

1210
25.04.02

Δ13

25.04.02

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (Ο.Α.Σ.Π.)
ΑΡΙΘΜ. ΠΡΩΤ. 906
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ 23.4.02



ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Δ/ντής : Δρ Γεώργιος Ν. Σταυρακάκης
P.O. Box 200 48, 118 10 Θησείο, Αθήνα
Τηλ.: 010-34.90.181 / 010-34.90.195 Fax: 010-34.90.180
e-mail : g.stavr@gein.noa.gr



Αθήνα, 22 Απριλίου, 2002

Αριθ. Πρωτ.: 119

Προς:
Τον Πρόεδρο του Ο.Α.Σ.Π.
κ. Β. Ανδριανάκη
Ξάνθου 32
154 51 Ν. Ψυχικό

Αγαπητέ Κύριε Πρόεδρε,

Έχω την τιμή να σας υποβάλω συνημμένα τρία (3) αντίγραφα της Τελικής Έκθεσης της Επιτροπής παρακολούθησης και συντονισμού του Προγράμματος «Σύλλογή και επεξεργασία σεισμολογικών δεδομένων και σύνταξη Νέου Χάρτη Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας συμβατού με τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό και τον Ευρωκώδικα 8».

Σας ευχαριστώ για τη συνεργασία,

Με εκτίμηση,
Ο Συντονιστής της Επιτροπής,

Δρ Γεώργιος Ν. ΣΤΑΥΡΑΚΑΚΗΣ
Διευθυντής
του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου

ΕΚΘΕΣΗ

ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

**Συλλογή και επεξεργασία σεισμολογικών δεδομένων και σύνταξη
Νέου Χάρτη Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας
συμβατού με τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό και
τον Ευρωκώδικα 8**

**ΑΘΗΝΑ
ΜΑΡΤΙΟΣ 2002**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	1
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	4
3.1 ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΛΟΓΟΙ ΣΕΙΣΜΩΝ	7
3.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ	11
3.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	15
4. ΧΑΡΤΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	19

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τα έγγραφα αριθμ. 2016/2.10.2000 και 932/30.3.2001 του Προέδρου του Δ.Σ. του ΟΑΣΠ συστάθηκε η Επιτροπή παρακολούθησης και συντονισμού του προγράμματος «Συλλογή και επεξεργασία σεισμολογικών δεδομένων και σύνταξη Νέου Χάρτη Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας συμβατού με τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό και τον Ευρωκώδικα 8», η οποία αποτελείται από τους:

1. Γεώργιο Σταυρακάκη, Ερευνητή Γ.Ι. Ε.Α.Α. ως συντονιστή,
2. Δημοσθένη Μουντράκη, Καθηγητή Γεωλογίας Α.Π.Θ.,
3. Κωνσταντίνο Μακρόπουλο, Καθηγητή Σεισμολογίας Πανεπιστημίου Αθηνών,
4. Γεράσιμο Τσελέντη, Καθηγητή Σεισμολογίας Πανεπιστημίου Πατρών,
5. Μιχάλη Φαρδή, Καθηγητή Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος Πανεπιστημίου Πατρών,
6. Γιώργο Γκαζέτα, Καθηγητή Εδαφοδυναμικής Ε.Μ.Π.,
7. Γιώργο Καρακαϊση, Αν. Καθηγητή Σεισμολογίας Α.Π.Θ.,
8. Ιωάννη Λατουσάκη, Κύριο Ερευνητή Γ.Ι. Ε.Α.Α. και
9. Χρήστο Παπαϊωάννου, Κύριο Ερευνητή Ι.Τ.Σ.Α.Κ.,
10. Χρήστο Κωστίκα, Πολιτικό Μηχανικό

οι οποίοι συνέταξαν και υπογράφουν την έκθεση αυτή.

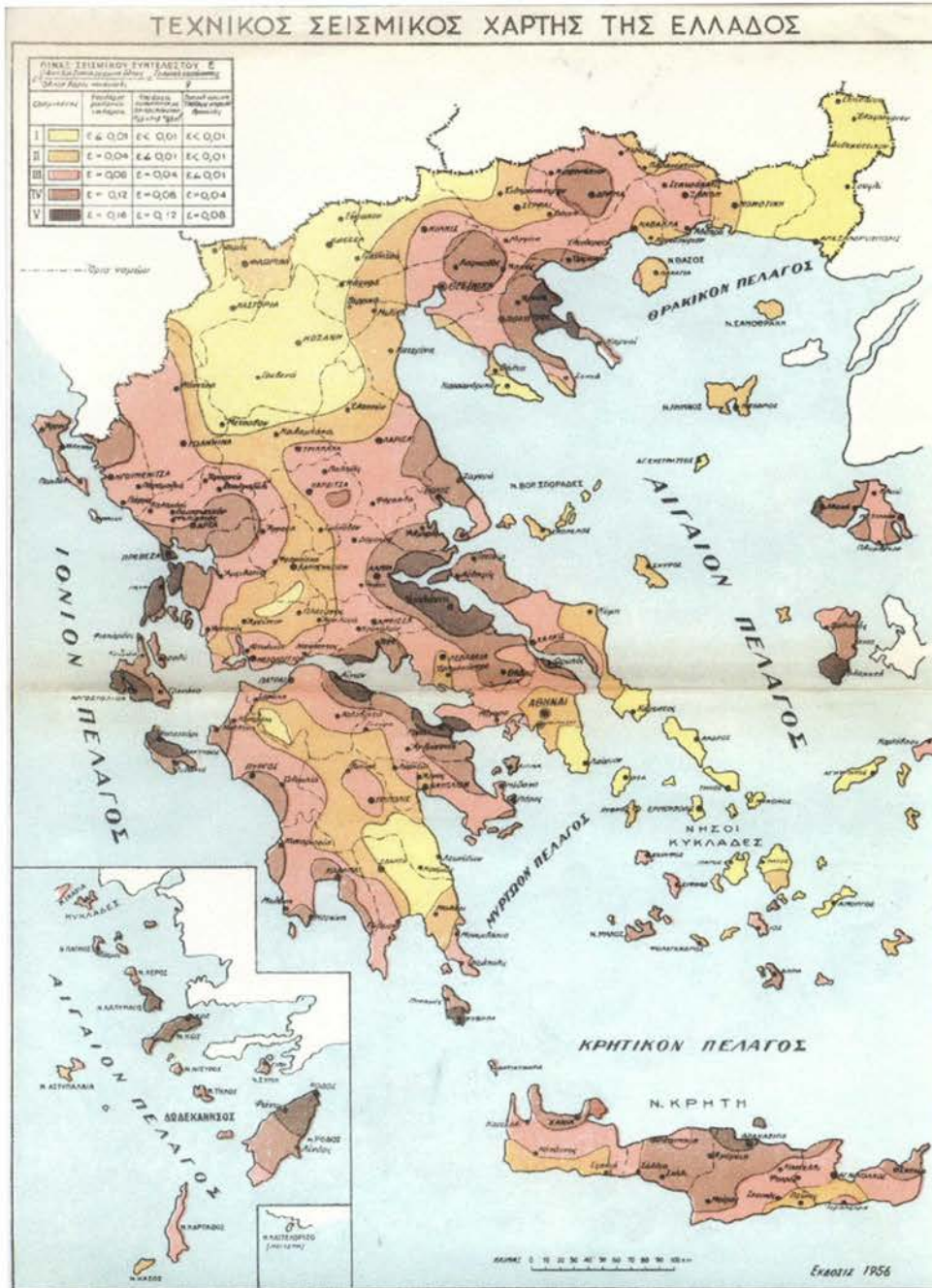
Η Επιτροπή στις αρχικές συνεδριάσεις της καθόρισε τις προδιαγραφές τις οποίες έπρεπε να ακολουθήσουν οι φορείς, οι οποίοι συμμετέχουν στο πρόγραμμα, για την εκπόνηση των χαρτών τους για να γίνει η τελική σύνθεση από την επιτροπή και να προταθεί ο *Νέος Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας*. Τα μέλη της επιτροπής συμφώνησαν ότι ο *Νέος Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας* θα βασίζεται σε χάρτες οι οποίοι θα δίνουν τη γεωγραφική κατανομή της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης σε εδαφικές συνθήκες “βράχου” (ή κατηγορία Β κατά NEHRP, 1997) για μέση περίοδο επανάληψης 475 χρόνια (ή ισοδύναμα πιθανότητα υπέρβασης 10% σε χρονική διάρκεια 50 ετών). Επίσης ομόφωνα αποφασίστηκε οι υπολογισμοί να γίνουν σε κλίμακα 0.25^ο x 0.25^ο για την περιοχή η οποία καλύπτεται από τους παράλληλους 34^οΒ-42^οΒ και τους μεσημβρινούς 19^οΑ-29^οΑ. Σύμφωνα με τις αποφάσεις της επιτροπής η οποιαδήποτε πρόσθετη εργασία των φορέων, η οποία απορρέει από τις συμβάσεις τους, θα υποβληθεί προς τον ΟΑΣΠ στις εκθέσεις τους.

2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ο χάρτης ο οποίος προτείνεται στην έκθεση αυτή είναι κατά σειρά ο τρίτος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού Χώρου.

