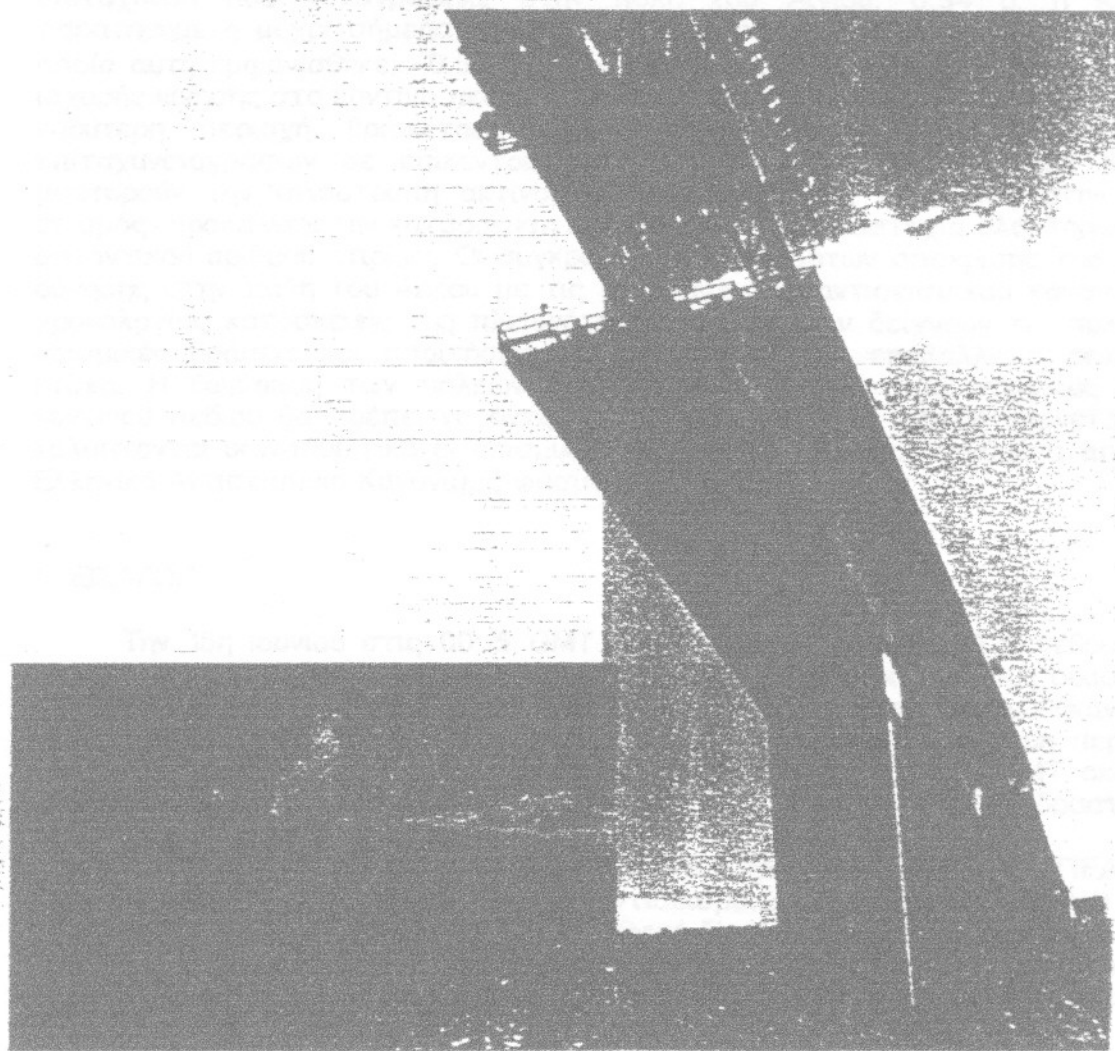


**ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ**  
**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**  
**(ΜΕΛΟΣ FIR. CEB. RILEM)**

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΚΥΠΡΟΥ-ΕΤΕΚ

ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΛΘ-ΡΠΘ - ΣΠΜΑΚ

**12<sup>ο</sup> ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ**  
**ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**



**ΛΕΜΕΣΟΣ 29-31 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 1996**

**ΤΟΠΟΣ: ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ HAWAII BEACH HOTEL**

**ΤΟΜΟΣ III**

ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΤΟΥ ΑΙΓΙΟΥ ΤΟΥ ΙΟΥΝΙΟΥ ΤΟΥ 1995 -  
ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΛΑΒΩΝ ΚΑΙ  
ΕΠΑΡΚΕΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ

Β. Λεκίδης(\*), Π. Δημητρίου(\*), Χ. Καρακώστας(\*), Ι. Καλογεράς(\*\*), Β. Μάργαρης(\*),  
Ν. Θεοδουλίδης(\*), Γ. Σταυρακάκης(\*\*)

(\*)Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών, Τ.Θ. 53, 55102  
Φοίνικας, Θεσσαλονίκη

(\*\*)Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, Τ.Θ. 20048, 11810 Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σεισμός της 15-6-1995 στο δυτικό Κορινθιακό κόλπο, με μέγεθος  $M_s=6.1$ , συνέβη σε μια από τις πλέον σεισμικά ενεργές ζώνες του Ελληνικού χώρου και έπληξε σημαντικά τα βόρεια παράλια της Πελοποννήσου με κύρια εστίαση των βλαβών στο ευρύτερο πολεοδομικό συγκρότημα του Αιγίου. Η ισχυρή οριζόντια εδαφική επιτάχυνση που καταγράφηκε στην πόλη του Αιγίου, 0.54 g, η ισχυρότερη παρατηρημένη μέχρι σήμερα στον Ελληνικό χώρο, καθώς και η ιδιοπερίοδος στην οποία αυτή εμφανίσθηκε, ~0.5 sec, έδωσε ένα πρώτο δείγμα της σφοδρότητας της ισχυρής κίνησης στο κοντινό πεδίο. Το μακροσεισμικό πεδίο του κυρίως σεισμού στην ευρύτερη περιοχή βρίσκεται σε καλή συμφωνία με τις καταγραφές 10 επιταχυνσιογράφων σε επικεντρικές αποστάσεις μεταξύ 15km και 85km, και μαρτυρούν την ανισότροπη ακτινοβολία της σεισμικής ενέργειας στην πηγή. Ο σεισμός προκάλεσε την κατάρρευση κτιρίων ή την ολική αστοχία ολόκληρων ορόφων σημαντικού αριθμού κτιρίων. Οι συγκρίσεις των φασμάτων απόκρισης της σεισμικής δόνησης στην πόλη του Αιγίου με τις διατάξεις του αντισεισμικού κανονισμού της χρονολογίας κατασκευής της πλειονότητας των κτιρίων δείχνουν τις πολύ υψηλές σεισμικές δράσεις και απαιτήσεις πλαστιμότητας που επέβαλλε ο σεισμός στα κτίρια. Η θωράκιση των πόλεων του Ελληνικού χώρου από ισχυρούς σεισμούς κοντινού πεδίου θα πρέπει να αντιμετωπισθεί κατάλληλα επειδή φαίνεται ότι δεν καλύπτονται ικανοποιητικά οι σεισμικές δράσεις από τα προτεινόμενα από το Νέο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό φάσματα σχεδιασμού.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Την 15η Ιουνίου στις 00:15 GMT ισχυρός σεισμός τοπικού μεγέθους  $M_L=5.6$  (μεγέθους επιφανειακών κυμάτων  $M_s=6.1$ ) έπληξε το Αίγιο και άλλους οικισμούς του δυτικού Κορινθιακού κόλπου. 26 άτομα έχασαν τη ζωή τους και σημειώθηκαν σοβαρές βλάβες κυρίως στις βόρειες ακτές της Πελοποννήσου, στην ευρύτερη περιοχή του Αιγίου, και στις νότιες ακτές της Στερεάς Ελλάδας. Στις 00:31 GMT ακολούθησε ισχυρός μετασεισμός τοπικού μεγέθους  $M_L=5.2$ . Η μετασεισμική δραστηριότητα συνεχίστηκε για αρκετές εβδομάδες.

