

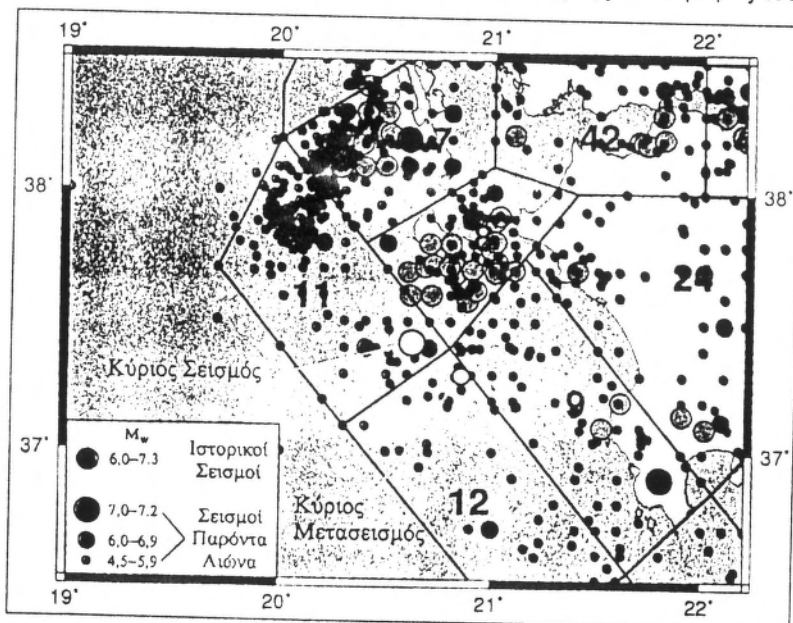
Η ισχυρή εδαφική κίνηση και η συμπεριφορά των κατασκευών κατά τον σφοδρό σεισμό ($M_w=6,6$) της Ζακύνθου στις 18 Νοεμβρίου 1997

ΠΡΩΤΗ ΕΚΘΕΣΗ

ΤΩΝ Β. ΜΑΡΓΑΡΗ, Κ. ΠΑΠΑΖΑΧΟΥ, Χ. ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ
(Δρ. ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΟΙ - ΕΡΕΥΝΗΤΕΣ ΙΤΣΑΚ),
Π. ΚΟΛΙΟΠΟΥΛΟΥ ΚΑΙ Β. ΛΕΚΙΔΗ
(Δρ. ΠΟΛΙΤΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ - ΕΡΕΥΝΗΤΕΣ ΙΤΣΑΚ)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις 18 Νοεμβρίου 1997 και ώρα Ελλάδας 15.08 ένας σφοδρός σεισμός μεγέθους ροπής $M_w=6,6$ (φ: $37,42^\circ$ Β, λ: $20,62^\circ$ Α) έγινε στο Νοτιοδυτικό Ιόνιο. Στις 15.13 ακολούθησε ο ισχυρότερος μετασεισμός της ακολουθίας με μέγεθος $M_w=6,0$, ενώ στις 17.23 έγινε ένας ακόμη σεισμός με μέγεθος $M_w=5,5$. Τους σεισμούς αυτούς ακολούθησε σειρά από άλλους μετασεισμούς, με τελευταίο ισχυρό μετασεισμό αυτόν της 10ης Ιανουαρίου 1998, ο οποίος είχε μέγεθος $M_w=5,5$. Ο σεισμός αυτός δημιουργήθηκε από μια ανάστροφη διάρρηξη με πολύ έντονη δεξιόστροφη συνιστώσα ολίσθησης, που είναι αποτέλεσμα της γρήγορης νοτιοδυτικής κίνησης της λιθόσφαιρας του



Σχήμα 1. Σεισμικότητα και σεισμικές ζώνες (κατά Παπαζάχο και Παπαϊωάννου, 1997) στην ευρύτερη περιοχή της Ζακύνθου. Στο σχήμα παρουσιάζονται τόσο οι ιστορικοί όσο και οι σεισμοί του παρόντος αιώνα, οι οποίοι έχουν προσδιορισθεί από ενόργανες καταγραφές, ενώ με κίτρινους κύκλους σημειώνεται η θέση του κύριου σεισμού και του κύριου μετασεισμού της Ζακύνθου.

Αιγαίου και της προς Βορρά κίνησης της λιθόσφαιρας της ανατολικής Μεσογείου σε σχέση με την Ευρώπη (Parazachos 1997).

Ο χάρτης του σχήματος (1) δίνει τη γεωγραφική κατανομή των epicέντρων των επιφανειακών σεισμών, οι οποίοι έχουν γίνει στην ευρύτερη περιοχή κατά τον παρόντα αιώνα. Τρία διαφορετικά σύμβολα έχουν χρησιμοποιηθεί, όπως φαίνεται και στο υπόμνημα, για τρία διαστήματα μεγεθών. Στον ίδιο χάρτη δίνονται και τα epicέντρα των ιστορικών σεισμών με μεγέθη $M \geq 6,0$ (Parazachos and Parazachou, 1997). Οι δύο κίτρινοι κύκλοι δίνουν τα epicέντρα των δυο ισχυρότερων σεισμών της ακολουθίας του Νοεμβρίου, όπως υπολογίστηκαν από το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Φαίνονται επίσης και οι εσμογόνες πηγές της περιοχής, όπως έχουν οριστεί από τους Παπαζάχο και Παπαϊωάννου (1997).