Ο πρώτος χάρτης με την ονομασία *Τεχνικός Σεισμικός Χάρτης της Ελλάδας* (Τεχνικά Χρονικά, τεύχος 184, 1939) διαιρούσε την Ελλάδα σε ζώνες και σε κάθε ζώνη όριζε τον συντελεστή οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης, ε, εισάγοντας για κάθε ζώνη τέσσερις περιπτώσεις σεισμικής

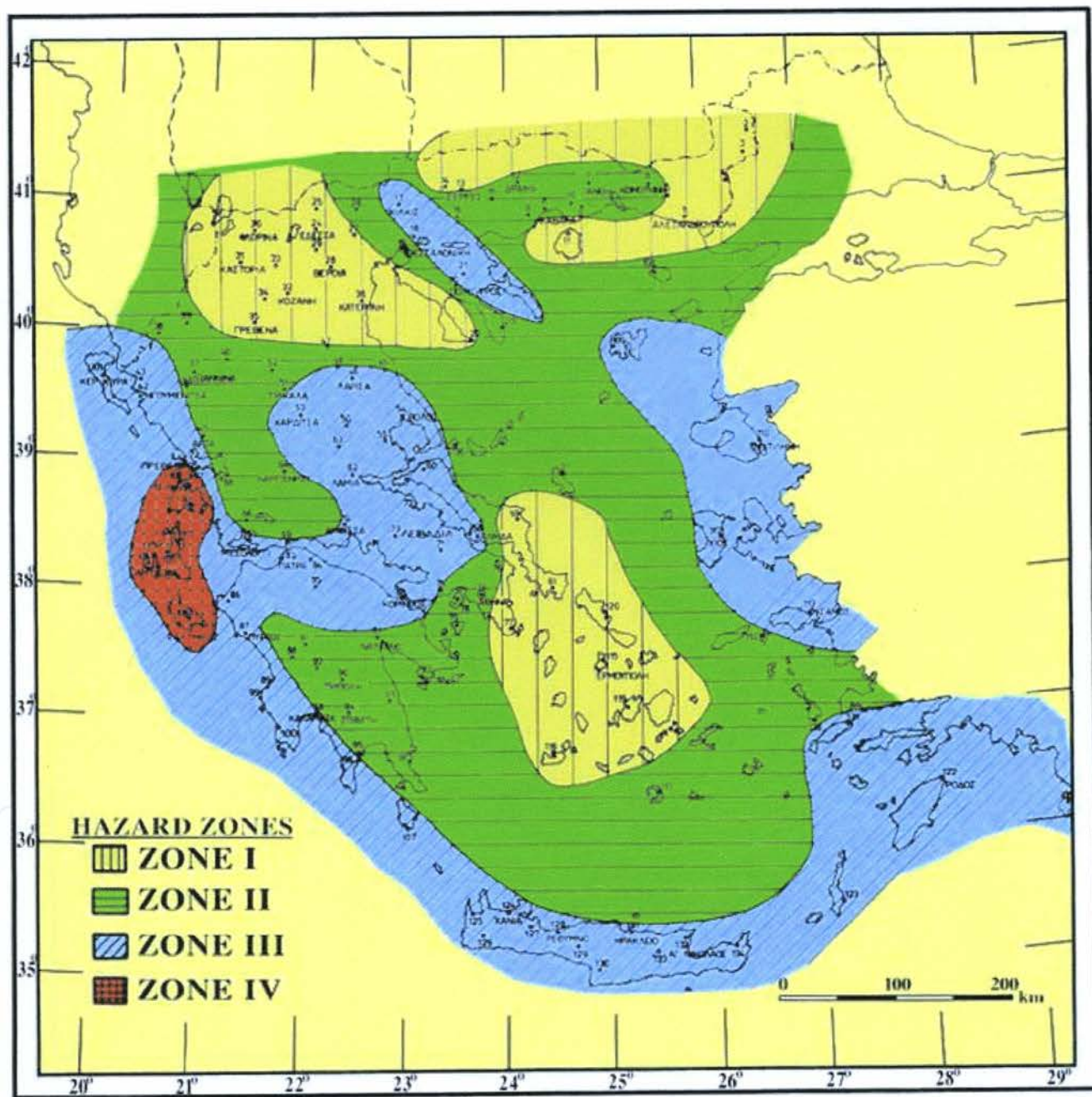
επιτάχυνσης αναλόγως του είδους του εδάφους. Στη δεύτερη έκδοση του χάρτη αυτού (Ρουσόπουλος 1956) έγιναν μεταβολές λόγω των νεότερων δεδομένων μέχρι το 1949 και επίσης περιλήφθηκαν τα Δωδεκάνησα, τα οποία είχαν ήδη περιέλθει στην Ελλάδα. Οι τιμές του συντελεστή, ε , κυμαίνονταν μεταξύ 0.01g και 0.16g. Ο χάρτης αυτός δίνεται στο σχήμα 1. Όπως φαίνεται ο χάρτης είχε βασιστεί στη κατανομή των μεγίστων εντάσεων από τους σεισμούς της τελευταίας εκατονταετίας.



Σχήμα 1.- Τεχνικός Σεισμικός Χάρτης της Ελλάδας (Ρουσόπουλος, 1956).

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), 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 2).



Σχήμα 2. Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας (Παπαζάχος και συνεργ. 1989).

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Δύο είναι οι βασικές μεθοδολογίες για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας σε μία 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 την 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 υιοθετεί συγκεκριμένους σεισμούς, η ΠΕΣΕ επιτρέπει τη χρησιμοποίηση πολλαπλών σεισμικών συμβάντων διαφόρων σεισμικών μεγεθών περιλαμβάνοντας επίσης και τις αβεβαιότητες των αντίστοιχων υπολογισμών. Στους χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας στους αντισεισμικούς κανονισμούς χρησιμοποιείται η πιθανολογική εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας.

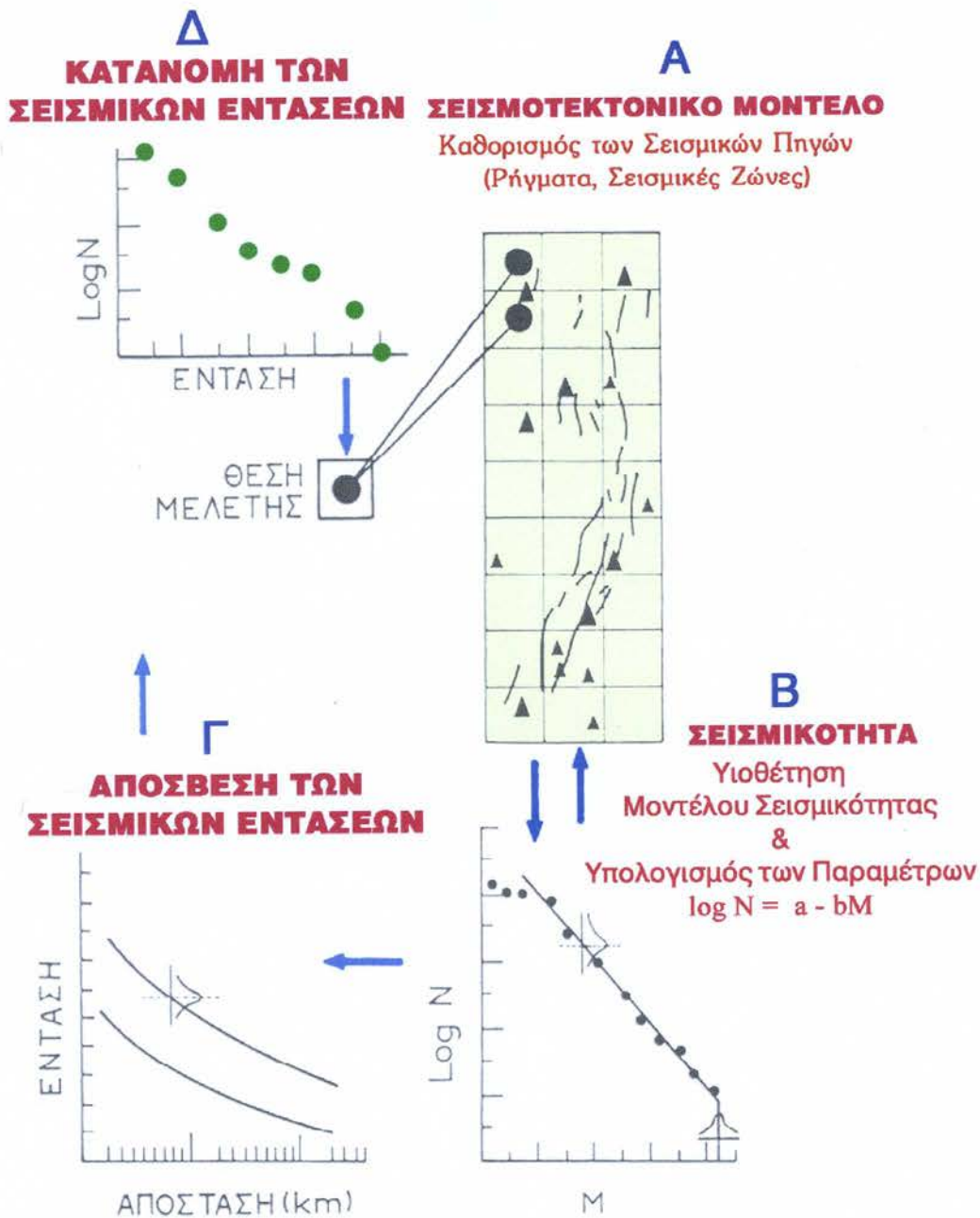
Με τον όρο *σεισμική επικινδυνότητα* σε ένα τόπο εννοούμε την αναμενόμενη στον τόπο αυτό τιμή της σεισμικής έντασης, Y , (μακροσεισμική ένταση, μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, ή οι φασματικές τους τιμές, διάρκεια της ισχυρής κίνησης) σε καθορισμένο χρονικό διάστημα και με ορισμένη πιθανότητα 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 σχέσεων απόσβεσης της σεισμικής έντασης με την απόσταση.

