

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΗΣ 7^{ης} ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 1999

ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο καταστρεπτικός σεισμός της 7/9/1999 κτύπησε σχεδόν απρόσμενα μία περιοχή που μέχρι πρότινος εθεωρείτο ότι έχει χαμηλή επικινδυνότητα από δράση εγγύς ρηγμάτων. Η περιοχή που κυρίως επλήγη ήταν αυτή των βόρειων και δυτικών συνοικιών της Αθήνας. Αυτός ο σεισμός υπήρξε, ίσως, ο πιο σημαντικός στη νεότερη ιστορία της Ελλάδος για δύο κυρίως λόγους: α) είναι ο πρώτος που επιβεβαιωμένα έγινε με τόσο μεγάλο μέγεθος και σε τόσο μικρή απόσταση από το ιστορικό κέντρο των Αθηνών, αποκαλύπτοντας μια νέα σεισμική πηγή τόσο κοντά στο πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας και β) είναι ο πρώτος στην μακράιωνα ιστορία της πρωτεύουσας της Ελλάδας, που γνωρίζουμε ότι προκάλεσε τόσα θύματα (143 νεκρούς).

Προσεισμοί

Του κύριου σεισμού προηγήθηκαν προσεισμικές δονήσεις (Papadimitriou et al, 2000, Papanastassiou et al, 2000, Stavrakakis et al, 2000), οι οποίες σημειώθηκαν στην ίδια περιοχή με τον κύριο σεισμό. Οι τέσσερις αυτοί προσεισμοί έλαβαν χώρα μέσα σε ένα χρονικό διάστημα είκοσι λεπτών πριν την εκδήλωση του κύριου σεισμού. Το Πανεπιστήμιο Αθηνών προσδιόρισε τα επίκεντρά τους στην εστιακή περιοχή του κύριου σεισμού. Από το μόνιμο δίκτυο σειсмоγράφων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου, υπολογίστηκε το τοπικό μέγεθος $M_L=3.2, 2.5, 2.5$ και 3.2 των συγκεκριμένων προσεισμών. Οι δονήσεις αυτές έγιναν αισθητές σε κάποιες από τις δυτικές περιοχές της Αθήνας, ήταν όμως πολύ ασθενείς ώστε να προκαλέσουν ανησυχία και θα μπορούσαν να θεωρηθούν εντός των πλαισίων της συνήθους σεισμικότητας. Οι προσεισμοί και ο κύριος σεισμός καταγράφηκαν από το μόνιμο σεισμολογικό δίκτυο, την επομένη όμως του κύριου σεισμού εγκαταστάθηκε τοπικό σεισμολογικό δίκτυο από το Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών στην

ευρύτερη εστιακή περιοχή του κύριου σεισμού για την καλύτερη παρακολούθηση της εξέλιξης της σεισμικής ακολουθίας.

Ο κύριος σεισμός

Ο κύριος σεισμός έλαβε χώρα στις 11:57 GMT (14:57 τοπική ώρα) και το επίκεντρό του εντοπίστηκε στην περιοχή της λεκάνης του Ασπρόπυργου (Papadimitriou et al, 2000), περίπου 20km από την Αθήνα. Το μέγεθός του υπολογίστηκε ότι ήταν της τάξης του $M_s=5.9$, σύμφωνα με το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Αστεροσκοπείου Αθηνών και $M_w=6.0$ (Papadimitriou et al, 2001). Όσον αφορά τις ακριβείς συντεταγμένες του επικέντρου, αλλά και το εστιακό βάθος, αυτές παρουσιάζουν αποκλίσεις στον υπολογισμό τους από τα διάφορα ερευνητικά κέντρα, τόσο ελληνικά όσο και διεθνή. Στον πίνακα 2.1, που ακολουθεί δίνονται οι εστιακές παράμετροι του κύριου σεισμού, όπως αυτές υπολογίστηκαν από διάφορα ινστιτούτα. Τον αρχικό υπολογισμό ακολούθησαν επαναπροσδιορισμοί του σεισμικού υποκέντρου από διάφορα ερευνητικά κέντρα, μερικοί από τους οποίους δίνονται επίσης στον ίδιο πίνακα.

Οι εστιακές παράμετροι του κύριου σεισμού επαναπροσδιορίστηκαν από το Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών, βάσει των καταγραφών του μόνιμου σεισμολογικού δικτύου CORNET και με την προσθήκη των καταγραφών των σταθμών ATH και PTL του μόνιμου δικτύου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Οι συστηματικές καθυστερήσεις των πρώτων αφίξεων για τους σταθμούς του δικτύου CORNET προσδιορίστηκαν λαμβάνοντας έναν καλά προσδιορισμένο μετασεισμό ως πρότυπο (Papadimitriou et al, 2000), ενώ πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές δοκιμές με το υπολογιστικό πρόγραμμα HYPO71, για διάφορα βάρη των σταθμών και με τις καταγραφές του Εθνικού Αστεροσκοπείου είτε να χρησιμοποιούνται είτε όχι.

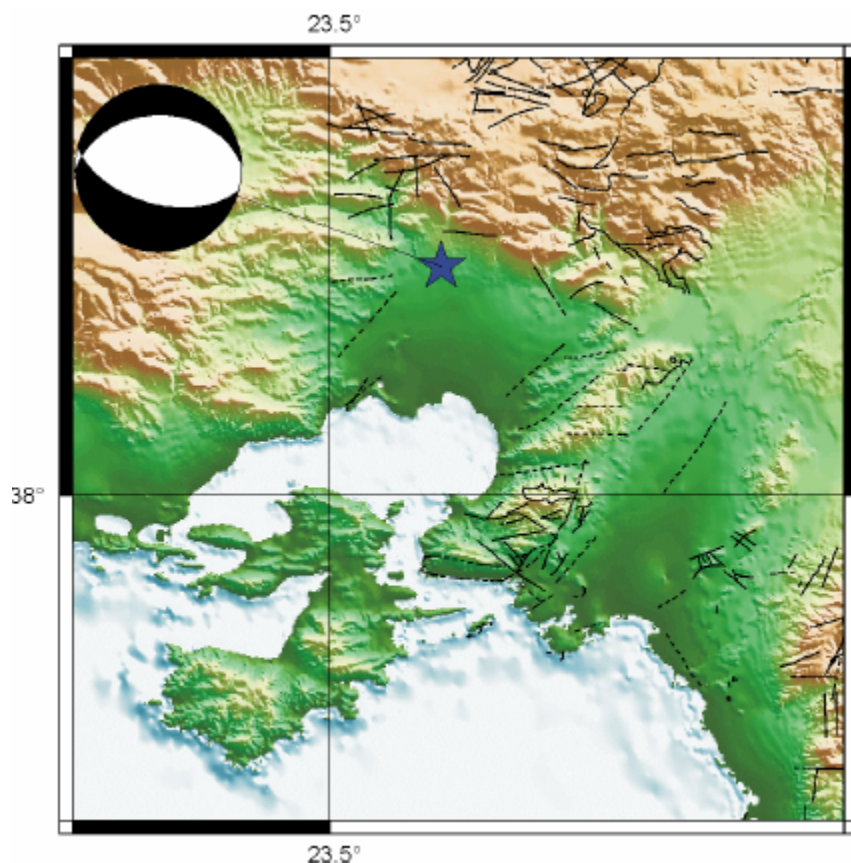
Πίνακας 3.1

Εστιακές παράμετροι του κύριου σεισμού προσδιορισθείσες από διάφορα σεισμολογικά κέντρα.

Ημ/νία	Χρόνος	Γεωγρ. πλάτος	Γεωγρ. μήκος	Βάθος (km)	M _S	M _L	M _w	Ινστιτούτο
07/09/99	11:56:50.8	38.105	23.565	8			6.0	ATHU (reloc.)
07/09/99	11:56:50.5	38.150	23.620	30	5.9	5.4		NOA
07/09/99	11:56:51.4	38.080	23.580	17	5.9	5.4		NOA (reloc.)
07/09/99		38.040	23.610	11-18		5.4		THEU
07/09/99	11:56:50.0	38.132	23.545	10	5.6		5.9	USGS
07/09/99	11:56:49.3	38.119	23.605	10	5.8		6.0	PDE
07/09/99	11:56:56.6	38.130	23.550				5.8	ORFEUS
07/09/99	11:56:56.5	37.870	23.640	15	5.8		6.0	HRV
07/09/99	11:56:48.8	38.100	23.600	5		5.3		CSEM
07/09/99	11:56:58.0	38.130	23.380	17				MEDNET
07/09/99	11:56:50.0	38.100	23.600	10				BGS
07/09/99	11:56:51.7	38.060	23.580	16	5.7	5.0		IMS/CTBT

Το επαναπροσδιορισθέν επίκεντρο απέχει λιγότερο από 1 km από το αρχικό, με RMS της τάξης του 0.3 sec

Η θέση του επαναπροσδιορισθέντος επικέντρου φαίνονται στο σχήμα 3.1. όπου σημειώνονται επίσης τα γνωστά ρήγματα της περιοχής (ΙΓΜΕ).



