πίνακας (VI). Τιμές ποσοστού κρίσιμης απόσβεσης ζ .

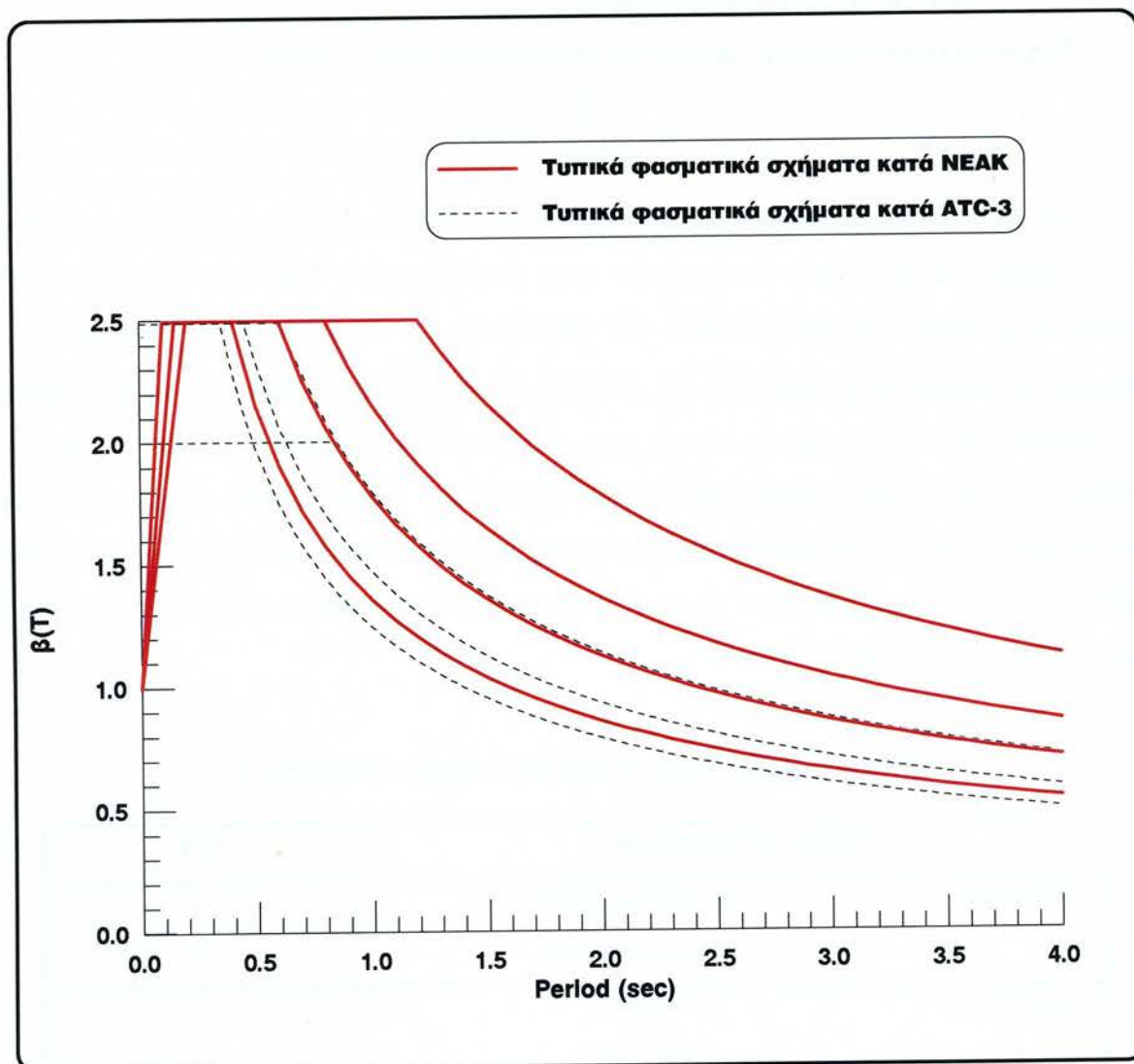
Είδος Κατασκευής		$\zeta\%$
Μεταλλική:	με συγκολλήσεις	2
	με κοχλιώσεις	4
Σκυρόδεμα:	άοπλο	3
	οπλισμένο	5
	προεντεταμένο	2
Τοιχοποιία:	οπλισμένη	6
	διαζωματική	5
Ξύλινη:	κολλητή	4
	κοχλιωτή	4
	ηλωτή	5

