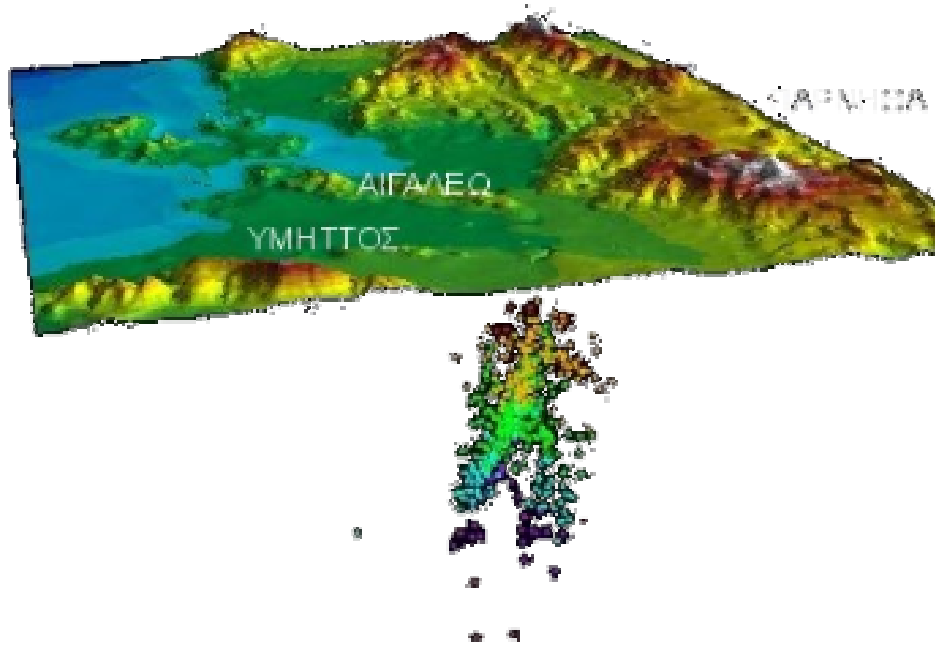


**ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ**

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ  
ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΕΙΟΣΕΙΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ ΤΗΣ 7-9-1999  
ΣΤΗ ΒΔ ΑΤΤΙΚΗ ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ  
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**



**Συντονιστής**

***Κων/τινος Μακρόπουλος***

***Καθηγητής Σεισμολογίας***

***Δ/ντής Εργαστηρίου Σεισμολογίας***

***Τομέας Γεωφυσικής & Γεωθερμίας***

**Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών**

**Αθήνα 2004**

Η συγκεκριμένη μελέτη, με τίτλο “ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΕΙΟΣΕΙΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ ΤΗΣ 7-9-1999 ΣΤΗ ΒΔ ΑΤΤΙΚΗ ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ” ανατέθηκε από τον ΟΑΣΠ στον Τομέα Γεωφυσικής & Γεωθερμίας, Εργαστήριο Σεισμολογίας, του Γεωλογικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Αθηνών, (Συντονιστής, καθηγητής Κ. Μακρόπουλος), σε συνεργασία με επιστήμονες από τον Τομέα Γεωλογίας & Γεωγραφίας του Γεωλογικού Τμήματος του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, το Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας & Αντισεισμικών Κατασκευών και το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ.

Βασικοί στόχοι της συγκεκριμένης ερευνητικής αυτής προσπάθειας ήταν τόσο η αποτύπωση της χωρικής κατανομής της ισχυρής κίνησης στην πλειόσειστη περιοχή του σεισμού της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999, όσο και η κατανόηση των παραγόντων που συνετέλεσαν στη διαμόρφωσή της, όπως:

- α) η διαδικασία διάρρηξης του σεισμογόνου ρήγματος και
- β) οι τοπικές εδαφικές συνθήκες

Είναι φανερό ότι η κατά το δυνατόν **πληρέστερη εκτίμηση των χαρακτηριστικών του σεισμού της 7/9/99 στην πλειόσειστη περιοχή** θα συμβάλλει ουσιαστικά τόσο στο ρεαλιστικότερο αντισεισμικό σχεδιασμό της ευρύτερης περιοχής της Αττικής όσο και πιλοτικά για αντίστοιχες περιπτώσεις σεισμών κοντινού πεδίου άλλων πόλεων (π.χ. Πάτρα, Ηράκλειο, Λαμία, κ.α.).