Σχήμα 3.1: Σχηματικός χάρτης της Αττικής, όπου σημειώνονται τα γνωστά ρήγματα της περιοχής (ΙΓΜΕ, γεωλογικοί χάρτες 1:50000), καθώς και το επίκεντρο και ο μηχανισμός γένεσης του κύριου σεισμού (Papadimitriou et al, 2000)

Όσον αφορά τις παραμέτρους της πηγής για τον κύριο σεισμό, αυτές υπολογίστηκαν με εφαρμογή της μεθόδου προσομοίωσης των κυμάτων χώρου (body wave modeling) και βάσει της τεχνικής δοκιμής και σφάλματος, χρησιμοποιώντας τηλεσεισμικά δεδομένα από το IRIS, για επικεντρικές αποστάσεις από 30° έως 90° (Papadimitriou et al, 2000). Τα αποτελέσματα, που προέκυψαν, θεωρώντας σημειακή πηγή είναι τα ακόλουθα:

$$\varphi=105^{\circ}, \delta=55^{\circ}, \lambda=-80^{\circ}, H=8.0\text{km},$$

με τραπεζοειδή συνάρτηση σεισμικής πηγής διάρκειας 5sec και σεισμική ροπή ίση με $M_0=1.0 \times 10^{25}$ dyn.cm. Οι παραπάνω τιμές χαρακτηρίζουν κανονική διάρρηξη με γενική διεύθυνση Α-Δ.

Στον πίνακα 2.2 δίνονται οι τιμές ορισμένων από τις παραμέτρους της πηγής, όπως αυτές υπολογίστηκαν από ερευνητικά ινστιτούτα της ημεδαπής και της αλλοδαπής. Για τον προσδιορισμό του μηχανισμού γένεσης, το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Αστεροσκοπείου Αθηνών εφήρμοσε τη μέθοδο των πρώτων αποκλίσεων των Ρ-κυμάτων και υπολόγισε τη σεισμική ροπή από τον κλάδο χαμηλών συχνοτήτων του φάσματος της μετατόπισης (Stavrakakis et al, 2000), ενώ τα υπόλοιπα ινστιτούτα εργάστηκαν με προσομοίωση κυμάτων χώρου.

Η πτώση τάσης για τον κύριο σεισμό υπολογίστηκε από τους Tselentis and Zahradnik (2000) ίση με 2.7 Mpa, για μήκος ρήγματος ίσο με 10 km.

Πίνακας 3.2

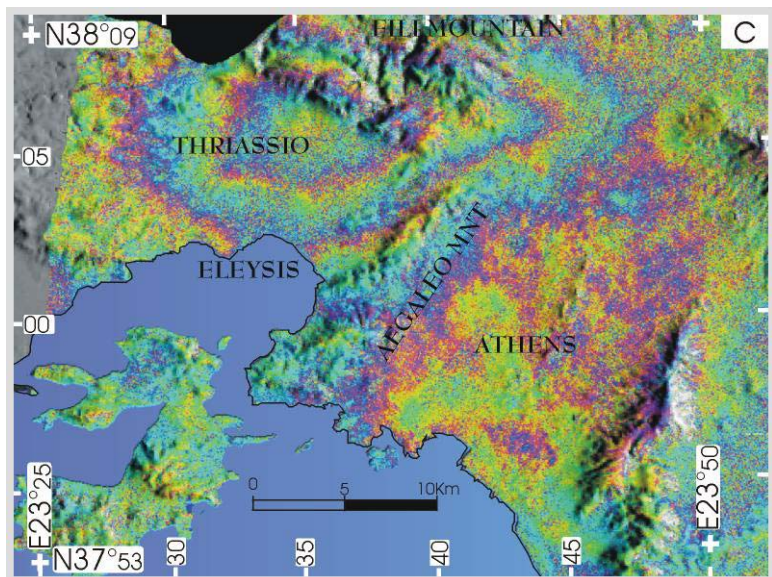
Παράμετροι πηγής για τον κύριο σεισμό, όπως προσδιορίστηκαν από διάφορα σεισμολογικά κέντρα

Αζιμούθιο (°)	Κλίση (°)	Ολίσθηση (°)	Ροπή (dyn.cm)	Ινστιτούτο
105	55	-80	$1.0 \cdot 10^{25}$	ATHU
113	39	-90	$0.75 \cdot 10^{25}$	NOA
119	56	-82	$7.56 \cdot 10^{24}$	THEU
123	55	-84	$7.8 \cdot 10^{24}$	USGS
116	39	-81	$1.1 \cdot 10^{25}$	HRV
122	60	-80		CALTECH
104	43	-97	$1.3 \cdot 10^{25}$	MEDNET

Οι Louvari & Kiratzi (2001) προσδιορίζουν το επίπεδο του ρήγματος με παράταξη 115° , κλίση 57° και ολίσθηση (rake) -80° , και βοηθητικό επίπεδο με παράταξη 277° , κλίση 34° και ολίσθηση -105° .

Μια πολύ μικρή δεξιόστροφη συνιστώσα είναι ορατή σε όλες τις περιπτώσεις. Οι μηχανισμοί γένεσης φαίνεται να έρχονται σε συμφωνία με το ενεργό πεδίο των τάσεων στην περιοχή, το οποίο υποδεικνύει εφελκυσμό με τον σ_3 άξονα να διευθύνεται προς NNE (Mercier et al. 1989, Taymaz et al. 1991, Clarke et al. 1997, Meijer & Wortel 1997, Pavlides et al., 2002). Εντελώς διαφοροποιημένα είναι τα στοιχεία που παρουσιάζουν οι Fountoulis et al. (2000), που παρουσιάζουν ένα εφελκυστικό πεδίο τάσεων με άξονα σ_3 οριζόντιο σε διεύθυνση $B100^\circ$.

Σχετικά με τις παραμέτρους της σεισμικής εστίας, υπολογίστηκαν: σχετικά χαμηλή πτώση τάσης 4 – 9 bars, μέση μετατόπιση στο επίπεδο του ρήγματος $u=300\text{mm}$, διάρκεια πηγής 4,2 sec, χρόνος ανάδυσης 0,1 – 0,4 sec και ταχύτητα διάρρηξης από 2 km/sec έως 3 km/sec. Παράλληλα, ποσοστό της ενέργειας μεγαλύτερο από 95% εκλύθηκε απότομα κατά τα πρώτα 2,2 sec (Stavrakakis et al. 2000, Louvari & Kiratzi 2001, Roumelioti et al. 2003a). Οι Roumelioti et al. (2003a, 2003b), χρησιμοποιώντας την μέθοδο EGF (empirical Green's function), βρήκαν ότι η μετατόπιση στην επιφάνεια του ρήγματος επικεντρώνεται σε δύο τμήματα. Το μεγαλύτερο τμήμα της μετατόπισης (~50 % της συνολικής) συνέβη σε βάθη μεγαλύτερα του υποκέντρου, ενώ ένα σημαντικό (25%) ποσοστό επικεντρώθηκε σε μικρότερο βάθος, χωρίς όμως να φθάσει στην επιφάνεια. Η μοντελοποίηση των ισχυρών εδαφικών κινήσεων έδειξε μια καθαρή αύξηση τους στα A – NA του επιπέδου του ρήγματος και μια **κατευθυντικότητα** προς την ίδια διεύθυνση. Σε παρόμοια συμπεράσματα από την χρήση της ίδιας μεθόδου κατέληξαν και οι Plicka & Zahradnik (2002)