Το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΓΕΑΑ) και το Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ) κάλυπτε την ευρύτερη επικεντρική περιοχή με το εθνικό δίκτυο επιταχυνσιογράφων. Επιπλέον, το ΓΕΑΑ αμέσως μετά το σεισμό ανέπτυξε δίκτυο 4 φορητών σειсмоγράφων το οποίο λειτούργησε για 15 ημέρες και κατέγραψε λεπτομερώς τη μετασεισμική δραστηριότητα.

Ο κύριος σεισμός προσδιορίσθηκε από το ΓΕΑΑ στο βόρειο τμήμα του δυτικού Κορινθιακού κόλπου με συντεταγμένες επικέντρου  $28.37^\circ N$ ,  $22.15^\circ E$  και με εστιακό

βάθος 26 km. Σύμφωνα με το NEIC ο κύριος σεισμός προσδιορίζεται βορειοανατολικότερα με συντεταγμένες 38.40°N, 22.28°E και με εστιακό βάθος 14km. Οι συντεταγμένες αυτές δίνουν επικεντρική απόσταση από το Αίγιο της τάξης των 25km. Για το μεγαλύτερο μετασεισμό οι συντεταγμένες σύμφωνα με το ΠΕΑΑ είναι 38.30°N, 22.03°E ενώ σύμφωνα με το NEIC 38.38°N, 22.42°E. Στο Σχ. 1 (Papanastasiou et al. 1995) δείχνονται τα επίκεντρα 359 μετασεισμών που καταγράφηκαν από όλους τους σταθμούς φορητών σειсмоγράφων του ΠΕΑΑ και επομένως θεωρούνται καλώς προσδιορισμένοι. Η πλειονότητά τους τοποθετείται βόρεια από την παρατηρηθείσα διάρρηξη και δυτικά από το επίκεντρο του κυρίου σεισμού. Η επιφανειακή τους κατανομή καλύπτει μια έκταση 20 km X 25 km. Το εστιακό βάθος των περισσότερων είναι μικρότερο των 20km. Σε τομή κάθετη στο ίχνος του ρήγματος, όπου παρουσιάζονται τα υπόκεντρα 150 καλώς προσδιορισμένων σεισμών με τοπικά μεγέθη  $M_L \geq 2.5$  (Papanastasiou et al. 1995), φαίνονται δύο περιοχές, μια μέχρι βάθος 10km να βυθίζεται έντονα προς τα βόρεια και μια για τα επόμενα 15 km με μικρότερη κλίση, περίπου 60°.

Οι επιλύσεις του μηχανισμού γένεσης του κυρίου σεισμού που έγιναν από διάφορα σεισμολογικά κέντρα δείχνουν κανονική διάρρηξη, με γενική συμφωνία στις τιμές των επιπέδων. Η λύση του ΠΕΑΑ από τις πρώτες αποκλίσεις των Ρ-κυμάτων δίνει τιμές διεύθυνσης για τα δυο επίπεδα N104° και N290° και διεύθυνση κλίσης 56°NΔ και 35°ΒΑ, αντίστοιχα. Επιπλέον, οι Stavrakakis και Chouliaras (1995) υπολόγισαν τις εστιακές παραμέτρους για τη σεισμική δραστηριότητα της 15ης Ιουνίου 1995 από τη φασματική ανάλυση ψηφιακών δεδομένων και προσδιόρισαν τις παρακάτω τιμές: σεισμική ροπή,  $M_0 = 3.6 \times 10^{25}$  dyn.cm, μήκος ρήγματος,  $L = 13.4$  km, πτώση τάσης  $\Delta\sigma = 53$  bars, και μέση μετάθεση,  $\langle u \rangle = 85$  cm.

Παρατηρήθηκαν επιφανειακές διαρρήξεις στην ευρύτερη επικεντρική περιοχή, των οποίων η λεπτομερής μελέτη με τα σεισμοτεκτονικά δεδομένα έδωσαν χρήσιμα συμπεράσματα για το μηχανισμό γένεσης του σεισμού. Ακόμη, παρατηρήθηκαν ρευστοποιήσεις στην παραλιακή ζώνη των βόρειων ακτών της Πελοποννήσου. Ο κύριος σεισμός προξένησε ικανό αριθμό καταρρεύσεων συγχρόνων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα (Ο/Σ) καθώς και παραδοσιακών κτιρίων.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα επιταχυνσιογράμματα και τα φάσματα απόκρισης του κύριου σεισμού και μελετώνται οι ιδιότητες της ισχυρής κίνησης. Διερευνάται η πιθανή επίδραση σ'αυτήν του κτιρίου του Ο.Τ.Ε. και σχολιάζεται η συμπεριφορά του που ίσχυε κατά το χρόνο κατασκευής του. Τέλος, συζητιέται η επάρκεια των σεισμικών συντελεστών τόσο του κανονισμού του 1959, με τις προσθήκες του 1984, όσο και του Νέου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΝΕΑΚ).

## 2. ΙΣΧΥΡΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ

### 2.1. Επιταχυνσιογράμματα της σεισμικής ακολουθίας

Τον κύριο σεισμό του Αιγίου κατέγραψαν οι αναλογικοί επιταχυνσιογράφοι (τύπου SMA-1) του ΠΕΑΑ στις θέσεις Αίγιο, Αμφισσα, Μόρνος, Νάυπακτος, Λειβαδιά και του ΙΤΣΑΚ στις θέσεις Πάτρα (κτίριο Εθνικής Τραπέζης Ελλάδος, εκκλησία Αγ. Δημητρίου, εκκλησία Αγ. Κων/νου) και Κόρινθος. Την επομένη του καταστρεπτικού σεισμού το ΙΤΣΑΚ εγκατέστησε φορητό δίκτυο 4 ψηφιακών επιταχυνσιογράφων (τύπου SSA-2) κοντά στο σεισμογόνο ρήγμα. Συγκεκριμένα έγινε εγκατάσταση στο υπόγειο του κτιρίου του Ο.Τ.Ε. του Αιγίου, στο ισόγειο του οποίου ήταν εγκατεστημένος ο αναλογικός επιταχυνσιογράφος του ΠΕΑΑ, στο κτίριο του Νοσοκομείου του Αιγίου, στο Διακοφτό Αχαΐας και στην Ερατεινή Φωκίδας. Το φορητό αυτό δίκτυο παρέμεινε

έναν περίπου μήνα μετά τον κύριο σεισμό και κατέγραψε περισσότερα από εκατό επιταχυνσιογράμματα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της ισχυρής δόνησης όπως αυτή καταγράφηκε στο Αίγιο (ισόγειο κτιρίου ΟΤΕ) φαίνονται στο Σχ. 2 (παρουσιάζεται και η καταγραφή του μεγαλύτερου μεασεισμού, με  $M_L=5.2$ ). Η μέγιστες οριζόντιες εδαφικές επιταχύνσεις ήταν 0.54g και 0.50g και η κατακόρυφη 0.20g. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση εμφανίστηκε σε παλμό περιόδου 0.5sec περίπου και η διάρκεια της ισχυρής δόνησης, για επιτάχυνση μεγαλύτερη του 0.10g, ήταν 3.5sec. Στον Πίνακα 1 δίνονται οι μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις και ταχύτητες της ισχυρής κίνησης του σεισμού της 15-6-1996, στις θέσεις όπου αυτός καταγράφηκε.

Πίνακας 1. Παράμετροι της ισχυρής κίνησης του κυρίου σεισμού της 15-6-1996.