Μια τέτοια μελέτη δεν θα μπορούσε παρά να ξεκινήσει από την λεπτομερή αποτύπωση της γεωλογίας και τεκτονικής (νεοτεκτονικά και μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά) της ευρύτερης πλειόσειστης περιοχής. Παρουσιάζονται οι χάρτες των ρηγμάτων της Φυλής και Θρακομακεδόνων και της Δυτικής και Νότιας Πάρνηθας, υπολογίζονται οι νεοτεκτονικές τάσεις, ερμηνεύονται εδαφικές συν-σεισμικές παραμορφώσεις και δείχνεται η γεωμετρία του σεισμογόνου ρήγματος, η σχέση του με τις άλλες τεκτονικές δομές της περιοχής και ο ρόλος του στη σεισμογένεση του 1999. Έγινε προσπάθεια συσχέτισής τους με τα σεισμολογικά στοιχεία που προέκυψαν τόσο από τη μελέτη του κυρίου σεισμού, όσο και από τη μελέτη της μετασεισμικής ακολουθίας. Ως επικρατέστερο σενάριο εμφανίζεται εκείνο του τυφλού ρήγματος που θέλει την πρωτογενή διάρρηξη να μη φτάνει στην επιφάνεια και να περιορίζεται σε βάθος μερικών χιλιομέτρων (3 με 4), χωρίς να πρέπει να συνδεθεί απαραίτητα με κάποια επιφανειακή εμφάνιση αποτυπωμένου ρήγματος.

Ακολούθως, παρουσιάζεται η σεισμική προϊστορία και η σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής, καθώς και τα σεισμολογικά και σεισμοτεκτονικά στοιχεία που αφορούν στον σεισμό της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999 (προσεισμοί, κύριος σεισμός και μετασεισμική ακολουθία), ώστε να καταστεί δυνατός ο συσχετισμός μακροσεισμικών παρατηρήσεων κατανομής της ισχυρής εδαφικής κίνησης και κατανομής βλαβών.

Εν συνεχεία, αξιολογείται και εξετάζεται ο ρόλος των γεωτεχνικών συνθηκών που επικρατούν στις θέσεις όπου υπήρξαν ενόργανες καταγραφές, τόσο κατά την διάρκεια όσο και κατά την μετασεισμική ακολουθία του σεισμού της 7/9/1999. Πραγματοποιούνται ελαστικές μονοδιάστατες αναλύσεις εδαφικής απόκρισης για τον προσδιορισμό των μονοδιάστατων καμπυλών φασματικής ενίσχυσης σε κάθε θέση.

Με εφαρμογή της μεθοδολογία ανάλυσης δεδομένων εδαφικού θορύβου (Nakamura), παρουσιάζεται η σεισμολογική προσέγγιση στην εκτίμηση του ρόλου των εδαφικών συνθηκών στην τελική διαμόρφωση της σεισμικής κίνησης.

Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας του εδαφικού θορύβου, δείχνουν ότι:

- δρουν συμπληρωματικά με τη γεωτεχνική προσέγγιση, ιδιαίτερα όταν στις θέσεις ενδιαφέροντος δεν υπάρχουν δεδομένα γεωτρήσεων που να φτάνουν έως το βραχώδες υπόβαθρο
- μας δίνουν μία εικόνα των συχνοτικών ζωνών επίδρασης των επιφανειακών γεωλογικών συνθηκών στη σεισμική κίνηση η οποία προφανώς ισχύει για ελαστικές παραμορφώσεις.
- Τα πλάτη ενίσχυσης μπορούν να χαρακτηριστούν μόνο ως ενδεικτικά γιατί δεν είναι δυνατό να αποδώσουν κατά περίπτωση μη γραμμικές διαδικασίες σε περίπτωση ισχυρού σεισμού.
- Οι ενδείξεις πλατών ενίσχυσης υποδεικνύουν ότι στις θέσεις Μοναστηράκι, Αδάμες, Χαλάνδρι, Καματερό, ΚΕΔΕ, Σεπόλια, Μεταμόρφωση και Μενίδι, η επιφανειακή γεωλογική δομή επέδρασε αρκετά στη διαμόρφωση της τελικής σεισμικής κίνησης, ενώ στις θέσεις Άνω Λιόσια, Θρακομακεδόνες, Φυλή και Θριάσσιο φαίνεται ότι η επίδραση ήταν μικρότερη ή και αμελητέα.

