

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΕΚΘΕΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ Ο.Α.Σ.Π.
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
27.10.86 - 27.12.86

Θ Ε Σ Σ Α Λ Ο Ν Ι Κ Η

Δ ε κ ε μ β ρ ι ο ς 1986

(Παραδόθηκε Νοέμβριο '87)
(5)

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

	Σελίδα
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	3
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	5
3.1 Σχέσεις απόσβεσης	5
3.2 Μέθοδος Μέσης Τιμής	5
3.3 Μέθοδος Ακραίων Τιμών (Πρώτη ασυμπτωτική κατανομή)	6
3.4 Μέθοδος Cornell	7
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	8
4.1 Μακροσεισμικές εντάσεις	8
4.2 Μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις	8
5. ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΣΑ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	10
6. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ	11
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	12
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	14

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα αποτελεί την τελική έκθεση η οποία υποβάλλεται στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος "Σεισμική επικινδυνότητα της Καλαμάτας" το οποίο ανατέθηκε από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) στο Εργαστήριο Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και εκπονήθηκε κατά το χρονικό διάστημα 27 Οκτωβρίου 1986-27 Δεκεμβρίου 1986.

Στόχος του προγράμματος ήταν η εκτίμηση των παραμέτρων της σεισμικής επικινδυνότητας της πόλης της Καλαμάτας. Στην παρούσα έκθεση δίνονται τα αποτελέσματα του προγράμματος.

Π.Μ.Χατζηδημητρίου
Παν/μιο Θεσσαλονίκης

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας της πόλης της Καλαμάτας, μετά τον καταστροφικό σεισμό που έπληξε την περιοχή στις 13 Σεπτεμβρίου 1986, ανατέθηκε σχετικό ερευνητικό πρόγραμμα από τον ΟΑΣΠ στο Εργαστήριο Γεωρυσικής του ΑΠΘ και στο Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Στην πρώτη φάση του προγράμματος, τα δύο ερευνητικά κέντρα εργάσθηκαν πάνω στο θέμα σχεδόν ανεξάρτητα, ύστερα από σχετική συνεννόηση, με σκοπό την όσο το δυνατόν καλλίτερη προσέγγιση του προβλήματος. Το παρόν αφορά τη σχετική έρευνα που έγινε στο Εργαστήριο Γεωρυσικής του ΑΠΘ, βασικό στοιχείο της οποίας αποτελεί η εργασία η οποία εκπονήθηκε στα πλαίσια του παραπάνω προγράμματος και η οποία επισυνάπτεται στο τέλος της παρούσας έκθεσης.

Στο πρόγραμμα αυτό συμμετείχαν, από το Εργαστήριο Γεωρυσικής του ΑΠΘ οι Π.Χατζηδημητρίου, Β.Παπαζάχος, Θ.Τσάπανος, Γ.Καρακαίσης, Δ.Παναγιωτόπουλος, Χ.Παπαϊωάννου και Ν.Θεοδουλίδης.

Ευχαριστούμε θερμά την Σ.Αντωνιάδου για την επιμελημένη δακτυλογράφηση του κειμένου.

2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Για τη μελέτη της σεισμικότητας της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία σεισμών που δίνονται στους καταλόγους των Κομνηνάκη και Παπαζάχου (1986) και Παπαζάχου και Κομνηνάκη (1982). Ο πρώτος κατάλογος δίνει στοιχεία σεισμών του παρόντα αιώνα και ο δεύτερος κατάλογος δίνει στοιχεία σεισμών της περιόδου 479 π.Χ.-1900.

Ο αριθμός των σεισμών, N , που έχουν μέγεθος ίσο ή μεγαλύτερο του M δίνεται από τη γνωστή στατιστική σχέση:

$$\log N = \alpha_K - bM \quad (1)$$

όπου α_K και b είναι παράμετροι (Gutenberg and Richter 1944).

Η ανηγμένη τιμή της παραμέτρου, α_K , στο ένα έτος δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha = \alpha_K - \log K \quad (2)$$

όπου K είναι η χρονική περίοδος που καλύπτουν τα δεδομένα. Ο λόγος των παραμέτρων αυτών α_K/b και α/b εκφράζει το πιθανότερο μέγιστο μέγεθος σεισμού (πιθανότητα 63% να συμβεί) για περίοδο K ετών και ενός έτους αντίστοιχα. Οι λόγοι αυτοί χρησιμοποιούνται για την ποσοτική εκτίμηση της σεισμικότητας.

Για τον υπολογισμό της παραμέτρου α_K χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των σεισμών που βρίσκονται μέσα σε κύκλο ακτίνας 50 km και κέντρο την πόλη της Κολαμάτας. Η τιμή της παραμέτρου b θεωρήθηκε σταθερή και ίση με $b = 1,03$ (Hatzidimitriou et al. 1985). Η τιμή της παραμέτρου α_K που υπολογίσθηκε για περίοδο 186 ετών είναι:

$$\alpha_K = 6,92$$

ενώ η ανηγμένη τιμή της παραμέτρου αυτής στο 1 έτος είναι:

$$\alpha = 4,65$$

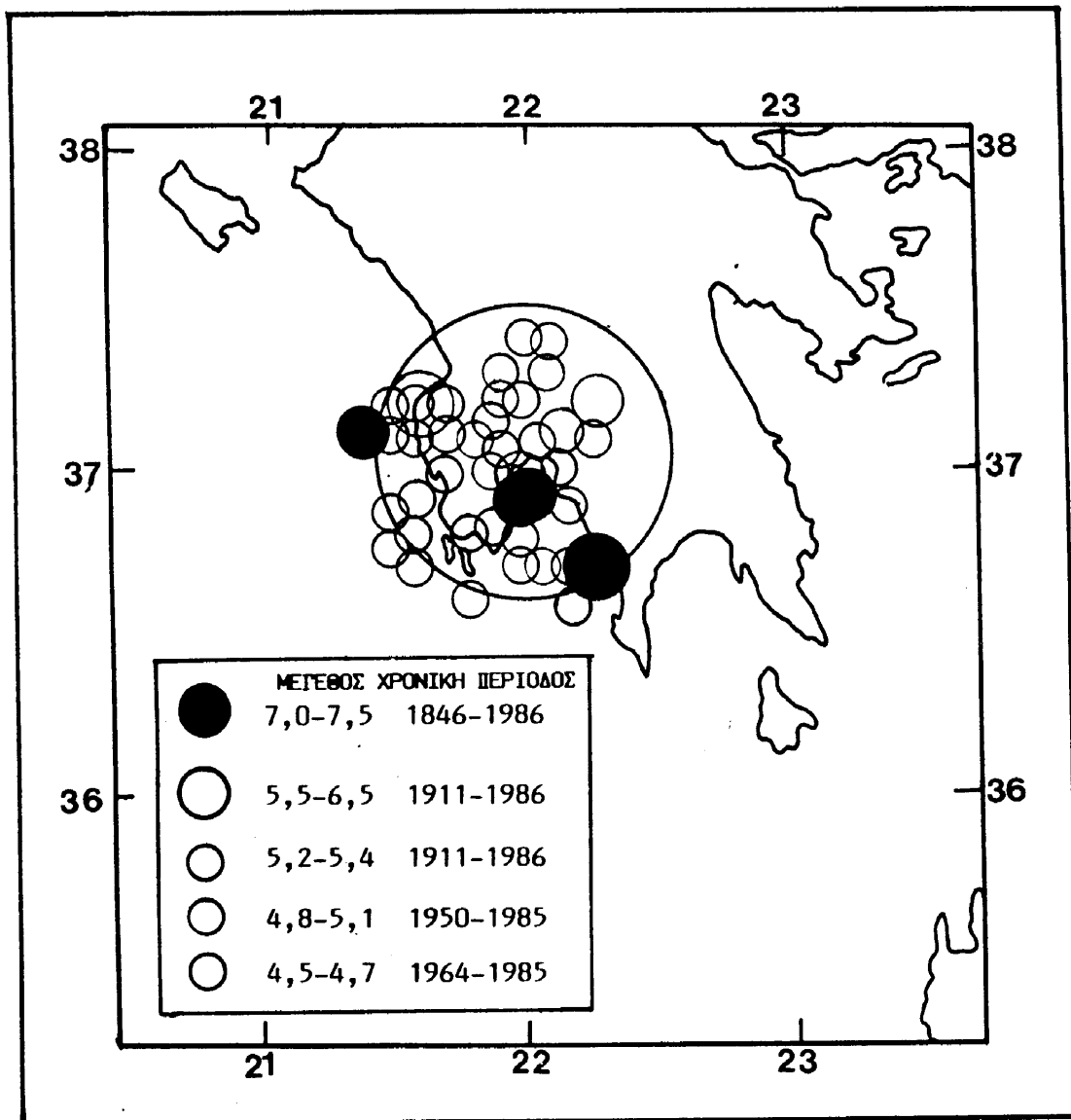
Αντίστοιχα το πιθανότερο μέγιστο μέγεθος σεισμού για περίοδο 80 έτη μέσα στο κύκλο των 50 km με κέντρο την πόλη της Κολαμάτας είναι:

$$M_{80} = \alpha_{80}/b = 6,4$$

ενώ το αντίστοιχο μέγεθος για περίοδο ενός έτους είναι:

$$M_1 = \alpha/b = 4,5$$

Στο σχήμα (1) δείχνεται χάρτης όπου σημειώνονται οι εστίες των σεισμών που έγιναν μέσα σε ένα κύκλο ακτίνας 50 km και κέντρο την πόλη της Καλαμάτας.



Σχ. 1 Χάρτης επικέντρων σεισμών, που έγιναν σε απόσταση μέχρι 50 km από την πόλη της Καλαμάτας

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για να γίνει η εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας στην πόλη της Καλαμάτας εφαρμόστηκαν οι πιθανολογικές μέθοδοι της μέσης τιμής και των ακραίων τιμών του Gumbell (πρώτη ασυμπτωτική κατανομή) καθώς και η ημι-αιτιοκρατική μέθοδος του Cornell (1968).

Η σεισμική επικινδυνότητα ορίζεται στη μελέτη αυτή ως η "σεισμική ένταση" που έχει διάφορες πιθανότητες υπέρβασης για διάφορα χρονικά διαστήματα.

Ο όρος "σεισμική ένταση" χρησιμοποιείται με τη γενική έννοια και μπορεί να δηλώνει μακροσεισμική ένταση κάτω από μέσες συνθήκες εδάφους θεμελίωσης των κτιρίων στον Ελληνικό χώρο, μέγιστες τιμές της εδαφικής κίνησης (επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση) και φασματικές ή άλλες παραμέτρους.

3.1 Σχέσεις απόσβεσης

Για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας ενός τόπου είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τις σχέσεις απόσβεσης των μακροσεισμικών εντάσεων, I , και της μέγιστης τιμής της εδαφικής κίνησης (επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, Δ , και το μέγεθος του σεισμού M_S (επιφανειακό μέγεθος).

Για την απόσβεση των μακροσεισμικών εντάσεων επιφανειακών σεισμών χρησιμοποιήθηκε η σχέση (Παπαϊωάννου 1984):

$$I_i = 6,59 + 1,18 M_S - 4,50 \log (\Delta+17) \quad (3)$$

ενώ για την απόσβεση των μακροσεισμικών εντάσεων σεισμών ενδιαμέσου βάθους χρησιμοποιήθηκε η σχέση (Παπαϊωάννου 1984):

$$I_i = 0,78 + 1,69 M_S - 3,34 \log (\Delta+30) \quad (4)$$

3.2 Μέθοδος Μέσης Τιμής

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου της μέσης τιμής (όπως και κατά την εφαρμογή της μεθόδου των ακραίων τιμών) θεωρήσαμε όλους τους σεισμούς του παρόντα αιώνα που είχαν επίκεντρα μέσα σε ένα κύκλο ακτίνας 150 km με κέντρο την πόλη της Καλαμάτας. Χρησιμοποιώντας τα μεγέθη των σεισμών αυτών, καθώς και τις αποστάσεις των επικέντρων τους, Δ , από το κέντρο του κύκλου και εφαρμόζοντας τις

σχέσεις απόσβεσης (3) και (4) υπολογίσθηκαν οι τιμές των "σεισμικών εντάσεων", X , στο κέντρο του κύκλου (με τον όρο "σεισμική ένταση" X , εννοούμε την μακρο-σεισμική ένταση του σεισμού, I , ή το δεκαδικό λογάριθμο της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, $\log a$).

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου της μέσης τιμής υποθέτουμε ότι οι τιμές της σεισμικής έντασης, X , ακολουθούν μια κατανομή παρόμοια με αυτή των Gutenberg και Richter (1944) για τα μεγέθη.

Δηλαδή,

$$\log N = a_m - bX \quad (5)$$

όπου N είναι ο αριθμός των σεισμών που δίνουν ένταση μεγαλύτερη ή ίση της τιμής X , και a_m, b είναι παράμετροι.

Η παράμετρος a_m , ανάγεται σε χρονικό διάστημα ενός έτους με τη σχέση:

$$a = a_m - \log m \quad (6)$$

όπου m είναι ο χρόνος που καλύπτουν τα δεδομένα, σε έτη. Οι παράμετροι a_m και b υπολογίζονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Η ποσότητα a/b , εκφράζει την πιθανότερη μέγιστη τιμή της σεισμικής έντασης X , σε χρονικό διάστημα ενός έτους.

Ο όρος "πιθανότερη μέγιστη τιμή" δηλώνει ότι η αντίστοιχη τιμή έχει πιθανότητα 63% να παρατηρηθεί κατά το θεωρούμενο χρονικό διάστημα. Η πιθανότερη μέγιστη τιμή σε χρονική περίοδο t ετών δίνεται από τη σχέση:

$$X_t = \frac{a}{b} + \frac{\log t}{b} \quad (7)$$

Για τον υπολογισμό της ετήσιας πιθανότητας υπέρβασης, P_a , μιας τιμής, X , της σεισμικής έντασης ισχύει η σχέση:

$$-\log P_a = bX - a \quad (8)$$

Η πιθανότητα υπέρβασης σε χρονική περίοδο t ετών, P_t , μιας τιμής, X , της σεισμικής έντασης, συνδέεται με την αντίστοιχη ετήσια πιθανότητα P_a , με τη σχέση:

$$P_t = 1 - e^{-P_a \cdot t} \quad (9)$$

3.3 Μέθοδος Ακραίων Τιμών (Πρώτη Ασυμπτωτική Κατανομή)

Οι παράμετροι a και b υπολογίσθηκαν και με τη μέθοδο των ακραίων τιμών

της πρώτης ασύμπτωτης του Gumbell (Epstein and Lomnitz 1966). Κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής δε χρειάζεται η γνώση όλων των τιμών της σεισμικής έντασης, X , που συμβαίνουν σε μια περιοχή σε ορισμένη χρονική περίοδο αλλά μόνο της μεγαλύτερης τιμής που συμβαίνει σε κάθε ένα από τα ίσα χρονικά διαστήματα στα οποία διαιρείται η χρονική περίοδος που καλύπτουν τα δεδομένα.

Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής βρέθηκε η μέγιστη ένταση X_j σε κάθε ένα από τα ίσα χρονικά διαστήματα (2 έτη) και κατατάχθηκαν οι τιμές αυτές κατά αυξανόμενη σειρά. Μετά, υπολογίστηκε η πιθανότητα $G(X_j)$, η μέγιστη ένταση να έχει τιμή X_j ή μικρότερη μέσα σε ορισμένο χρονικό διάστημα, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$G(X_j) = \frac{j}{n+1} \quad (10)$$

όπου n είναι ο αριθμός των ίσων χρονικών διαστημάτων στα οποία διαιρέθηκε η χρονική περίοδος. Ισχύει η σχέση:

$$\log(-\ln G) = a_K - bX_j \quad (11)$$

Οι παράμετροι a_K και b υπολογίζονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και η παράμετρος a με τη σχέση:

$$a = a_K - \log K \quad (12)$$

όπου K είναι ο αριθμός των ετών από τα οποία αποτελείται κάθε ένα από τα ίσα χρονικά διαστήματα που χωρίστηκε το δείγμα μας ($K=2$ έτη).