Κωδικός σταθμού	Απόσταση επικεντρική (km)	Συν/σα επιμήκης		Συν/σα κατακόρυφη		Συν/σα εγκάρσια	
		p.g.a (%g)	p.g.v (cm/s)	p.g.a (%g)	p.g.v (cm/s)	p.g.a (%g)	p.g.v (cm/s)
AIG14	14.5	0.50	40.3	0.20	16.5	0.54	51.7
MPN3	18.0	0.07	3.6	0.04	2.7	0.08	3.3
AMF2	27.0	0.12	7.8	0.07	2.2	0.19	9.4
NAF7	28.0	0.04	3.2	0.03	1.9	0.05	3.2
PAT195-1	40.0	0.03	3.4	0.02	2.6	0.03	3.8
PAT395-1	40.0	0.04	3.3	0.02	2.5	0.04	5.0
PAT495-1	40.0	0.02	3.0	0.02	1.7	0.04	4.0
PAT16	40.0	0.03	6.9	0.02	3.2	0.04	7.7
LEV1	63.0	0.03	2.0	0.03	2.0	0.02	1.8
KOR95-1	84.0	0.02	2.0	0.01	0.8	0.02	2.3

AIG:Αίγιο, MRN:Μόρνος, AMF:Άμφισσα, NAF:Ναύπακτος, PAT:Πάτρα, LEV:Λειβαδιά, KOR:Κόρινθος

Η κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση, αν και σχετικά υψηλή, δίνει λόγο μέγιστης κατακόρυφης προς μέγιστη οριζόντια ίσο προς 0.40, αρκετά χαμηλότερο από εκείνον που υιοθετεί ο αντισεισμικός κανονισμός (0.7). Αξιοσημείωτη είναι η υψηλή εδαφική ταχύτητα της οριζόντιας συνιστώσας, η οποία ανέρχεται σε 52 cm/sec. Ο λόγος της μέγιστης ταχύτητας προς τη μέγιστη επιτάχυνση ενός επιταχυνσιογράμματος αποτελεί δείκτη της περιεκτικότητας συχνοτήτων της ισχυρής εδαφικής κίνησης και ως τέτοιος μπορεί να θεωρηθεί ενδεικτικός της απόστασης από την εστία και των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Για τη μέγιστη οριζόντια συνιστώσα ο λόγος αυτός είναι 96 cm/sec/g, τιμή ενδεικτική μικρής απόστασης από το επίκεντρο και τοπικών εδαφικών συνθηκών που θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως συνεκτικές εδαφικές αποθέσεις (Seed et al. 1976). Συνήθως οι μεγάλες εδαφικές ταχύτητες προέρχονται από σεισμικές κινήσεις του τύπου "πλήγματος ταχύτητας" (velocity pulse), προκαλούνται από επιφανειακούς σεισμούς στο κοντινό πεδίο και στη διαμόρφωσή τους δεσπόζουν τα χαρακτηριστικά της εστίας και ο μηχανισμός γένεσης.

Στο Σχ. 3 δίνονται τα φάσματα απόκρισης των οριζοντίων συνιστωσών του κύριου σεισμού και του μεγαλύτερου μετασεισμού του Αιγίου. Το κύριο χαρακτηριστικό του φάσματος απόκρισης του κυρίου σεισμού είναι οι υψηλές επιταχύνσεις, 0.6 g-1.5 g, σε σχετικά μεγάλο εύρος ιδιοπεριόδων, μεταξύ 0.15-0.8 sec. Η ενεργός επιτάχυνση (effective acceleration) (FEMA 1985) υπολογίστηκε ίση προς 0.43g, η οποία είναι σαφώς υψηλότερη της αντίστοιχης επιτάχυνσης που υιοθέτησε ο ΝΕΑΚ για τη ζώνη III (0.24g), στην οποία ανήκει η πόλη του Αιγίου. Στο φάσμα

απόκρισης του μετασεισμού φαίνεται, όπως εξάλλου αναμενόταν, η μετατόπιση των πλατών του σε μικρότερες ιδιοπεριόδους.

Τα μέσα φάσματα Fourier των δύο οριζοντίων συνιστωσών στις επτά θέσεις των σταθμών επιταχυνσιογράφων, παρά τις διαφορετικές επικεντρικές αποστάσεις και τοπικές συνθήκες, δείχνουν μέγιστες τιμές στην περιοχή συχνοτήτων 1.5 Hz - 2.5 Hz (Σχ. 4). Το στοιχείο αυτό αποτελεί ένδειξη ότι η σεισμική ενέργεια εκλήθηκε από την πηγή κυρίως σε ένα φάσμα συχνοτήτων γύρω από τα 2 Hz. Ο χάρτης του Σχ. 5 δείχνει τις παρατηρημένες μακροσεισμικές εντάσεις που καταγράφηκαν στα δελτία του ΠΕΑΑ. Με τρίγωνα σημειώνονται οι θέσεις των επιταχυνσιογράφων που κατέγραψαν τον κύριο σεισμό, το επίκεντρο του οποίου σημειώνεται με αστερίσκο.

2.2. Αζιμουθιακή απόσβεση και ανισότροπη ακτινοβολία του μακροσεισμικού πεδίου του κυρίου σεισμού της 15-6-1995.

Η απόσβεση των μακροσεισμικών εντάσεων στον Ελληνικό χώρο και τις γύρω περιοχές μελετήθηκε εκτεταμένα παίρνοντας υπόψη διαφορα μοντέλα απόσβεσης της ισχυρής κίνησης. Δύο βασικά μοντέλα εστιάσθηκαν κυρίως στην μελέτη της αζιμουθιακής απόσβεσης (Μάργαρης, 1994) και της ανισότροπης ακτινοβολίας (Parazachos, 1992) των μακροσεισμικών εντάσεων με βάση το ελλειπτικό μοντέλο απόσβεσης της ισχυρής κίνησης. Τα δύο μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου (Margaris and Parazachos, 1994).

Στην παρούσα εργασία, γίνεται προσπάθεια καθορισμού της αζιμουθιακής απόσβεσης των μακροσεισμικών εντάσεων του κυρίου σεισμού του Αιγίου, της 15-6-1995. Με βάση τα μακροσεισμικά στοιχεία τα οποία συλλέχθηκαν από το ΠΕΑΑ, προτάθηκαν ισόσειστες καμπύλες του σεισμού του Αιγίου, 1995, όπως φαίνονται στο Σχ. 5, με τις διακεκομμένες γραμμές. Με προσομοίωση των καμπυλών αυτών με ελλειψοειδή καμπύλη είναι δυνατόν τελικά να προκύψουν οι ισόσειστες καμπύλες (συνεχόμενες γραμμές) του σεισμού του Αιγίου για τέσσερις τιμές της μακροσεισμικής έντασης, (V, VI, VII, και VIII). Αρχικά εκτιμήθηκε η διεύθυνση του κύριου άξονα αζιμουθιακής απόσβεσης των μακροσεισμικών εντάσεων. Με βάση κατάλληλο λογισμικό (Margaris and Parazachos, 1994), υπολογίσθηκε η μέση διεύθυνση του κύριου άξονα του ελλειπτικού μοντέλου απόσβεσης των σεισμικών εντάσεων, ίση με  $50^\circ$ . Η μέση κατεύθυνση όλων των διαθέσιμων ισόσειστων καμπύλων της σεισμογόνου πηγής 8b στην οποία ανήκει και ο σεισμός του Αιγίου, υπολογίσθηκε ίση με  $82^\circ \pm 40^\circ$  (Μάργαρης 1994). Φαίνεται ότι και ο σεισμός αυτός ακολουθεί τις βασικές σεισμοτεκτονικές ιδιότητες της σεισμικής πηγής στην οποία ανήκει. Στο Σχ. 5 φαίνονται και οι μέσες διευθύνσεις των κυρίων αξόνων του ελλειπτικού μοντέλου απόσβεσης τόσο του σεισμού του Αιγίου,  $D_{EG}$ , όσο και ολόκληρης της σεισμογόνου πηγής 8b,  $D_{8b}$ .