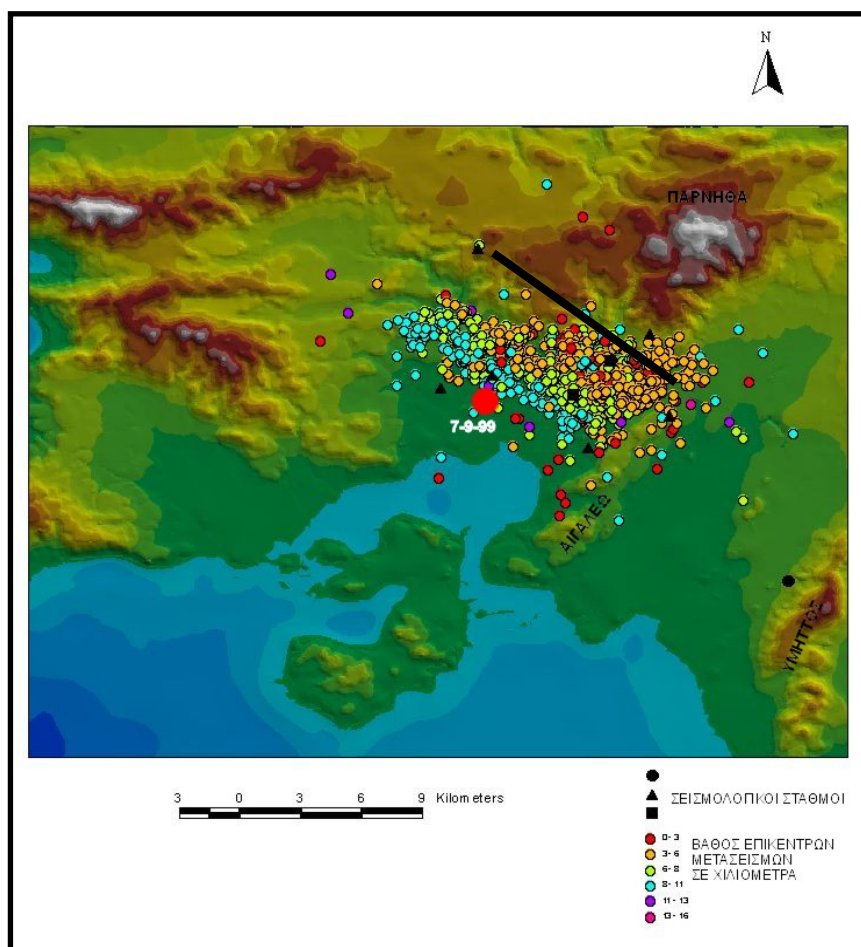
Σχήμα 3.2. Συνσεισμικό συμβολογράφημα (Kontoes et al. 2000).

Διακρίνονται τουλάχιστον δυο κροσσοί παραμόρφωσης, που αντιστοιχούν έκαστος σε 56mm.

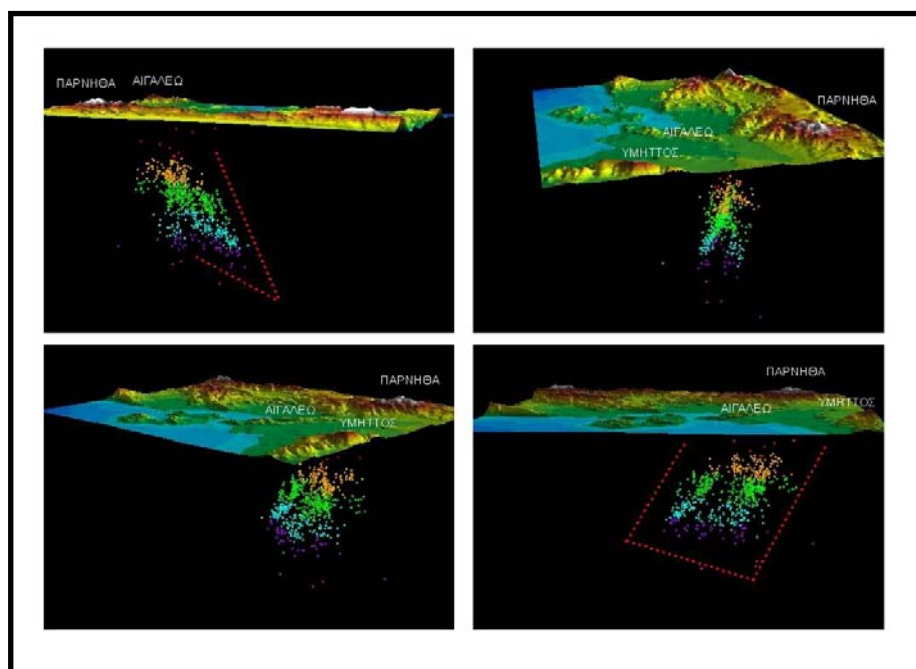
Προκειμένου να μελετηθεί η επιφανειακή παραμόρφωση λόγω του σεισμού, εφαρμόστηκε από τους η μέθοδος της **συμβολομετρίας** (interferometry) με τη χρήση δορυφορικών απεικονίσεων ραντάρ (*SAR: Synthetic Aperture Radar*) (Kontoes et al. 2000, Ganas et al. 2001, Metaxas et al. 2001, Papadimitriou et al. 2002, Papadopoulos et al 2003). Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η περιοχή που υπέστη επιφανειακή παραμόρφωση λόγω της σεισμικής δόνησης σχηματίζει ένα ελλειψοειδές διαστάσεων 10 km στον άξονα Β – Ν και περισσότερο από 20 km στον άξονα Α – Δ. Η παραμόρφωση μέσα σε αυτή την περιοχή μεταβάλλεται, αυξανόμενη από το κέντρο προς την περιφέρεια, με τιμές κυμαινόμενες από 2 – 7 cm.

Η ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ

Η μετασεισμική ακολουθία του κυρίου σεισμού απετέλεσε αντικείμενο επισταμένης μελέτης από τον Τομέα Γεωφυσικής - Γεωθερμίας του Πανεπιστημίου Αθηνών, ο οποίος εγκατέστησε αμέσως τοπικό δίκτυο 10 ψηφιακών σειсмоγράφων και επιταχυνσιογράφων στην εγγύς περιοχή του σεισμογόνου ρήγματος και κατέγραψε περισσότερους των 3000 μετασεισμούς. Τα καλύτερα εντοπισμένα εξ αυτών των γεγονότων (περίπου 1000) παρουσιάζονται στο σχήμα 3.3 (οριζόντια κατανομή επικέντρων) και στο σχήμα 3.4 (τρισδιάστατη κατανομή από 4 οπτικές γωνίες), επιτρέπουν δε τον ικανοποιητικό προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του ρήγματος. Το ρήγμα διέρχεται κάτω από τον Δήμο Άνω Λιοσίων, (πράγμα που δικαιολογεί και το μέγεθος των καταστροφών) και η τομή της προς τα άνω νοητής προέκτασής του με την επιφάνεια εικονίζεται με μαύρη συνεχή γραμμή στο σχήμα 3.3.



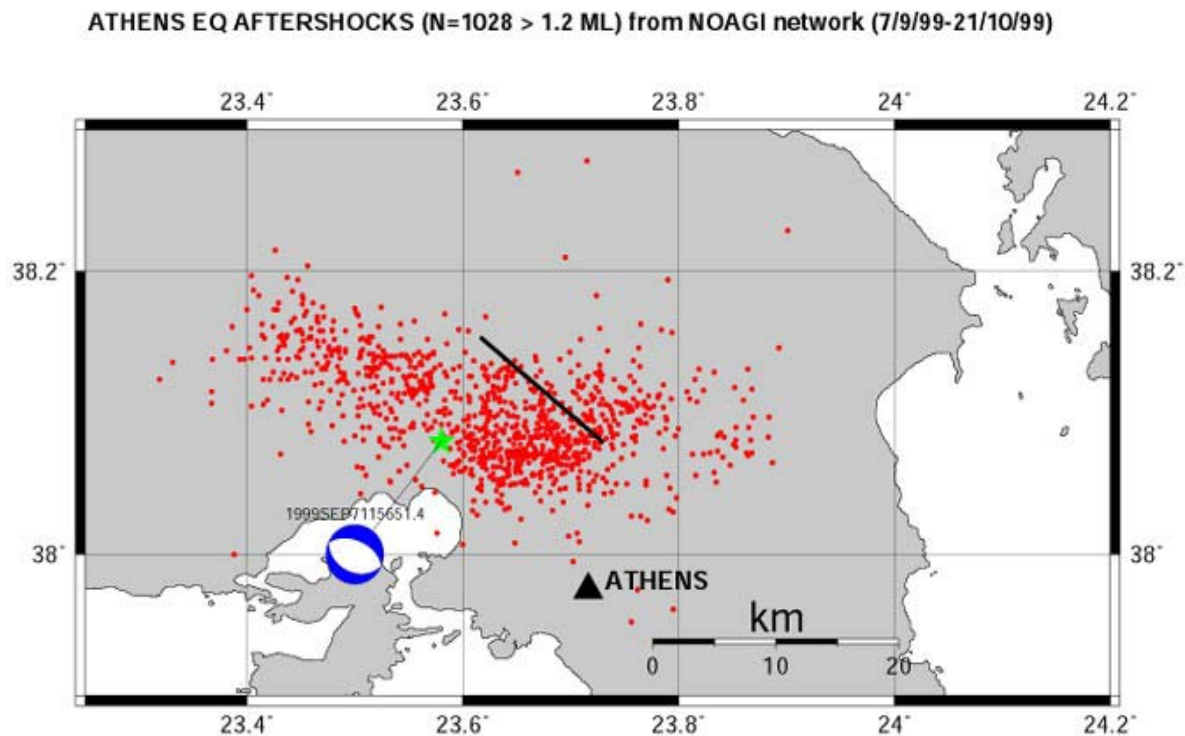
Σχήμα 3.3. Χάρτης κατανομής επικέντρων μετασεισμικής ακολουθίας του σεισμού της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 (Voulgaris et al. 2001).