Για την εφαρμογή των μεθόδων της μέσης τιμής και των ακραίων τιμών χρησιμοποιήθηκε πρόγραμμα H/Y που εκπονήθηκε από τον Παπαϊωάννου (1984).

3.4 Μέθοδος Cornell

Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας αυτής που προτάθηκε από τον Cornell (1968) χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα H/Y EQRISK που εκπονήθηκε από τον McGuire (1976).

Η θεωρία του προγράμματος αυτού βασίζεται στο θεώρημα της ολικής πιθανότητας, η μαθηματική έκφραση του οποίου δίνεται από τη σχέση:

$$P[SI] = \int \int P[SI|M \text{ και } \Delta] \cdot f_M(M) \cdot f_\Delta(\Delta) \cdot dM d\Delta \quad (13)$$

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, η πιθανότητα που έχει η "σεισμική ένταση", SI , να συμβεί ισούται με το γινόμενο της πιθανότητας υπό συνθήκες, να συμβεί η σεισμική ένταση επί τις ανεξάρτητες πιθανότητες των M και Δ ολοκληρώνοντας για όλες τις τιμές του μεγέθους, M , και της επικεντρικής απόστασης Δ .

Για την εφαρμογή του προγράμματος αυτού χρησιμοποιήθηκε ο χωρισμός του Ελληνικού χώρου σε σεισμικές πηγές όπως προτάθηκε από τον Παπαζόχο (προσωπική επικοινωνία, 1986) και εφαρμόστηκαν οι σχέσεις απόσβεσης (3) και (4).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Μακροσεισμικές Εντάσεις

Η μακροσεισμική ένταση, I , ενός σεισμού σε ένα τόπο είναι ένα εμπειρικό μέγεθος, το οποίο αποτελεί μέτρο των μέσων μακροσεισμικών αποτελεσμάτων του σεισμού στον τόπο αυτόν. Έχουν επινοηθεί από διάφορους επιστήμονες πολλές κλίμακες μακροσεισμικών εντάσεων. Η κλίμακα η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα και έχει εφαρμογή και σε μοντέρνες κατασκευές είναι η μακροσεισμική κλίμακα εντάσεων, MM , η οποία χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα μελέτη.

Οι παράμετροι a και b που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο των ακραίων τιμών είναι:

$$a = 1,95 , \quad b = 0,48$$

ενώ οι αντίστοιχες παράμετροι που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο των ακραίων τιμών είναι:

$$a = 1,53 , \quad b = 0,43$$

Με τη μεθοδολογία του Cornell υπολογίστηκαν οι τιμές των μακροσεισμικών εντάσεων που έχουν πιθανότητες υπέρβασης 0,50, 0,40, 0,30, 0,20 και 0,10 για χρονικά διαστήματα 1, 10, 25, 50, 75, 100, 150 και 200 έτη. Οι τιμές αυτές δίνονται στον πίνακα (1), (Θεοδοουλίδης και συνεργάτες 1986).

4.2 Μέγιστες Εδαφικές Επιταχύνσεις

Οι τιμές των παραμέτρων a και b που υπολογίστηκαν εφαρμόζοντας τη μέθοδο της μέσης τιμής είναι:

$$a = 1,97 , \quad b = 1,47$$

ενώ οι αντίστοιχες παράμετροι που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο των ακραίων τιμών είναι:

$$a = 1,40 , \quad b = 1,24$$

Πίνακας 1. Τιμές των μακροσεισμικών εντάσεων, με πιθανότητες υπέρβασης 0,50, 0,40, 0,30, 0,20, 0,10 για χρονικά διαστήματα 1, 10, 25, 50, 75, 100, 150 και 200 έτη, για την πόλη της Καλαμάτας, που προέκυψαν εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία του Cornell (Θεοδουλίδης και συνεργάτες 1986).

t:pt	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10
1	5,2	5,4	5,7	5,9	6,1
10	6,3	6,4	6,5	6,8	7,1
25	6,6	6,8	7,0	7,2	7,5
50	7,0	7,1	7,3	7,5	7,8
75	7,1	7,3	7,5	7,6	7,9
100	7,3	7,4	7,6	7,8	8,0
150	7,5	7,6	7,7	7,9	8,2
200	7,6	7,7	7,9	8,0	8,3

Λόγω έλλειψης επαρκών δεδομένων μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων στον Ελληνικό χώρο, για τον υπολογισμό της μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης, a , θεωρήθηκε ότι αυτή συνδέεται με τη μακροσεισμική ένταση, I , με τη σχέση (Παπαϊωάννου, 1984):

$$\log a = -0,04 + 0,32 I \quad (14)$$

Οι τιμές των μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων που έχουν πιθανότητες υπέρβασης 0,50, 0,40, 0,30, 0,20 και 0,10 για χρονικά διαστήματα 1, 10, 25, 50, 75, 100, 150 και 200 έτη δίνονται στον πίνακα (2), (Θεοδουλίδης και συνεργάτες 1986).

Από τις τιμές των παραμέτρων a και b που δίνονται στην παρούσα έκθεση και εφαρμόζοντας τις σχέσεις (8) και (9) μπορούμε να υπολογίσουμε τις τιμές των μακροσεισμικών εντάσεων και μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων που έχουν διάφορες πιθανότητες υπέρβασης, P_t , για διάφορα χρονικά διαστήματα, t .

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που δίνουν οι τρεις μεθοδολογίες προέκυψε ότι οι μέθοδοι της μέσης τιμής και των ακραίων τιμών δίνουν πολύ μεγάλες τιμές μακροσεισμικών εντάσεων και εδαφικών επιταχύνσεων σε σχέση με τις αντίστοιχες

Πίνακας 2. Τιμές των μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων σε cm/sec^2 , με πιθανότητα υπέρβασης 0,50, 0,40, 0,30, 0,20 και 0,10 για χρονικά διαστήματα 1, 10, 25, 50, 75, 100, 150 και 200 έτη, για την πόλη της Καλαμάτας (Θεοδουλίδης και συνεργάτες 1986).

t:pt	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10
1	42	49	61	71	76
10	95	102	110	137	171
25	118	137	158	184	229
50	158	171	198	229	286
75	171	198	229	247	308
100	198	213	247	286	331
150	229	247	265	308	383
200	247	265	308	331	413

τιμές που προκύπτουν εφαρμόζοντας τη μέθοδο του Cornell. Για το λόγο αυτό θεωρούμε ότι τα αποτελέσματα της μεθόδου των μέσων τιμών και των ακραίων τιμών πρέπει να εφαρμόζονται μόνο για την περίπτωση εκτίμησης πολύ συντηρητικών παραμέτρων σεισμικής επικινδυνότητας.

Για τον καθορισμό των τιμών των μακροσεισμικών εντάσεων και μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων, με την μεθοδολογία του Cornell, με πιθανότητα υπέρβασης, P_t , σε χρονικό διάστημα, t , διαφορετικά από αυτά που δίνονται στους πίνακες (1) και (2) με εφαρμογή της σχέσης (9) υπολογίζεται η αντίστοιχη πιθανότητα P_a , και από το σχήμα (1) της εργασίας των Θεοδουλίδη και συνεργατών (1986), υπολογίζεται η αντίστοιχη τιμή της μακροσεισμικής έντασης και της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης.

5. ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΣΑ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Για τον υπολογισμό της επικρατούσας περιόδου της σεισμικής κίνησης σε συνάρτηση με το μέγεθος του σεισμού και την επικεντρική απόσταση εφαρμόστηκε το νομόγραμμα των Seed et al. (1976). Για τον σκοπό αυτόν χρησιμοποιήθηκαν

στοιχεία σεισμών του παρόντα αιώνα (Cominakis and Papazachos 1986) οι οποίοι είχαν μέγεθος $M_s \geq 5.5$ και των οποίων η μακροσεισμική ένταση στην πόλη της Καλαμάτας ήταν μεγαλύτερη ή ίση του V στην κλίμακα (MM). Το πρόγραμμα του H/Y που χρησιμοποιήθηκε εκπονήθηκε από τους Χ. Παπαϊωάννου και Β. Παπαζάχο.

Από την επεξεργασία των στοιχείων προέκυψε ότι για βραχύδες υπόβαθρο η επικρατούσα περίοδος είναι:

$$T_d = 0,40 \pm 0,15$$

6. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Το φάσμα απόκρισης της σεισμικής εδαφικής κίνησης αποτελεί ένα βασικό στοιχείο που χρησιμοποιείται άμεσα ή έμμεσα τόσο στην έρευνα όσο και στην εφαρμογή στη σεισμική μηχανική. Η μέθοδος του φάσματος απόκρισης για το σχεδιασμό αντισεισμικών κατασκευών ήδη είναι τμήμα ή εισάγεται στους νέους αντισεισμικούς κανονισμούς (Newmark et al. 1977).

Η μεθοδολογία η οποία εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη για την εκτίμηση των πιθανολογικών φασμάτων απόκρισης των οριζοντίων συνιστωσών της εδαφικής κίνησης, χρησιμοποιεί την απ'ευθείας αναγωγή των φασματικών ψευδοεπιταχύνσεων, PSV, σε συνάρτηση με την αναμενόμενη μακροσεισμική ένταση σε μια θέση, με βάση την εμπειρική σχέση που πρότειναν οι Trifunac και Anderson (1978a).

Τα πιθανολογικά φάσματα που υπολογίστηκαν, εφαρμόζοντας την παραπάνω μεθοδολογία, για χρόνο θεώρησης 50 και 100 έτη και πιθανότητες υπέρβασης 0,3 και 0,1 δίνονται στην εργασία που επισυνάπτεται στην παρούσα έκθεση (Θεοδουλίδης και συνεργάτες 1986).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αναγνωστόπουλος, Σ.Α., Στοιχεία αντισεισμικής δυναμικής ανάλυσης κατασκευών με φάσματα απόκρισης-σχεδιασμού, "Έργασία ΙΤΣΑΚ: 86-01", Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών, Θεσσαλονίκη, 1986.

Αναγνωστόπουλος, Σ.Α., Θεοδουλίδης, Ν.Π., Λεκίδης, Β.Α. και Μάργαρης, Β.Ν., Οι σεισμοί της Καλαμάτας του Σεπτεμβρίου 1986: Αποτελέσματα από την ανάλυση των επιταχυνσιογραφημάτων, συσχετισμός με τον αντισεισμικό κανονισμό, επισκόπηση βλαβών και συμπεράσματα, "Έργασία ΙΤΣΑΚ: 86-05", Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών, Θεσσαλονίκη, 1986.

Ambraseys, N.N., Long-period effects in the Romanian earthquake of March 1977, "Nature", Vol.268, pp.324-325, 1977.

Cominakis, P.E. and B.C. Papazachos, A catalogue of earthquakes in Greece and the surrounding area for the period 1901-1985, "Publ. Geophysical Lab. Univ. Thessaloniki", 1, 167pp, 1986.

Cornell, C.A. Engineering Seismic risk analysis "Bull.Seism.Soc.Am.", 58, 1583-1606, 1968.

Epstein, B. and C.A. Lomnitz, A model for the occurrence of large earthquakes, "Nature", 211, 954-956, 1966.

Gutenberg, B. and C.F. Richter, Frequency of earthquakes in California, "Bull.Seism.Soc.Am.", 34, 185-188, 1944.

Hatzidimitriou, P.M., E.E. Papadimitriou, D.M. Mountrakis and B.C. Papazachos, The seismic parameter b of the frequency-magnitude relation and its association with the geological zones in Greece, "Tectonophysics", 120, 141-151, 1985.

Θεοδουλίδης, Ν.Π., Χατζηδημητρίου, Π.Μ., Παπαϊωάννου, Χ.Α., Παπαζάχος, Β.Κ. και Παπασταματίου, Δ.Π., Σεισμική επικινδυνότητα και πιθανολογικά φάσματα απόκρισης για την Καλαμάτα, "Δημοσίευση Εργαστηρίου Γεωρυσικής, Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης", 6, 1986.

Joyner, W.B. and Boore, D.M., Estimation of response-spectral values as functions of magnitude, distance, and site conditions, "Open-File Report 82-881", U.S.G.S., Japan-U.S. panel, 1982.

Kiratzí, A.A. and Papazachos, B.C., Magnitude scales for earthquakes in Greece, "Bull.Seism.Soc.Am.", Vol.74, pp.969-985, 1984.

McGuire, R.K., Seismic structural response risk analysis, incorporating peak response regressions on earthquake magnitude and distance, "Report R74-51", Dept.of Civil Eng., M.I.T., Cambridge, Mass., 1974.

McGuire, R.K., FORTRAN computer program for seismic risk analysis, "Open-File Report 76-67", U.S.G.S. , 90pp., 1976.

Newmark, N.M., Degenkolb, H.J., Chorpas, A.K., Veletsos, A.S., Rosenblueth, E. and Sharpe, R.L., Seismic design and analysis provisions for the United States, "6th World Conf. Earthquake Eng.", New Delhi, India, 1977.

Παπαϊωάννου, Χ.Α., Απόσβεση των σεισμικών εντάσεων και σεισμική επικινδυνότητα στον ελληνικό χώρο, "Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης", 1-200, 1984.

Papazachos, B.C. and P.E. Cominakis, A catalogue of historical earthquakes in Greece and surrounding area, 479 BC-1900 AD, "Publ. Geophysical Lab. Univ. Thessaloniki", 6, 24pp., 1982.

Seed, H.B., I.M. Idriss and F.W. Kiefer, Characteristics of rock motions during earthquakes, "Rept. No EERC 68-5", College of Engineering, Univ. California, Berkeley", 1968.

Trifunac, M.D., Preliminary empirical mode for scaling Fourier amplitude spectra of strong ground acceleration in terms of earthquake magnitude, source to station distance and recording site conditions, "Bull.Seism.Soc.Am.", Vol.66, pp.1343-1373, 1976.

Trifunac, M.D., Forecasting the spectral amplitudes of strong earthquake ground motion, "6th World Conf. Earthquake Eng.", New Delhi, India, 1977.

Trifunac, M.D. and Brady, A.G., On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded strong ground motion, "Bull.Seism.Soc.Am.", Vol.65, pp.139-162, 1975.

Trifunac, M.D., Anderson, J.G., Preliminary empirical models for scaling absolute acceleration spectra, "Report No.77-03", USC Dep. of Civil Eng., Aug. 1977.

Trifunac, M.D. and Anderson, J.G., Preliminary empirical models for scaling relative velocity spectra, "Report No.CE 78-05", USC Dep. of Civil Eng., Aug. 1978.

Trifunac, M.D. and Anderson, J.G., Preliminary empirical models for scaling pseudo-relative velocity spectra, "Report No.78-04", USC Dept. of Civil Eng., Jun. 1978a.