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 3 και μπορούν να συνοψιστούν παρακάτω.

- 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.



Σχήμα 3. Βήματα εργασίας για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας.

- 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:

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

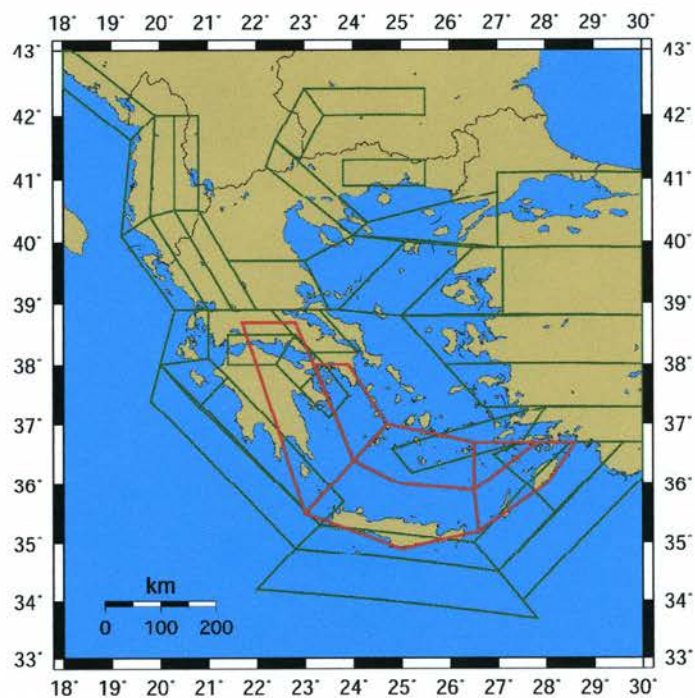
όπου $\Pi(z)$ είναι ο αναμενόμενος αριθμός των υπερβάσεων της εδαφικής επιπέδου z κατά τη διάρκεια ενός καθορισμένου χρονικού διαστήματος t . Ο μέσος ρυθμός επανάληψης, a_i , των σεισμών μεταξύ κατώτερου και ανώτερου ορίου μεγέθους (m_0 και m_u) μελετάται στην i -στη σεισμική πηγή. Οι $f_i(m)$ και $f_i(r)$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

Στο πρόγραμμα αυτό οι πέντε σεισμολογικοί φορείς εργάστηκαν ανεξάρτητα για κάθε ένα από τα προηγούμενα στάδια είτε υιοθετώντας και εφαρμόζοντας προηγούμενα ερευνητικά αποτελέσματα είτε χρησιμοποιώντας νέα δεδομένα και αποτελέσματα, τα οποία παρήχθησαν στα πλαίσια του σχετικού προγράμματος του ΟΑΣΠ. Για κάθε ένα από τα προηγούμενα στάδια παρατίθεται η ανάλυση.

3.1 ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΛΟΓΟΙ ΣΕΙΣΜΩΝ

Ο Papazachos (1990) πρότεινε ένα μοντέλο σεισμικών πηγών για τους επιφανειακούς και ενδιάμεσου βάθους σεισμούς, το οποίο φαίνεται στο σχήμα 4. Με μαύρες γραμμές φαίνονται οι 36 σεισμικές πηγές των επιφανειακών σεισμών ενώ με κόκκινες γραμμές φαίνονται οι 6 σεισμικές πηγές των σεισμών ενδιάμεσου βάθους. Για κάθε σεισμική πηγή δόθηκαν οι παράμετροι σεισμικότητας (σταθερές της σχέσης Gutenberg-Richter, μέγιστο μέγεθος, ρυθμός έκλυσης σεισμικής ροπής, εμβαδόν, κα). Οι περιοχές οι οποίες δεν ήταν μέσα σε σεισμικές πηγές θεωρήθηκαν ότι ανήκουν σε περιοχές με σεισμικότητα υποβάθρου (background seismicity) με μέγιστο μέγεθος $M=6.1$. Το μοντέλο αυτό βασίστηκε σε

ενόργανα και ιστορικά δεδομένα και χρησιμοποιήθηκε για το χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας του NEAK.

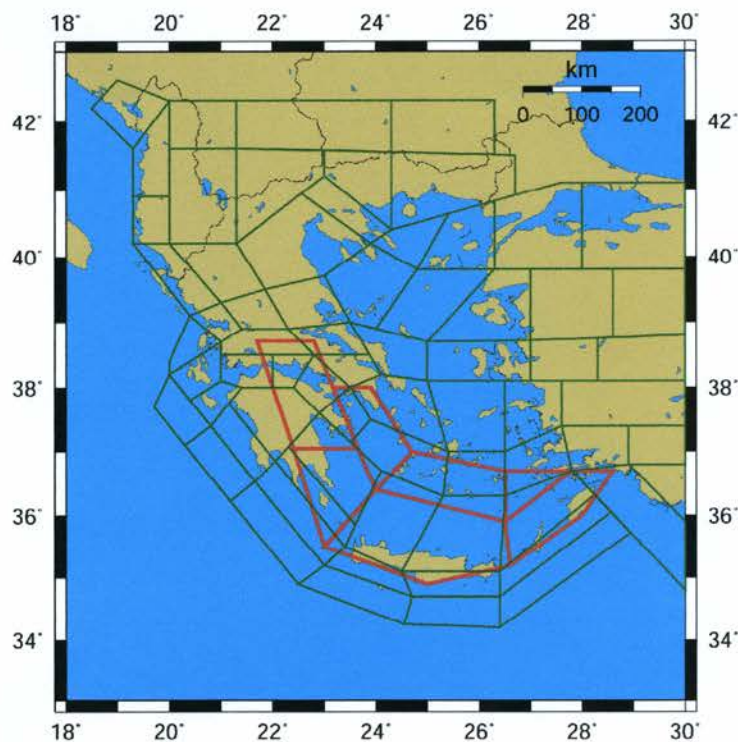


Σχήμα 4. Σεισμικές πηγές των επιφανειακών (μαύρες γραμμές) και ενδιάμεσου βάθους (κόκκινες) σεισμών (Papazachos, 1990).

Το μοντέλο αυτό των επιφανειακών πηγών με τροποποιήσεις για τους σεισμούς Κοζάνης (1995) και Πάρνηθας (1999) χρησιμοποιήθηκε στο παρόν πρόγραμμα του ΟΑΣΠ από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του ΕΑΑ και τα Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών.

Οι Papanastasiou and Parazachos (2000) πρότειναν για τον Νότιο Βαλκανικό χώρο ένα μοντέλο 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 (Parazachos and Parazachos 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 (Parazachos et al., 1999a) και τις νέες απόψεις για την σεισμοτεκτονική του Αιγαίου χώρου (Parazachos et al., 1998; McClusky et al., 2000). Το μοντέλο αυτό, το οποίο δίνεται στο σχήμα 5, χρησιμοποιήθηκε σαν βάση για νέο μοντέλο επιφανειακών πηγών από το Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας. Το ΙΤΣΑΚ

και το Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών έκαναν επίσης χρήση και του μοντέλου αυτού.



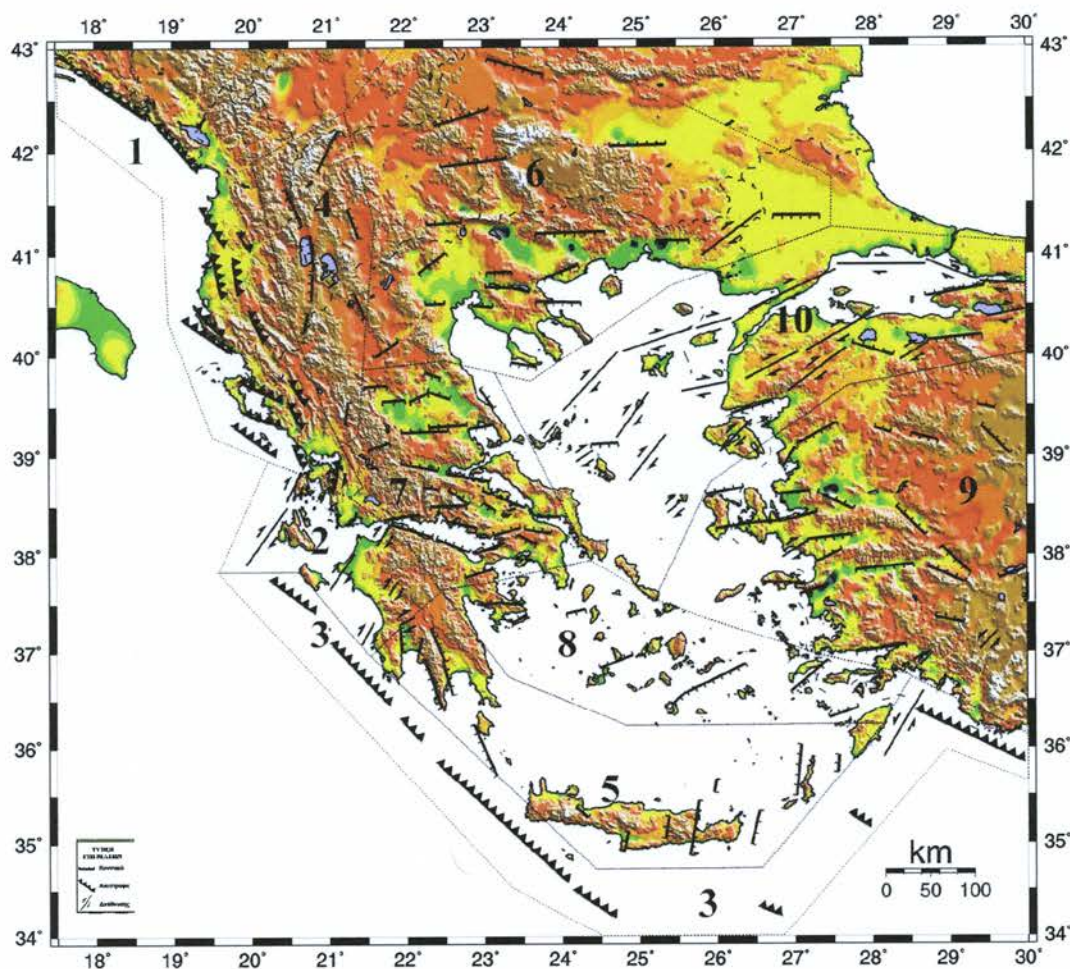
Σχήμα 5. Σεισμικές πηγές των επιφανειακών (μαύρες γραμμές) και ενδιάμεσου βάθους (κόκκινες) σεισμών (Papanastasiou and Parazachos, 2000).