Ο σεισμός της 18ης Νοεμβρίου έγινε στη σεισμική πηγή (11). Τέσσερις ισχυροί σεισμοί με μεγέθη $M \geq 6,0$ έχουν συμβεί κατά τον παρόντα αιώνα στη σεισμική αυτή πηγή. Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των παραμέτρων σεισμικότητας, όπως υπολογίστηκαν από τους Παπαζάχο και Παπαϊωάννου (1997), η μέση περίοδος επανάληψης ενός σεισμού μεγέθους 6,0 και 6,5 για την πηγή αυτή είναι 10 και 30 χρόνια, αντίστοιχα. Ο Παπαζάχος και οι συνεργάτες του (1997), με εφαρμογή του χρονικά εξαρτημένου μοντέλου σεισμικότητας για την πρόγνωση ισχυρών σεισμών, έδωσαν πιθανότητα 76% να παρατηρηθεί σεισμός στη σεισμική αυτή πηγή, κατά το χρονικό διάστημα 1996-2010, και το αναμενόμενο μέγεθος του σεισμού ήταν 6,5. Η γένεση του τελευταίου σεισμού επιβεβαίωσε την πρόγνωση και δείχνει ότι τα χρονικά εξαρτημένα μοντέλα σεισμικότητας δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη προληπτικών μέτρων και την εκπόνηση μεσοπρόθεσμων σχεδίων αντισεισμικής προστασίας (προσεισμικός έλεγχος χώρων μαζικής συγκέντρωσης πληθυσμού, ενίσχυση υφισταμένων κατασκευών, σχέδια για τη συγκέντρωση πληθυσμού, κλπ.).

2. ΙΣΧΥΡΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ 18 ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 1997

Η ισχυρή σεισμική κίνηση του σεισμού της Ζακύνθου ($M_w=6,6$) καταγράφηκε από τα πλησιέστερα εγκατεστημένα όργανα ισχυρής σεισμικής κίνησης του Ινστιτούτου Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ) της Θεσσαλονίκης. Τα όργανα αυτά ανήκουν στο μόνιμο στοματικό τύπου SMA-1 και όπως φαίνεται στο σχήμα (2) βρίσκονται εγκατεστημένα στις πόλεις της Ζακύνθου (καταγραφή ΖΑΚ97-3), Πύργου (καταγραφή ΡΥΡ97-1), Κυπαρισσίας (καταγραφή ΚΥΡ97-3), Καλαμάτας (καταγραφή ΚΑΛ97-2) και στην κοινότητα της Κορώνης (καταγραφή ΚΡΝ97-3). Στο ίδιο σχήμα δίνεται και ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού όπως υπολογίστηκε από το Πανεπιστήμιο του Harvard. Το όριο διεγέρσης των οργάνων αυτών είναι ίσο με 0.005 g (g: επιτάχυνση βαρύτητας).

Αμέσως μετά τον κύριο σεισμό στις 18 Νοεμβρίου 1997, το ΙΤΣΑΚ, στα πλαίσια του προγράμματος μελέτης των μετασεισμικών ακολουθιών ισχυρών σεισμών, έστειλε δύο κλιμάκια ειδικών στη σεισμολογία

περιοχή, όπου και εγκατέστησαν ένα δίκτυο από 5 ψηφιακούς επιταχυνσιογράφους, στις θέσεις Κάτω και Ανω Κερίου Ζακύνθου, Κατακώλου, Ζαχάρως και Φιλιατρών. Ο σκοπός της εγκατάστασης του δικτύου αυτού ήταν η συστηματική παρακολούθηση της μετασεισμικής ακολουθίας και η καταγραφή ισχυρών μετασεισμικών δονήσεων. Η καταγραφή μετασεισμικών από το δίκτυο αυτό ολοκληρώθηκε πρόσφατα. Στην παρούσα μελέτη δίνονται οι καταγραφές από τον κύριο σεισμό της 18ης Νοεμβρίου 1997, από τα όργανα του μόνιμου δικτύου του ΙΤΣΑΚ και εξετάζονται οι επιπτώσεις του σεισμού στις τεχνικές κατασκευές.

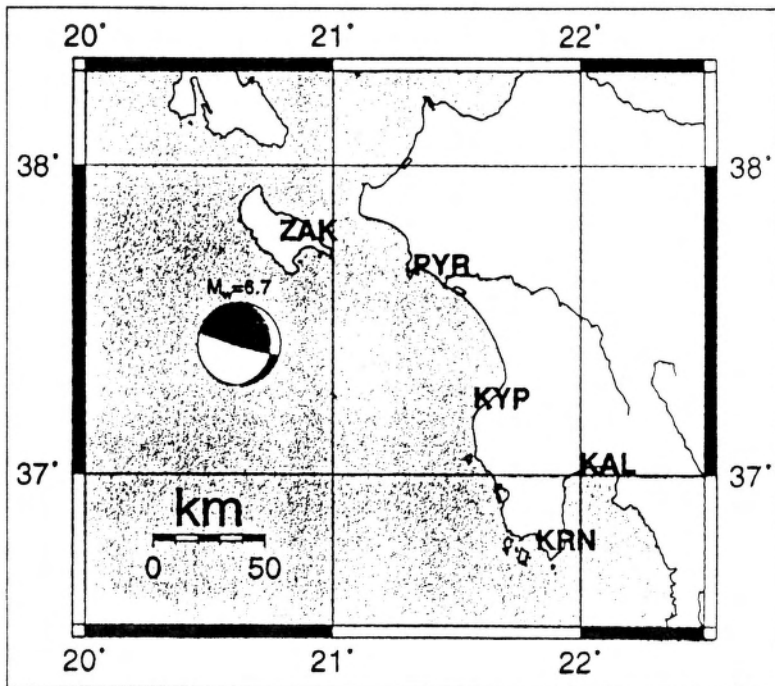
Τα 5 επιταχυνσιογράμματα του κύριου σεισμού της Ζακύνθου είναι δυνατόν να δώσουν μια σειρά από αξιόλογες πληροφορίες σχετικά με τα σημαντικά χαρακτηριστικά της ισχυρής σεισμικής κίνησης, όπως η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα και μετάθεση, η διάρκεια της ισχυρής κίνησης, καθώς και οι φασματικές τιμές της κίνησης. Εγινε επεξεργασία και διόρθωση των καταγραφών αυτών με βάση την πάγια διαδικασία διόρθωσης που ακολουθεί το ΙΤΣΑΚ (Margaris, 1994a), ενώ υπολογίστηκαν και τα αντίστοιχα φάσματα απόκρισης των καταγραφών αυτών. Στο σχήμα (3) δίνονται οι διορθωμένες οριζόντιες συνιστώσες των επιταχυνσιογραμμάτων, όπου παρατηρήθηκαν τα μέγιστα πλάτη. Στο ίδιο σχήμα δίνεται ο κωδικός της καταγραφής που καθορίζει και τη θέση καταγραφής (π.χ. ZAK97-3 σημαίνει 3η καταγραφή που καταγράφηκε στην Ζάκυνθο στο 1997). Επίσης στο σχήμα (3) αναγράφεται η μέγιστη οριζόντια συνιστώσα του επιταχυνσιογράμματος (π.χ. transverse = εγκάρσια και longitudinal = επιμήκης) και η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (π.χ. PGA = 255.9 cm/s²). Στον Πίνακα 1 δίνονται οι μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις και ταχύτητες των 3 συνιστωσών του σεισμού.