Σε κάθε περίπτωση απαιτείται:

$$\frac{R_d(T)}{A_{\gamma_i}} \geq 0.25 \quad (35)$$

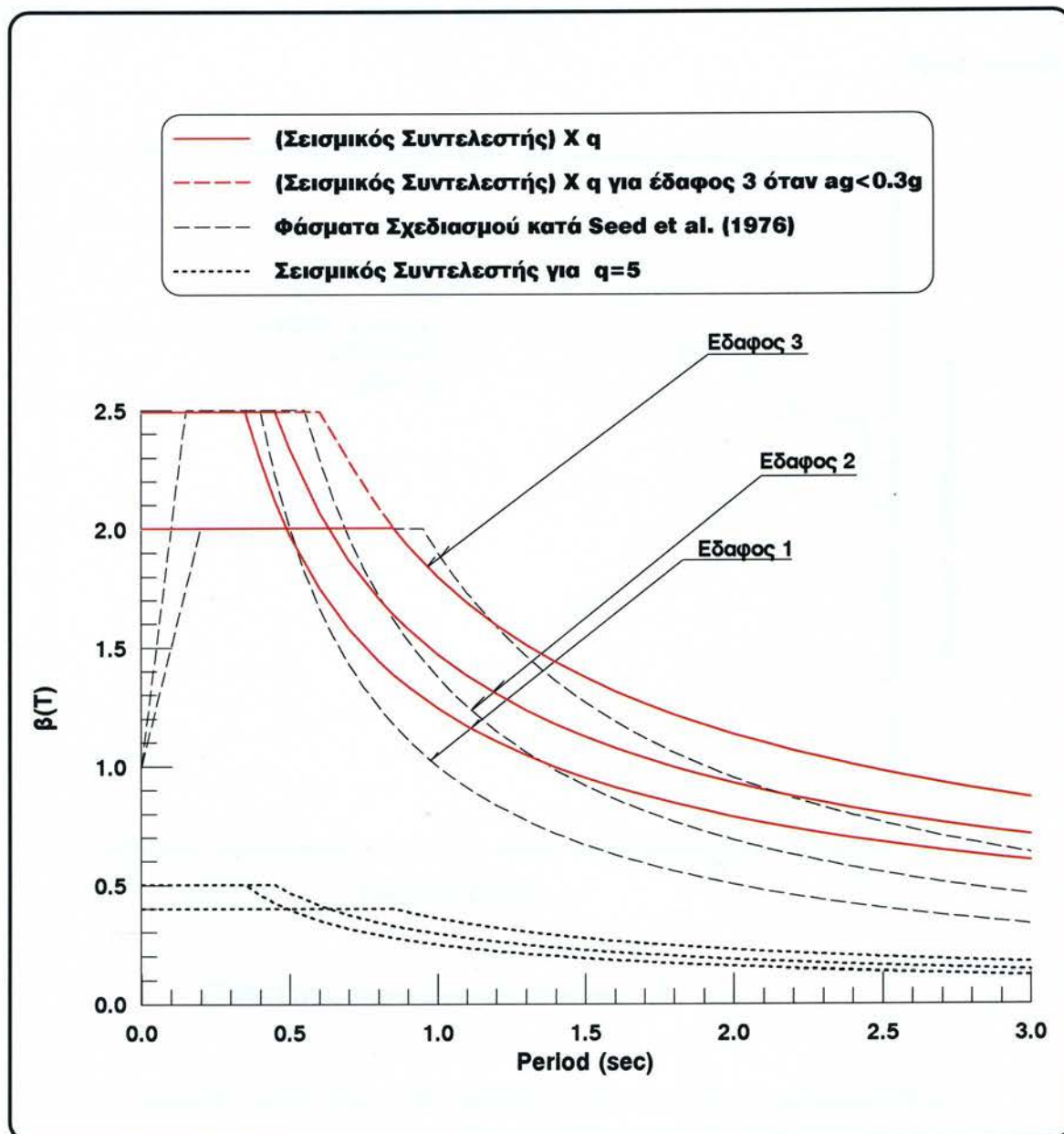
Για το σχήμα των κατερχομένων κλάδων υιοθετήθηκε στον ΕΑΚ2000 η ίδια καμπύλη με αυτήν του ATC-3, δηλαδή μείωση αντιστρόφως ανάλογη με $T^{2/3}$ (T περίοδος). Μία σύγκριση των

ελαστικών φασμάτων κατά ΕΑΚ2000 και κατά ΑΤC-3 για τύπους εδάφους Α, Β, C, D φαίνεται στο σχήμα (35). Παρατηρούμε ότι ο ΕΑΚ2000 καλύπτει με υψηλότερες τεταγμένες μια ευρεία περιοχή ιδιοπεριόδων.