Οι σεισμικές πηγές των σεισμών ενδιάμεσου βάθους του μοντέλου αυτού χρησιμοποιήθηκαν από Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του ΕΑΑ, το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Α.Π.Θ., το Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών και το ΙΤΣΑΚ.

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων σεισμικότητας χρησιμοποιήθηκαν: (α) από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του ΕΑΑ, οι κατάλογοι Papanastasiou et al. (200) για ελάχιστο μέγεθος σεισμών $M \geq 4.5$ για το διάστημα 1950-2000 και Drakatos and Latoussakis (2001) (β) από το Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών ο κατάλογος Makropoulos et al. (1989), ο οποίος και συμπληρώθηκε ώστε να καλύπτει τη χρονική περίοδο 1901-2000, και υπολογίστηκαν οι βασικές παράμετροι σεισμικότητας, με ελάχιστο μέγεθος σεισμών 4.5 (γ) από το Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών ο κατάλογος του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του ΕΑΑ

(:www.gein.noa.gr) (1964-2000) και ο κατάλογος Makropoulos et al. (1989) για τα προηγούμενα χρόνια και (δ) από το Εργαστήριο Γεωφυσικής του ΑΠΘ και το ΙΤΣΑΚ ο κατάλογος Papazachos et al. (2000) ο οποίος περιλαμβάνει όλους τους σεισμούς που έγιναν στην Ελλάδα και τις γειτονικές 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 $M \geq 4.0$

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

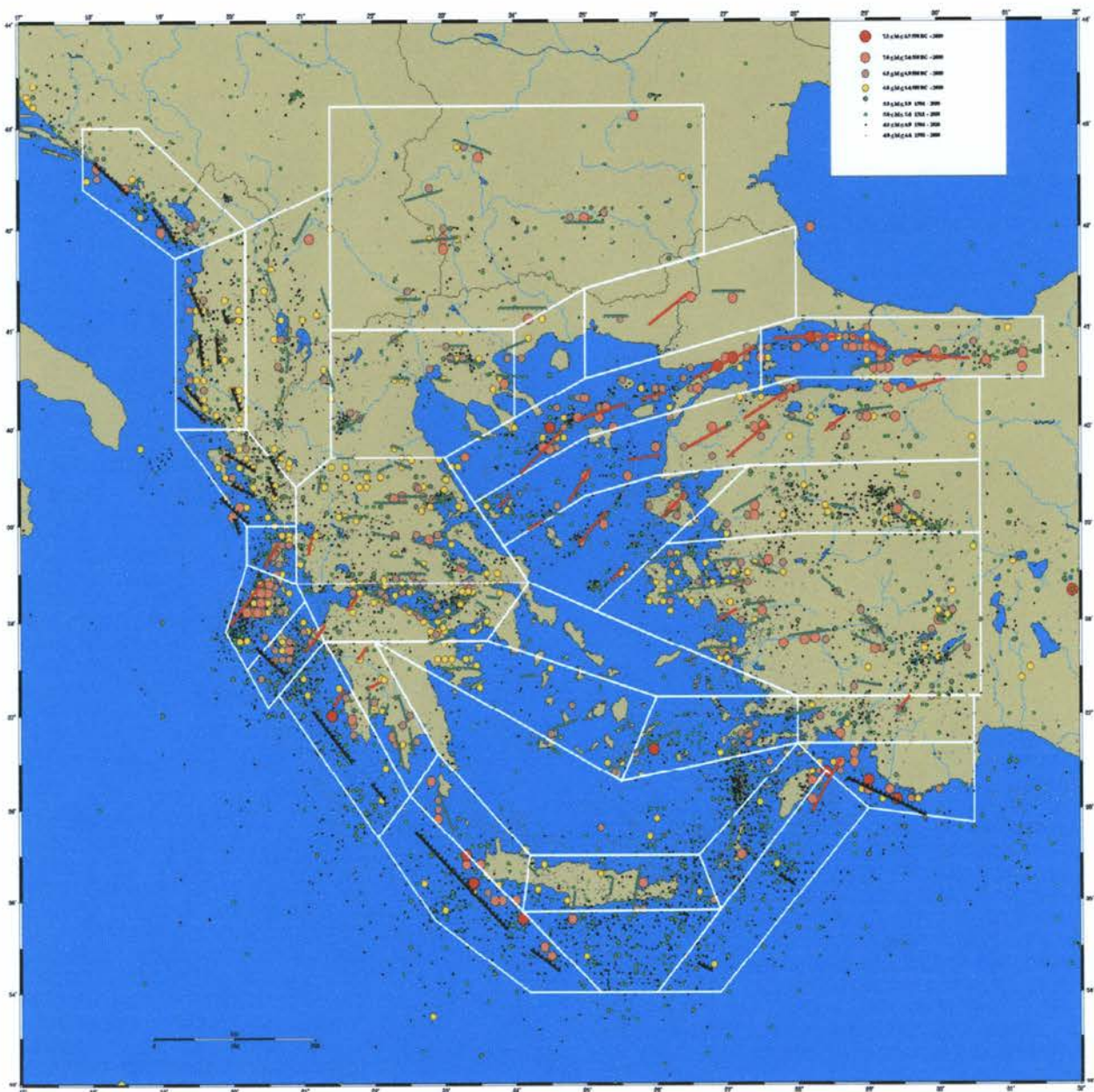


Σχήμα 6. Τα κύρια σεισμικά ρήγματα επιφανειακών σεισμών στον ευρύτερο Αιγαίο χώρο (Παπαζάχος και συν. 2001).

δόθηκαν οι παράμετροι τους (Παπαζάχος και συνεργάτες, 2001). Τα ρήγματα αυτά και η χωροθέτηση των 10 ομάδων δίνονται στο χάρτη του σχήματος 6 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.

Με βάση τον χάρτη του σχήματος 6 και τον κατάλογο των σεισμών Papazachos et al. (2000), προτάθηκε για τους σκοπούς του προγράμματος ένα υβριδικό μοντέλο το οποίο αποτελείται από ρήγματα και επιφάνειες σεισμικών ζωνών (:area seismic sources). 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. Ο χάρτης του σχήματος 7, (Παπαζάχος και συν. 2002: προσ. επικ.), δίνει την γεωγραφική κατανομή των ρηγμάτων των ισχυρών σεισμών και επιφανειών σεισμικών ζωνών στον ευρύτερο Αιγαίο χώρο. Στο



Σχήμα 7. Υβριδικό μοντέλο ρηγμάτων των ισχυρών σεισμών και επιφανειών σεισμικών ζωνών στον ευρύτερο Αιγαίο χώρο (Παπαζάχος και συν. 2002: προσ. επικοινων.).

χάρτη αυτό οι κύκλοι παριστάνουν τα επίκεντρα των σεισμών οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς των παραμέτρων σεισμικότητας.

Ο Παπαζάχος (2001: προσωπική επικοινωνία) καθόρισε τέσσερα ρήγματα (γεωμετρικά χαρακτηριστικά και παραμέτρους σεισμικότητας) για τους ισχυρούς σεισμούς ενδιάμεσου βάθους.

Το Εργαστήριο Γεωφυσικής του ΑΠΘ χρησιμοποίησε το μοντέλο του σχήματος 7, ανάγοντας τα ρήγματα σε επιφάνειες σεισμικών ζωνών για τις ανάγκες του προγράμματος EQRISK (McGuire, 1976), ενώ το ΙΤΣΑΚ χρησιμοποίησε το μοντέλο αυτό στην υβριδική του μορφή.

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.

Επειδή η επιτροπή αποφάσισε ο νέος χάρτης να βασίζεται στην κατανομή των μέγιστων οριζόντιων εδαφικών επιταχύνσεων για τον λόγο αυτό αναπτύσσονται οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην εκπόνηση των χαρτών αυτών.

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

$$\ln Y = c_1 + c_2 M + c_3 \ln (R + R_0) + c_4 S + \sigma_{lnY} P \quad (3)$$

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 σ_{lnY} 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 Theodulidis (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:

$$a = 2164 e^{0.7m} (R+20)^{-1.80} \quad (4)$$

$$\ln a_g = 4.22 + 1.20M_S - 1.83\ln(R+15) \quad (5)$$

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

Οι Theodulidis and Papazachos (1992) 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 ($7.2 \leq M \leq 7.5$, $48\text{km} \leq R \leq 236\text{km}$) πρότειναν την παρακάτω μέση σχέση απόσβεσης για την οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, a_g , (σε cm/sec^2):

$$\ln a_g = 3.88 + 1.12M - 1.65\ln(R+15) + 0.41S + 0.71P \quad (6)$$

όπου S η παράμετρος που χαρακτηρίζει τις εδαφικές συνθήκες (0: για αλλουβιακές και 1: για σκληρό πέτρωμα).