Με βάση τις ισόσειστες καμπύλες του Σχ. 5, έγινε προσπάθεια να εφαρμοσθούν τα μοντέλα της αζιμουθιακής απόσβεσης (Margaris and Parzachos, 1994) και της ανισότροπης ακτινοβολίας (Parazachos, 1992) των σεισμικών εντάσεων του σεισμού του Αιγίου. Υπολογίσθηκαν οι αποστάσεις των μακροσεισμικών εντάσεων σε δύο κύριες διευθύνσεις του ελλειπτικού μοντέλου κάθε ισόσειστης καμπύλης του συγκεκριμένου σεισμού. Επίσης, με βάση το μοντέλο της ανισότροπης ακτινοβολίας, υπολογίσθηκε το μέγεθος του σεισμού κατά μήκος του κύριου και του δευτερεύοντα άξονα του ελλειπτικού μοντέλου με βάση τη σχέση :

$$M(\varphi) = M + (v/2b) \log(S_\varphi / S_{45}) \quad (1)$$

όπου  $M$  είναι το μέσο μέγεθος του σεισμού,  $v$  είναι ο παράγοντας της γεωμετρικής διασποράς,  $b$  είναι ο συντελεστής του μεγέθους στην χρησιμοποιούμενη σχέση απόσβεσης,  $S_\varphi$  και  $S_{45}$  είναι ο παράγοντας της κατευθυντικότητας για το συγκεκριμένο αζιμούθιο  $\theta$ , της εξεταζόμενης θέσης και για αζιμούθιο γωνίας  $45^\circ$

(Papazachos, 1992). Με βάση τη σχέση αυτή καθορίστηκαν οι μακροσεισμικές εντάσεις κατά μήκος του κύριου και του δευτερεύοντα άξονα του μοντέλου απόσβεσης. Στο Σχ. 6 δίνονται κατά μήκος των δύο κυρίων αξόνων του ελλειπτικού μοντέλου, η αζιμουθιακή απόσβεση και η ανισότροπη ακτινοβολία των μακροσεισμικών εντάσεων του σεισμού του Αιγίου, ενώ ταυτόχρονα δίνονται οι αζιμουθιακές σχέσεις απόσβεσης της σεισμογόνου πηγής 8b (Μάργαρης, 1994). Από το σχήμα αυτό φαίνεται καθαρά ότι δεσπάζει η ανισότροπη ακτινοβολία στη απόσβεση των μακροσεισμικών εντάσεων στις κοντινές αποστάσεις μέχρι 80 περίπου χιλιόμετρα. Η κατευθυντικότητα της ισχυρής κίνησης λόγω της ανισότροπης ακτινοβολίας στην σεισμογόνο πηγή 8b φαίνεται ότι παίζει κύριο ρόλο στην απόσβεση της ισχυρής κίνησης και στις βλάβες που αυτή προκαλεί στις κατασκευές.

Το φαινόμενο της ανισότροπης ακτινοβολίας κατά το σεισμό του Αιγίου, ιδιαίτερα στο κοντινό πεδίο, προκύπτει και κατά τη σύγκριση των παρατηρημένων τιμών μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης/ταχύτητας με τις μέσες προβλεπόμενες  $\pm 1$  τυπική απόκλιση τιμές (Σχ. 7) που προτάθηκαν για ομοιόμορφη απόσβεση στον Ελληνικό χώρο (Theodulidis and Papazachos 1992).

### 3. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΔΟΝΗΣΗΣ ΜΕ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

#### 3.1 Συνοπτική περιγραφή βλαβών

Ο σεισμός προκάλεσε την κατάρρευση ή την ολική αστοχία ολόκληρων ορόφων σημαντικού αριθμού κτιρίων τόσο μέσα στο Αίγιο όσο και σε μία ευρύτερη περιοχή, καθώς και ορισμένες αστοχίες σε διάφορα έργα υποδομής (Φωτ. 1-4). Σοβαρές βλάβες σε δίκτυα ύδρευσης και αποχέτευσης δεν αναφέρθηκαν. Επίσης δεν αναφέρθηκαν βλάβες σε ανισόπεδους κόμβους και άλλες μεγάλες οδικές γέφυρες. Στο λιμάνι της Ιτέας εμφανίσθηκε σημαντική καθίζηση του λιμενοβραχίονα και στροφές των κρηπιδότοιχων (Φωτ. 2). Σε πολλές περιοχές μεταξύ Ιτέας και Ερατεινής καθώς και μεταξύ Αιγίου και Διακοφτού υποχώρησε η γραμμή αιγιαλού με αποτέλεσμα το κύμα αμέσως μετά το σεισμό να έλθει αρκετά μέτρα μέσα στον παράκτιο χώρο. Το φαινόμενο της ρευστοποίησης παρατηρήθηκε δυτικότερα του Διακοφτού (σε απόσταση 2 km), όπου σχηματίσθηκαν αρκετοί κρατήρες πλησίον της ακτογραμμής, αλλά και στο υπόγειο ενός σπιτιού που κτίσθηκε αυθαίρετα δίπλα στη θάλασσα. Η ευρύτερη περιοχή του Αιγίου ανήκε στη ζώνη παραμόρφωσης που δημιουργήθηκε από το σεισμό της 15/6/96.

Οι βλάβες εντοπίζονται κυρίως στην πόλη του Αιγίου καθώς και στους οικισμούς Βαλιμίτικα, Ριζόμυλο, Ακράτα, Ιτέα, Ερατεινή, στο Διακοφτό καθώς και σε άλλα χωριά μέχρι τα όρια του Νομού Αχαΐας. Το επιταχυνσιογράφημα που καταγράφηκε στο δώροφο κτίριο του ΟΤΕ, του οποίου ο (τυπικός) Ξυλότυπος του πρώτου ορόφου και τομή φαίνονται στα Σχήματα 8, 9, ήταν πλούσιο τόσο σε υψηλές όσο και σε χαμηλές συχνότητες, με αποτέλεσμα το φάσμα απόκρισης να παρουσιάζει υψηλές φασματικές επιταχύνσεις σε αρκετά μεγάλο εύρος ιδιοπεριόδων, σε αντίθεση με τα φάσματα των σεισμών Κοζάνης-Γρεβενών (Μάιος 1996), και Πάτρας (Αύγουστος 1993). Το πλούσιο ενεργειακό περιεχόμενο του επιταχυνσιογράμματος συνετέλεσε ώστε οι καθολικές αστοχίες και οι καταρρεύσεις να συναντώνται τόσο σε υψηλά (πολυόροφα) όσο και σε χαμηλά κτίρια. Είναι ίσως ο σεισμός του Αιγίου μαζί με αυτόν της Καλαμάτας από τους μοναδικούς σεισμούς που οι σοβαρές βλάβες επικεντρώθηκαν κατά μήκος μίας ζώνης. Η κατανομή των βλαβών συγκεντρώνεται κυρίως γύρω από έναν άξονα που διαπερνά την Εκκλησία του Αγίου Ανδρέα, την οδό Δεσποτοπούλου και το 1ο Δημοτικό Σχολείο, τον Ναό της Παναγίας Φανερωμένης, την πλατεία Δεξαμενής και καταλήγει στις παρυφές της εισόδου της

πόλης απο την Εθνική οδό Αθηνών-Πατρών. Αντιθέτως, προς τη Νότια πλευρά του Αιγίου, όπου βρίσκεται το Νοσοκομείο, η ένταση των βλαβών είναι κατά πολύ μικρότερη. Είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι το Νοσοκομείο βρίσκεται πάνω σε βραχώδες έδαφος. Επίσης δυτικότερα του Αιγίου η ένταση σβήνει πολύ πιο γρήγορα απο ότι προς την ανατολική πλευρά της πόλης. Η κατανομή των βλαβών βρίσκεται σε συμφωνία και με τις ισόσειστες καμπύλες που δείχνουν τον τρόπο απόσβεσης της εδαφικής κίνησης στην ευρύτερη περιοχή (Σχ. 5).