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ
ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΑΜΑΤΑ
(Δημοσίευση Νο 6/1986)

Ανακοινώθηκε στην Ημερίδα του ΤΕΕ/ΤΚΜ
"ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΣΦΑΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ"
Θεσσαλονίκη 14-1-1987

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
Δεκέμβριος 1986

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΑΜΑΤΑ

Ν.Π.Θεοδοουλίδης⁽¹⁾, Π.Μ.Χατζηδημητρίου⁽²⁾, Χ.Α.Παπαϊωάννου⁽²⁾, Β.Κ.Παπαζάχος⁽²⁾,
Δ.Ι.Παπασταματίου⁽³⁾

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πόλη της Καλαμάτας με πληθυσμό περί τους 42.000 κατοίκους και 21.000 κατοικίες και καταστήματα, πλήχθηκε στις 13-9-1986 από ισχυρή σεισμική δόνηση επιφανειακού μεγέθους 6,2, την οποία ακολούθησε στις 15-9-1986 η μεγαλύτερη μετασεισμική δόνηση επιφανειακού μεγέθους 5,4. Συνέπεια των δύο ισχυρών σεισμών ήταν ο θάνατος 20 ατόμων, ο τραυματισμός 82, υλικές ζημιές που προκλήθηκαν στο μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων της πόλης και των γύρω οικισμών (ολικές καταρρεύσεις, μερικές καταρρεύσεις κ.λ.π.) και γενικά η κοινωνικοοικονομική αποδιοργάνωση του κανονικού ρυθμού της αναπτυσσόμενης Καλαμάτας.

Στη μελέτη αυτή γίνεται εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας για την Καλαμάτα με την πιθανολογική μέθοδο του Cornell (1968) και τη χρήση του αριθμητικού προγράμματος EQRISK του McGuire (1976) και υπολογίζονται και σχεδιάζονται πιθανολογικά φάσματα απόκρισης για 50 και 100 έτη θεώρησης με διάφορες πιθανότητες υπέρβασης, σύμφωνα με τη μεθόδολογία του Trifunac και Anderson (1978).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μονοπαραμετρική απεικόνιση της σεισμικής επικινδυνότητας σε μια θέση δεν είναι ικανοποιητική στις εφαρμογές της Σεισμικής Μηχανικής. Σήμερα το φάσμα απόκρισης της σεισμικής κίνησης αποτελεί βασικό στοιχείο που χρησιμοποιείται άμεσα ή έμμεσα τόσο στην έρευνα όσο και στις εφαρμογές της Σεισμικής Μηχανικής. Η μέθοδος του φάσματος απόκρισης για το σχεδιασμό αντισεισμικών κατασκευών ήδη καθιερώθηκε και εισάγεται στους νέους αντισεισμικούς κανονισμούς (Newmark et al., 1977). Γνωστές μέθοδοι για την εκτίμηση πιθανολογικών φασμάτων απόκρισης (η περιβάλλουσα φασματική τιμή έχει ορισμένη πιθανότητα μη υπέρβασης) βασίζονται στην εκτίμηση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης και στη χρησιμοποίησή της για την αναγωγή (scaling) σε ορισμένη κανονικοποιημένη μορφή φάσματος (normalized spectral shape). Τέτοια διαδικασία θα ήταν ικανοποιητική μόνο στην περίπτωση που το σχήμα του φάσματος απόκρισης ήταν ανεξάρτητο από το μέγεθος του σεισμού, την απόσταση από την εστία και τις τοπικές εδαφικές συνθήκες στη θέση της καταγραφής. Η πλέον ιδανική περίπτωση είναι να αναπτυχθούν μέθοδοι για την απ'ευθείας εκτίμηση των φασματικών τιμών χωρίς τη χρήση συντελεστών αναγωγής (scaling factors). Αυτό έχει γίνει σχετικά πρόσφατα και στο βαθμό που το δείγμα των επιταχυνσιογραμμάτων το επέτρεψε, από διάφορους ερευνητές (McGuire, 1974, Trifunac and Anderson, 1977, 1978, 1978a, Joyner and Boore, 1982). Συγκρίσεις εμπειρικών μοντέλων πρόβλεψης φασματικών τιμών με Ελληνικά φάσματα απόκρισης έδειξε σε ορισμένες περιπτώσεις ικανοποιητική συμφωνία και ενθαρρύνει την έρευνα για καθιέρωση ανάλογων μοντέλων που θα προκύψουν με βάση Ελληνικά επιταχυνσιογράμματα (Θεοδοουλίδης και συνεργάτες, 1986).

(1): Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ),
Θεσσαλονίκη, 546 26.

(2): Εργαστήριο Γεωφυσικής, Αριστοτέλειο Παν/μιο Θεσ/νίκης, Θεσσαλονίκη, 540 06.

(3): Ειδικός σύμβουλος του ΙΤΣΑΚ

2. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

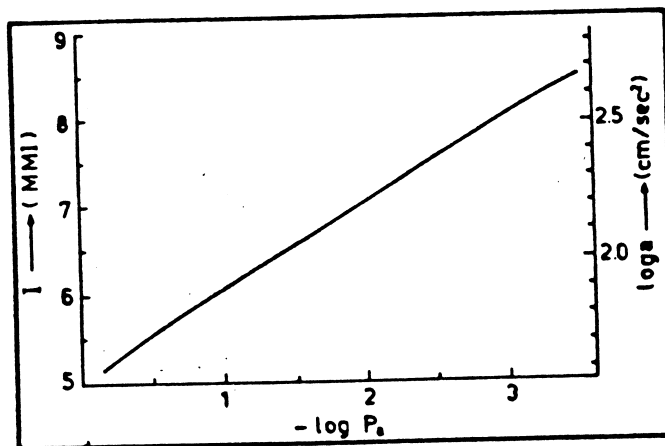
Για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας της Καλαμάτας, δηλαδή, την πιθανότητα υπέρβασης, P_T , της μακροσεισμικής έντασης, I , και της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, a , σε δεδομένο χρόνο θεώρησης, T , εφαρμόσθηκε η μέθοδος του Cornell (1968). Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει πιθανολογικά την επίδραση σε μια θέση όλων των δυνατών σεισμικών πηγών η κάθε μία από τις οποίες συμβάλλει με ένα μέσο ετήσιο ρυθμό σεισμικότητας. Οι πλέον θεμελιώδεις παραδοχές της μεθοδολογίας του Cornell είναι: (α) ότι σε όλη την επιφάνεια της πηγής η πιθανότητα να συμβεί ο σεισμός είναι ίδια, (β) ότι ο μέσος ρυθμός σεισμικότητας για μια πηγή είναι σταθερός στο χρόνο και (γ) ότι οι σεισμοί που συμβαίνουν στην πηγή ακολουθούν κατανομή Poisson.

Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής χρησιμοποιήθηκε ο χωρισμός του Ελληνικού χώρου σε σεισμικές πηγές όπως προτάθηκε από τον Παπαζάχο (προσωπική επικοινωνία, 1986) και εφαρμόσθηκαν σχέσεις απόσβεσης για τις μακροσεισμικές εντάσεις των Παπαϊωάννου (1984) και Τάσσου (1984). Λόγω έλλειψης επαρκών δεδομένων εδαφικών επιταχύνσεων στον Ελληνικό χώρο, για τον υπολογισμό της μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης, a , θεωρήθηκε ότι αυτή συνδέεται με την αναμενόμενη μακροσεισμική ένταση, I , με τη σχέση (Παπαϊωάννου, 1984):

$$\log a = -0,04 + 0,32 I \quad (1)$$

Στο σχήμα (1) φαίνεται η μεταβολή της αναμενόμενης μακροσεισμικής έντασης, I , και της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, a , σε συνάρτηση με την ετήσια πιθανότητα υπέρβασης, P_a , όπως υπολογίσθηκαν από το EQRISK, για την Καλαμάτα. Για την ακολουθία συμβάντων Poisson η πιθανότητα, P_T , εμφάνισης σε T χρόνια, για ετήσια πιθανότητα, P_a , δίνεται από τη σχέση:

$$P_T = 1 - \exp(-P_a T) \quad (2)$$



Σχ.1 Μεταβολή της αναμενόμενης μακροσεισμικής έντασης, I , και της αναμενόμενης μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, a , σε συνάρτηση με την ετήσια πιθανότητα υπέρβασης, P_a .