Σχήμα 35. Σύγκριση τυπικών φασματικών σχημάτων κατά ΕΑΚ2000 και ΑΤC-3

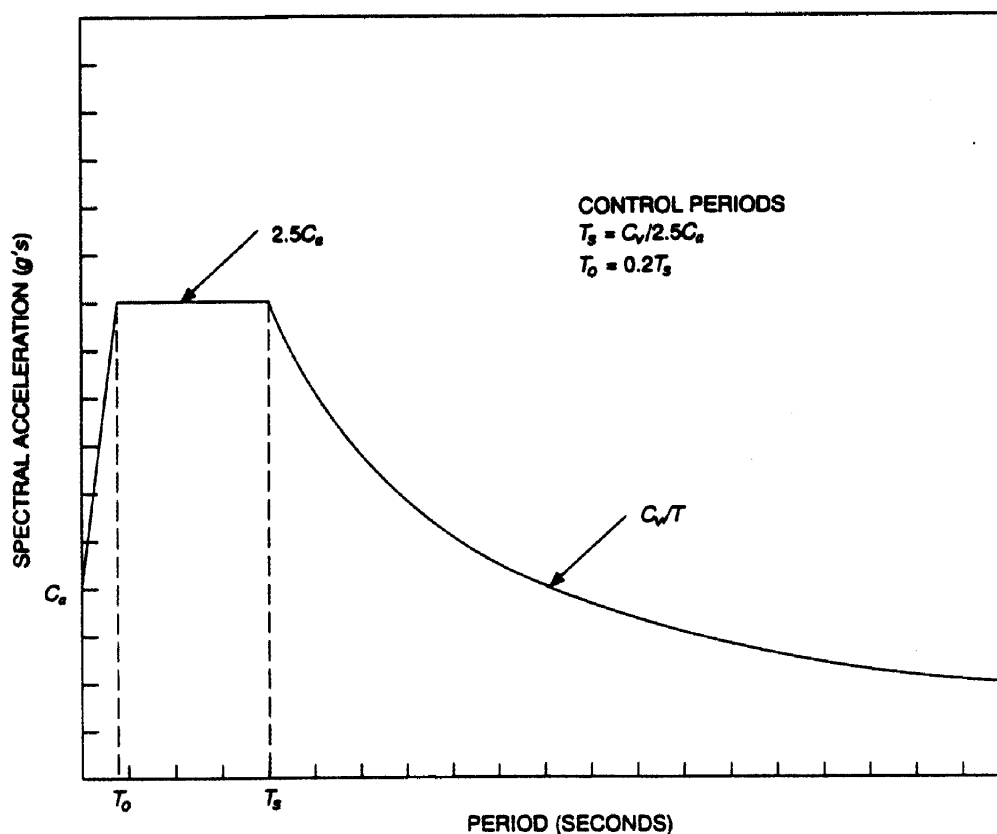
Οι διαφορές μεταξύ των τυπικών φασματικών σχημάτων (Seed et al., 1976) και των φασμάτων σχεδιασμού κατά ΑΤC-3 φαίνονται στο σχήμα (36). Η ανύψωση των φασματικών τεταγμένων έγινε για λόγους που συνδέονται αφενός με ιδιομορφίες απόκρισης υψηλών κτιρίων (π.χ. μεγαλύτερος αριθμός σημαντικών ιδιομορφών), αφ' ετέρου με τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα των πολυωρόφων κτιρίων ή των εύκαμπτων γενικά κατασκευών. Συγκεκριμένα η ανύψωση αυτή ορίστηκε έτσι ώστε η αύξηση για $T=2.0$ sec να είναι 50% (ΑΤC-3, 1978). Στην περιοχή των χαμηλών ιδιοπεριόδων, η τροποποίηση των φασμάτων (Seed et al., 1976) είχε στόχο την απλούστευση του σχήματος για λόγους ασφάλειας καθώς και λόγω αυξημένης πιθανότητας απρόβλεπτα μεγάλων πλαστικών παραμορφώσεων.



Σχήμα 36. Σύγκριση τυπικών φασματικών σχημάτων μεταξύ ATC-3 και Seed et al. (1976)

Όσον αφορά τους Αμερικάνικους κανονισμούς, κατά την τελευταία τροποποίηση του UBC (UBC97), έχουν αυξηθεί (σε σχέση με τον UBC91) οι κατηγορίες εδάφους από τέσσερις σε έξι, καθώς και έχουν διαφοροποιηθεί τα κριτήρια κατάταξης τους (γίνονται πλέον με βάση τις ταχύτητες μετάδοσης των διατμητικών κυμάτων). Μεταξύ των δύο κανονισμών διαφοροποιήθηκε επίσης ο τρόπος ορισμού του φασματικού σχήματος, με σημαντική διαφορά στον κατιόντα κλάδο (περιοχή μεγάλων περιόδων), όπου η μείωση του κλάδου είναι πλέον συνάρτηση του $1/T$, αντί του $(1/T)^{2/3}$, που ίσχυε παλαιότερα (δες Σχήμα 37). Σημειώνεται επίσης ότι για την περιγραφή του κατιόντος κλάδου του φάσματος χρησιμοποιείται ο συντελεστής C_v , ο οποίος είναι σημαντικά μεγαλύτερος του αντίστοιχου συντελεστή C_a , (που χρησιμοποιείται στην περιγραφή των δύο

πρώτων κλάδων του σχήματος) για τις κατηγορίες εδαφών S_C , S_D και S_E (που αντιστοιχούν σε μαλακά εδάφη).