Παρουσιάζονται επίσης, οι καταγραφές της μετασεισμικής ακολουθίας από επιταχυνσιογράφους του ΕΚΠΑ και του ΙΤΣΑΚ, καθώς και η βάση δεδομένων που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας μελέτης για να ενοποιήσει όλα τα υπάρχοντα δεδομένα.

Η επεξεργασία των μετασεισμικών καταγραφών και οι σεισμικές αναλύσεις εδαφικής απόκρισης επιβεβαίωσαν την σημαντικότερη επίδραση του εδάφους και των τοπικών εδαφικών συνθηκών στη διαμόρφωση της τελικής σεισμικής κίνησης του κύριου σεισμού.

Θεωρώντας ότι τα αποτελέσματα της ανάλυσης του εδαφικού θορύβου είναι πιο αντιπροσωπευτικά της ελαστικής τουλάχιστον συμπεριφοράς της επιφανειακής γεωλογίας και όσο αφορά τις συχνοτικές ζώνες ενίσχυσης, σε σχέση με εκείνα των μονοδιάστατων ελαστικών ισοδύναμων, γιατί αναδεικνύουν την επίδραση όλης της εδαφικής στήλης από το πραγματικό βραχώδες υπόβαθρο και πάνω, πρέπει να επιστήσουμε την προσοχή για ακόμα μία φορά σε εκείνους που θέλουν να εκτιμήσουν τα δυναμικά χαρακτηριστικά του εδάφους μόνο με χρήση ελαστικών μονοδιάστατων αναλύσεων σε δεδομένα γεωτρήσεων μερικών μόλις μέτρων βάθους.

Η διερεύνηση της σεισμικής διάρρηξης, η εκτίμηση της κατανομής της σεισμικής κίνησης στην πλειόσειστο περιοχή κατά τη διάρκεια του κυρίου σεισμού, καθώς και η εκτίμηση των σεισμικών κινήσεων από πιθανά μελλοντικά σεισμικά σενάρια, προσεγγίστηκαν με σεισμικές προσομοιώσεις. Έγινε χρήση στοχαστικών, ημι-εμπειρικών και αναλυτικών/θεωρητικών προσεγγίσεων. Στις δύο πρώτες ακολουθήθηκε παρόμοιο σκεπτικό εργασίας. Στην αρχή χρησιμοποιώντας τις γνωστές παραμέτρους και τα δεδομένα επιταχυνσιογράφων, τεκμηριώθηκε το μοντέλο με βάση τη συσχέτιση παρατήρησης/εξομοίωσης. Έχοντας τεκμηριώσει τις παραμέτρους της στοχαστικής μεθόδου σε θέσεις ελεύθερου πεδίου, το επόμενο βήμα ήταν η προσομοίωση των ισχυρών σεισμικών κινήσεων στις υπόλοιπες θέσεις των επιταχυνσιογράφων που κατέγραψαν την ισχυρή σεισμική δόνηση της 7ης Σεπτεμβρίου 1999. Η αναλυτική/θεωρητική προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε τόσο για την περαιτέρω διερεύνηση της κατευθυντικότητας της σεισμικής διάρρηξης, όσο και για την προσομοίωση της εδαφικής κίνησης σε χαρακτηριστική θέση, που μπορεί να προκληθεί από μελλοντικούς σεισμούς επί σημαντικών ρηξιγενών ζωνών που βρίσκονται εκτός Αττικής.

Η προσομοίωση της ισχυρής σεισμικής κίνησης στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου έγινε χρησιμοποιώντας κατ' αρχήν τη στοχαστική προσέγγιση, με βάση τα παρακάτω σενάρια:

- Προσομοίωση της ισχυρής σεισμικής κίνησης στην πλειόσειστο περιοχή της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999.
- Προσομοίωση της ισχυρής σεισμικής κίνησης για πιθανή μελλοντική διάρρηξη του ρήγματος του Θριάσειου πεδίου.

- Προσομοίωση της ισχυρής σεισμικής κίνησης για πιθανή μελλοντική διάρρηξη του ρήγματος των Θρακομακεδόνων.