Από τις πλέον χαρακτηριστικές βλάβες που έχουν αναφερθεί είναι οι καταρρεύσεις της οικοδομής της οδού Δεσποτοπούλου (Φωτ. 1), του ξενοδοχείου στα Βαλιμίτικα, του κτίριου του Διοικητηρίου της ΕΒΟ καθώς και μιας μονοκατοικίας στην περιοχή Μυρτιά του Αιγίου. Επι των οδών Τιμοθέου Επισκόπου, Μητροπόλεως, Ζαίμη, Ερμού, Ρήγα Φερραίου, Πλατεία Αγίας Λαύρας, υπάρχουν πολλές οικοδομές με καθολική αστοχία στύλων του ισογείου και πλήρη διατμητική αστοχία των τοιχωμάτων του ισογείου και του πρώτου ορόφου. Λόγω αυτής της αστοχίας δημιουργήθηκε σε πολλές περιπτώσεις επικίνδυνος μηχανισμός κατάρρευσης του πλαισιακού φορέα του κτιρίου και έτσι λίγες μέρες μετά το σεισμό οργανώθηκε μια επιχείρηση υποστύλωσης των ισογείων ορόφων με σιδερένιες κοιλοδοκούς τετραγωνικής διατομής, οι οποίες πράγματι βοήθησαν σημαντικά στην αποφυγή πρόσθετων καταρρεύσεων από μετασεισμούς (Φωτ. 3). Χαρακτηριστικές είναι οι διατμητικού τύπου αστοχίες γωνιακών υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων.

Η ταχύτητα των συνεργειών υποστύλωσης με σιδερένιες κοιλοδοκούς και η τεχνική τους κατάρτιση συνετέλεσε στην εγκαίρη αντιμετώπιση των συνεπειών του ισχυρού αυτού σεισμού. Ο σεισμός και πάλι αποκάλυψε τις ήδη γνωστές από προηγούμενα συμβάντα ελλείψεις σε κατακόρυφους οπλισμούς και συνδετήρες, καθώς και την κακή διαμόρφωση των κόμβων. Η ποιότητα του σκυροδέματος, όσον αφορά τουλάχιστον τη συμπύκνωσή του δεν φάνηκε, από μακροσκοπικές παρατηρήσεις, να είναι η καλύτερη δυνατή.

Σημαντικές ήταν οι βλάβες και στα σπίτια απο φέρουσα τοιχοποιία που υπάρχουν στα περίχωρα του Αιγίου καθώς και στην περιοχή του Διακοφτού. Οι απαιτήσεις πλαστικότητας που αναπτύχθηκαν απο τον σεισμό ήταν κατά πολύ υψηλότερες απο αυτές που προέβλεπε ο αντισεισμικός κανονισμός του 1959 κυρίως για τα κτίρια με 4 έως και 6 ορόφους.

Η εδαφική δόνηση δεν είχε την ίδια ένταση σε όλες τις περιοχές του Αιγίου, και έτσι η πυκνότητα των βλαβών διαφοροποιείται σημαντικά. Η μοναδική καταγραφή της κύριας δόνησης προέρχεται από επιταχυνσιογράφο που ήταν εγκατεστημένος στο δώροφο κτίριο του Ο.Τ.Ε. απο το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Αστεροσκοπείου Αθηνών (στο δάπεδο του ισογείου). Οι μετασεισμοί καταγράφηκαν εκτός από το κτίριο του Ο.Τ.Ε. και στο κτίριο του Νοσοκομείου του Αιγίου. Από τις καταγραφές των μετασεισμών στη βάση και στην οροφή του υπογείου του Ο.Τ.Ε. δεν φαίνεται να προκύπτει σημαντική διαφοροποίηση στο συχνотικό περιεχόμενο των σημάτων (Σχ. 10). Βέβαια υπάρχει μια μικρή μετατόπιση του σήματος προς μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους. Ο εδαφικός κραδασμός είχε δεσπόζουσα περίοδο γύρω στο 0.45 sec που απέχει αρκετά απο την θεμελιώδη ιδιοπερίοδο του κτιρίου (0.19--0.28 sec). Ετσι θεωρείται ότι το κτίριο δεν επηρέασε την μορφή του επιταχυνσιογράμματος. Η πηγή έπαιξε τον καθοριστικό ρόλο στο συγκεκριμένο περιεχόμενο του εδαφικού κραδασμού. Το κτίριο του Ο.Τ.Ε. παρουσίασε θραύσεις στα κοντά υποστύλωματα επί της οδού Θεοδώρου και μικρές ρηγματώσεις στις εσωτερικές τοιχοποιίες κοντά στο κλιμακοστάσιο (Φωτ. 4). Η ιδιομορφική ανάλυση του κτιρίου του Ο.Τ.Ε., η οποία έγινε με το πρόγραμμα SUPERETABS, ακολουθώντας τις διατάξεις του Νέου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (NEAK), έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα για καθαρό πλαισιακό φορέα και για τον φορέα με την προσθήκη περιμετρικών πανέλων οπλισμένου σκυροδέματος (Πιν. 2).

Πιν. 2 Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κτιρίου Ο.Τ.Ε. Αιγίου

Ιδιομορφή	Χωρίς περιμετρικά πανέλα				Με περιμετρικά πανέλα			
	Ιδιοπερ. (sec)	Ενεργός μάζα (% ολικής)			Ιδιοπερ. (sec)	Ενεργός μάζα (% ολικής)		
		X	Y	Z		X	Y	Z
1	.280917	.422	.016	.210	.191444	.040	.748	.004
2	.198771	.003	.704	.017	.147645	.663	.018	.172
3	.173504	.200	.006	.424	.119691	.234	.001	.716
4	.094367	.190	.012	.011	.067378	.005	.183	.002
5	.075791	.064	.035	.170	.059652	.045	.001	.091
6	.059379	.048	.149	.030	.037941	.001	.046	.001
7	.048975	.059	.003	.121	.034609	.008	.000	.010
8	.036785	.004	.067	.010	.024323	.003	.003	.003
9	.026359	.010	.007	.007	.019397	.000	.000	.001
Σύνολο		1.000	1.000	1.000		1.000	1.000	1.000

Η σημαντική δυσκαμψία του κτιρίου του Ο.Τ.Ε. και ιδίως η μεγάλη του αντίσταση σε στρέψη συνέβαλαν στην καλύτερη συμπεριφορά του και στην απουσία σοβαρών βλαβών. Η περίπτωση του σεισμού του Αιγίου δείχνει ότι η θωράκιση των πόλεων του Ελληνικού χώρου από ισχυρούς σεισμούς κοντινού πεδίου θα πρέπει να αντιμετωπισθεί κατάλληλα από τους αρμόδιους φορείς, επειδή δεν φαίνεται να καλύπτονται ορισμένες σεισμικές δράσεις από το ΝΕΑΚ.

### 3.2 Απαιτήσεις πλαστικής συμπεριφοράς και επάρκεια σεισμικών συντελεστών των κανονισμών

Το ερώτημα της επάρκειας ή όχι των σεισμικών συντελεστών μετά από ένα τόσο ισχυρό σεισμό όπως αυτός του Αιγίου, είναι επίκαιρο και απασχολεί το σύνολο των αρμοδίων φορέων της χώρας. Η δόνηση του σεισμού, όπως προκύπτει από το φάσμα απόκρισης (Σχ. 11), φόρτισε τόσο τα χαμηλά όσο και τα υψηλά κτίρια της ευρύτερης περιοχής του Αιγίου. Σίγουρα αντίστοιχες σεισμικές δράσεις δεν θα μπορούσαν να "προβλεφθούν" από ένα κανονισμό. Έτσι λοιπόν η θωράκιση των πόλεων του Ελληνικού χώρου όπως προκύπτει και από προηγούμενα σεισμικά συμβάντα, θα πρέπει να αντιμετωπισθεί και με άλλους τρόπους, επειδή δεν φαίνεται να καλύπτονται επαρκώς οι σεισμικές δράσεις από τους σεισμικούς συντελεστές και τα προτεινόμενα αντίστοιχα φάσματα σχεδιασμού.