Βασικό στοιχείο της ισχυρής κίνησης είναι η διάρκεια της, η οποία αποτελεί σημαντική παράμετρο της διαδικασίας σχεδιασμού κυρίως μεγάλων τεχνικών έργων. Διάφοροι ορισμοί της διάρκειας της ισχυρής κίνησης έχουν δοθεί κατά καιρούς. Ο ορισμός της περιβαλλόμενης διάρκειας (Bolt, 1974) και της σημαντικής διάρκειας (Trifunac and Brady, 1975) είναι δύο από τους πλέον διαδεδομένους ορισμούς της διάρκειας και έχουν εφαρμοστεί στην Ελλάδα και το εξωτερικό (Bertero, 1992, Papazachos et al., 1992, Μάργαρης 1994b).

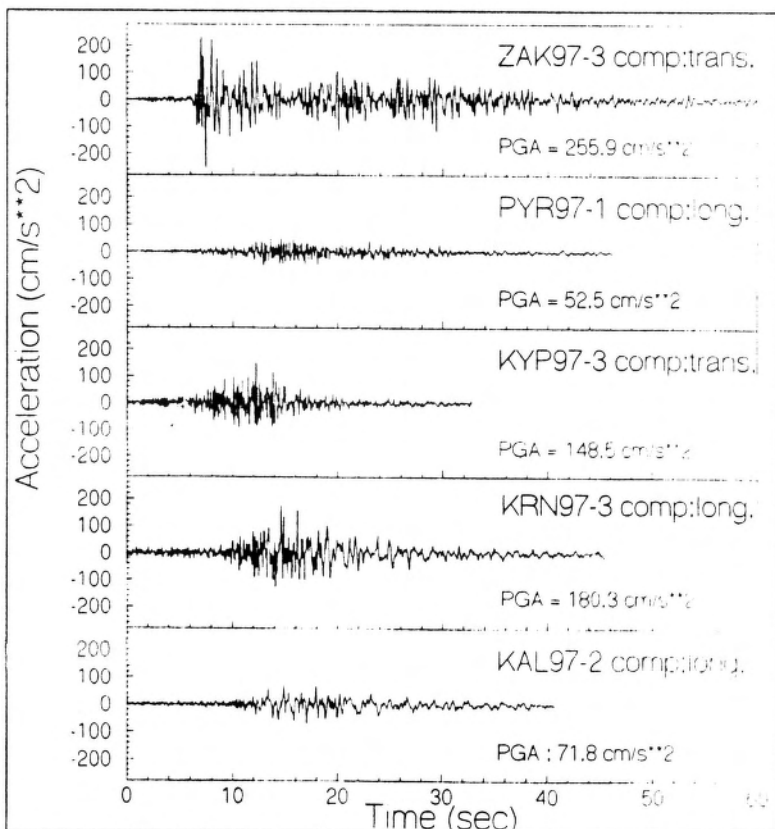
Πίνακας 1. Μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις και ταχύτητες των 3 συνιστωσών των επιταχυνσιογραμμάτων του σεισμού της 18ης Νοεμβρίου 1997.

α/α	ΘΕΣΗ	ΚΩΔΙΚΟΣ	Επιτάχυνση (cm/sec ²)			Ταχύτητα (cm/sec)		
			L	V	T	L	V	T
1	Ζάκυνθος	ZAK97-3	225.0	83.3	255.9	16.5	7.6	21.5
2	Πύργος	PYR97-1	52.5	36.6	51.3	3.6	2.7	5.3
3	Κυπαρισσία	KYP97-3	145.1	79.0	148.5	11.6	4.0	8.3
4	Κορώνη	KRN97-3	180.3	73.5	141.0	16.6	8.4	15.2
5	Καλαμάτα	KAL97-2	71.7	26.8	62.3	8.7	3.5	10.1

Η περιβαλλόμενη διάρκεια ορίζεται ως ο χρόνος μεταξύ της πρώτης και τελευταίας εκτροπής της απόλυτης τιμής της εδαφικής επιτάχυνσης πάνω από κάποιο προκαθορισμένο επίπεδο μέτρησης της επιτάχυνσης (π.χ. >5%, οπότε η σεισμική κίνηση θεωρείται ισχυρή). Συνήθως η περιβαλλόμενη διάρκεια



Σχήμα 2. Σταθμοί καταγραφής (επιταχυνσιογράφοι) της ισχυρής σεισμικής κίνησης του σεισμού της Ζακύνθου που ανήκουν στο μόνιμο δίκτυο του ΙΤΣΑΚ. Επίσης παρουσιάζεται και ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού της 18ης Νοεμβρίου 1997.