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραπάνω προσομοιώσεων τόσο στην πλειόσειστη περιοχή του σεισμού της 7/9/1999, όσο και στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου, με τη μορφή επιταχυνσιογραφημάτων και χαρτών μεγίστων και φασματικών τιμών.

Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων της στοχαστικής προσέγγισης κρίνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικά για την πλειοψηφία των εξεταζόμενων θέσεων. Σε ότι αφορά τις χρονοϊστορίες της επιτάχυνσης, η συμφωνία μεταξύ συνθετικών και πραγματικών καταγραφών παρατηρείται τόσο στις μέγιστες τιμές, όσο και στις περιβάλλουσες συναρτήσεις (envelope functions) των κυματομορφών. Ρεαλιστική είναι και η προσομοίωση της διάρκειας των εγκάρσιων κυμάτων, ιδιαίτερα στους πιο κοντινούς ως προς το επίκεντρο σταθμούς. Στους πιο απομακρυσμένους σταθμούς (για παράδειγμα LAVR, COR, HAL1), παρατηρείται υποεκτίμηση της διάρκειας των εγκάρσιων κυμάτων, η οποία μπορεί να οφείλεται σε μεγαλύτερη επίδραση του παράγοντα απόσβεσης. Αντίστοιχα ικανοποιητικές είναι και οι συγκρίσεις των συνθετικών και παρατηρούμενων καταγραφών στο πεδίο των συχνοτήτων, τόσο στο φασματικό σχήμα όσο και στις απόλυτες τιμές της φασματικής επιτάχυνσης.

Μεταξύ των αποτελεσμάτων, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι προσομοιώσεις στις θέσεις MNSA και SGMB. Στην πρώτη περίπτωση, η συνθετική καταγραφή παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με την επιμήκη (longitudinal) καταγεγραμμένη συνιστώσα, ενώ διαφέρει κατά πολύ από την εγκάρσια (transversal). Το γεγονός αυτό ενισχύει τα αποτελέσματα άλλων εργασιών που προαναφέρθηκαν (Gazetas, 2001; Gazetas et al., 2002), σχετικά με την αναξιοπιστία της καταγεγραμμένης εγκάρσιας κίνησης στο σταθμό MNSA και υποδεικνύει την καταγραφή της επιμήκου συνιστώσας ως αντιπροσωπευτική για τη συγκεκριμένη θέση. Από την άλλη πλευρά, η προσομοίωση της ισχυρής σεισμικής κίνησης στο σταθμό SGMB παρουσιάζει σημαντικές διαφορές και με τις δυο καταγεγραμμένες συνιστώσες και ιδιαίτερα με την εγκάρσια. Αξίζει να αναφερθεί ότι το βάθος εγκατάστασης του συγκεκριμένου σταθμού είναι το μεγαλύτερο του συνόλου των σταθμών που εξετάστηκαν (26 m), ενώ στην ίδια θέση και σε μικρότερο βάθος (7 m) ήταν εγκατεστημένος ο σταθμός SGMA. Συγκρίνοντας το βαθμό προσομοίωσης των παρατηρήσεων στους δυο τελευταίους σταθμούς, προκύπτει ότι αυτός είναι σημαντικά καλύτερος για το σταθμό SGMA. Η διαφορά αυτή πιθανόν να οφείλεται σε μεγαλύτερη επίδραση της περιβάλλουσας κατασκευής του σταθμού του Μετρό στις καταγραφές του SGMB ή και το γεγονός ότι αυτές

λήφθηκαν σε μεγαλύτερο βάθος. Επιπρόσθετα, η επίδραση αυτή πιθανόν να ήταν μεγαλύτερη κατά τη διεύθυνση παράλληλα στην εγκάρσια συνιστώσα του SGMB (N225°).

Στη συνέχεια, το τεκμηριωμένο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή χαρτών με συνθετικές τιμές της επιτάχυνσης, επεκτείνοντας τις προσομοιώσεις και σε θέσεις για τις οποίες δεν υπάρχουν καταγραφές από το σεισμό της Αθήνας, με έμφαση στην πλειόσειστη περιοχή.