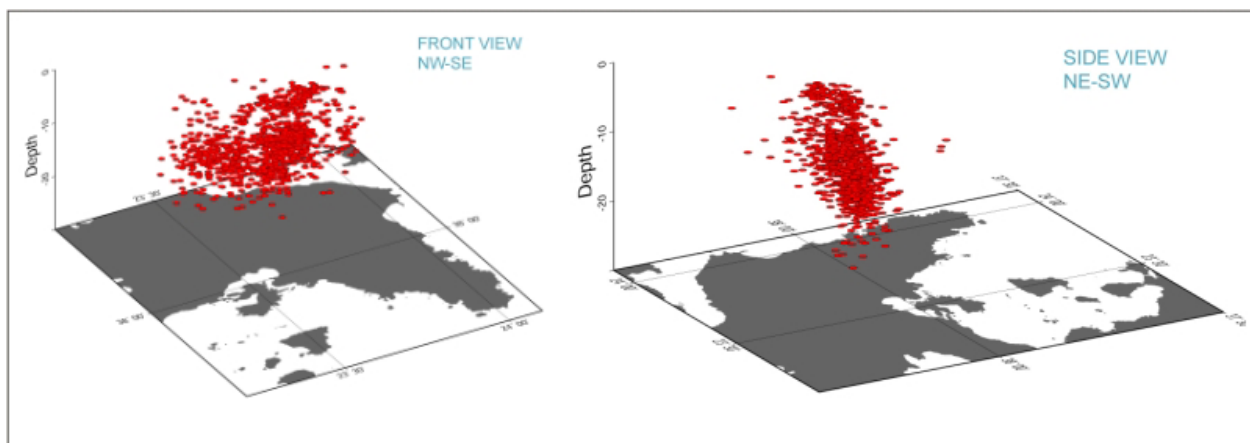
Σχήμα 3.4. Τριδιάστατη κατανομή υποκέντρων μετασεισμικής ακολουθίας του σεισμού της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 (Voulgaris et al., 2001).

Επίσης εγκαταστάθηκαν και άλλα τοπικά δίκτυα φορητών σειсмоγράφων από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, το Πανεπιστήμιο Πατρών. (Tselentis & Zahradnik, 2000, Papanastassiou et al., 2000, Papadopoulos et al., 2000,

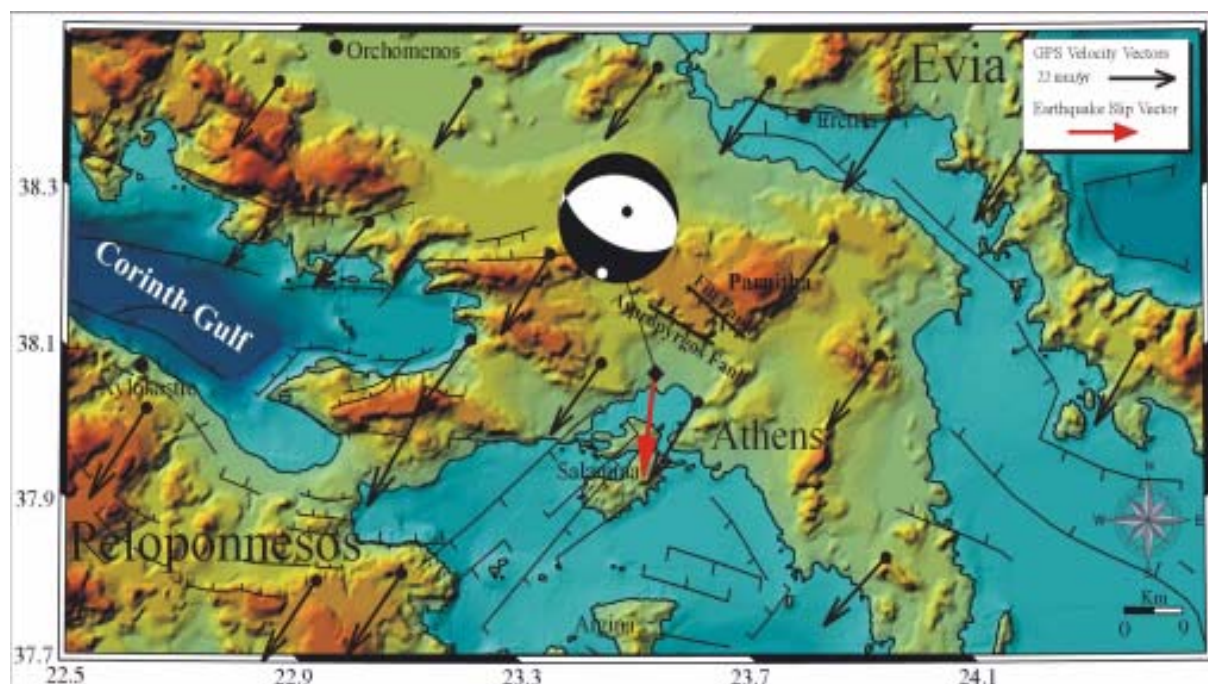
Papadimitriou et al., 2000, Voulgaris et al., 2000, Papazachos et al., 2001, Voulgaris et al., 2001). Η διάταξη των epicέντρων των μετασεισμών γίνεται σε μία ζώνη με περίπου ελλειπτικό σχήμα με μέγιστο άξονα ΔΒΔ – ΑΝΑ διεύθυνσης μήκος 25 – 30 km και πλάτους 15 – 20 km. Επίσης, παρατηρείται η συγκέντρωση των epicέντρων σε δύο περιοχές, την δυτική και την ανατολική. Αυτή η συγκέντρωση υποδεικνύει ότι η διάρρηξη του κύριου σεισμού πρέπει να έγινε σε δύο κύρια ασθενή φράγματα (barriers) διαχωριζόμενα από σχετικά μικρού όγκου ισχυρό φράγμα που έμεινε άθραυστο κατά την κύρια διάρρηξη (Voulgaris et al. 2000, Παπαδόπουλος κ.α. 2001). Η σεισμοτεκτονική ανάλυση των μετασεισμών έδειξε συμφωνία με την διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ του μηχανισμού γένεσης του κύριου σεισμού (Voulgaris et al. 2001).



Σχήμα 3.5. Κατανομή των epicέντρων της μετασεισμικής ακολουθίας του σεισμού της 7-9-99. Καταγραφή από το δίκτυο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου. (Papadopoulos et al. 2003)



Σχήμα 3.6. Τρισδιάστατη απεικόνιση της μετασεισμικής ακολουθίας (Πηγή:Γεωδυναμικό Ινστιτούτο)



Σχήμα 3.7. Ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού της Αθήνας (από Louvari & Kiratzi 2001) τοποθετημένος σε ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου της περιοχής. Τα διανύσματα αντιπροσωπεύουν την οριζόντια μετακίνηση δικτύου GPS σε συνάρτηση με σταθερή Ευρασία.

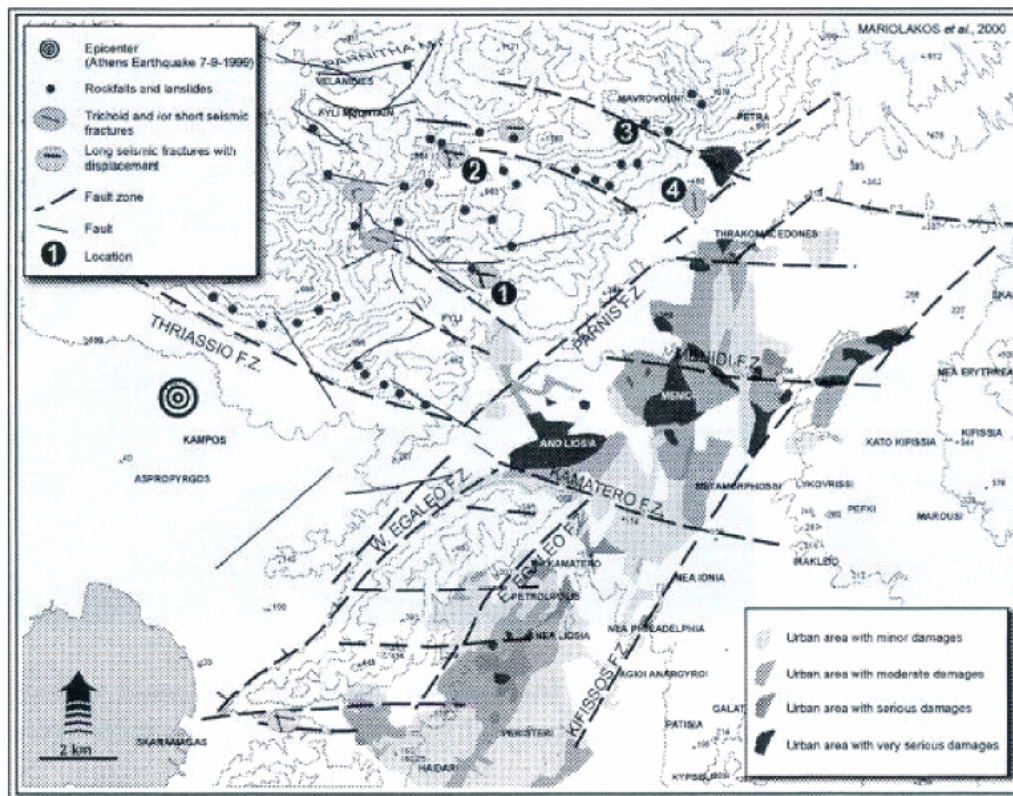
ΙΣΧΥΡΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΛΑΒΩΝ

Ο σεισμός έγινε αισθητός σε ολόκληρη σχεδόν την Αθήνα με εντάσεις πάνω από VI (MM). Ο σεισμός προκάλεσε σημαντικές βλάβες, με την πλειόσειστο περιοχή να εντοπίζεται στις νοτιοανατολικές παρυφές του όρους Πάρνηθα, εκτεινόμενη κατά μία γενική διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει τα δυτικά και βορειοδυτικά προάστια των Αθηνών (Kouskouna and Malakatas, 2000), όπου οι μακροσεισμικές εντάσεις σημείωσαν τις μεγαλύτερες τιμές με $I_0 = VIII$ και τοπικά IX+ (MM) και κατέρρευσαν δεκάδες κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος και εκατοντάδες άλλες υπέστησαν βλάβες, που τις κατέστησαν ακατοίκητες. Σημαντικά αρχαία μνημεία, όπως ο Παρθενώνας και η Πύλη του Αδριανού δεν υπέστησαν βλάβες, σημειώθηκαν όμως φθορές σε κάποια από τα μουσεία της Αθήνας, όπως το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο και το Βυζαντινό Μουσείο. Ο απολογισμός σε ανθρώπινο δυναμικό έφθασε τους 143 νεκρούς και 700 τραυματίες, ενώ περισσότεροι από 70000 άνθρωποι έμειναν άστεγοι. Στον χάρτη του σχήματος 3.9 απεικονίζεται η κατανομή των βλαβών και των γεωδυναμικών φαινομένων, που προκάλεσε ο σεισμός της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 (Marinos et al., 1999). Οι σοβαρότερες βλάβες παρατηρήθηκαν σε κατασκευές θεμελιωμένες σε πρόσφατους γεωλογικούς σχηματισμούς (αλλουβιακές αποθέσεις, πλειστοκαινικά ριπίδια, προσχώσεις, πλευρικά κορήματα, ποτάμιες αναβαθμίδες, με πάχος μικρότερο από 30 – 40 m), επιχωματώσεις ή κοντά σε μεγάλες τεκτονικές ασυνέχειες, όπως κατά μήκος του ρέματος της Χελιδονούς (Tzitziras et al, 2000).

Οι καταγραφές των μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων ποικίλουν από 0,02 g έως 0,32 g, και σε μία περίπτωση 0,50 g σε απόσταση 15 – 20 km από τη σεισμική πηγή για την οποία γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στη συνέχεια.

Η **πλειόσειστο περιοχή** του σεισμού περιλαμβάνει τους δήμους Αχαρνών (Μενιδίου), Άνω Λιοσίων, Θρακομακεδόνων, Φυλής και την βιομηχανική περιοχή γύρω από το ρέμα της Χελιδονούς στις Αδάμες, όπου η ένταση ($I_{EMS-1998}$, Grunthal 1998) έφθασε τις τιμές IX - X. Οι μεγαλύτερες τιμές (VII – IX) παρατηρήθηκαν κατά μήκος μιας ζώνης στον άξονα Κορυδαλλού – Περιστερίου – Αιγάλεω – Νέων Λιοσίων – Πετρούπολης – Καματερού – Μενιδίου και Αδάμων, ενώ η δόνηση έγινε αισθητή στο μεγαλύτερο μέρος της πρωτεύουσας με εντάσεις >VI (Anastasiadis et al. 1999, Παπαδόπουλος κ.α. 2001, Pavlides et al. 2002). Η κατανομή των μακροσεισμικών εντάσεων δείχνει μια συγκέντρωση των μέγιστων εντάσεων στο ανατολικό τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης, στο οποίο συνέβαλλε η κατευθυντικότητα της διάρρηξης προς ανατολικά, καθώς και στην προαναφερόμενη ζώνη στις δυτικές συνοικίες

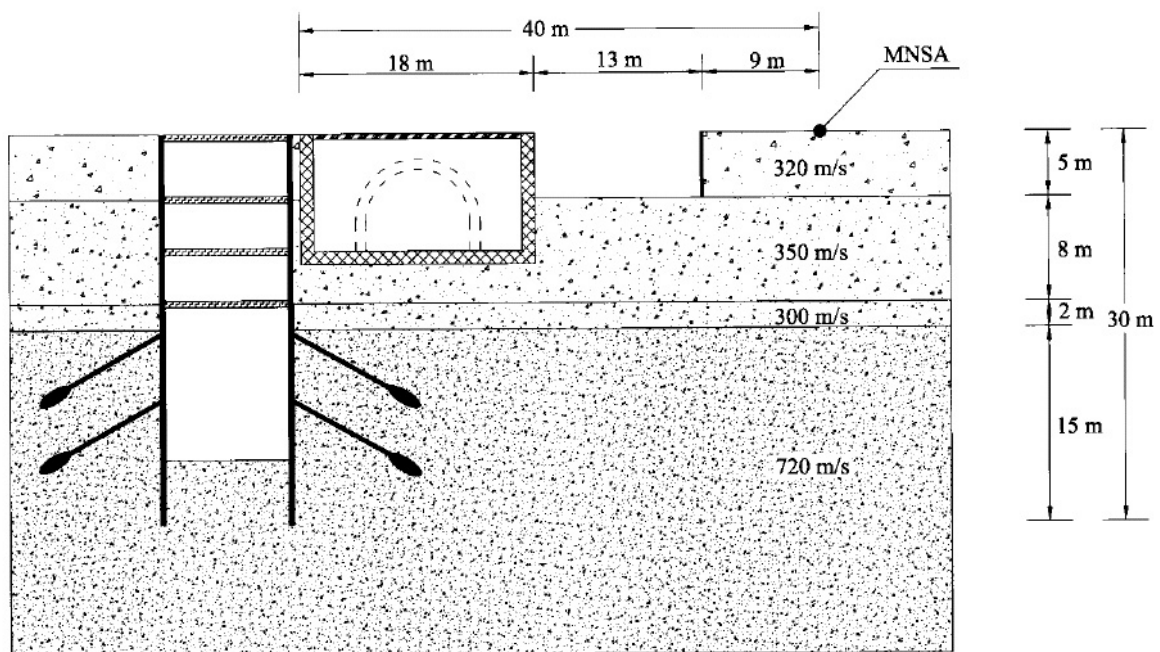
της Αθήνας, με διεύθυνση σχεδόν κάθετα στη διάρρηξη. Η ζώνη αυτή αποτελείται από νεογενείς λεκάνες - τάφρους με διεύθυνση NNE – SSW και NE – SW. Φαινόμενα basin effect και boundary effects (Lekkas 2001) όπου η δομή των λεκανών λειτούργησε ως ανακλαστήρας εγκλωβίζοντας και πολλαπλασιάζοντας τα σεισμικά κύματα, τα οποία διοχετεύτηκαν στην περιοχή με την προς ανατολάς κατευθυντικότητα της διάρρηξης, με άμεσο αντίκτυπο και στον πολλαπλασιασμό των εδαφικών κινήσεων, φαίνεται να συνέβαλλαν στην δημιουργία αυτής της επιμήκους ζώνης.



Σχήμα 3.9.: Χάρτης, που απεικονίζει την κατανομή των βλαβών και των γεωδυναμικών φαινομένων, που παρατηρήθηκαν κατά το σεισμό της Αθήνας (07/09/1999). Η κατανομή των βλαβών βασίζεται στις παρατηρήσεις των Marinou et al (1999).