Το Αίγιο σύμφωνα με τον αντισεισμικό κανονισμό του 1959 κατατάσσεται σε ζώνη σεισμικότητας II, για την οποία, ανάλογα με την κατηγορία εδάφους, έχουμε τρεις τιμές του σεισμικού συντελεστή  $\epsilon = 0.06, 0.08, 0.12$ . Οι σεισμικοί συντελεστές για τη μέθοδο της συνολικής αντοχής με ένα μέσο συντελεστή ασφάλειας 1.75 θα είναι 0.10, 0.13, 0.20 αντίστοιχα. Οι τιμές απαιτήσεων πλαστικής συμπεριφοράς είναι πολύ μεγάλες, ιδιαίτερα για την περιοχή ιδιοπεριόδων 0.4 έως 0.7 sec (Σχ. 11). Βέβαια η υιοθέτηση συνεχώς μεγαλύτερων σεισμικών συντελεστών θα καθιστούσε ασύμφορη έως και αδύνατη την κατασκευή κτιρίων με σύγχρονες απαιτήσεις. Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι ένας σεισμικός συντελεστής που καλύπτει ικανοποιητικά μία σεισμική δράση, δεν σημαίνει ότι οδηγεί πάντοτε στο σχεδιασμό ενός ασφαλούς κτιρίου, εάν δεν τηρηθούν και οι υπόλοιποι κανόνες και κριτήρια σχεδιασμού. Μία πρόσθετη σύγκριση του φάσματος σχεδιασμού κατά ΝΕΑΚ δίνει αντίστοιχη εικόνα της απόστασης των τιμών του σχεδιασμού από τις παρατηρηθείσες τιμές (Σχ. 11).

Η ύπαρξη προσθέτων περιθωρίων ασφαλείας των κατασκευών (π.χ. ισχυρά τοιχώματα, τοιχοπληρώσεις, σύνθεση κάτοψης, δεσίματα) συνέβαλλαν στην διάσωση πολλών κατασκευών στην περιοχή του Αιγίου όπου καταγράφηκε η συγκεκριμένη



εδαφική διέγερση. Οσημαντικός ρόλος που παίζει ο τρόπος διαμόρφωσης του σκελετού φάνηκε περίτρανα και στο σεισμό του Αιγίου.

Η εμπειρία των σεισμικών συμβάντων των τελευταίων ετών στην Ελλάδα δείχνει ότι οι τιμές της ενεργού επιτάχυνσης για κάθε ζώνη στον Ελληνικό χώρο θα έπρεπε να τροποποιηθούν με βάση τα καινούργια δεδομένα από σεισμούς κοντινού πεδίου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά το σεισμό του Αιγίου παρατηρήθηκε έντονα το φαινόμενο της ανισότροπης ακτινοβολίας της ισχυρής σεισμικής κίνησης στο κοντινό πεδίο. Η ενεργός επιτάχυνση του σεισμού αυτού στη πόλη του Αιγίου ήταν πολύ υψηλότερη από εκείνη που προβλέπει ο ΝΕΑΚ για τη ζώνη ΙΙΙ.

Το κτίριο του Ο.Τ.Ε., σύμφωνα με την ιδιομορφική του ανάλυση, δεν φαίνεται να επηρέασε το σήμα που καταγράφηκε στο δάπεδο του ισόγειου. Το επιταχυνσιόγραμμα φαίνεται να μην διαφοροποιείται σημαντικά από το δάπεδο στην οροφή του υπογείου.

Οι γραμμές άμυνας για σεισμική διέγερση σε μία κατασκευή, εκτός από την αντοχή και την πλαστιμότητα, είναι και η κατάλληλη ιεράρχηση της δημιουργίας των πλαστικών αρθρώσεων, η οποία μπορεί να αποτρέψει την ανάπτυξη του μηχανισμού κατάρρευσης.

Η εμπειρία των σεισμικών συμβάντων των τελευταίων ετών στην Ελλάδα δείχνει ότι οι τιμές της ενεργού επιτάχυνσης για κάθε ζώνη στον Ελληνικό χώρο θα έπρεπε να τροποποιηθούν με βάση τα καινούργια δεδομένα από σεισμούς κοντινού πεδίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αναγνωστόπουλος Σ., (1986) : Στοιχεία αντισεισμικής δυναμικής ανάλυσης κατασκευών με φάσματα απόκρισης-σχεδιασμού, *Εργασία ΙΤΣΑΚ 86-01, Θεσσαλονίκη*, σελ. 56.

Anagnostopoulos S., D. Rinaldis, V. Lekidis, V. Margaris and N. Theodulidis (1986): The Kalamata, Greece earthquake of September 13, 1986. *Earthq. Spectra*, 3, 365-402.

Αναγνωστόπουλος, Σ.Α., Β.Α. Λεκίδης, Ν.Π. Θεοδουλίδης, Β.Ν. Μάργαρης, (1989): Οι σεισμοί της Καλαμάτας του 1986: Συσχετισμοί καταγραφών με τους σεισμικούς συντελεστές του κανονισμού. Επισημάνσεις και συμπεράσματα, *Πρακτ. 9ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Καλαμάτα 1989*, 2, 284-289. *Seism. Soc. Am.*, 34, 185-188.

FEMA, NEHRP recommended provisions for the development of seismic regulations for new buildings, Build. Seismic Safety Council, Part 2- Commentary, Washington D.C., 1985.

Lekidis, V.A., N.P. Theodulidis, V.N. Margaris, D.J. Papastamatiou, (1992): Observations and lessons learned from recent earthquakes in Greece, *Proceedings of the 10WCEE, July 1992 Madrid*, 1, 21-26.

Μάργαρης, Β.Ν. (1994): Αξιμολογική εξάρτηση των σεισμικών κυμάτων στον Ελληνικό χώρο και επίδρασή της στη σεισμική επικινδυνότητα, *Διδ. Διατρ. Πανεπιστήμιο. Θεσ/νίκης*, 324 σελ.



Margaris, V. N. and B.C. Papazachos (1994): Implication of the azimuthal variation of seismic intensities in seismic hazard assessment, *Proc. XXIV Gen.Ass. ESC Athens, September 1994*, (in press).

Pitilakis K., V. Margaris, V. Lekidis, N. Theodulidis and A. Anastasiadis (1992): The Griva northern Greece earthquake of December 21, 1990, *Europ. Earthq. Engin.*, 6, 20-35.

Θεοδουλίδης, Ν., Β. Λεκίδης, Β. Μάργαρης, Χ. Παπαϊωάννου, Κ. Παπαζάχος, και Π. Δημητρίου. (1995). Μελέτη της ισχυρής σεισμικής κίνησης και των συνεπειών της στους οικισμούς της πλειόσειστης περιοχής των νομών Κοζάνης-Γρεβενών (Σεισμός της 13ης Μαΐου 1995): Επεξεργασία των επιταχυνσιογραμμάτων, απόσβεση της ισχυρής σεισμικής κίνησης στην περιοχή, σεισμική επικινδυνότητα - σεισμός σχεδιασμού στους οικισμούς, κατανομή και είδη σεισμικών βλαβών στους οικισμούς, *Εργασία ΙΤΣΑΚ: 95-01*, 1-19.

Λεκίδης, Β., Α., Αναγνωστόπουλος, Σ., Α., "Διερεύνηση της σεισμικής απόκρισης του Διοικητηρίου της Καλαμάτας". Πρακτικά 1ου συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Μάιος 1992. Τόμος II σελ.331.