Σχήμα 37. Φάσμα σχεδιασμού κατά UBC (1997).

Στον Ευρωκώδικα 8, EC8 (2000), προβλέπονται, αντί τριών, τέσσερις περιοχές περιόδων (με χαρακτηριστικές τιμές 0, T_B , T_C και T_D). Η μορφή του φασματικού σχήματος στις τρεις πρώτες περιοχές (δηλ. για $T < T_D$) είναι όμοια με αυτή του ΕΑΚ2000, ενώ ο τέταρτος κλάδος δίνεται από την εξίσωση :

$$T_D \leq T : \quad S_d(T) = a \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} \cdot \left(\frac{T_C}{T_D} \right)^{2/3} \left(\frac{T_D}{T} \right)^{5/3} \geq (0.20) a \quad (36)$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AFPS'95 (1995). Recommendations pour la redaction des regles relatives aux ouvrages et installations a realiser dans les regions sujettes aux seismes. *Association Francaise du Genie Parassismique*, pp. 1-183.
- Algermissen, S.T., D.M. Perkins, W. Ishewood, D. Gordon, G. Reagor and C. Howard (1976). Seismic risk evaluation of the Balkan region. *Proc. of the Sem. on Seismic Zoning Maps, UNESCO, Skopje, II*, 172-240.
- Ambraseys, N.N., K.A. Simpson and J.J Bommer (1996). Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, **25**, 371-400.
- Anagnos, T. and A.S. Kiremidjian (1984). Stochastic time-predictable model for earthquake occurrences. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **74**, 2593-2611.
- Αναγνωστόπουλος Σ., (1986). Στοιχεία αντισεισμικής δυναμικής ανάλυσης κατασκευών με φάσματα απόκρισης –σχεδιασμού. *Εργασία ΙΤΣΑΚ 86-01, Θεσσαλονίκη*, σελ. 56.
- Αναστασιάδης, Α., Ν. Κλήμης, Β. Μάργαρης και Β. Λεκίδης (2001). Φασματικοί συντελεστές ενίσχυσης: αξιολόγηση και αποτύπωση της μη γραμμικής συμπεριφοράς του εδάφους. *Πρακτ. 2^ο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Θεσσαλονίκη 28-30 Νοεμβρίου 2001, Α*, 165-174.
- Arias, A. (1984). A measure of earthquake intensity. *Seis. Des. for Nucl. Power Pl. (Hansen, J. Edit), M. I. T. Press*, 438-482.
- ATC-3, (1978) Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings, *Applied Technology Council, Publ., ATC-03-06, USA*.
- Bender A and D.M.Perkins (1987). SEISRISK III: a computer program for seismic hazard estimation. U.S. Geol. Surv. Bull. 1772.
- Benjamin, J.R. and C.A. Cornell (1970). Probability, statistics and decision for civil engineers, *McGraw-Hill, Inc Publ. Co.*, 684 pp.
- Bolt, B.A. (1974). Duration of strong ground motion, *Proc. 5th WCEE., Rome*, 1304-1313
- Borcherdt, R.D. (1994). Estimates of site-dependent response spectra for design (Methodology and Justification). *Earthquake Spectra*, **10**, 617-653.
- Cornell, C. A. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **58**, 1503-1606.
- Crouse, C.B. and J.W. McGuire (1996). Site response studies for purpose of revising NEHRP seismic provisions. *Earthquake Spectra* **12**, 407-439.
- Dickenson, S.E. and R.B. Seed (1996). Nonlinear dynamic response of soft and deep cohesive soil deposits. *Proc. of the International Workshop on Site Response subjected to Strong Earthquake Motions, Yokoshuka, Japan*, **2**, 67-81.
- Dobry, R., I.M. Idriss, and E. Ng (1978). Duration characteristics of the horizontal components of strong -motion earthquake records. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **68**, 1487-1520.
- Dobry R., R.D. Borcherdt, C.B. Crouse, I.M. Idriss, W.B. Joyner, R.B. Martin, M.S. Power, E.E. Rinne and R.B. Seed (2000). New site coefficients and site classification system used in recent building seismic code provisions. *Earthquake Spectra*, **16**, 41-67.
- Drakopoulos, J. and K. Makropoulos (1983). Seismicity and seismic hazard studies in the area of Greece. *Publ. Univ. of Athens, Seism. Lab.*, **1**, 1-126.
- EAK (2000). Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός

- EC8 (1994). Design provisions for Earthquake Resistance of Structures, Part 1-1: General Rules-Seismic Actions and General Requirements for Structures. *European Prestandard, ENV 1998-1-1*.
- EC8 (2000). Design provisions for Earthquake Resistance of Structures, Part 1-1: General Rules-Seismic Actions and General Requirements for Structures (Draft), *prEN 1998-5, European Committee for Standardization, Brussels*.
- Esteva, L. (1970). Seismic risk and seismic design. In: *Seismic Design for Nuclear Power Plants, Hansen R.J. (:editor)*, MIT Press, Boston, MA, 142-182.
- Galanopoulos, A. G. and N. Delibasis (1972). Map of maximum observed intensities in Greece, period 1800- 1970, *Athens*.
- Husid, R.L. (1969). Analisis de terremotos. *Analisi General. Revista del IDIEM*, 8, 21-42, 1969. 4459-4585.
- Θεοδοουλίδης, Ν. Π. (1988). Φάσματα απόκρισης σεισμών του Ελληνικού χώρου. *Πρακτ. Ιου Συμπ., "Για τις Εξελίξεις στη Σεισμολογία και Γεωφυσική του Ελληνικού χώρου"*, *Θεσσαλονίκη 1988*, 225-240.
- Θεοδοουλίδης, Ν.Π. (1991). Συμβολή στη μελέτη της ισχυρής σεισμικής κίνησης στον Ελληνικό χώρο. *Διδ. Διατριβή, Παν. Θεσσαλονίκης*, σελ. 500.
- FRISK88M (1995). User's Manual, ver. 1.70. *Risk Engineering Inc., Boulder CO.*, 69pp, 2 Appendixes.
- Gregor, N. J. (1995). The attenuation of strong ground motion displacements. *Earthq. Eng. Res. Cent., Univ. Cal. Berkeley, Rep No., UCB/EERC-95/02*, 219 pp.
- Gumbell, E.J.(1956). Extreme value statistics. *Columbia Univ. Press, New York*, 375pp.
- Gutenberg, B. and C.F. Richter (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **34**, 185-188.
- Kawashima, K., K. Aizawa and K. Takahashi (1986). Attenuation of peak ground acceleration, velocity and displacement based on multiple regression analysis of Japanese strong motion data. *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, **14**, pp 199-215.
- Klimis N.S., B.N. Margaris and P.K. Koliopoulos (1998). Response spectra estimation according to the EC8 and NEHRP soil classification provisions: a comparison study based on Hellenic data. *Proc. CD-Rom: 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris Balkema*.
- Klimis N.S., B.N. Margaris and P.K. Koliopoulos (1999). Site dependent amplification functions and response spectra in Greece. *J.E.E.*, **3**, 237-270.
- Koliopoulos, P., B. Margaris and N. Klimis (1998). Duration and energy characteristics of Greek strong motion records, *J. of Earthquake Eng.*, **2**, 391-417.
- Κουτράκης, Σ. Ι. (2000). Μελέτη της διάρκειας της ισχυρής σεισμικής κίνησης στον Ελληνικό χώρο. *Διατρ. Ειδικ. Παν. Θεσσαλονίκης*, 100 pp.
- Koutrakis, S.I, P.K. Koliopoulos, G.F. Karakaisis, B.N. Margaris and P.M. Hatzidimitriou (2002). Seismic hazard in Greece based on different strong ground motion parameters. *J. Earthq. Engin.*, **6**, 75-109.
- Kulkarni, R.B., R.R. Youngs and K.J. Coppersmith (1986). Assessment of confidence intervals for results of seismic hazard analysis, *Proc. 8WCEE, San Francisco July 1984*, **1**, 263-270.
- McClusky, S.C. S. Balassanian, A.A. Barka, C. Demir, I. Georgiev, M. Hamburger, K. Hurst, H. Kahle, K. Kastens, G. Kekelidze, R. King, V. Kotzev, O. Lenk, S. Mahmoud, A. Mishin, M. Nadariya, A. Ouzounis, D. Paradissis, Y. Peter, M. Prilepin, R. Reilinger, I. Sanli, H. Seeger, A. Tealeb, M.N. Toksoz and G. Veis (2000). GPS constraints on crustal movements