Η ισχυρή σεισμική δόνηση καταγράφηκε από πολλούς σταθμούς επιταχυνσιογράφων σε διάφορες περιοχές του Λεκανοπεδίου (σταθμοί δικτύου Γεωδυναμικού Ινστιτούτου, Ι.Τ.Σ.Α.Κ. και Δ.Ε.Η.), όμως δεν υπήρξαν καταγραφές στην πλειόσειστη περιοχή. Πρόκειται για ένα σύνολο 18 σταθμών, 14 από τους οποίους (βλέπε πίνακα 3.3) ήταν εγκατεστημένοι στο κέντρο των Αθηνών και 4 στις γειτονικές πόλεις Ραφήνα, Λαύριο, Αλιβέρι και Θήβα. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση κυμαίνεται από 0,5g στο σταθμό «Μοναστηράκι», έως 0,075g στο σταθμό του «Δημοκρίτου». Τα όργανα στην θέση «Μοναστηράκι» (σχήμα 3.10), ήταν εγκατεστημένα στην άμεση γειτονία του εργοταξίου του ΜΕΤΡΟ και του υπόγειου σταθμού του Ηλεκτρικού Σιδηρόδρομου, ενώ μια αρχαιολογική ανοικτή εκσκαφή διαστάσεων 30x30m

και βάθους 5m βρίσκεται πλησίον. Η παρουσία των τριών αυτών υπόγειων κατασκευών προκάλεσε σοβαρή αύξηση του πλάτους της εδαφικής επιτάχυνσης, και η διάθλαση των κυμάτων στις γωνίες των κατασκευών προκάλεσε μια αύξηση της τάξης του 30% στην μέγιστη τιμή (PGA) (Gazetas et al. 2002). Η τιμή των 0,50g φαίνεται, σύμφωνα με υπολογισμούς, να αντιστοιχεί σε μία μέγιστη πραγματική τιμή 0,2 – 0,3g. Με βάση τις ακραίες τοπικές συνθήκες στο σταθμό Μοναστηράκι, η τιμή των 0,31g που καταγράφηκε στα Σεπόλια (SPLB), φαίνεται ως η πιο αντιπροσωπευτική τιμή μέγιστης καταγεγραμμένης επιτάχυνσης, ενώ ταυτόχρονα πρόκειται για την κοντινότερη καταγραφή από τη σεισμική διάρρηξη (Αποστόλου κ.α. 2001).



Σχήμα 2.10. Κάθετη τομή στη θέση εγκατάστασης του σεισμογραφικού σταθμού ΜΟΝΑΣΤΗΡΑΚΙ (MNSA). (Gazetas et al. 2002).

Από τις καταγραφές των επιταχυνσιογράφων, είναι εμφανής μια κατανομή της διεύθυνσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης μεταξύ 45° και 180° , με μια μέση τιμή περίπου 109° . Η διεύθυνση αυτή έρχεται σε συμφωνία με τους μηχανισμούς γένεσης που υπολογίστηκαν (Papadopoulos et al. 2000, Louvari & Kiratzi 2001), που δείχνουν ένα επίπεδο ρήγματος παράλληλο με αυτήν ($113^\circ - 115^\circ$). Τα συμπεράσματα αυτά ενισχύονται από παρατηρήσεις στα νεκροταφεία της πλειόσειστης περιοχής αμέσως μετά το σεισμό, που έδειξαν ότι επιτύμβιες πλάκες και διακοσμητικά είχαν ολισθήσει και ανατραπεί σε μια γενική κατεύθυνση E – W (Αποστόλου κ.α. 2001).

Λόγω έλλειψης καταγραφών, οι τιμές των επιταχύνσεων στην πλειόσειστη περιοχή δεν είναι δυνατό να υπολογιστούν απ'ευθείας. Στατιστική ανάλυση, όμως, των διαθέσιμων

καταγραφών, λαμβάνοντας υπόψιν τις τοπικές εδαφικές συνθήκες (Bouckovalas & Kourretzis 2001, Bouckovalas et al. 2002) και ανάλυση ολισθήσεως και ανατροπής τύμβων στα νεκροταφεία της πλειόσειστης περιοχής (Αποστόλου κ.α. 2001) υποδεικνύουν ότι οι μέγιστες επιταχύνσεις πρέπει να ξεπέρασαν τις τιμές 0,55 και 0,75 στο υπόβαθρο και στην επιφάνεια αντίστοιχα. Στο Κάστρο Φυλής, και σε άλλες κοντινές θέσεις παρατηρήθηκαν περιστροφές και αναπηδήσεις λίθων, γεγονός που υποδηλώνει ότι η κατακόρυφη συνιστώσα της εδαφικής επιτάχυνσης μπορεί να προσέγγισε τοπικά μέχρι και το 1g (Pavlidis et al. 2002).

Πίνακας 3.3. Καταγραφές δικτύου επιταχυνσιογράφων (Bouckovalas et al. 2002)

	Συνιστώσα	Απόστασ η από διάρρηξη (km)	a_{\max} (g)	v_{\max} (m/sec)	Διεύθυνσ η της a_{\max}	Κυρίαρχη περίοδος	Γεωλογικές συνθήκες	Θέση οργάνου
ΑΘΗΑ (Νέο Ψυχικό)	Long	12	0,084	0,053	60o	0.18-0.27	τριτογενείς αποθέσεις	Ζόροφο ιδιωτικό κτίριο RC
	Trans		0,101	0,074		0.13-0.17		
	Vert		0,114	0,034		0.05-0.07		
ΜΝΣΑ (Μοναστηρ άκι)	Long	13	0,229	0,149	110o	0.12-0.22	ανθρωπογενείς επιχώσεις/σχιστό λιθοι	Σταθμός Μετρό - ελεύθερο πεδίο
	Trans		0,512	0,149		0.13-0.19		
	Vert		0,162	0,035		0.04-0.07		
SPLB (Σεπόλια)	Long	9	0,324	0,214	180o	0.20-0.34	ανθρωπογενείς επιχώσεις/σχιστό λιθοι	Ζόροφο μεταλλικό κτίριο-γκαράζ Μετρό
	Trans		0,312	0,189		0.15-0.33		
	Vert		0,192	0,074		0.08-0.14		
DMK (Αγ.Παρασκ ευή)	Long	16	0,046	0,025	45o	0.08-0.13	ασβεστόλιθοι	μικρό κτίριο RC - Δημόκριτος
	Trans		0,076	0,025		0.09-0.13		
	Vert		0,038	0,030		0.10-0.14		
ΑΘΗ-02 (Χαλάνδρι)	Long	12	0,110	0,051	135o	0.11-0.20	αλλούβια/σχιστόλ ιθοι	Ζόροφο κτίριο RC - Δημαρχείο
	Trans		0,159	0,069		0.08-0.25		
	Vert		0,092	0,034		0.08-0.11		
ΑΘΗ-03 (Καλλιθέα)	Long	13	0,264	0,161	100o	0.09-0.13	αλλούβια/σχιστόλ ιθοι	μονώροφο κτίριο RC - Κ.Ε.Δ.Ε.
	Trans		0,303	0,147		0.19-0.26		
	Vert		0,157	0,070		0.04-0.07		
ΑΘΗ-04 (Κυψέλη)	Long	12	0,121	0,089	90o	0.09-0.11	σχιστόλιθοι	Ζόροφο κτίριο RC - Γ.Υ.Σ.
	Trans		0,110	0,085		0.11-0.30		
	Vert		0,053	0,034		0.07-0.12		
ΚΕΡΑ (Κερατσίνι)	Long	14	0,223	0,100	125o	0.17-0.40	τριτογενείς αποθέσεις	εργοστάσιο ΔΕΗ
	Trans		0,186	0,073		0.20-0.27		
	Vert		0,155	0,042		0.06-0.13		
SPLA (Σεπόλια)	Long	9	0,255	0,179	135o	0.09-0.13	αλλούβια/σχιστόλ ιθοι	2 επίπεδα (13m) Σταθμός Μετρό
	Trans		0,221	0,128		0.19-0.52		
	Vert		0,082	0,059		0.05-0.07		