Σχήμα 3. Επιταχυνσιογραφήματα της μέγιστης οριζόντιας συνιστώσας του σεισμού της 18ης Νοεμβρίου 1997.

μετρείται για τρία βασικά επίπεδα εδαφικής επιτάχυνσης (π.χ. > 0% g ολόκληρο το επιταχυνσιόγραμμα, >5% g και >10% g ισχυρή σεισμική κίνηση). Ο ορισμός της σημαντικής διάρκειας η οποία βασίζεται στη χρονική εξέλιξη της έντασης κατά Arias μιας καταγραφής ισχυρής κίνησης, παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον για τη μελέτη θεμάτων αντισεισμικής τεχνολογίας και ειδικά για χαλαρό έδαφος, μικρής ακαμψίας (π.χ. σεισμός Μεξικού 1985). Στον Πίνακα 2 δίνονται οι τιμές της περιβαλλόμενης διάρκειας της ισχυρής κίνησης για τρία επίπεδα μέτρησης της εδαφικής επιτάχυνσης (0%, 5% και 10% g) των δύο οριζοντίων συνιστωσών των καταγραφών ισχυρής κίνησης του κύριου σεισμού της 18ης Νοεμβρίου 1997. Στον ίδιο πίνακα δίνονται και οι τιμές της σημαντικής διάρκειας των οριζοντίων συνιστωσών των ιδίων καταγραφών.

Πίνακας 2. Τιμές περιβαλλόμενης διάρκειας για τρία επίπεδα εδαφικής επιτάχυνσης (0%, 5% και 10% g) και σημαντικής διάρκειας για τις οριζόντιες συνιστώσες των καταγραφών ισχυρής κίνησης του σεισμού της 18ης Νοεμβρίου 1997.

Καταγραφή	Συνιστώσα	Περιβαλλόμενη Διάρκεια (sec)			Σημαντική Διάρκεια (sec)
		0%	5%	10%	
ZAK97-3	L	65.5	28.0	18.2	29.5
	T	65.5	34.3	22.8	28.3
PYR97-1	L	46.2	1.9	-	20.6
	T	46.2	0.1	-	24.1
KYP97-3	L	32.8	7.2	4.5	10.6
	T	32.8	8.8	3.8	12.0
KRN97-3	L	45.5	16.3	5.2	16.7
	T	45.5	13.5	5.5	17.3
KAL97-2	L	40.8	5.5	-	19.3
	T	40.8	5.1	-	23.2

3. ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Ιδιαίτερα χαρακτηριστική είναι η παρουσία έντονης κατευθυντικότητας στη διάδοση της σεισμικής ενέργειας για το συγκεκριμένο σεισμό. Στο σχήμα (4) παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή της μέσης τιμής των δύο οριζόντιων συνιστωσών της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης. Οι τιμές αυτές έχουν διορθωθεί για τις εδαφικές συνθήκες των θέσεων καταγραφής σύμφωνα με τη σχέση του Θεοδουλίδη (1991). Παρατηρούμε ότι οι «ανηγμένες» αυτές τιμές παρουσιάζουν έντονη κατευθυντικότητα. Συγκεκριμένα, για την πόλη του Πύργου (απόσταση 77 km) η τιμή της μέγιστης επιτάχυνσης (5%g) είναι μισή από αυτή της Κορώνης (10-11%g), η οποία βρίσκεται σε σχεδόν διπλάσια απόσταση (136 km).

Για να μπορέσει ένα μοντέλο απόσβεσης να προβλέψει τέτοιες «ανώμαλες» διαφοροποιήσεις πρέπει να μπορεί να λάβει υπόψη αυτή την ανισότροπη κατανομή της σεισμικής ενέργειας, η οποία οφείλεται κυρίως στην ακτινοβολία της σεισμικής ενέργειας από την εστία και κατά δεύτερο λόγο στη μη ομοιόμορφη απόσβεση της σεισμικής ενέργειας. Ένα

τέτοιο μοντέλο έχει προταθεί για τις σεισμικές εντάσεις (Papazachos, 1992) και εδώ έχει επεκταθεί για μέγιστες επιταχύνσεις με βάση τις σχέσεις έντασης - επιτάχυνσης (Θεοδουλίδης 1991, Theodoulidis and Papazachos, 1994). Στο σχήμα (4) παρουσιάζονται επίσης οι ελλείψεις, οι οποίες έχουν κατασκευαστεί με αυτή την τεχνική και οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές μέγιστης επιτάχυνσης 20 και 10%g.

Η έντονη κατευθυντικότητα της σεισμικής ενέργειας στην περιοχή είναι συστηματικό φαινόμενο, όπως μπορεί να διαπιστωθεί από την εξέταση της μορφής των ισοσειστών στην περιοχή του Ιονίου. Με βάση την ελλειπτικότητα των καμπυλών ισης μέγιστης επιτάχυνσης μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά η ταχύτητα διάρρηξης του ρήγματος, η οποία για την περίπτωση μας βρέθηκε ίση με $u = 0,8 \theta$, όπου θ η ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων κοντά στην εστία του σεισμού. Η τιμή αυτή είναι πολύ κοντά στη μέση προτεινόμενη τιμή ($u = 0,72 \theta$), η οποία έχει προκύψει από παρατηρήσεις (Παπαζάχος, 1990).