- and deformations in the Eastern Mediterranean (1988-1997): Implications for plate Dynamics, *J. Geophys. Res.* **105**, 5695-5719.
- McGuire, R.K. (1976). EQRISK: FORTRAN computer program for seismic risk analysis, *U.S. Geol. Surv., Open file rep. No 76-67*, 90pp.
- McGuire, R.K. (1978). FRISK: computer program for seismic risk analysis using faults as earthquake sources, *U.S. Geol. Surv., Open file rep. No 78-1007*, 88pp.
- NEHRP (1997) Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, FEMA 302 (:Provisions). *Building Seismic Safety Council, Washington DC*, 336pp.
- Makropoulos, K.C. (1978). The statistics of large earthquake magnitude and an evaluation of Greek seismicity. *Ph.D. thesis, Univ. of Edinburgh.*, 193pp.
- Μάργαρης, Β. Ν. (1994). Αζιμουθιακή εξάρτηση των σεισμικών κυμάτων στον Ελληνικό χώρο και επίδραση στην σεισμική επικινδυνότητα. *Διδακτ. Διατρ. Παν. Θεσσαλονίκης*, 328 pp.
- Margaris, B.N. and B.C. Papazachos (1991). Azimuthal dependent attenuation in the Southern Balkan region. *Publ. Univ. of Thessaloniki, Geoph. Lab.*, 12, 36pp.
- Margaris, B.N. and B.C. Papazachos (1994). Implication of the azimuthal variation of seismic intensities in seismic hazard assessment. *Proc. XXIV Gen. Ass. Eur. Seism. Com., Athens, September 19-24*, 3, 1718-1727.
- Margaris, B., N. Theodulidis, Ch. A. Papaioannou and B. Papazachos (1990). Strong motion duration of earthquakes in Greece. *Proc. of XXII Gen. Ass. of ESC Barcelona, Sept. 17-22, 1990*, 2, 865- 870.
- Μάργαρης Β., Κ. Παπαζάχος, Χρ. Παπαϊωάννου, Ν. Θεοδουλίδης, Ι. Καλογεράς και Α. Σκαρλατούδης Α. (2001). Εμπειρικές σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας ισχυρής κίνησης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, *Πρακτ. 2^ο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Θεσσαλονίκη 28-30 Νοεμβρίου 2001*, Α, 27-36.
- Margaris, B.N., C. Papazachos, Ch. Papaioannou, N. Theodulidis, I. Kalogeras and A. Skarlatoudis (2002). Ground motion attenuation relations for shallow earthquakes in Greece. *Proc. 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, September 2002*, Paper Ref.. 385, (in press).
- Newmark, N.M. and W.J. Hall (1969): Seismic design criteria for nuclear reactor facilities, *Proc. 4th WCEE*, 2, 37-50.
- Παπαϊωάννου, Χρ.Α. (1984). Απόσβεση των σεισμικών εντάσεων και σεισμική επικινδυνότητα στον Ελληνικό χώρο. *Διδακτ. Διατριβή, Εργ. Γεωφυσικής Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, σελ 200.
- Papaioannou, Ch. A. and B.C. Papazachos (2000). Time-independent and time-dependent seismic hazard in Greece based on seismogenic sources. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **90**, 22-33.
- Papazachos, B. C. (1980). Seismicity rates and long-term earthquake prediction in the Aegean area. *Quat. Geod.*, **3**, 171-190.
- Papazachos, B.C. (1990). Seismicity of the Aegean and surrounding area. *Tectonophysics*, **178**, 287-308.
- Papazachos, B.C. (1996). Large seismic faults in the Hellenic Arc. *Annali di Geof.*, **39**, 891-903.
- Παπαζάχος, Β. Κ. και Κ. Παπαζάχου (1989). Οι σεισμοί της Ελλάδας. *Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη*, σελ. 356.
- Papazachos, B.C. and C. B. Papazachou (1997). The earthquakes of Greece, *Ziti Publications Thessaloniki-Greece*, 304pp.
- Papazachos, B.C. and Ch.A. Papaioannou (1993). Long-term earthquake prediction in the Aegean area based on a time and magnitude predictable model, *Pure Appl. Geophys.* **140**, 595-612.