Με βάση 70 οριζόντιες συνιστώσες 28 σεισμών από περιβάλλοντα ζωνών κατάδυσης οι Theodulidis and Papazachos (1990) πρότειναν την παρακάτω σχέση απόσβεσης για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, a_g , (σε cm/sec^2) για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους,

$$\ln a_g = 3.47 + 0.75M - 0.85\ln R_{\text{CER}} + 0.27S + 0.66P \quad (7)$$

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

Ο Ambraseys (1995) με την χρήση 1260 καταγραφών από 619 επιφανειακούς σεισμούς από διάφορες περιοχές της Γης, με μεγέθη μεταξύ $4.0 \leq M_S \leq 7.3$ και καταγεγραμμένους σε αποστάσεις $1\text{km} \leq R \leq 260\text{km}$, πρότεινε την ακόλουθη σχέση:

$$\log a = -1.43 + 0.245M_S - 0.0010R - 0.786\log R + 0.28P \quad (8)$$

όπου a είναι η επιτάχυνση (%g) και $R = (d^2 + 2.7^2)^{0.5}$, d είναι η απόσταση από την εστία.

Οι Ambraseys et al. (1996) χρησιμοποιώντας 422 καταγραφές από 157 επιφανειακούς σεισμούς στον Ευρωπαϊκό χώρο και την ευρύτερη περιοχή με μεγέθη $4.0 \leq M_S \leq 7.9$ και λαμβάνοντας υπόψη την πλησιέστερη απόσταση από την προβολή της διάρρηξης στην επιφάνεια, d , πρότειναν την σχέση:

$$\log a = -1.48 + 0.266M_S - 0.922\log R + 0.117S_A + 0.124S_S + 0.25P \quad (9)$$

όπου a είναι η επιτάχυνση (%g) και $R = (d^2 + 3.5^2)^{0.5}$, S_A και S_S , συντελεστές για σπιφρά-σκληρά εδάφη και μαλακά έως χαλαρά εδάφη αντίστοιχα.

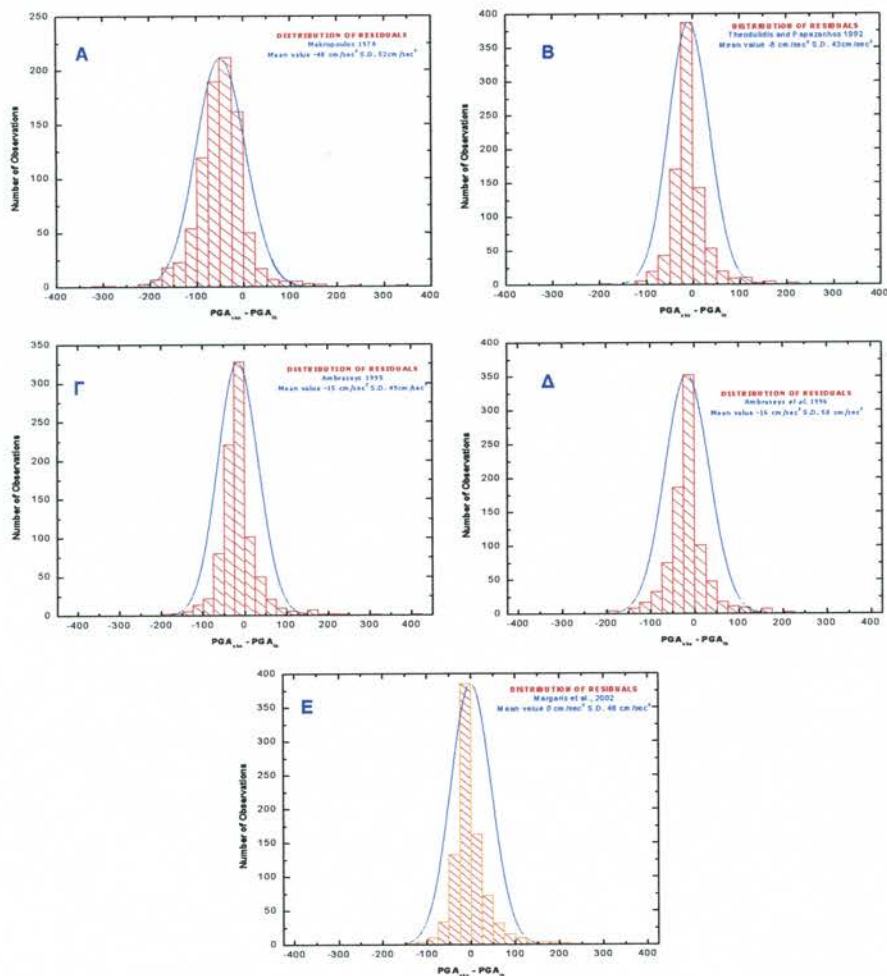
Στα πλαίσια του προγράμματος το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του ΕΑΑ και το ΙΤΣΑΚ με βάση το σύνολο των καταγραφών τους επέλεξαν 744 οριζόντιες συνιστώσες από 142 επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου με μεγέθη $4.5 \leq M \leq 7.0$ και επικεντρικές αποστάσεις $1\text{km} \leq R \leq$

150km και πρότειναν (Μάργαρης και συνεργάτες, 2001; Margaris et al., 2002) τη παρακάτω σχέση απόσβεσης της μέγιστη οριζόντια συνιστώσα της εδαφικής επιτάχυνσης, a_g , (σε cm/sec^2):

$$\ln a_g = 4.16 + 0.69M - 1.24 \ln(R+6) + 0.12S + 0.70P \quad (10)$$

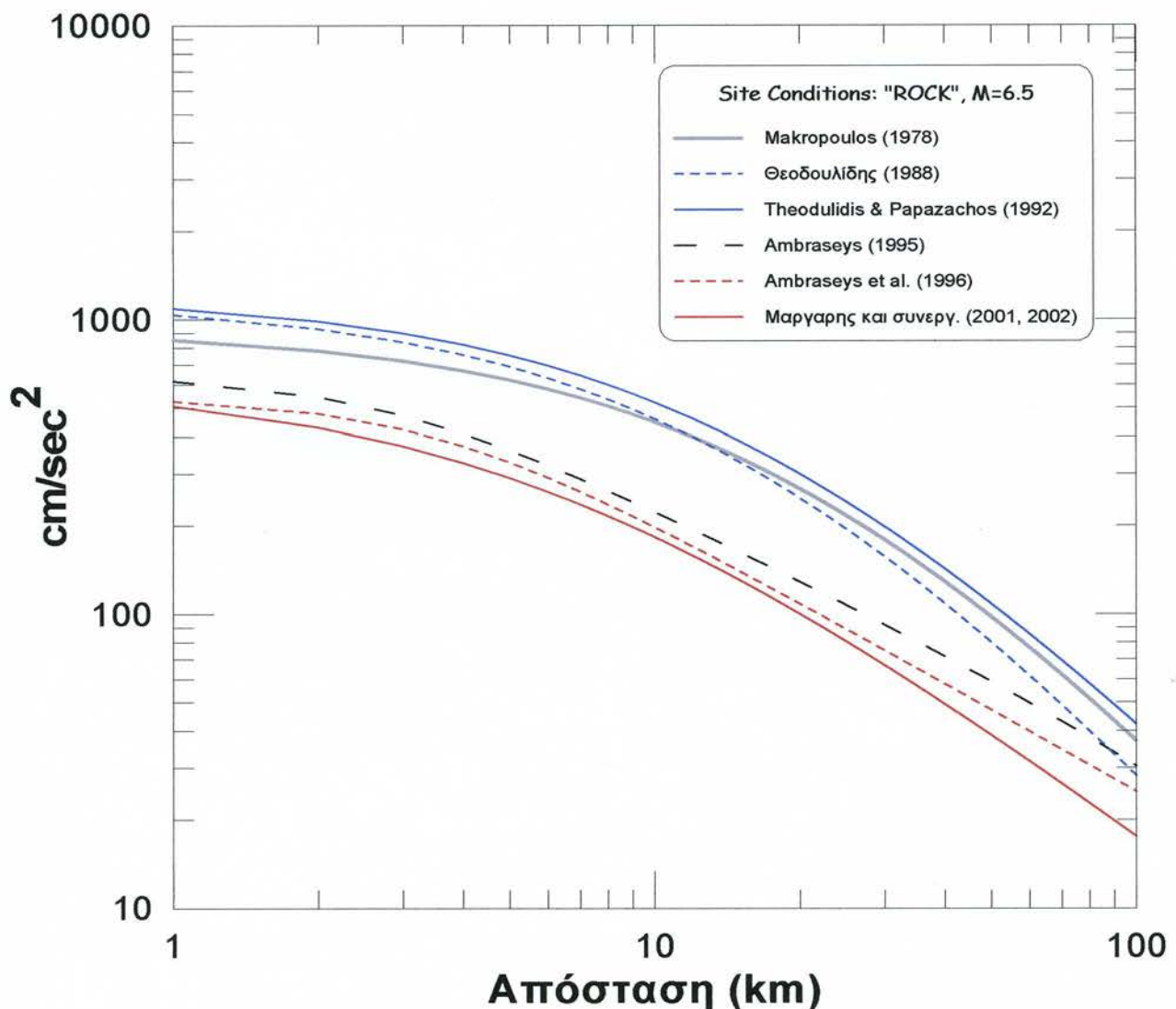
όπου S η παράμετρος που χαρακτηρίζει τις εδαφικές συνθήκες. Χρησιμοποιήθηκε μία απλή γραμμική αντιστοιχία $B \leftrightarrow S=0$, $C \leftrightarrow S=1$ και $D \leftrightarrow S=2$ για τους τρεις τύπους εδαφικών συνθηκών (κατά UBC 1997) οι οποίοι προαναφέρθηκαν για τους σταθμούς καταγραφής του Ελληνικού 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.