SGMA (Σύνταγμα)	Long	13	0,149	0,127	100°	0.10-0.18	σχιστόλιθοι	1 επίπεδο (7m) Σταθμός Μετρό
	Trans		0,239	0,134		0.13-0.17		
	Vert		0,054	0,030		0.11-0.21		
SGMB (Σύνταγμα)	Long	13	0,111	0,099	100°	0.19-0.29	σχιστόλιθοι	-3 επίπεδα (- 26m)-Σταθμός Μετρό
	Trans		0,087	0,108		0.23-0.59		
	Vert		0,089	0,036		0.13-0.16		
DFNA (Δάφνη)	Long	16	0,045	0,044	55°	0.12-0.23	αλλούβια/σχιστόλ ιοι	-2 επίπεδα (- 14m)-Σταθμός Μετρό
	Trans		0,080	0,077		0.16-0.25		
	Vert		0,041	0,028		0.11-0.18		
PNT (Παπάγου)	Long	13	0,088	0,076	140°	0.16-0.25	τριπογενείς αποθέσεις	-2 επίπεδα (- 15m)-Σταθμός Μετρό
	Trans		0,079	0,051		0.15-0.27		
	Vert		0,055	0,038		0.08-0.11		
FIX (Συγγρού- Φίξ)	Long	15	0,086	0,079	70°	0.17-0.22	αλλούβια/σχιστόλ ιοι	-2 επίπεδα (- 15m)-Σταθμός Μετρό
	Trans		0,124	0,110		0.16-0.29		
	Vert		0,046	0,035		0.08-0.14		

Ένας από τους σημαντικότερους λόγους που οδήγησαν στην τοπική ενίσχυση των ισχυρών εδαφικών κινήσεων κατά το σεισμό της 7-9-99, ήταν πιθανώς η **τοπογραφική ενίσχυση** (topographic amplitude – topographic effects). Φαινόμενα τοπογραφικής ενίσχυσης παρουσιάστηκαν κυρίως στην βιομηχανική περιοχή στις Αδάμες, κοντά στις όχθες του Κηφισού (Gazetas et al. 2002). Οι μεγάλες κλίσεις των πρανών του Κηφισού (ρέμα Χελιδονούς) πρέπει να οδήγησαν στην ενίσχυση των εδαφικών επιταχύνσεων, με αποτέλεσμα την κατάρρευση τριών βιομηχανικών και δυο ιδιωτικών κτιρίων, τα οποία βρίσκονταν σε απόσταση 50 – 200 μέτρων από το ρέμα. Τις επιταχύνσεις φέρεται να ενίσχυσαν και οι μεγάλοι πάχους νεογενείς λιμναίες αποθέσεις που αποτελούν το υπόβαθρο της περιοχής.

Σχήμα 2.11. Αεροφωτο-γραφία της κοινότητας Αδάμων. Με μπλε γραμμή σημειώνεται η κοίτη του Κηφισού.

Ένθετες φωτογραφίες από Gazetas et al. 2002 και Psycharis et al. 1999.



ΤΕΛΙΚΟΣ ΑΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΛΑΒΩΝ

Ο απολογισμός του σεισμού της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 έφθασε τους 143 νεκρούς. Πρόκειται για τον μεγαλύτερο αριθμό θυμάτων από σεισμό στη σύγχρονη Ελλάδα, ύστερα από τον σεισμό του 1953 στα Επτάνησα με 476 απώλειες. 24 ώρες μετά το σεισμό, οι νεκροί ανέρχονταν σε 49, με 250+ τραυματίες και άλλους ~30 παγιδευμένους κάτω από τα χαλάσματα των κτιρίων που κατέρρευσαν. Επιχειρήσεις **έρευνας και διάσωσης** (SAR) διεξήχθησαν σε 28 σημεία και 72 άτομα ανεσύρθησαν ζωντανοί τις πρώτες 72 ώρες. Τα συνεργεία SAR επανδρώνονταν από άνδρες της ΕΜΑΚ, καθώς και ομάδες από 8 άλλες χώρες, ανάμεσα τους και η τουρκική ομάδα διάσωσης ΑΚΥΤ. Οι μισές από τις απώλειες προκλήθηκαν από την κατάρρευση 11 μεγάλων κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων τριών εργοστασίων (Ricomex, Furlis, Faran) και 8 πολυκατοικιών. Οι υπόλοιποι νεκροί έχασαν τη ζωή τους από την κατάρρευση 17 μικρών κτιρίων (Λεκίδης & Καρακώστας 2001, Pomonis 2002). Στις πληγείσες περιοχές δημιουργήθηκαν γρήγορα καταυλισμοί με ένα συνολικό αριθμό 8000 σκηνών, ενώ επιπλέον 12000 σκηνές διανεμήθηκαν σε ανεξάρτητα άτομα. Περίπου ένα μήνα αργότερα, επιλέχθηκε ένας αριθμός 70 θέσεων εγκατάστασης ημι-μόνιμων κατοικιών (containers).

Το συνολικό κόστος από τον σεισμό εκτιμήθηκε από κυβερνητικές υπηρεσίες σε 3,77 δις. Ευρώ (1.286 δις δραχμές). Συνυπολογίζοντας ασφαλισμένες απώλειες και τυχόν μη δηλωμένες, το τελικό ποσό προσεγγίζει ή και ξεπερνάει ακόμη τα 4 δις Ευρώ, ποσό που αντιστοιχεί στο 3% του Α.Ε.Π. Μετά το σεισμό, περισσότερα από 1500 συνεργεία μηχανικών εκτέλεσαν πρωτοβάθμιους και δευτεροβάθμιους ελέγχους σε 64.349 κτίρια, τα οποία περιελάμβαναν 217.940 ιδιοκτησίες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι 6.519 ιδιοκτησίες χαρακτηρίστηκαν **‘κόκκινες’** (σοβαρές ζημιές – προς κατολίπωση), 88.784 χαρακτηρίστηκαν **‘κίτρινες’** (επιδιορθώσιμες δομικές βλάβες – προσωρινά μη κατοικήσιμες) και 122.637 **‘πράσινες’** (ελαφρές μη δομικές βλάβες). Ο αντίστοιχος αριθμός για τα κτίρια είναι 4682 για τα ‘κόκκινα’ και 38.165 για τα ‘κίτρινα’ (Pomonis 2002). Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία και εκτιμήσεις, ο συνολικός αριθμός των κτιρίων στην περιοχή της πρωτεύουσας και την περιφέρεια Αττικής υπολογίζεται σε ~650.000. Αυτό σημαίνει ότι ο σεισμός προκάλεσε ζημιές στο 7% περίπου των κτιρίων της Αθήνας και της Αττικής. Ζημιές στην υποδομή και τα δίκτυα ζωής (*lifelines* – δρόμοι, γέφυρες, σιδηρόδρομοι, αποχέτευση, ύδρευση, τηλεπικοινωνίες, ηλεκτρικό δίκτυο) της πρωτεύουσας δεν παρατηρήθηκαν, εκτός από τις εγκαταστάσεις του λιμανιού του Πειραιά. Οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Ύδρευσης

που βρίσκονταν στην πλειόσειστη περιοχή (Άνω Λιόσια) δεν παρουσίασαν ζημιές (Λεκίδης & Καρακώστας 2001, Pomonis 2002).



Σχήμα 3.12. Αποτελέσματα μετασεισμικών ελέγχων και κατανομή τους σε δήμους του Λεκανοπεδίου. Στοιχεία από Λεκίδη & Καρακώστα (2001).



Σχήμα. 3.13. Το κτίριο της Ricomex, στις όχθες του Κηφισού, το οποίο κατέρρευσε στον σεισμό της Αθήνας. Με την κόκκινη στολή διακρίνεται μέλος του τουρκικού συνεργείου έρευνας & διάσωσης AKUT. (Πηγή: ΟΑΣΠ).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anastasiadis An., Demosthenous M., Karakostas Ch., Klimis N., Lekidis B., Margaritis B., Papaioannou Ch., Papazachos C., Theodoulidis N. (1999) The Athens (Greece) earthquake of September 7, 1999: Preliminary report on strong motion data and structural response. *ITSAK*. <http://www.itsak.gr/report.html>.
- Bouckovalas G.D., Kouretzis G.P. (2001). Review of Soil and Topography Effects in the September 7, 1999 Athens (Greece) Earthquake. *Invited Lecture. 4th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. San Diego, California, March 26-31.*
- Bouckovalas G.D, Kouretzis G.P (2001) Stiff soil amplification effects in the 7 September 1999 Athens(Greece) earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **21**, 671-687.
- Bouckovalas G.D, Kouretzis G.P, Kalogeras I. (2002) Site-specific analysis of strong-motion data from the September 7,1999 Athens, Greece Earthquake. *Natural Hazards Special Volume: Athens Earthquake 1999, Volume 27, Issue 1-2*,105-132.
- Ganas A. (2002) Methods for imaging earthquake deformation using satellite data and digital elevation models. *In: N. Gorur et al.(eds.) Integration of Earth Science Research on the Turkish and Greek 1999 Earthquakes. Kluwer Academic Publishers.*
- Ganas A., Papadopoulos G., Pavlides S. (2000) The 7th September 1999 Athens unexpected earthquake: 3D visualization and field evidence of the seismic fault. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **38, Fasc B**, 113-129.
- Ganas A., Stavrakakis G., Lagios E., Papadopoulos G.A., Pavlides S.B. (2001) Investigation of the seismic fault that ruptured during the 7/9/99 Athens earthquake using space techniques. *RSPS 2001 Proceedings, Natural Hazards.*
- Ganas A., Pavlides S.B., Valkaniotis S., Papaioannou S., Sboras S., Alexandris A.G., Plessa A., Papadopoulos G.A. (2003) Active Fault Geometry and Kinematics in Parnitha Mountain, Attica, Greece. *Submitted to Journal of Structural Geology, January 2003.*
- Gazetas G., Kallou P., Psarropoulos P. (2002) Topography and Soil Effects in the Ms 5.9 Parnitha (Athens) earthquake: The case of Adames. *Natural Hazards Special Volume: Athens Earthquake 1999, Volume 27, Issue 1-2*, 133-169.
- Delibasis N., Papadimitriou P., Voulgaris N., Kassaras I. (2000) The Parnitha Fault: a possible relationship with other neighboring faults and causes of larger damages. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **38, Fasc B**, 41-50.
- Fountoulis D., Metaxas Ch., Lalechos S., Kourou A. (2000) Active tectonic structures of Attica. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **38, Fasc B**, 155-164.
- Kontoes C., Elias P., Sykioti O., Briole P., Remy D., Sachpazi M., Veis G., Kotsis I. (2000) Displacement field and fault model for the September 7,1999 Athens earthquake inferred from ERS-2 satellite radar interferometry. *Geophysical Research Letters*, Vol **27**, No 24, 3989-3992.