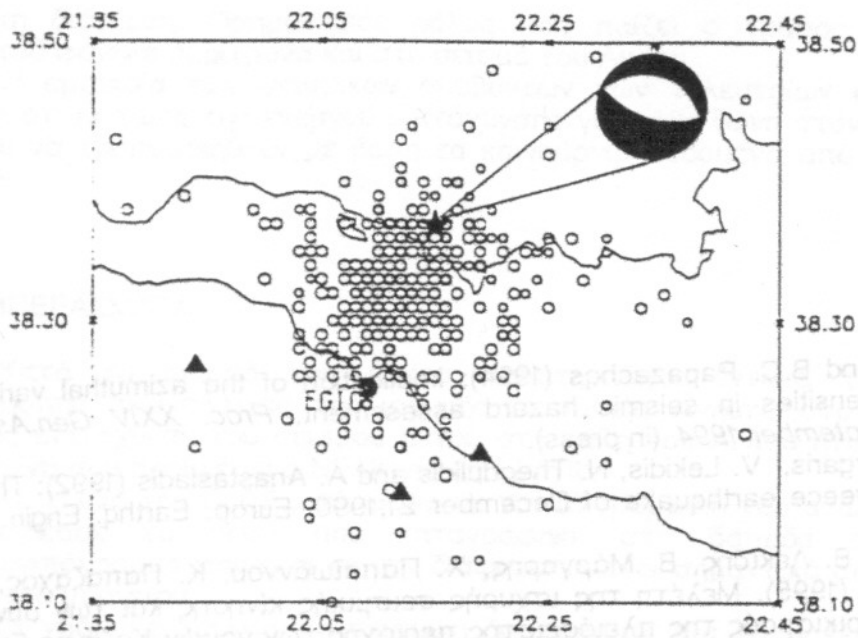
Λεβεντάκης, Γ., Α., Λεκίδης, Β., Α., Ζαχαρόπουλος, Ε., Ι., Παπαϊωάννου, Χ., Κυρατζή, Α., Τσόκας, Γ. "Ισοβλαβείς της πόλης της Καλαμάτας". Πρακτικά 1ου συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Μάιος 1992. Τόμος II σελ.321.

Lekidis, V., A., Manos, G., H., "Observations and classification of buildings damaged by a strong earthquake". Proceedings of International Seminar: "Post-earthquake emergency damage and usability assessment of buildings". Athens 22-24 1993.

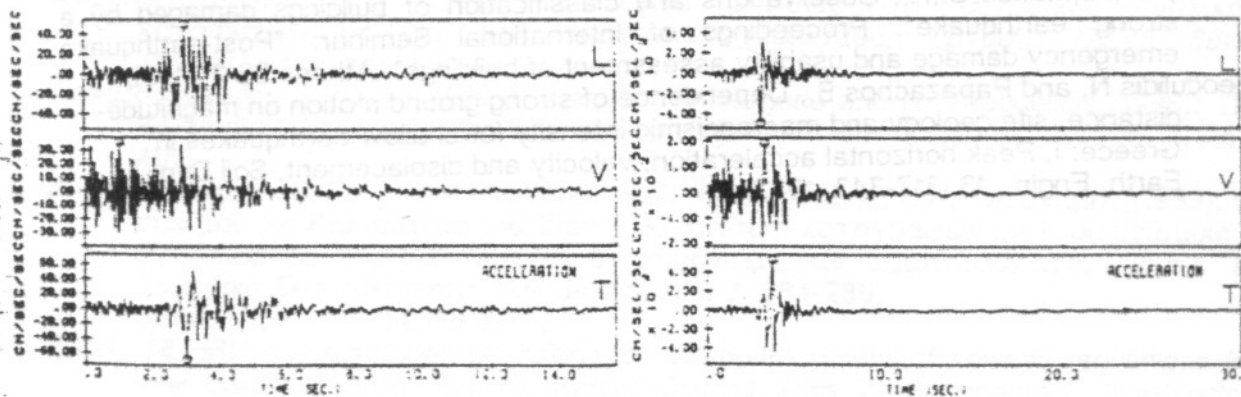
Theodulidis N. and Papazachos B., Dependence of strong ground motion on magnitude-distance, site geology and macroseismic intensity for shallow earthquakes in Greece: I, Peak horizontal acceleration, velocity and displacement, *Soil Dyn. & Earth. Engin.*, 13, 317-343, 1992.



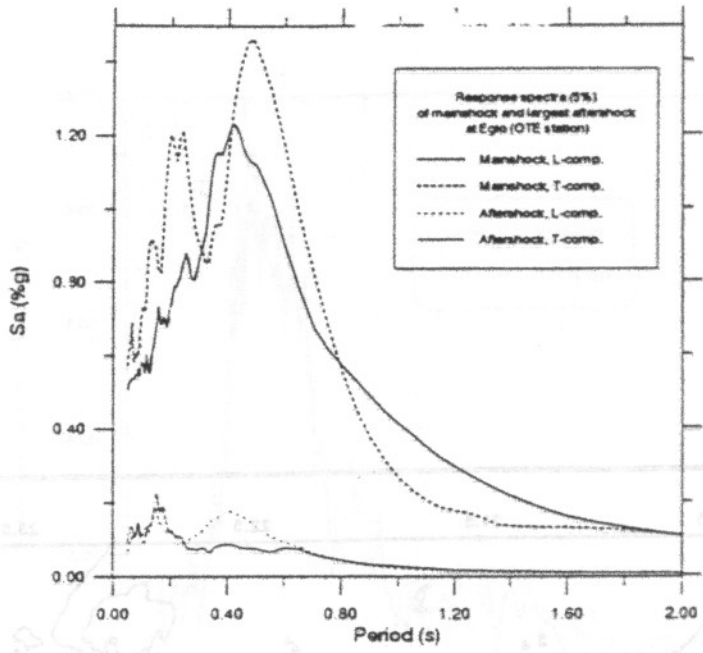
υποαπόλογα μου για (ερωτήσεις) οργάνω στο υπομνηστο υοιόμου του επιταχυνσιογραμμάτων (Σελ. 32)



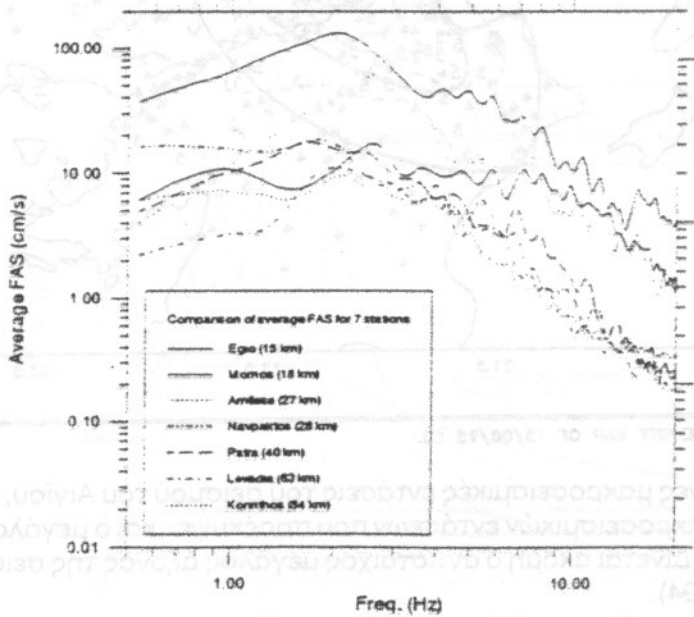
Σχ. 1 Κατανομή των επικέντρων μετασεισμών της ακολουθίας του σεισμού του Αιγίου (15-6-1996). Με τρίγωνα δίνονται οι σταθμοί φορητών σειсмоγράφου που τοποθετήθηκαν μετά τον κύριο σεισμό (Papanastasiou et al. 1995) και με αστερίσκο το επίκεντρο του κύριου σεισμού του οποίου ο μηχανισμός γένεσης δείχνει ρήγμα κανονικής διάρρηξης.