Υποθέτοντας διάφορες πιθανότητες υπέρβασης σε διάφορους χρόνους σχεδιασμού υπολογίζονται, με τη σχέση (1), οι αντίστοιχες αναμενόμενες μακροσεισμικές εντάσεις και μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις. Στους πίνακες (1) και (2) δίνονται οι αναμενόμενες μακροσεισμικές εντάσεις και μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις αντίστοιχα, για χρόνους θεώρησης $T=1, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200$ έτη και πιθανότητες υπέρβασης $P_T=0.50, 0.40, 0.30, 0.20, 0.10$.

Πίνακας 1. Αναμενόμενες μακροσεισμικές εντάσεις στην πόλη της Καλαμάτας για διάφορους χρόνους θεωρήσης, T, και πιθανότητες υπέρβασης, PT.

T \ PT	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10
1	5,2	5,4	5,7	5,9	6,1
10	6,3	6,4	6,5	6,8	7,1
25	6,6	6,8	7,0	7,2	7,5
50	7,0	7,1	7,3	7,5	7,8
75	7,1	7,3	7,5	7,6	7,9
100	7,3	7,4	7,6	7,8	8,0
150	7,5	7,6	7,7	7,9	8,2
200	7,6	7,7	7,9	8,0	8,3

Πίνακας 2. Αναμενόμενες μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις, $a(\text{cm/sec}^2)$, στην πόλη της Καλαμάτας για διάφορους χρόνους θεωρήσης, T, και πιθανότητες υπέρβασης, PT.

T \ PT	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10
1	42	49	61	71	76
10	95	102	110	137	171
25	118	137	158	184	229
50	158	171	198	229	286
75	171	198	229	247	308
100	198	213	247	286	331
150	229	247	265	308	383
200	247	265	308	331	413

3. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

3.1 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία η οποία εφαρμόσθηκε στην παρούσα μελέτη για την εκτίμηση των πιθανολογικών φασμάτων απόκρισης των οριζοντιών συνιστωσών της εδαφικής κίνησης, χρησιμοποιεί την απευθείας αναγωγή των φασματικών ψευδοταχυτήτων, PSV, σε συνάρτηση: (α) με τον αναμενόμενο σεισμό μεγέθους M, επικεντρικής απόστασης R και (β) με την αναμενόμενη μακροσεισμική ένταση, I_{MM} , σε μια θέση. Για το σκοπό αυτό προτάθηκαν από τον Trifunac (1976, 1977a) και από τους Trifunac και Anderson (1977), οι εμπειρικές σχέσεις:

$$\log[PSV(T), p] = M + \log A_0(R) - \alpha(T)p - b(T)M - c(T) - d(T)s - e(T)v - f(T)M^2 - g(t)R \quad (3)$$

$$\log[PSV(T), p] = \alpha(T)p + b(T)I_{MM} + c(T) + d(T)s + e(T)v \quad (4)$$

Στη σχέση (3) το M είναι το τοπικό μέγεθος (M_L), $\log A_0(R)$ είναι η εμπειρική συνάρτηση που προσδιορίζει την απόσβεση του πλάτους της εδαφικής κίνησης με την επικεντρική απόσταση R(km) από το επίκεντρο σεισμού μηδενικού μεγέθους (συνάρτηση βαθμολογίας). Ο "βαθμός εμπιστοσύνης", p, μεταξύ του 0.1 και 0.9 προσεγγίζει την πιθανότητα ότι η

[$PSV(T), p$] δεν θα υπερβληθεί. Ο όρος, s , αντιπροσωπεύει τις εδαφικές συνθήκες στη θέση καταγραφής και είναι $s = 0$ για αλλουβιακές αποθέσεις, $s = 1$ για ενδιάμεσες κατηγορίες και $s = 2$ για μητρικό πέτρωμα. Το v προσδιορίζει τη διεύθυνση της συνιστώσας καταγραφής και είναι $v = 0$ για τις οριζόντιες και $v = 1$ για την κατακόρυφη συνιστώσα.

Η αναγωγή των φασματικών τιμών πραγματοποιείται με τους συντελεστές των συναρτήσεων $a(T)$, $b(T)$, $g(T)$ με αποτέλεσμα η μορφή του φάσματος και τα διάφορα φασματικά πλάτη να εξαρτώνται από όλες τις παραμέτρους αναγωγής.

Στην εφαρμογή της μελέτης λόγω έλλειψης στην παρούσα φάση ικανοποιητικών δεδομένων (αναμενόμενες επικεντρικές αποστάσεις, συνάρτηση βαθμολογίας $\log A_0(R)$) προτιμήθηκε το εμπειρικό μοντέλο της σχέσης (4).

3.2 Εφαρμογή για την πόλη της Καλαμάτας - Αποτελέσματα

Λόγω έλλειψης επαρκών στοιχείων για τις εδαφικές συνθήκες στην πόλη της Καλαμάτας, αυτές θεωρήθηκαν σαν "ενδιάμεσες" κατηγορίας σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Trifunac and Brady (1975), δηλαδή, $s = 1$. Οι περιβάλλουσες πιθανολογικές φασματικές τιμές σχεδιάστηκαν για $p \equiv PA = 0,5$ και $PA = 0,84$ που αντιστοιχούν στη μέση τιμή (πιθανότητα να μην υπερβληθεί 50%) και στη μέση τιμή συν μια τυπική απόκλιση (πιθανότητα να μην υπερβληθεί 84%, όταν δεχόμαστε κανονική κατανομή του δείγματος).

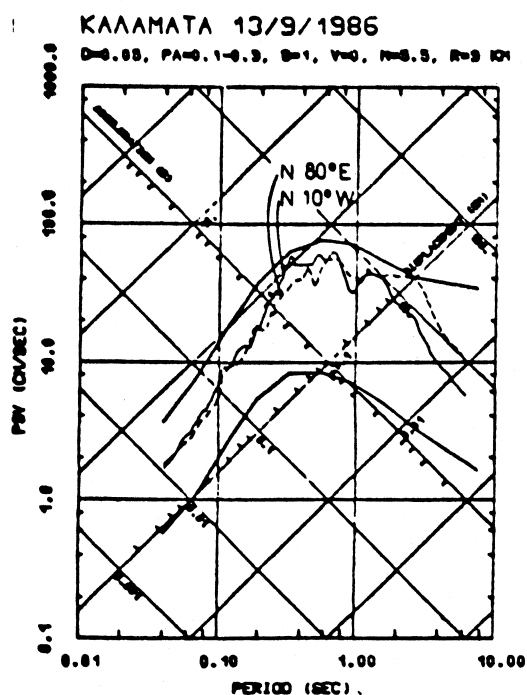
Στο σχήμα (2) δίνονται τα φάσματα απόκρισης των οριζόντιων συνιστωσών του κύριου σεισμού της 13-9-1986 της Καλαμάτας (Αναγνωστόπουλος και συνεργάτες, 1986) σε κοινή απεικόνιση με το πιθανολογικό φάσμα που προβλέπει η σχέση (3) για "βαθμό εμπιστοσύνης", PA , μεταξύ 0,1 και 0,9, για τοπικό μέγεθος σεισμού, $M_L = 5,5$ και επικεντρική απόσταση, $R = 9$ km (Parazachos et al., 1986). Η σύγκριση με τις παρατηρημένες φασματικές τιμές του σεισμού της 13-9-1986 είναι γενικά ικανοποιητική, δεδομένου ότι η απόσταση της Καλαμάτας από το κέντρο της σεισμικής διάρρηξης είναι μικρότερη από την απόσταση, $R = 9$ km, όπου άρχισε η σεισμική θραύση. Παρόμοιες επαλληλίες δίνονται και στα σχήματα (3) και (4) με τη χρήση όμως της σχέσης (4) και υποθέτοντας μακροσεισμική ένταση στη θέση της καταγραφής του κύριου σεισμού (κτίριο Νομαρχίας Καλαμάτας) $I_{MM} = VII$ και $I_{MM} = VIII$ αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι οι προβλέψεις της σχέσης (4) για $I_{MM} = VII$ δεν είναι ικανοποιητικές για ένα ευρύ φάσμα περιόδων από 0,2 sec έως 0,8 sec, γεγονός το οποίο συνδυαζόμενο με τη παρατηρημένη μέση μακροσεισμική ένταση $I_{MM} = VIII$ (κλιμάκιο για τη χάραξη των ισοβλαβών στην Καλαμάτα, προσωπική επικοινωνία) ενισχύει την εγκυρότητα των προβλέψεων της σχέσης (4). Για περιόδους μεγαλύτερες από 1 sec οι αντίστοιχες προβλέψεις κρίνονται μάλλον συντηρητικές, και αποδίδονται στη συνεισφορά μεγαλύτερων σεισμών στο στατιστικό δείγμα των δυτικών ακτών των ΗΠΑ. Κάθε προσπάθεια όμως μείωσης των προβλεπόμενων φασματικών τιμών στις αντίστοιχες περιόδους θα έπρεπε να γίνει ύστερα από προσεκτική έρευνα στο σχετικό πρόβλημα.