4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Αναλυτικές και πειραματικές συγκρίσεις της επιβάρυνσης κατασκευών υπό τη δράση ισχυρών εδαφικών κινήσεων, έχει καταδείξει ότι η καταστρεπτικότητα ενός σεισμού δεν εξαρτάται μόνον από τις μέγιστες μονοπαραμετρικές τιμές της εδαφικής κίνησης, αλλά και από το ενεργειακό της περιεχόμενο. Είναι προφανές ότι εδαφικές κινήσεις με πλούσιο ενεργειακό περιεχόμενο επιβάλλουν ανάλογες απαιτήσεις μηχανισμών απορρόφησης της εισαγόμενης ενέργειας στην κατασκευή (Koliopoulos et al., 1998). Στον πίνακα (3) συγκρίνονται οι μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις των οριζόντιων συνιστωσών, άνω του 10%g, που καταγράφηκαν στη Ζάκυνθο, στην Κορώνη και την Κυπαρισσία με τον Δείκτη Συνολικής Ενέργειας (Total Energy Index). Ο δείκτης αυτός ισούται με την ταχύτητα, η οποία προσδίδει κινητική ενέργεια ανά μονάδα μάζας, ίση με το μέσο όρο της εισαγόμενης ενέργειας σε ταλαντωτές με ιδιοπερίοδο 0.1-2.0 sec. Κατά συνέπεια, ο δείκτης αυτός παρουσιάζει μια συνολική εικόνα της επιβάρυνσης όλων των ταλαντωτών στο υπόψη εύρος ιδιοπεριοδών.

Πίνακας 3. Συγκριτική παρουσίαση μέγιστων τιμών εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) και αντιστοιχού δείκτη συνολικής ενέργειας (Total Energy Index) για τις οριζόντιες συνιστώσες των καταγραφών ισχυρής κίνησης του σεισμού της 18ης Νοεμβρίου 1995.

	PGA (cm/sec ²)	TEI (cm/sec)
ZAK97-3	255.0/255.9	50.9/67.4
KRN97-3	180.3/141.0	60.1/63.6
KYP97-3	145.1/148.5	29.4/20.8

Από τη σύγκριση καθίσταται φανερό ότι η εδαφική κίνηση στην Κορώνη έχει πλούσιο ενεργειακό περιεχόμενο, το οποίο είναι συγκρίσιμο με αυτο της καταγραφής της Ζακύνθου, παρά το γεγονός ότι η τε-

λευταία παρουσιάζει υψηλότερες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης. Το γεγονός αυτό πιθανότατα οφείλεται στην έντονη κατευθυντικότητα της διάδοσης της σεισμικής ενέργειας προς την πλευρά της Κορώνης, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Αυτή η διαπίστωση βρίσκεται σε αντιστοιχία με τα φάσματα απόκρισης των δύο υπόψη καταγραφών, στα οποία παρατηρούνται υψηλότερες μεν τιμές φασματικής επιτάχυνσης στην περίπτωση της Ζακύνθου για ιδιοπεριόδους μικρότερες των 0.8 sec, αλλά για κατασκευές ιδιοπεριόδου άνω του 1 sec παρατηρούνται υψηλότερες τιμές στην περίπτωση της Κορώνης. Σε μία συνολική συνεπώς θεώρηση των κατασκευών που καλύπτουν το εύρος των ιδιοπεριόδων 0.1-2.0 sec, οι δύο καταγραφές παρουσιάζουν συγκρίσιμους δείκτες επιβάρυνσης.

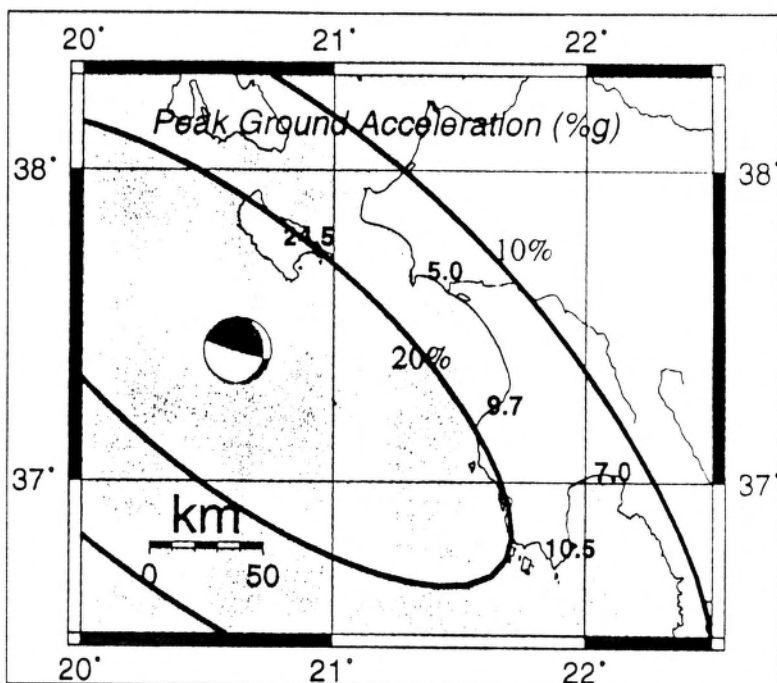
Επιπλέον, η εδαφική κίνηση στην Κυπαρισσία με εδαφικές επιταχύνσεις ελαφρώς μικρότερες αυτών της Κορώνης, παρουσιάζει πολύ μικρότερο ενεργειακό περιεχόμενο (σχεδόν 1/3) από το αντίστοιχο περιεχόμενο της κίνησης στην Κορώνη. Οι παρατηρήσεις αυτές οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η εκτίμηση της επιβάρυνσης ενός σεισμού στο δομημένο περιβάλλον πρέπει να λαμβάνει υπόψη πρόσθετους εξελιγμένους δείκτες καταστρεπτικότητας.