Στο σχήμα 8 δίνονται τα διαγράμματα κατανομής Α, Β, Γ, Δ και Ε των υπολοίπων (παρατηρημένες-προβλεπόμενες) για τις τιμές των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων για τις σχέσεις (4), (6), (8), (9) και (10) αντίστοιχα, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν από τους φορείς οι οποίοι συμμετέχουν στο πρόγραμμα. Οι παρατηρημένες τιμές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν είναι οι καταγραφές του Ελληνικού χώρου.



Σχήμα 8. Διαγράμματα (Α, Β, Γ, Δ, και Ε) κατανομής των υπολοίπων των μεγίστων οριζοντίων εδαφικών επιταχύνσεων για τις σχέσεις (4), (6), (8), (9) και (10) αντίστοιχα.

Το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του ΕΑΑ χρησιμοποίησε για την απόσβεση των επιφανειακών σεισμών τις σχέσεις Θεοδουλίδης (1988), Theodulidis and Papazachos (1992), Makropoulos (1978) και Μάργαρη και συνεργάτες (2001). Το Εργαστήριο Γεωφυσικής του ΑΠΘ χρησιμοποίησε τις τη σχέση του Μάργαρη και συνεργατών (2001). Οι σχέσεις των Makropoulos (1978), Theodulidis and Papazachos (1992), Ambraseys (1995) χρησιμοποιήθηκαν από το Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας ενώ οι Theodulidis and Papazachos (1992), Ambraseys et al. (1996) και του Μάργαρη και συνεργατών (2001) χρησιμοποιήθηκαν από το Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου της Πάτρας. Το ΙΤΣΑΚ χρησιμοποίησε τις σχέσεις του Μάργαρη και συνεργατών (2001). Η σχέση απόσβεσης (7) των σεισμών ενδιάμεσου βάθους χρησιμοποιήθηκε από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του ΕΑΑ, το Εργαστήριο Γεωφυσικής του ΑΠΘ και το ΙΤΣΑΚ.



Σχήμα 9. Σύγκριση των σχέσεων απόσβεσης οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα για τους επιφανειακούς σεισμούς, για σεισμό μεγέθους M=6.5 και εδαφικές συνθήκες "βράχος".

Εκτός από τα δεδομένα των επιταχύνσεων υπάρχει και μεγάλος όγκος μακροσεισμικών παρατηρήσεων. Θεωρώντας ότι οι σχέσεις απόσβεσης είναι ίδιας σπουδαιότητας με τις σχέσεις

απόσβεσης των επιταχύνσεων, ειδικά όταν υπάρχουν σχέσεις οι οποίες συνδέουν αυτές τις ποσότητες, το 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 τους επιφανειακούς σεισμούς είναι η ακόλουθη:

$$I = 2.26 + 1.43 M - 1.56 \ln(\Delta + 6) \quad (11)$$

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

$$I = 0.78 + 1.69 M - 1.45 \ln(\Delta + 30) \quad (12)$$

(Παπαϊωάννου, 1984).

Με τη χρήση 70 οριζοντίων συνιστωσών επιταχυνσιογραφημάτων επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου προτάθηκε (Theodulidis and Parazachos, 1992) η σχέση μεταξύ της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, PGA (cm/sec²) με τη μακροσεισμική ένταση, I_{MM}:

$$\ln a_g = 0.28 + 0.67 I_{MM} + 0.42 S + 0.59 P \quad (13)$$

η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη μετατροπή του χάρτη των μακροσεισμικών εντάσεων σε επιταχύνσεις.

Οι αλγόριθμοι οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν από το Εργαστήριο Γεωφυσικής του ΑΠΘ και το ΙΤΣΑΚ, επιτρέπουν να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς η αζιμουθιακή εξάρτηση της απόσβεσης της ισχυρής σεισμικής κίνησης, η οποία οφείλεται στην ανισότροπη ακτινοβολία της σεισμικής ενέργειας από την εστία του σεισμού σε διαφορετικές διευθύνσεις (Parazachos, 1992).

3.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Οι αλγόριθμοι οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα αυτό περιλαμβάνουν αλγορίθμους οι οποίοι βασίζονται στην πιθανολογική μέθοδο των ακραίων τιμών του Gumbell (1958) και στην ημιαιτιοκρατική μέθοδο Cornell (1968) και τις τροποποιήσεις της.

Στην πρώτη περίπτωση ανήκει ο αλγόριθμος HAZAN (Makropoulos and Burton, 1986), ο οποίος χρησιμοποιήθηκε από το Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτό χρησιμοποιείται ένας κατάλογος σεισμών και για κάθε θέση του πλέγματος υπολογίζεται η επιτάχυνση με βάση σχέσεις μεγέθους-απόστασης. Σαν σεισμικές πηγές στη περίπτωση αυτή θεωρούνται τα επίκετρα των σεισμών (σημειακές πηγές). Στη συνέχεια οι τιμές των επιταχύνσεων επεξεργάζονται θεωρώντας ότι οι μέγιστες από τις τιμές ακολουθούν την πρώτη ή την τρίτη ασυμπτωτική κατανομή. Στη μέθοδο αυτή τα αποτελέσματα επηρεάζονται σημαντικά από τη γένεση των πρόσφατων σεισμών και δεν είναι εύκολο να ληφθούν υπόψη ιστορικά δεδομένα.

Η δεύτερη περίπτωση, η οποία εφαρμόστηκε από όλους τους φορείς, περιλαμβάνει τα προγράμματα EQRISK (McGuire, 1976), FRISK (McGuire, 1978), SEISRISK III, SEISRISK IIID (Bender and Perkins, 1987) και FRISK88M (1996).

Στα ανωτέρω προγράμματα 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:

$$P(Y > y) = \int P(Y > y / x) f(x) dx \quad (14)$$

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:

$$P(Y > y) = \int \int P(Y > y / m, r) f_M(m) f_R(r) dm dr \quad (15)$$

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) εκτόνησε 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:

$$P(Y > y) = \int \int_{RM} P(Y > y / m, l_r(m), r) f_M(m) f_L(l_r) f_R(r) dm dl_r dr \quad (16)$$

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 ενδιάμεσου 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.

Οι αλγόριθμοι SeisRisk III και SeisRisk IIID (δέχεται επίπεδα ρήγματος) βασίζονται την αρχική προσέγγιση του Cornell (1968) με τις ακόλουθες τροποποιήσεις:

- i. Μέσα σε κάθε σεισμική ζώνη η τα επίκεντρα των σεισμών ακολουθούν μία κανονική κατανομή και όχι ομοιόμορφη όπως δέχονται η μέθοδοι McGuire (1976, 1978, 1995). Συγκεκριμένα αν σ είναι η τυπική απόκλιση της θέσης του επικέντρου και αν η αναμενόμενη θέση του βρίσκεται στο σημείο (X_0, Y_0) , η πιθανότητα να συμβεί ο σεισμός σε μία περιοχή A γύρω από τη θέση $(X_0 + \Delta x, Y_0 + \Delta y)$ δίνεται από τη σχέση:

$$P_A(\Delta x, \Delta y) = \frac{A}{2\pi\sigma^2} e^{-(\Delta x^2 + \Delta y^2 / 2\sigma^2)} \quad (17)$$