Τα πιθανολογικά φάσματα απόκρισης που δίνονται στα σχήματα (5), (6), (7) και (8) αντιστοιχούν σε χρόνους σχεδιασμού $T = 50, 100$ έτη με αντίστοιχες πιθανότητες υπέρβασης $PT = 0,30, 0,10$. Στην ίδια τριλογαριθμική κλίμακα για κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις απεικονίζονται ταυτόχρονα το μέσο πιθανολογικό φάσμα, $PA = 0,50$, και το μέσο πιθανολογικό φάσμα συν μια τυπική απόκλιση, $PA = 0,84$.

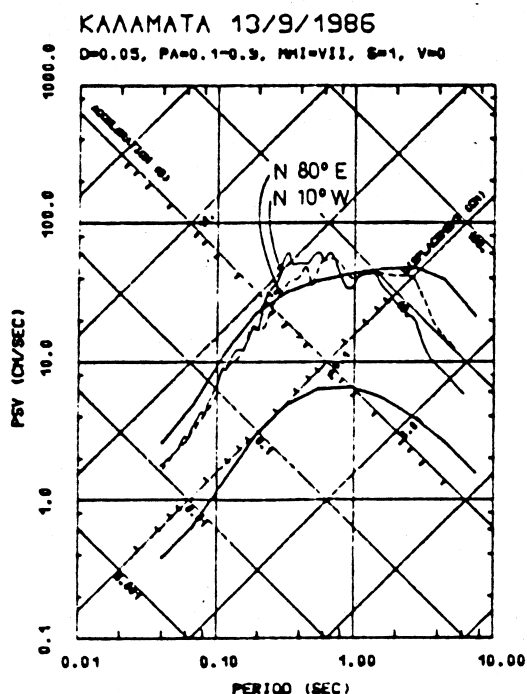
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της σεισμικής επικινδυνότητας που παρουσιάζονται στη μελέτη είτε σαν εδαφικές παράμετροι είτε σαν πιθανολογικά φάσματα απόκρισης, έχουν προκύψει αφού έγινε χρήση όλων των διαθέσιμων δεδομένων μέχρι σήμερα (ενόργανες καταγραφές ισχυρής κίνησης ιστορικά στοιχεία, τεκτονικά στοιχεία) και πιστεύουμε ότι με τον τρόπο αυτό το όλο πρόβλημα αντιμετωπίστηκε ορθολογιστικά στο βαθμό που αυτό ήταν δυνατόν.

Όπως έδειξε η πιθανολογική ανάλυση της σεισμικής επικινδυνότητας για την πόλη της Καλαμάτας ο σεισμός της 13-9-1986 έχει μέση περίοδο υπέρβασης μεταξύ 1000 έως 3000 ετών, αν δεχθούμε μέση μακροσεισμική ένταση μεταξύ $VIII$ και $VIII^+$ στο σύνολο της πόλης. Ακρι-



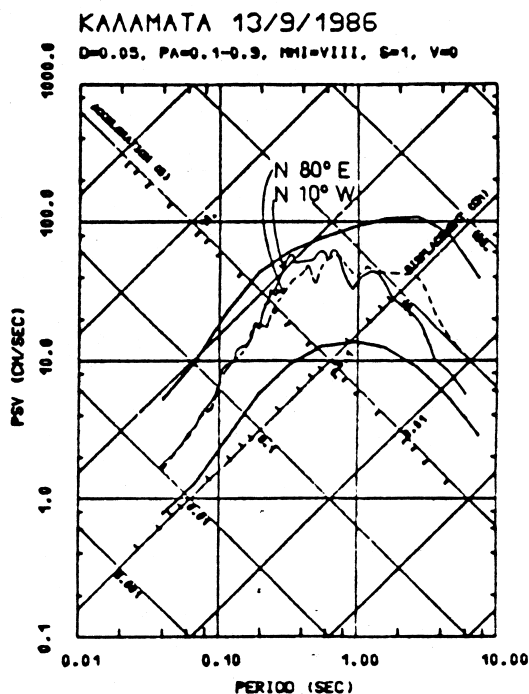
Σχ.2 Κοινή απεικόνιση των οριζόντιων συνιστωσών του φάσματος απόκρισης του κύριου σεισμού της 13-9-1986 της Καλαμάτας, με το πιθανολογικό φάσμα για "βαθμό" εμπιστοσύνης από 0.1-0.9 (μοντέλο της σχέσης (3), Trifunac and Anderson, 1978a).



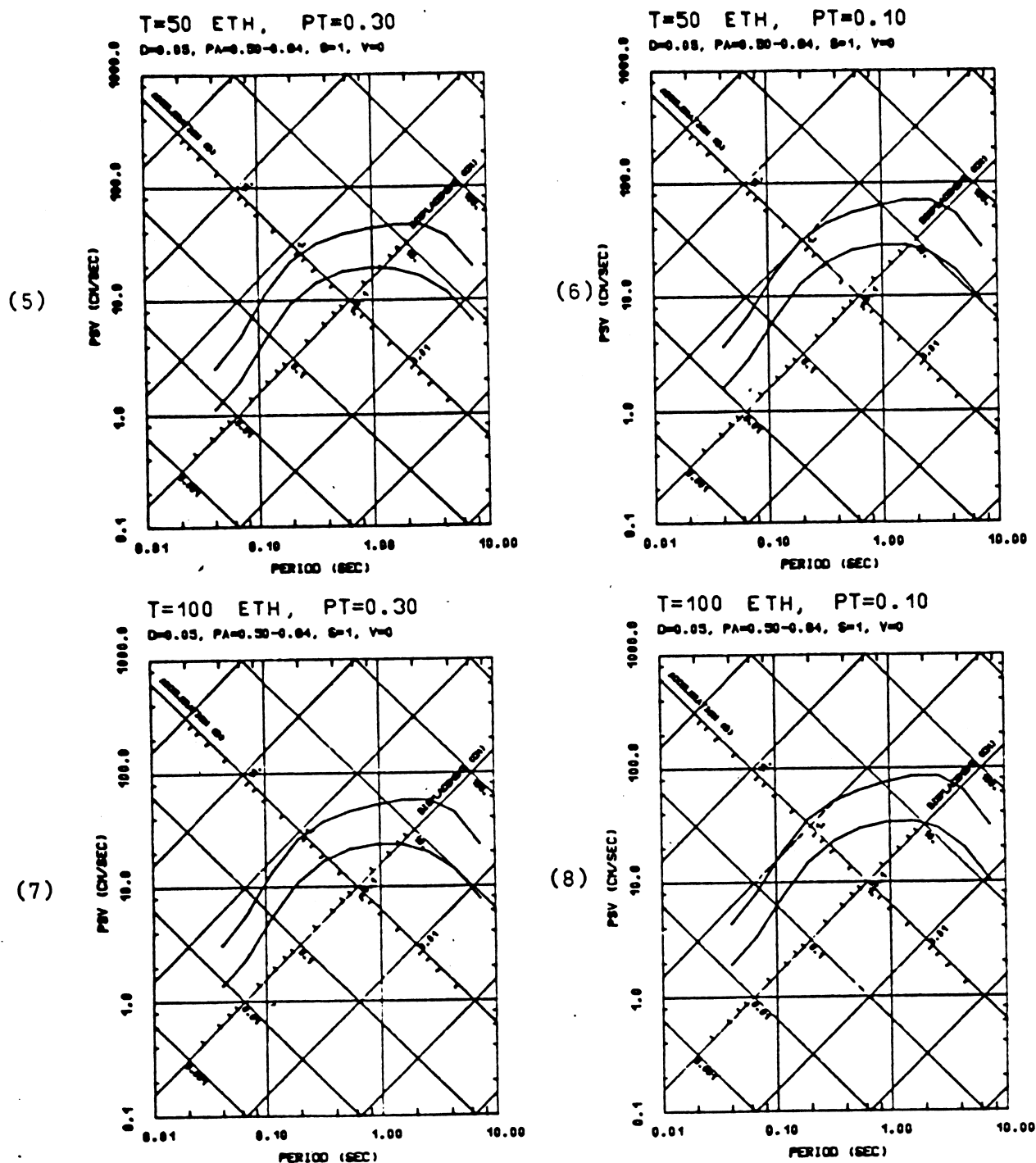
Σχ.3 Κοινή απεικόνιση των οριζόντιων συνιστωσών του φάσματος απόκρισης του κύριου σεισμού της 13-9-1986 της Καλαμάτας, με το πιθανολογικό φάσμα για "βαθμό" εμπιστοσύνης από 0.1-0.9 (μοντέλο της σχέσης (4), Trifunac and Anderson, 1978a)