5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ - ΕΠΑΡΚΕΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ

Ο σεισμός της Ζακύνθου δεν προξένησε σοβαρές βλάβες σε σύγχρονες κατασκευές των πλησιέστερων πόλεων των νοτιοδυτικών ακτών της Πελοποννήσου και της Ζακύνθου. Αν και ήταν ισχυρός σεισμός με σημαντικές καταγεγραμμένες επιταχύνσεις σε ορισμένες περιοχές, δεν παρουσιάστηκαν οι τυπικές μορφές βλαβών σε σύγχρονα κτίρια από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Η μετασεισμική εικόνα δεν έχει εκτεταμένες βλάβες σε κανένα πολεοδομικό συγκρότημα, εκτός από μεμονωμένες κατασκευές με τοπικές αδυναμίες λόγω της κακής ποιότητας σκυροδέματος και έλλειψης ωπλισμού. Οι βλάβες εντοπίζονται σε μονώροφα ή διώροφα με φέρουσες τοιχοποιίες ή με μικτό φέροντα οργανισμό.

Τα κτίρια με φέρουσες τοιχοποιίες είναι γενικά παλαιά, ηλικίας 50 ετών και άνω. Τα κτίρια αυτά δεν καλύπτονται από διατάξεις συγκεκριμένης σεισμικής συμπεριφοράς, και γι' αυτό έχουν πολύ μικρή σεισμική αντοχή. Τα περιθώρια μετελαστικής συμπεριφοράς είναι πολύ μικρά, η ιδιοπερίοδος είναι κοντά στο 0.1 sec., επομένως οι επιταχύνσεις είναι ίσες με τις αντίστοιχες εδαφικές.

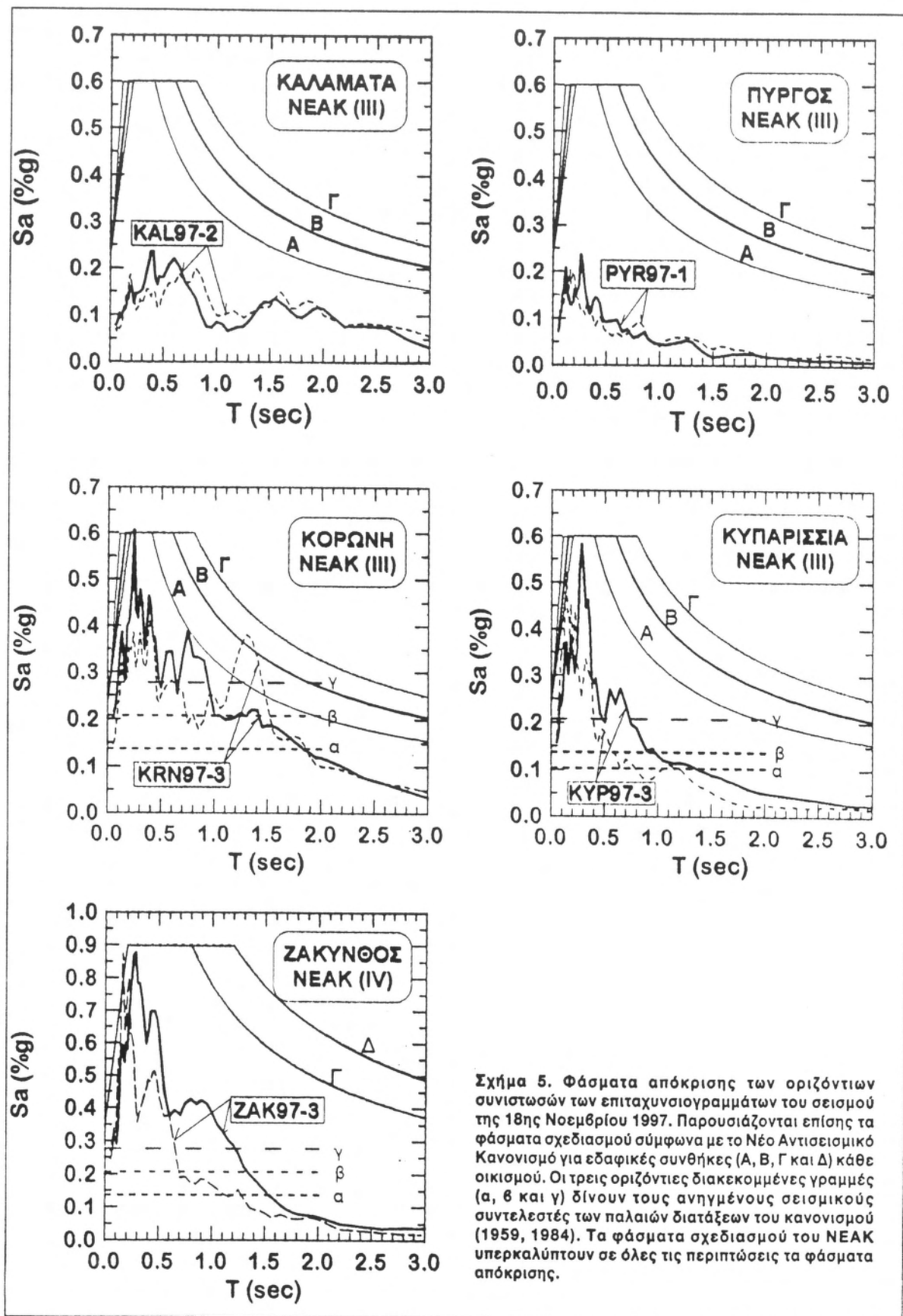
Η εικόνα που παρουσιάζεται στις κατασκευές δείχνει ότι οι σεισμικοί συντελεστές του κανονισμού, που ίσχυε κατά την περίοδο δόμησης των κτιρίων, σε συνδυασμό με την διαθέσιμη πλαστιμότητα των κατασκευών ήταν επαρκείς για τον σεισμό της 18/11/97. Πράγματι, η πλειοψηφία των κατασκευών κτίσθηκε με τον κανονισμό του 1959, ένα μικρό ποσοστό με τις τροποποιήσεις του 1984 και ίσως μερικά με τον κανονισμό του 1995. Τα δύο πρώτα κείμενα κανονισμών