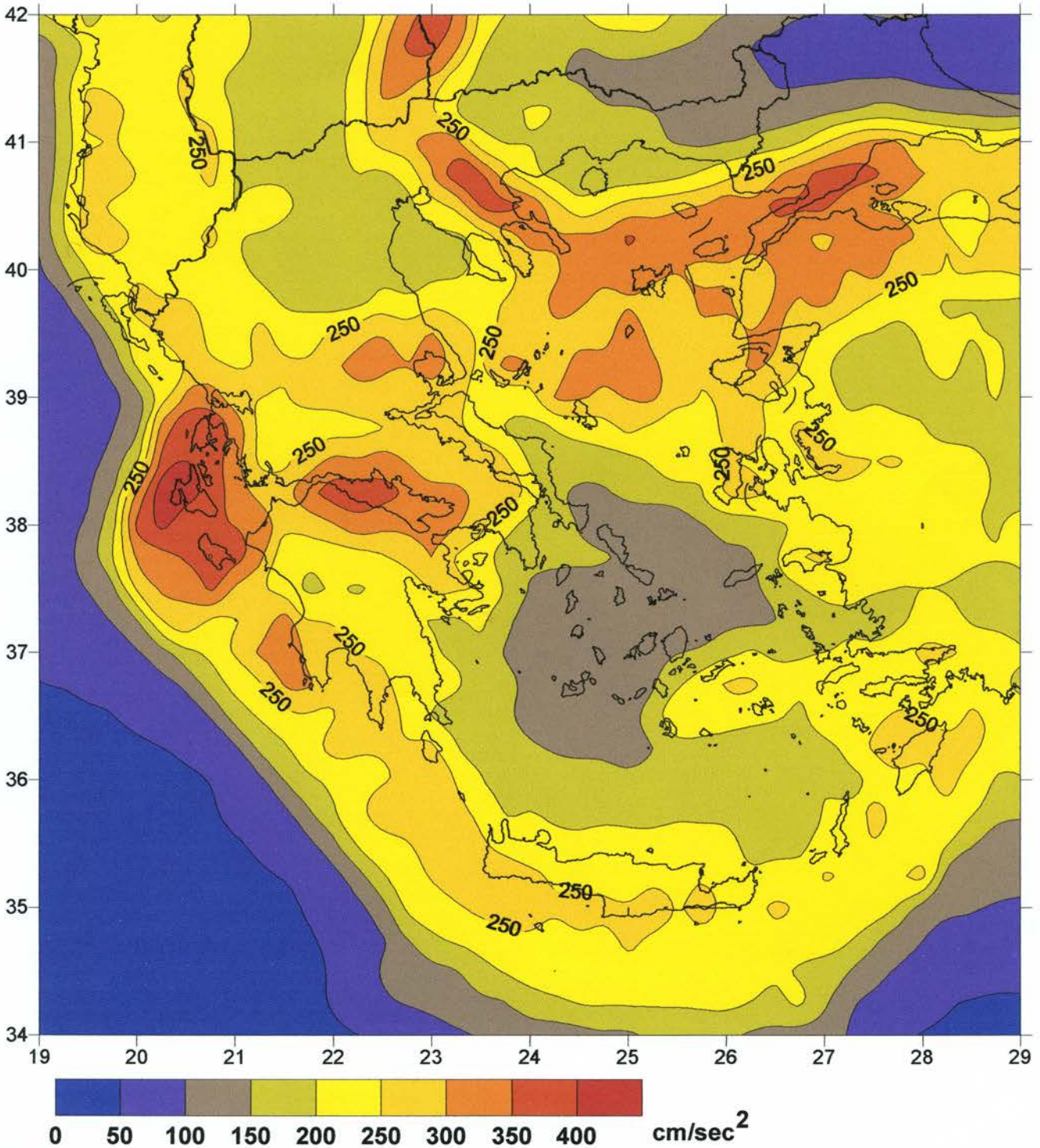
δηλαδή η επίδραση της ασάφειας ως προς τη θέση των επικέντρων και κατ' επέκταση της σεισμικής πηγής έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία γειτονικών πηγών στις θέσεις $(\Delta x, \Delta y)$ και τον υπολογισμό της συμβολής τους στη τελική εκτίμηση των παραμέτρων της σεισμικής επικινδυνότητας. Αποτέλεσμα της κανονικής κατανομής είναι να εξομαλύνονται οι μεταβολές σεισμικότητας των ζωνών και αντίστοιχα τα επίπεδα των παραμέτρων οι οποίες υπολογίζονται, ώστε να μην παρουσιάζεται το σύνηθες φαινόμενο της μεγάλης διαφοράς των αναμενόμενων επιταχύνσεων ή άλλων παραμέτρων σε αποστάσεις λίγων χιλιομέτρων λόγω του γεγονότος ότι ανήκουν σε διαφορετικές σεισμικές ζώνες.

- ii. Εκτελεί μερική εξομάλυνση μεγεθών θεωρώντας για τις θέσεις, οι οποίες βρίσκονται πλησιέστερα προς ένα ρήγμα, ότι οι διαρρήξεις συμβαίνουν από ένα εύρος μεγεθών, Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται εξομάλυνση των τιμών των παραμέτρων (επιταχύνσεων κα.) οι οποίες υπολογίζονται από τις διαρρήξεις αυτές.
- iii. Επιτρέπει την εισαγωγή ρηγμάτων σύνθετης γεωμετρίας
- iv. Δέχεται και ενσωματώνει στους υπολογισμούς για κάθε ζώνη τόσο το σφάλμα στην ακρίβεια υπολογισμού των επικέντρων των σεισμών, όσο και στη σχέση απόσβεσης των εδαφικών παραμέτρων.

Από τους φορείς οι οποίοι συμμετέχουν στο πρόγραμμα, το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του ΕΑΑ χρησιμοποίησε τα προγράμματα EQRISK και FRISK το Εργαστήριο Γεωφυσικής του ΑΠΘ τα προγράμματα EQRISK (τροποποιημένη έκδοση για να λαμβάνεται υπόψη η ανισότροπη ακτινοβολία της σεισμικής ενέργειας από την εστία του σεισμού σε διαφορετικές διευθύνσεις και η ταυτόχρονη θεώρηση διαφορετικών σχέσεων απόσβεσης) και FRISK88M, το Εργαστήριο Σεισμολογίας της Αθήνας τα προγράμματα HAZAN και SEISRISK III, το Εργαστήριο Σεισμολογίας της Πάτρας τα προγράμματα SEISRISK III και SEISRISK IIID και το ΙΤΣΑΚ τα προγράμματα EQRISK και FRISK88M (σε τροποποιημένες εκδόσεις για την απόσβεση).

4. ΧΑΡΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Σύμφωνα με τη παράγραφο 1 του άρθρου 5 της σύμβασης, η οποία υπογράφηκε μεταξύ του Προέδρου του ΔΣ του ΟΑΣΠ και των μελών της ομάδας μελέτης την 2^α Οκτωβρίου 2001, “Τελικό προϊόν είναι ο νέος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας συμβατός με τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό και τον Ευρωκώδικα 8”.



Σχήμα 10. Γεωγραφική κατανομή του μέσου όρου των μέγιστων οριζοντίων επιταχύνσεων (σε cm/sec²) στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές.

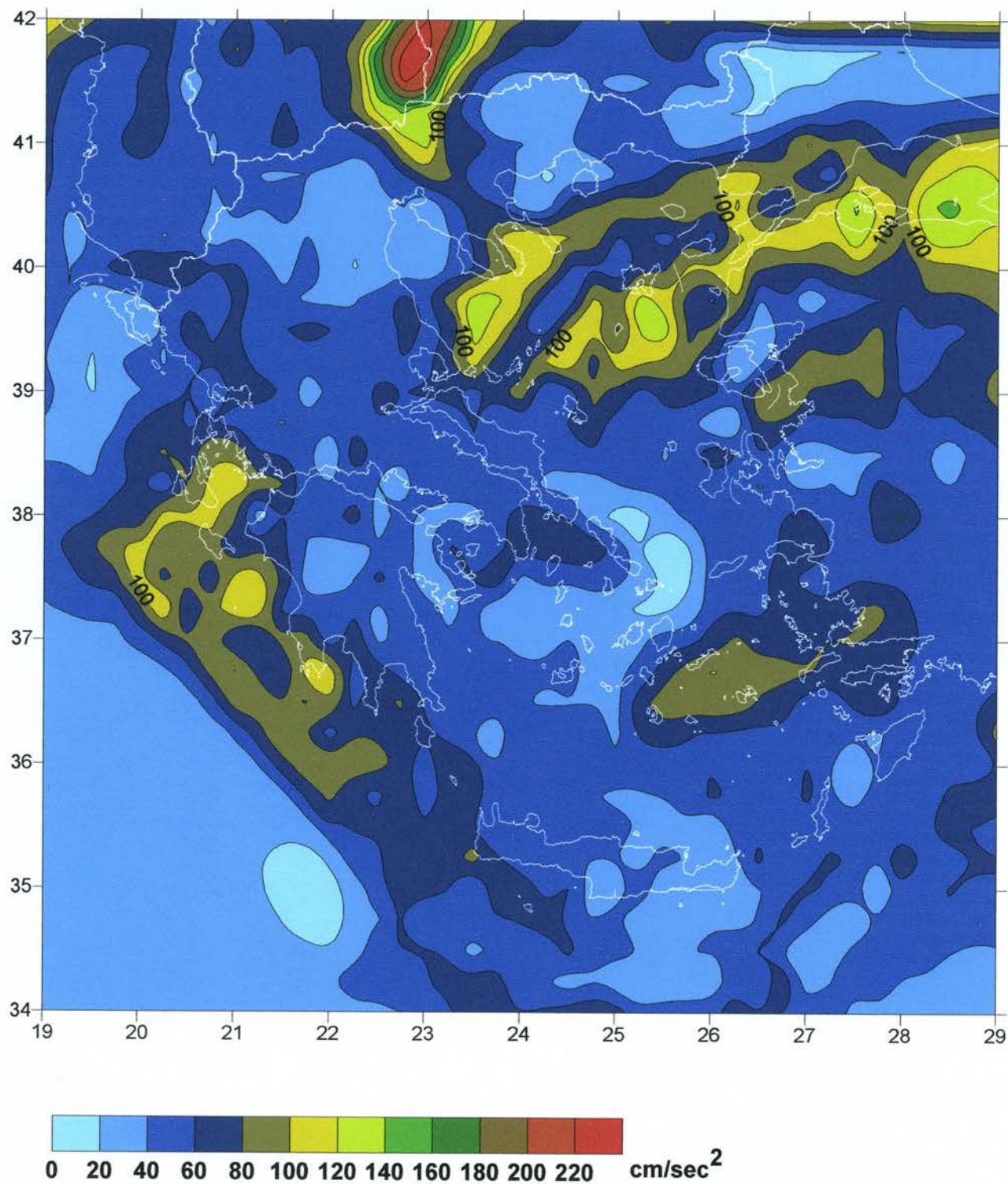
Για το σκοπό αυτό τα μέλη της επιτροπής σε διαδοχικές συνεδριάσεις στα γραφεία του ΟΑΣΠ στην ΑΘΗΝΑ είχαν εκτενείς συζητήσεις σχετικά με την πορεία των εργασιών τη μεθοδολογία και την πορεία των εργασιών. Στις τελευταίες συναντήσεις έγιναν λεπτομερείς παρουσιάσεις των εργασιών με στόχο να διευκρινιστούν απορίες των μελών της επιτροπής και να δοθούν όλες οι πληροφορίες για τα δεδομένα και τις μεθοδολογίες οι οποίες εφαρμόστηκαν. Έγινε ανταλλαγή των τελικών αποτελεσμάτων και στις δύο τελευταίες συναντήσεις έγινε η προσπάθεια σύνθεσης του τελικού χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας με βάση τη γεωγραφική κατανομή των μέγιστων οριζοντίων επιταχύνσεων. Οι επιταχύνσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν αποτελούν τον μέσο όρο των πέντε φορέων. Αρχικά υπολογίστηκε ο αριθμητικός μέσος όρος και η τυπική απόκλιση. Έγινε έλεγχος των επιμέρους τιμών για κάθε σημείο του κανάβου ώστε καμία τιμή να μην είναι έξω από το διάστημα $M.O. \pm 1\sigma$. Στις περιπτώσεις αυτές έγινε νέος υπολογισμός του μέσου όρου.