Kouskouna V., Malakatas N. (2000) The Parnitha (Attiki) earthquake of September 7,1999: application of the European Macroseismic Scale EMS-98 and correlation with the observed damage-preliminary results. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **38**, Fasc B, 187-196.

Lekkas E. (2001) The Athens earthquake (7 September 1999): intensity distributions and controlling factors. *Engineering Geology* **59**, 297-311.

Λεκίδης Β., Καρακώστας Χ. (2001) Ο Σεισμός της Αθήνας της 7-9-99: Σεισμολογικά Στοιχεία και Επιπτώσεις στο Δομημένο Περιβάλλον. *4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής. Αθήνα*, 143-152.

Louvari E., Kiratzi A. (2001) Source parameters of the 7 September 1999 Athens (Greece) earthquake based on teleseismic data. *J. Balkan. Geophys. Soc.*, vol. **4**, No 3, 51-60.

Marinos P., Boukouvalas G., Tsiambaos G., Protonotarios G., Sabatakis N. and Collaborators, 1999: Damage distribution in the western part of Athens after the 7-9-99 earthquake. *European Centre on Prevention and Forecasting of Earthquakes Newsletter, Issue No 3*, p. 37-39.

Novotny O., Plicka V., Zahradnik J. (2002) Inversion of Slip Distribution for the Athens earthquake of 7 September 1999 from regional seismic data. *Proceedings of EGS 2002 Conference. Abstract.*

Papadimitriou P., Voulgaris N., Kassaras I., Kaviris G., Delibasis N., Makropoulos K. (2002) The Mw= 6.0, 7 September 1999 Athens earthquake. *Special Issue on The Catastrophic Athens (Greece) Earthquake of 7 September 1999: An Unexpected Event in a Low Seismicity Region, Natural Hazards*, **27**, 15-33.

Papadopoulos G.A. (2002) The Athens, Greece, earthquake (Ms 5.9) of 7 September 1999: An event triggered by the Izmit, Turkey, 17 August 1999 earthquake? *Bull. Seismol. Soc. Am.* **92**, 312-321.

Papadopoulos G.A., Drakatos G., Papanastassiou D., Kalogeras I., Stavrakakis G. (2000) Preliminary results about the catastrophic earthquake of 7 September 1999 in Athens, Greece. *Seismol. Res. Letters* **71/3**, 318-329.

Papadopoulos G.A., Drakatos G., Papanastassiou D., Kalogeras I., Stavrakakis G. (2000) Preliminary results about the catastrophic earthquake of 7 September 1999 in Athens, Greece. *ERRATUM, Seismol. Res. Letters* **72**, 76.

Παπαδόπουλος Γ.Α., Γκανάς Α., Παυλίδης Σ. (2001) Ενόργανες και υπαίθριες παρατηρήσεις για τον καθορισμό της σεισμογόνου δομής του σεισμού της 7ης Σεπτεμβρίου στην Αθήνα. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., τόμος XXXIV/4*, 1457-1464.

Papadopoulos G.A., Matsumoto H., Ganas A., Karastathis V., Pavlides S. (2003) Deformation patterns associated with the M5.9 Athens (Greece) earthquake of 7 September 1999. *Seismological Research Letters. (in print)*

Papazachos C., Karakostas B., Karakaisis G., Papaioannou I. (2001) The Athens 1999 mainshock (Mw=5.9) and the evolution of its aftershock sequence. *Bull. Geol. Soc. Greece*,

XXXIV/4, 1581-1586.

Παπαζάχος Β., Παπαζάχου Κ. (2002) Οι Σεισμοί της Ελλάδος. *Εκδοση Β', βελτιωμένη. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσ/κη. σελ.318.*

Papanastassiou D., Stavrakakis G., Drakatos G., Papadopoulos G.A. (2000) The Athens, September 7, 1999, Ms=5.9, earthquake: first results on the focal properties of the main shock and the aftershock sequence. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, **38**, Fasc B, 73-88.

Plicka V., Zahradnik J. (2002) The *eGf* method for dissimilar focal mechanisms: the Athens 1999 earthquake. *Tectonophysics*, **359**, 81-95.

Psycharis I., Papastamatiou D., Taflambas I., Carydis P. (1999) The Athens, Greece Earthquake of 7 September 1999. *EERI Special Earthquake Report, November 1999.* http://www.eeri.org/Reconn/Greece_1099.html.

Πυρλή Μυρτώ (2001) Σεισμικά χαρακτηριστικά της μετασεισμικής ακολουθίας του σεισμού της Αθήνας (07/09/1999, MS = 5.9). ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Rondoyanni Th., Mettos A., Galanakis D., Georgiou Ch. (2000) The Athens earthquake of September 7, 1999: its setting and effects. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **38**, Fasc B, 131-144.

Roumelioti Z., Dreger D., Kiratzi A., Theodoulidis N. (2003a) Slip distribution of the September 7, 1999 Athens earthquake inferred from an empirical Green's function study. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **93**, 2, *in press*.

Roumelioti Z., Kiratzi A., Theodoulidis N., Kalogeras I., Stavrakakis G. (2003b) Rupture directivity during the September 7, 1999 (Mw 5.9) Athens (Greece) earthquake inferred from forward modeling of strong ground motion data. *PAGEOPH*, *in press*.

Sargeant S., Burton P., Douglas A., Evans J. (2000) A source model for the 7th September 1999 Athens earthquake. *XXVII General Assembly of the ESC, Lisbon, Portugal, Book of abstracts and papers*, 138-142.

Sokos E., Martakis N., Tselentis G. (2000) Stress tensor inversion for Attiki-Central Greece, using the Athens 7th September 1999 aftershock sequence. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **38**, Fasc B, 63-72.

Stavrakakis G., Chouliaras G., Panopoulou G. (2000) Seismic source parameters for the Athens earthquake on September 7, 1999, from a new telemetric broad band seismological network in Greece. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, **38**, FASC. B, 15-28.

Tselentis G., Zahradnik J. (2000) The Athens Earthquake of 7 September 1999. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **90**, 5, 1143-1160.

Tzitziras A., Rozos D., Vakondios I., Elias P., Kynigalaki M., Nikolaou N., Angelidis Ch., Poyiadji E., Apostolidis E., Bellas M. and Konstantopoulou G., 2000: Macro seismic observations from the earthquake of 7/9/99 in Attiki area. *Annales Geologiques des Pays Helleniques*, 1e serie, t. XXXVIII, fasc. B, p. 145-154, Athenes.

U.S.G.S. (1999) Athens Earthquake. *National Earthquake Information Center, World Data*

Center for Seismology. <http://wwwneic.cr.usgs.gov/neis/FM/Q9909071156.html>.

Voulgaris N., Pirli M., Papadimitriou P., Kassaras J., Makropoulos K. (2001) Seismotectonic characteristics of the area of western Attica derived from the study of the September 7, 1999 Athens earthquake aftershock sequence. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXXIV/4, 1645-1651.

Voulgaris N., Kassaras I., Papadimitriou P. and Delibasis N., (2000). Preliminary results of the Athens September 7, 1999 aftershock sequence. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, vol. XXXVIII, fasc. B, p. 51-62.