Σχήμα 4. Κατανομή της μέσης μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης, ανηγμένης για τις εδαφικές συνθήκες του σταθμού καταγραφής, του σεισμού της 18ης Νοεμβρίου 1997. Στο σχήμα παρουσιάζονται επίσης οι ελλειπτικές καμπύλες ίσης μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης, σύμφωνα με το μοντέλο του Παπαζάχου (1992).

έχουν τους ίδιους σεισμικούς συντελεστές, διαφέρουν όμως ως προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα των κτιρίων, λόγω αλλαγών στον τρόπο ωπλισμού και υπολογισμού του φέροντος οργανισμού. Ο κανονισμός του 1995 διαφέρει συνολικά και ως προς την φιλοσοφία από τους δύο προηγούμενους.

Ο Πύργος, η Κυπαρισσία και η Καλαμάτα ανήκουν στη ζώνη II των παλαιών διατάξεων (1959, 1984) με σεισμικούς συντελεστές 6, 8, 12% για τρεις κατηγορίες εδάφους, α, β και γ αντίστοιχα. Η Ζάκυνθος και η Κορώνη ανήκουν στη ζώνη III των παλαιών διατάξεων με σεισμικούς συντελεστές 8, 12, 16% για τις τρεις κατηγορίες εδάφους. Αν γίνει αναγωγή για την μέθοδο της οριακής-αντοχής, με έναν μέσο συντελεστή ασφαλείας 1.75 (Αναγνωστόπουλος και συνεργάτες, 1986, Λεκίδης και συνεργ., 1991), τότε προκύπτει ότι οι απαιτήσεις πλαστιμότητας κυμαίνονται από 1.5 έως 3.3 για τις α, πέντε πόλεις που υπάρχουν οι καταγραφές. Αυτό σημαίνει ότι οι απαιτήσεις ανελαστικής συμπεριφοράς που επιβλήθηκαν από το σεισμό της 18/11/97 στα κτίρια και τις κατασκευές των πέντε πόλεων δεν ήταν τόσο υψηλές, για να προκαλέσουν εκτεταμένες βλάβες στον πολεοδομικό ιστό, εκτός βέβαια από τοπικές αστοχίες. Στο σχήμα (5) δίνονται τα φάσματα απόκρισης των καταγραφών. Οι συνεχείς μαύρες γραμμές αντιστοιχούν στις συνιστώσες που φαίνονται στο σχήμα (3), ενώ οι διακεκομμένες γραμμές αντιστοιχούν στη δεύτερη οριζόντια συνιστώσα. Στο ίδιο σχήμα με οριζόντιες γραμμές δίνονται οι ανηγμένοι σεισμικοί συντελεστές των παλαιών διατάξεων του κανονισμού (1959, τροποποίηση 1984) για την Κορώνη, την Κυπαρισσία και την Ζάκυνθο, όπου είχαμε και τις υψηλότερες φασματικές τιμές.



Σχήμα 5. Φάσματα απόκρισης των οριζόντιων συνιστωσών των επιταχυνσιογραμμάτων του σεισμού της 18ης Νοεμβρίου 1997. Παρουσιάζονται επίσης τα φάσματα σχεδιασμού σύμφωνα με το Νέο Αντισεισμικό Κανονισμό για εδαφικές συνθήκες (Α, Β, Γ και Δ) κάθε οικισμού. Οι τρεις οριζόντιες διακεκομμένες γραμμές (α, β και γ) δίνουν τους ανηγμένους σεισμικούς συντελεστές των παλαιών διατάξεων του κανονισμού (1959, 1984). Τα φάσματα σχεδιασμού του ΝΕΑΚ υπερκαλύπτουν σε όλες τις περιπτώσεις τα φάσματα απόκρισης.

Σύμφωνα με τον κανονισμό του 1995 (NEAK), ο Πύργος, η Κυπαρισσία, η Καλαμάτα και η Κορώνη ανήκουν στη ζώνη III του χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας του κεφαλαίου 2 του NEAK με τιμή ενεργού επιτάχυνσης 0.24 g. Η Ζάκυνθος ανήκει στη ζώνη IV του χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας με τιμή ενεργού επιτάχυνσης 0.36g. Τα φάσματα σχεδιασμού (για τις εδαφικές συνθήκες κάθε οικισμού) που φαίνονται στο σχήμα (5) καλύπτουν με πολύ ικανοποιητικό τρόπο τα φάσματα απόκρισης των σεισμικών κινήσεων στην Καλαμάτα, τον Πύργο, την Κυπαρισσία, την Κορώνη και την Ζάκυνθο. Βέβαια το ενεργειακό περιεχόμενο των σεισμικών κινήσεων της Κορώνης και της Ζακύνθου είναι κατά πολύ πλουσιότερο των υπόλοιπων σεισμικών κινήσεων, όπως προκύπτει από τα φάσματα απόκρισης. Ακόμη και σ' αυτή την περίπτωση τα φάσματα σχεδιασμού καλύπτουν τα φάσματα απόκρισης. Συνεπώς τα κτίρια που θα ανεγερθούν