Ο χάρτης του σχήματος (10) δίνει την γεωγραφική κατανομή των μέσων όρων των μέγιστων οριζοντίων επιταχύνσεων σε πλέγμα $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$. Για την κατασκευή του χάρτη χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SURFER[®] ver 7.00 της Golden Software Inc. Για την εκπόνηση των καμπύλων ίσων τιμών επιλέχθηκε η επιλογή "Nearest Neighboring", και 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). Από τις κατανομές του σχήματος 8 φαίνεται ότι η τυπική απόκλιση είναι της τάξης των 50 cm/sec^2 . Για το λόγο αυτό η τιμή των καμπυλών επιλέχθηκε ίση με την τιμή αυτή. Χαμηλότερη ανάλυση του χάρτη θα ήταν μικρότερο του σφάλματος των σχέσεων απόσβεσης.

Ο χάρτης του σχήματος (11) δίνει τη γεωγραφική κατανομή των τυπικών αποκλίσεων όπως προέκυψαν κατά τον υπολογισμό του μέσου όρου. Από τον χάρτη αυτό προκύπτει ότι η διασπορά των τιμών των επιταχύνσεων είναι μικρότερη του σφάλματος των σχέσεων απόσβεσης για το μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδας. Οι μεγαλύτερες τιμές της διασποράς παρουσιάζονται στην περιοχή της Κρέσνας, ενώ διασπορά τιμών της τάξης των $100-120 \text{ cm/sec}^2$ εμφανίζεται κυρίως σε θαλάσσιο χώρο.

Στην εκπόνηση των χαρτών σεισμικής επικινδυνότητας και συγκεκριμένα στη χρήση των καταλόγων των σεισμών χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ιστορικών σεισμών από δύο από τους φορείς, οι οποίοι συμμετέχουν στο πρόγραμμα και συγκεκριμένα το Εργαστήριο Γεωφυσικής του ΑΠΘ και το ΙΤΣΑΚ. Ο χάρης του σχήματος 10 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόταση ενός νέου χάρτη σεισμικών ζωνών. Απαιτούνται όμως να ληφθούν υπόψη και πρόσθετα δεδομένα τα οποία ήταν εκτός των υποχρεώσεων της επιτροπής. Τα δύο μέλη της επιτροπής, Γ. Καρακαίσης (αν. καθηγητής ΑΠΘ) και Χρ. Παπαϊωάννου (κύριος ερευνητής ΙΤΣΑΚ) σε συνεργασία με ερευνητές των φορέων τους, επεξεργάζονται μακροσεισμικά δεδομένα της ιστορικής (μέχρι το 1900) και ενόργανης περιόδου ιδιαίτερα (Papazachos et al., 1997a,b; Papazachos et al., 1999b) για τις θέσεις των

οικισμών, οι οποίοι υπάρχουν στον πίνακα του ΕΑΚ2000 και για τους οποίους το δείγμα δεδομένων είναι επαρκές. Η εργασία αυτή η οποία είναι εκτός των συμβατικών υποχρεώσεων της ομάδας μελέτης θα ολοκληρωθεί σύντομα και θα πρέπει τα αποτελέσματα της να ληφθούν σοβαρά υπόψη για τη τελική διαμόρφωση ενός νέου χάρτη σεισμικών ζωνών, ο οποίος θα αντικατοπτρίζει μία ρεαλιστικότερη προσέγγιση.



Σχήμα 11. Γεωγραφική κατανομή της διασποράς των τιμών των μέγιστων οριζοντίων επιταχύνσεων (σε cm/sec^2) στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ambraseys, N.N. (1995). The prediction of earthquake peak ground acceleration in Europe, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, **24**, 467-490.
- Bender A and D.M.Perkins (1987). SEISRISK III: a computer program for seismic hazard estimation. U.S. Geol. Surv. Bull. 1772.
- 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.
- Benjamin, J.R. and C.A. Cornell (1970). Probability, statistics and decision for civil engineers, *McGraw-Hill, Inc Publ. Co.*, 684 pp.
- Cornell, C. A. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **58**, 1503-1606.
- Drakatos, G. and J. Latoussakis (2001). A catalog of aftershock sequences in Greece (1971–1997): Their spatial and temporal characteristics. *J. Seismology*, **5**, 137-145.
- Θεοδουλίδης, Ν. Π. (1998): Φάσματα απόκρισης σεισμών του Ελληνικού χώρου. *Πρακτ. 1ου Συμπ. Για τις Εξελίξεις στη Σεισμολογία και Γεωφυσική του Ελληνικού χώρου, Θεσσαλονίκη 1988*, 225-240.
- FRISK88M (1995). User's Manual, ver. 1.70. *Risk Engineering Inc., Boulder CO.*, 69pp, 2 Appendixes.
- Gumbell ,E.J.(1958). Extreme value statistics. *Columbia Univ. Press, New York*, 375pp.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **34**, 185-188.
- 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 Endinburgh.*, 193pp.
- Makropoulos K. C. and P.W. Burton (1986). HAZAN: A Fortran program to evaluate seismic-hazard parameters using Gumbel's theory of extreme value statistics. *Comp. Geosc.* **12**, 29-46.
- Makropoulos, K.C., J. Drakopoulos and J.B. Latoussakis (1989) A revised and extended earthquake catalogue in Greece since 1900. *Geophys. J. Int.*, **98**, 391-394.
- Μάργαρης Β., Παπαζάχος Β., Παπαϊωάννου Χ., Θεοδουλίδης Ν., Καλογεράς Ι. και Σκαρλατούδης Α. (2001). Εμπειρικές σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας ισχυρής κίνησης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, *Πρακτ. 2^{ου} Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Θεσσαλονίκη 28-30 Νοεμβρίου 2001*, **A**, 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).
- 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.
- Papanastasiou, D., J. Latoussakis and G. Stavrakakis (2001). A revised catalogue of earthquakes in the broader area of Greece for the period 1950-2000. *Bull. Geol. Soc. Greece*, **XXXIV**, 1563-1566.
- Papazachos, B.C. (1990). Seismicity of the Aegean and surrounding area. *Tectonophysics*, **178**, 287-308.
- Papazachos, B.C. and C. B. Papazachou (1997). The earthquakes of Greece, *Ziti Publications Thessaloniki-Greece*, 304pp.
- Παπαζάχος, Β., Κ. Μακρόπουλος, Γ. Λατουσάκης και Ν. Θεοδουλίδης (1889). Τελική έθεση για το πρόγραμμα του ΟΑΣΠ “ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΧΑΡΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ”. Σελ. 22 και 28 σχήμ.
- Papazachos, B. C., Ch. Papaioannou, C.B. Papazachos and A.S. Savvaidis (1997a): 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 (1997b): 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., Comninakis, P. E., Karakaisis, G. F., Karakostas, B. G., Papaioannou, Ch. A., Papazachos, C. B. and Scordilis, E. M. (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., Μουντράκης, Δ. Μ., Παπαζάχος, Κ. Β., Τρανός, Μ. Δ., Καρακαϊσης, Γ. Φ. και Σαββαϊδης, Α. Σ. (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. and Ch. Papaioannou (1997). The macroseismic field of the Balkan Area, *J. Seismology*, **1**, 181-201.
- Ρουσόπουλος, Α. (1956): Αντισεισμικά Κατασκευαί, *Β. Παπαχρυσάνθεμον, Έκδοσις 2^α*, Αθήναι, σελ 431.

- 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.
- UBC, (1997). Uniform Building Code, Vol, II, *Intern. Conf. Building Officials, USA*, 489pp.
- 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.

ΑΘΗΝΑ ΜΑΡΤΙΟΣ 2002

Ο ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ



ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΥΡΑΚΑΚΗΣ

ΤΑ ΜΕΛΗ

ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΑΚΡΟΠΟΥΛΟΣ

ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ ΤΣΕΛΕΝΤΗΣ

ΜΙΧΑΛΗΣ ΦΑΡΔΗΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΓΚΑΖΕΤΑΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΑΚΑΙΣΗΣ

ΙΩΑΝΝΗΣ ΛΑΤΟΥΣΣΑΚΗΣ

ΧΡΗΣΤΟΣ ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ

ΧΡΗΣΤΟΣ ΚΩΣΤΙΚΑΣ