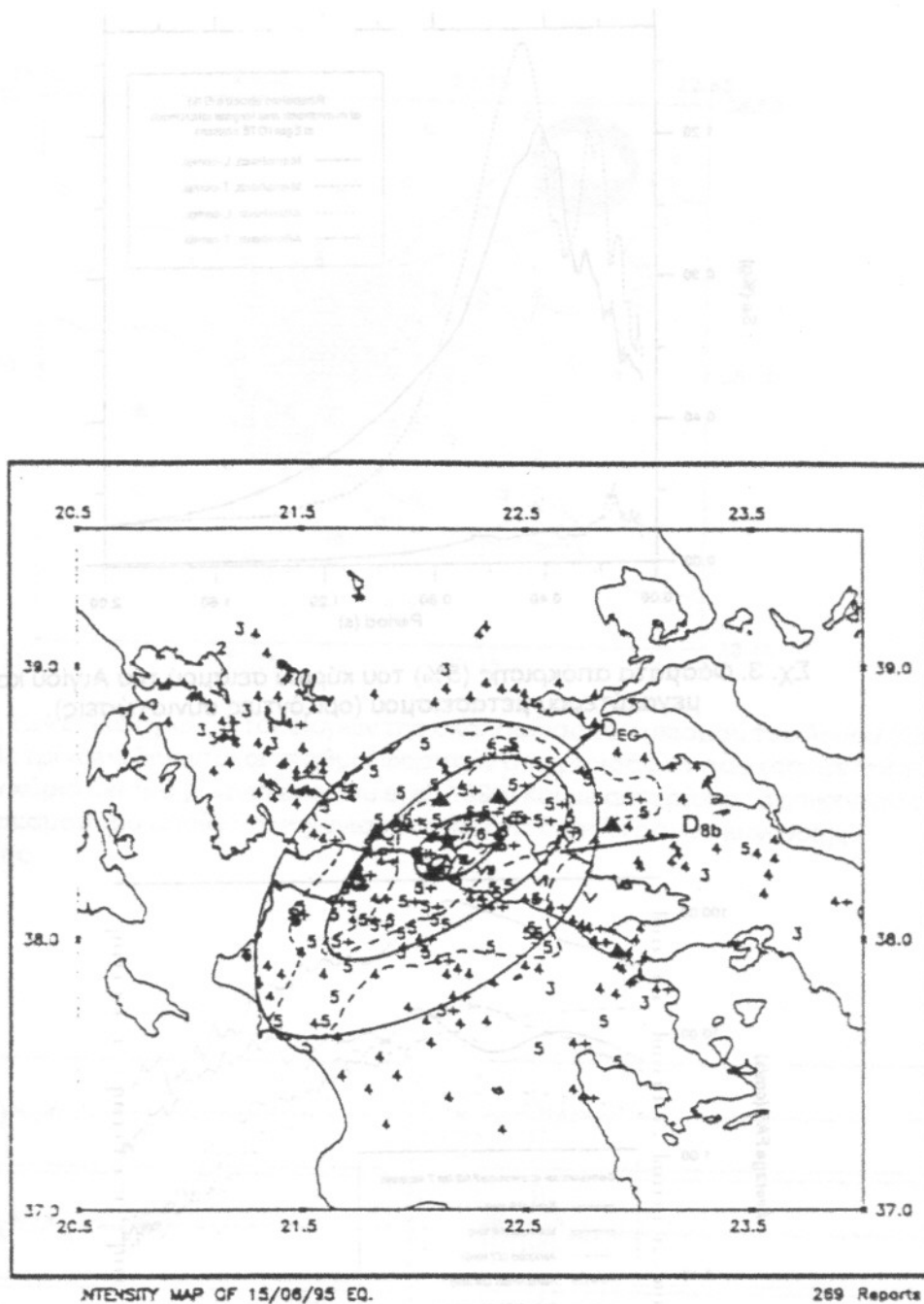
Σχ. 2 Επιταχυνσιόγραμμα του κύριου σεισμού στο Αίγιο (αριστερά) και του μεγαλύτερου μετασεισμού (δεξιά).



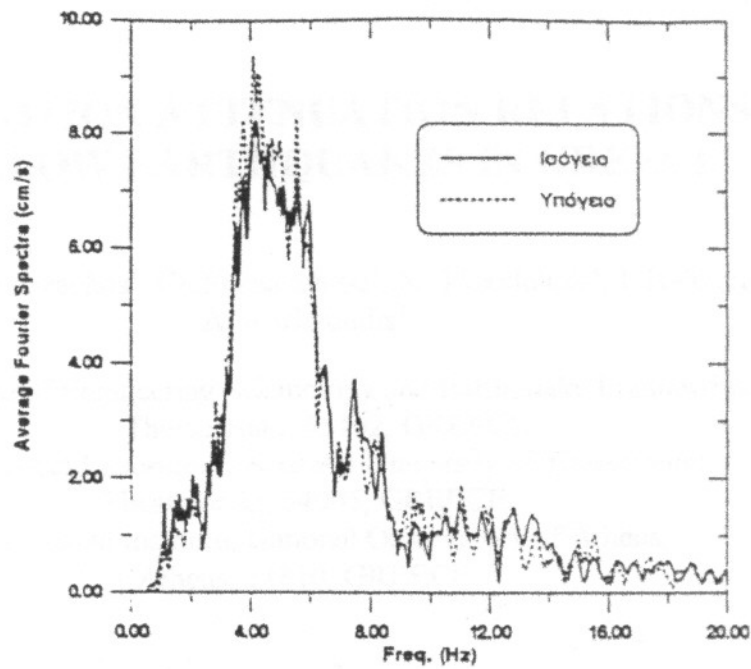
Σχ. 3. Φάσματα απόκρισης (5%) του κύριου σεισμού του Αιγίου και του μεγαλύτερου μετασεισμού (οριζόντιες συνιστώσεις).



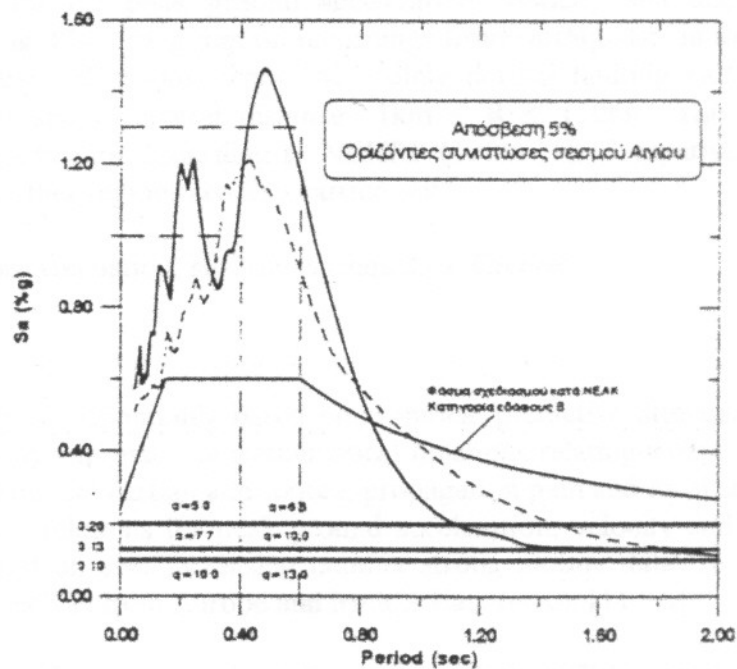
Σχ. 4. Μέσα φάσματα Fourier των οριζόντιων συνιστωσών στις επτά θέσεις των σταθμών επιταχυνσιογράφων.



Σχ. 5. Οι παρατηρημένες μακροσεισμικές εντάσεις του σεισμού του Αιγίου, το ελλειψοειδές μοντέλο των μακροσεισμικών εντάσεων που προέκυψε και ο μεγάλος άξονας του μοντέλου. D<sub>8a</sub>. Δίνεται ακόμη ο αντίστοιχος μεγάλος άξονας της σεισμικής πηγής 8b (Μάργαρης 1994).



Σχ. 10 Μέσα φάσματα Fourier των οριζοντίων συνιστωσών του μετασεισμού στο ισόγειο και στο υπόγειο του κτιρίου του ΟΤΕ Αιγίου



Σχ. 11 Συγκρίσεις των φασμάτων απόκρισης του κυρίως σεισμού του Αιγίου με το ελαστικό φάσμα κατά ΝΕΑΚ (έδαφος Β) και τους σεισμικούς συντελεστές του Κανονισμού του 1959 (τροποποίηση 1984)