- Papazachos, B. C., A.A. Kiratzi, Ch. A., Papaioannou and N.P. Theodulidis (1985). Regionalization of seismic hazard in Greece. *Proc. of 12th Reg. Sem. on Earthquake Eng., Halkidiki*, 12pp,
- Παπαζάχος, Β., Κ. Μακρόπουλος, Γ. Λατουσάκης και Ν. Θεοδουλίδης (1989). Τελική έθεση για το πρόγραμμα του ΟΑΣΠ “ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΧΑΡΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ”. Σελ. 22 και 28 σχήμ.
- Papazachos, B. C., Papaioannou, Ch. A., Papastamatiou, D. J., Margaritis, V. N. and Theodulidis, N. P. (1990). On the reliability of different methods of the seismic hazard assessment in Greece. *Natural Hazards*, **3**, 141-151.
- Papazachos, B. C., Margaritis, V. N., Theodulidis, N. P. and Papaioannou, Ch. A. (1992). Seismic hazard assessment in Greece based on strong motion duration. *Proc. 10th W. C. E. E.*, **1**, 425-430.
- Papazachos, B.C., A.A. Kiratzi and B.G. Karakostas (1997a). Toward an homogeneous moment magnitude determination in Greece and surrounding area. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **87**, 474-483.
- Papazachos, B. C., Ch. Papaioannou, C.B. Papazachos and A.S. Savvaidis (1997b): Atlas of isoseismal maps for strong shallow earthquakes in Greece and surrounding area (426 BC - 1995). *Univ. of Thessaloniki, Geophys. Laboratory*, **4**, 1997, 176 pp.
- Papazachos, B. C., Ch.A. Papaioannou, C.B. Papazachos, and A.S. Savvaidis (1997c): A data bank of macroseismic information for shallow earthquakes in the southern Balkan area (550BC-1995AD). *Pres. at the 29th Gen. Ass. IASPEI, August 1997 Thessaloniki*, (abstracts volume).
- Papazachos, B.C., E. E. Papadimitriou, A.A. Kiratzi, C.B. Papazachos and E.K. Louvari (1998). Fault plane solutions in the Aegean Sea and the surrounding area and their tectonic implication. *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, **39**, 199-218.
- Papazachos, B.C., Ch.A. Papaioannou, C.B. Papazachos, and A.S. Savvaidis (1999a). Rupture zones and seismic faults of shallow earthquakes in Greece, *Tectonophysics*, **308**, 205-221.
- Papazachos B.C, A.A. Savaidis, Ch. A. Papaioannou and C.B. Papazachos (1999b): *The S. Balkan dBank of Shallow and Intermediate Depth Earthquake Macroseismic Data*, XXII Gen. Ass. of the IUGG, Birmingham, UK July 1999 (abstracts volume).
- Papazachos, B. C., P.E. Comninakis, G. F. Karakaisis, B.G. Karakostas, Ch.A. Papaioannou, C.B. Papazachos and E. M. Scordilis (2000). A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC-1999. *Publ. Geoph. Lab., Univ. of Thessaloniki* (also at <http://geohazards.cr.usgs.gov/iaspei/europe/greece/the/catalog.txt>).
- Παπαζάχος, Β. Κ., Δ. Μ. Μουντράκης, Κ.Β. Παπαζάχος, Μ.Δ. Τρανός, Γ.Φ. Καρακαϊσής και Α.Σ. Σαββαΐδης (2001). Τα ρήγματα που προκάλεσαν τους γνωστούς ισχυρούς σεισμούς στην Ελλάδα και τη γύρω περιοχή από τον 5^ο αιώνα π.Χ. μέχρι σήμερα. 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Θεσσαλονίκη, 28-30 Νοεμβρίου 2001, **A**, 17-26.
- Papazachos, C. B. (1992). Anisotropic radiation modelling of macroseismic intensities for estimation of the attenuation structure of the upper crust in Greece. *Pageoph*, **138**, 445-469.
- Papazachos, C., (1999). An alternative method for the reliable estimation of seismicity with an application in Greece and surrounding area. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **1**, 111-119.
- Papazachos, C. and Ch. Papaioannou (1997). The macroseismic field of the Balkan Area, *J. Seismology*, **1**, 181-201.
- Παπούλια, Ι. Ε. (1988). Στατιστικά και σεισμοτεκτονικά μοντέλα εκτίμησης του σεισμικού κινδύνου με παράμετρο τη μακροσεισμική ένταση. *Διδακτ. Διατρ. Πανεπ. Αθηνών*, 1-266.
- Papoulia, J. E. and D. Slejko (1992a). Cautious neotectonic hypothesis for assessing the seismic hazard in NE Italy. *Natural Hazards*, **5**, 249-268.