βέστερες εκτιμήσεις θα προκύψουν από τη συσχέτιση της σεισμικότητας με τεκτονικά ρήγματα μέσα στα πλαίσια μικροζωνικών μελετών της Καλαμάτας. Η πρώτη εκτίμηση αυτής της μελέτης απαιτεί ιστορικά/αρχαιολογικά, παλαιοσεισμικά και νεοτεκτονικά στοιχεία για την επαλήθευσή της.

Οι σχετικά υψηλότερες φασματικές τιμές που δίνει το μοντέλο της σχέσης (4) από το αντίστοιχο της (3) και για περιόδους μεγαλύτερες από 0,4 sec όπως προκύπτει από τη σύγκριση στα σχήματα (2) έως (4), οδηγεί με βάση την εμπειρία του σεισμού της 13-9-1986 σε συντηρητικές τιμές σχεδιασμού. Τα φάσματα όμως των σχημάτων (5) έως (8), λαμβάνουν υπόψη και την πιθανότητα προσβολής της πόλης από μακρυνότερους, μεγαλύτερους επιφανειακούς σεισμούς με πλατύτερη φασματική απεικόνιση. Ακόμη το γεγονός ότι οι μεγάλοι σεισμοί ενδιαμέσου βάθους ακτινοβολούν σεισμικά κύματα με μεγάλες περιόδους σε μακρινές αποστάσεις από την πηγή (Ambraseys, 1977) και απειλούν σοβαρά ιδιαίτερα τις εύκαμπτες κατασκευές, ενισχύει τους λόγους υιοθέτησης των πιθανολογικών φασμάτων που εκτιμήθηκαν στην παρούσα μελέτη.



Σχ.4 Κοινή απεικόνιση των οριζόντιων συνιστωσών του φάσματος απόκρισης του κύριου σεισμού της Καλαμάτας, με το πιθανολογικό φάσμα για "βαθμό" εμπιστοσύνης από 0.1-0.9 (μοντέλο της σχέσης (4), Trifunac and Anderson, 1978a).



Σχ. 5, 6, 7 και 8: Πιθανολογικά φάσματα απόκρισης για την Καλαμάτα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή χρηματοδοτήθηκε από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας στα πλαίσια του προγράμματος "Σεισμική Επικινδυνότητα της Καλαμάτας".

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αναγνωστόπουλος, Σ.Α., Θεοδουλίδης, Ν.Π., Λεκύδης, Β.Α. και Μάργαρης Β.Ν., Οι σεισμοί της Καλαμάτας του Σεπτεμβρίου 1986: Αποτελέσματα από την ανάλυση των επιταχυνσιογραφημάτων, συσχετισμός με τον αντισεισμικό κανονισμό, επισκόπηση βλαβών και συμπεράσματα, "Εργασία ΙΤΣΑΚ: 86-05", Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών, Θεσσαλονίκη, 1986.

- Ambraseys, N.N., Long-period effects in the Romanian earthquake of March 1977, "Nature", Vol.268, pp.324-325, 1977.
- Cornell, C.A. Engineering Seismic risk analysis "Bull.Seism.Soc.Am.", 58, 1583-1606, 1968.
- Θεοδουλάκης, Ν.Π., Μάργαρας, Β.Ν. και Παπασταματίου, Δ.Ι., Σχεδιασμός δικτύου επιταχυνσιογράφων, "Εργασία ΙΤΣΑΚ:86-04", 1986.
- Joyner, W.B. and Boore, D.M., Estimation of response-spectral values as functions of magnitude, distance, and site conditions, "Open-File Report 82-881", U.S.G.S., Japan-U.S. panel, 1982.
- McGuire, R.K., Seismic structural response risk analysis, incorporating peak response regressions on earthquake magnitude and distance, "Report R74-51", Dept. of Civil Eng., M.I.T., Cambridge, Mass., 1974.
- McGuire, R.K., FORTRAN computer program for seismic risk analysis, "Open-File Report 76-67" U.S.G.S., 90 pp., 1976.
- Newmark, N.M., Degenkolb, H.J., Chorpá, A.K., Veletsos, A.S., Rosenblueth, E. and Sharpe, R.L., Seismic design and analysis provisions for the United States, "6th World Conf. Earthquake Eng.", New Delhi, India, 1977.
- Παπαϊωάννου, Χ.Α., Απόσβεση των σεισμικών εντάσεων και σεισμική επικινδυνότητα στον ελληνικό χώρο, "Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης", 1-200, 1984.
- Papazachos, B., Kiratzi, A., Karacostas, B., Panagiotopoulos, D., Scordilis, E. and Moundrakis, D., Surface fault traces, fault plane solution and spatial distribution of the aftershocks of September 13, 1986 earthquake of Kalamata (Southern Greece), "Publication No.7", Εργαστήριο Γεωφυσικής Α.Π.Θ., 1986.
- Τάσσης, Σ.Τ., Στατιστικές και δυναμικές ιδιότητες του πάνω μανδύα στο Ν.Αιγαίο, "Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης", 1-155, 1984.
- Trifunac, M.D., Preliminary empirical model for scaling Fourier amplitude spectra of strong ground acceleration in terms of earthquake magnitude, source to station distance and recording site conditions, "Bull.Seism.Soc.Am.", Vol.66, pp.1343-1373, 1976.
- Trifunac, M.D., Forecasting the spectral amplitudes of strong earthquake ground motion, "6th World Conf. Earthquake Eng.", New Delhi, India, 1977.
- Trifunac, M.D. and Brady, A.G., On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded strong ground motion, "Bull.Seism.Soc.Am.", Vol.65, pp.139-162, 1975.
- Trifunac, M.D., Anderson, J.G., Preliminary empirical models for scaling absolute acceleration spectra, "Report No.77-03", USC Dep. of Civil Eng., Aug. 1977.
- Trifunac, M.D. and Anderson, J.G., Preliminary empirical models for scaling relative velocity spectra, "Report No.CE 78-05", USC Dep. of Civil Eng., Aug. 1978.
- Trifunac, M.D. and Anderson, J.G., Preliminary empirical models for scaling pseudo-relative velocity spectra, "Report No.78-04", USC Dept. of Civil Eng., Jun. 1978a.