μελλοντικά στις εν λόγω περιοχές δεν κινδυνεύουν από παρόμοια σεισμικά συμβάντα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι τεχνικοί του ΙΤΣΑΚ συμμετείχαν στην εγκατάσταση του ψηφιακού δικτύου επιταχυνσιογράφων. Το Εργαστήριο Γεωφυσικής του ΑΠΘ μάς διέθεσε τις εστιακές παραμέτρους των ισχυρών σεισμών. Ο καθηγητής Γεωφυσικής Βασίλης Παπαζάχος έκανε εποικοδομητικές παρατηρήσεις στο κείμενο. Οι τοπικές αρχές Ζακύνθου, Πύργου, Φιλιατρών, Ζαχάρως και Κατακόλου μάς παρέιχαν σημαντική βοήθεια. Σημαντική βοήθεια μας πρόσφεραν στα Φιλιατρά ο Προϊστάμενος ΟΤΕ κ. Χαράλαμπος Στυλιανός και ο κ. Τάκης Χριστοδούλου (υπεύθυνος του Ράδιο ΝΙΚΗ), καθώς και στη Ζάκυνθο ο Τοπογράφος Μηχανικός Δημήτρης Λιβάνης, οι οποίοι μας διέθεσαν χώρο και μας βοήθησαν στην εγκατάσταση του ψηφιακού δικτύου. Όλους τους παραπάνω τους ευχαριστούμε θερμά για τη σημαντική συμβολή τους.

BIBLIOΓΡΑΦΙΑ

- Αναγνωστόπουλος Σ., Θεοδουλίδης Θ., Λεκίδης Β. και Μάργαρης Β. (1986): Ο σεισμός της Καλαμάτας του Σεπτεμβρίου 1986: Αποτελέσματα από την ανάλυση των επιταχυνσιογραφημάτων, συσχετισμός με τον αντισεισμικό κανονισμό, επισκόπηση θλαβών και συμπερασμάτων, Δημοσίευση ΙΤΣΑΚ 86-06.
- Bertero V. V. (1992): Lessons learned from recent catastrophic earthquakes and associated research, Inst. De Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, 69 pp.
- Bolt B. A. (1974): Duration of strong ground motion, Proc. 5th W.C.E.E., Rome, Italy, 1304-1313.
- Θεοδουλίδης Ν. (1991): Συμβολή στη μελέτη της ισχυρής σεισμικής κίνησης στην Ελλάδα, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Παν/μιο Θεσ/νίκης, 500 σελ.
- Koliopoulos P., Margaris B. and Kliris N. (1998): Duration and energy characteristics of Greek strong motion records, J. Earthquake Engineering (accepted for publication), 1998.
- Λεκίδης Β., Πιτλάκης Κ., Μάργαρης Β., Θεοδουλίδης Ν. και Μουτοάκης Α. (1991): Ο σεισμός της Γρίβας, 21-12-90: Αποτελέσματα από την ανάλυση των επιταχυνσιογραφημάτων, συσχετισμός με τον αντισεισμικό κανονισμό - επισκόπηση θλαβών. Προκαταρκτική μελέτη εδαφικής απόκρισης στην Εδέσσα, Δημοσίευση ΙΤΣΑΚ 91-01.
- Margaris B. (1994a): New fast digitization and correction procedures of the Greek strong motion data, Proc. XXIV Gen. Ass. ESC, Athens, 19-24 Sept. 1994, 2, 779-786.
- 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.
- Papazachos B.C., B.N. Margaris, N. P. Theodulidis and Ch. A. Papaioannou (1992): Seismic hazard assessment in Greece based on strong motion duration, Proc. 10th W.C.E.E. Madrid, 2, 425-430.
- Παπαζάχος Β.Κ. (1990): Εισαγωγή στη σεισμολογία, Εκδόσεις Ζήτη Θεσσαλονίκη, σελ. 382.
- Papazachos B.C. and Papazachou C. (1997): The earthquakes of Greece, Ziti Publ., Thessaloniki, 304 pp.
- Papazachos B.C. and Papaioannou Ch. (1997): Seismic hazard assessment based on new seismotectonic information, 29th IASPEI Assembly, Thessaloniki, Greece, 18-28 August 1997.
- Papazachos B.C., Karakaisis G. F. and Hatzidimitriou P.M. (1997): Tim dependent seismicity in Greece, 29th IASPEI Assembly, Thessaloniki, Greece, 18-28 August 1997.
- Papazachos C.B. and Kiratzi A. A. (1996): A detailed study of the active crustal deformation in the Aegean and surrounding area, Tectonophysics, 253, 129-153.
- Papazachos C.B. (1992): Anisotropic radiation modelling of macroseismic intensities for estimation of attenuation structure of the upper crust in Greece, Pure and Appl. Geophys., 138, 445-469.
- Papazachos C. B. (1997): The active crustal deformation field of the Aegean area inferred from seismicity and GPS data. J. Geophys. Res. (submitted). 19pp.
- Theodoulidis N.P. and Papazachos B.C. (1994): Dependence of strong ground motion on magnitude - distance, site geology and macroseismic intensity for shallow earthquakes in Greece: II horizontal pseudo-velocity. Soil Dyn. and Earthq. Engin. 13, 317-343.
- Trifunac M.D. and Brady, A.G. (1975): A study on the duration of strong earthquake ground motion, Bull. Seism. Soc. Am., 65, 581-626.