- Papoulia, J. E. and D. Slejko (1992b). Shakeability assessment in the gulf of Corinth and surrounding region using different models. *Proc. XXIII Gen. Ass. E.S.C. Prague*, 2, 135-138.
- Papoulia, J. E. and D. Slejko (1993a). Hazard assessment of two Greek regions with different seismotectonic knowledge. *11 Conv. Ann. Del. Gruppo Naz. Geof. della Terra Solida*, 7-18, 1993a.
- Papoulia, J. E. and D. Slejko (1993b). Seismic hazard assessment based on observed macroseismic intensities. *Proc. 2nd ESC Intl. Conf. on Statistical Methods in Seismology*.
- Papoulia, J., G. Stavrakakis and D. Papanikolaou, (2001). Bayesian probabilistic prediction of strong earthquakes in the Inner Messiniakos fault zone. *J. of Seismology*, 5, 233-242.
- Rodriguez-Marek A., J.D. Bray and N. Abrahamson (1999). Task 3: Characterization of Site Response General Site Categories. *PEERC Report 1999/03, Berkeley, Febr. 1999*.
- Ρουσόπουλος, Α. (1956): Αντισεισμικά Κατασκευαί, *Β. Παπαχρυσάνθεμον, Έκδοσις 2^α*, Αθήναι, σελ 431.
- Sabetta, F. and A. Pugliese (1996). Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, pp 337-352.
- Seed, H.B., R. Muraka, J. Lysmer and I.M. Idriss, (1976): Relationships of maximum acceleration, maximum velocity distance from source and local site conditions for moderately strong earthquakes, *BSSA*, 66, 1323-1342.
- Seed, H.B., and I.M. Idriss, (1982): Ground motions and soil liquefaction during earthquakes, *EERI, USA*.
- Σέξτος Α., Κ. Μάκρας και Κ. Πιτιλάκης (1999). Αποτίμηση των σεισμών σχεδιασμού των NEAK, EC8 και UBC/97 μέσα από πραγματικές καταγραφές και αναλύσεις, *Πρακτ. 13^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οπλισμένου Σκυροδέματος, Οκτ. 1999, Ρέθυμνο*, III, 168-184,
- Shebalin, N. V., G.I. Reisner, A.V. Drumea, J.Y. Aptekman, V.N. Stepaneks and A.J. Zacharova (1976). Earthquake origin zones and distribution of maximum expected seismic intensity for the Balkan region. *Proc. of the Sem. on seismic zoning maps, UNESCO Skopje*, II, 68-171.
- Σταυρακάκης, Γ.Ν. (1985). Συμβολή της στατιστικής Bayess στην εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου της ευρύτερης περιοχής της Κρήτης και προσομοίωση των αναμενόμενων ισχυρών εδαφικών κινήσεων. *Διδακτ. Διατριβή, Παν. Αθήνας*, 1-294.
- Stavrakakis, G.N. and G.A. Tselentis (1987). Bayesian probabilistic prediction of strong earthquakes in the main seismogenic zones of Greece, *Bull. Geof. Teor. Appl.*, 29, 51-63.
- Stavrakakis, G. N. and J. Drakopoulos (1988). An improved model for evaluating seismic hazard in a archeological site, *Proc. Int. Symp. on Eng. Geol. of Ancient Works, Monum. and Histor. Sites*, 1273-1277.
- Stavrakakis, G. N., and J. E. Papoulia (1990a). Prediction of seismic intensities at a site. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, XXXII, 57-65.
- Stavrakakis, G. N., and J. E. Papoulia (1990b). A linear source model for seismic hazard analysis in Greece, *Proc. of 9th E.C. E.E.*, 1, 237-244.
- Stavrakakis, G., J. Drakopoulos and I. Papoulia (1986). A fault rupture model for seismic hazard analysis in the Gulf of Corinth, Central Greece. *Proc. Intern. Symp. on: Engineer.Geol.Probl. in Seismic Areas, Bari-ITALY*, 167-176, 1986.
- Theodulidis N. and B. Papazachos (1990). Strong motion from intermediate depth subduction earthquakes and its comparison with that of shallow earthquakes in Greece. *Proc. XXII Gen. Assembly ESC, Barcelona 1990*, II, 857-864.

- Theodulidis N. and B. Papazachos (1992). Dependence of strong ground motion on magnitude-distance, site geology and macroseismic intensity for shallow earthquakes in Greece: I, Peak horizontal acceleration, velocity and displacement. *Soil Dyn. & Earth. Eng.*, **11**, 387-402.
- Theodulidis N. and B. Papazachos (1994). Dependence of strong ground motion on magnitude-distance, site geology and macroseismic intensity for shallow earthquakes in Greece: II, Peak horizontal pseudovelocity. *Soil Dyn. & Earth. Eng.*, **13**, 317-343.
- Theofanopoulos, N. and J. Drakopoulos (1986). A study of strong ground motion duration of earthquakes in Greece. *Proc. of 8th E.C.E.E. Lisbon*, 1, 3.2/65-72, 1986.
- Trifunac M. and G. Brady (1975). On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded strong ground motion. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **65**, 139-162.
- UBC (1997). Uniform Building Code, Vol, II, *Intern. Conf. Building Officials, USA*, 489pp.
- USGS (1995). USGS spectral response maps and their relationship with seismic design forces in building codes. *US Deptm. Interior, Geological Survey, Repor t95-596*, 18pp, 5 Appendixes.
- USGS (1996). National seismic hazard maps: Documentation June 1996, *US Deptm. Interior, Geological Survey, Report 96-532*, 27pp, 2 Appendixes.
- Χατζηδημητρίου, Π. Μ. (1984). Σεισμογόνοι χώροι και σεισμικές πηγές στο χώρο του Αιγαίου και των γύρω περιοχών. *Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, σελ. 162.
- Youngs R.R. and K.J. Coppersmith (1985): Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard estimates, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **75**, 939-964.