Οι συνθετικές τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης που υπολογίστηκαν με βάση τη στοχαστική προσέγγιση στο υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής ήταν μικρότερες από 0.35g. Οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται κατά μήκος του σεισμογόνου ρήγματος και εντός της προβολής του επιπέδου του στην επιφάνεια, ενώ αυξημένες τιμές παρατηρούνται και προς την πλευρά της πλειόσειστης περιοχής του 1999. Η αύξηση των τιμών προς την περιοχή αυτή φθάνει σε ορισμένες περιπτώσεις το 50% (για παράδειγμα κοντά στην περιοχή των Θρακομακεδόνων) και σε συνδυασμό με τον παράγοντα των τοπικών εδαφικών συνθηκών μπορεί μερικώς να ερμηνεύσει την κατανομή των βλαβών.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περιοχή συγκέντρωσης αυξημένων τιμών της επιτάχυνσης κοντά στο ανατολικό άκρο της προέκτασης του ρήγματος στην επιφάνεια, καθώς στην ίδια περιοχή παρατηρήθηκε και η μεγαλύτερη συγκέντρωση επιφανειακών διαρρήξεων.

Εξετάζονται ως σενάρια πολύ μικρής πιθανότητας εκδήλωσης μελλοντικού ισχυρού σεισμού οι διαρρήξεις δυο νεοτεκτονικών ρηγμάτων που χαρτογραφήθηκαν εντός της περιοχής μελέτης: του ρήγματος του Θριάσειου πεδίου, παράλληλα στο σεισμογόνο ρήγμα της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999 και του ρήγματος των Θρακομακεδόνων, το οποίο είναι προσανατολισμένο σχεδόν κάθετα στο σεισμογόνο ρήγμα του 1999. Ωστόσο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δυσμενέστερων σεναρίων προσομοίωσης.

Ακολούθως, η προσομοίωση της σεισμικής κίνησης προσεγγίζεται με την ημι-εμπειρική μέθοδο (empirical Green functions). Χρησιμοποιείται το γεγονός της ύπαρξης καταγραφών μετασεισμών στις ίδιες ακριβώς θέσεις που καταγράφηκε ο κύριος σεισμός (Χαλάνδρι, Σεπόλια, ΚΕΔΕ και Μοναστηράκι), ούτως ώστε να τεκμηριώσουμε τις παραμέτρους προσομοίωσης και ιδιαίτερα τον τρόπο διάρρηξης. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται το τεκμηριωμένο σενάριο διάρρηξης, για να προσομοιωθεί η σεισμική κίνηση του σεισμού της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999 στις υπόλοιπες θέσεις καταγραφής της

μετασεισμικής ακολουθίας (Αδάμες, Φυλή, Θριάσσιο, Μενίδι, Άνω Λιόσια, Μεταμόρφωση, Καματερό και Θρακομακεδόνες).

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων της σεισμικής κίνησης χρησιμοποιώντας την ημι-εμπειρική προσέγγιση, μπορούν να βγουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η γεωμετρία, το αζιμούθιο του ρήγματος της Πάρνηθας, πιθανολογούσαν σημαντικά φαινόμενα κατευθυντικότητας σεισμικής διάρρηξης. Πράγματι, στο δυσμενέστερο σενάριο, η διάρρηξη ξεκινά από το δυτικό άκρο του ρήγματος σε βάθος γύρω στα 10 χλμ. και κατευθύνεται προς το ανατολικό άκρο και προς την επιφάνεια. Όλες προσομοιώσεις συγκλίνουν στην άποψη ότι το συγκεκριμένο δυσμενές σενάριο, είναι και το επικρατέστερο σενάριο του σεισμού της 7/9/1999. Αποτελέσματα αυτής της κατευθυντικότητας είναι οι υψηλές τιμές οριζόντιας επιτάχυνσης, ιδιαίτερα στη Α-Δ συνιστώσα, καθώς και σχετικά υψηλές τιμές κατακόρυφης επιτάχυνσης. Θετικό στοιχείο ήταν η σχετικά μικρή διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης (γύρω στα 5 δευτερόλεπτα) και συνδέεται άμεσα με τις διαστάσεις του ρήγματος και την ταχύτητα διάρρηξης (12χλμ / 2.7χλμ/δευτ.~4.5 δευτ.) καθώς και το γεγονός ότι η διάρρηξη δεν έφτασε μέχρι την επιφάνεια (πιθανότερα σταμάτησε στα 4 χλμ βάθος, όπως προκύπτει από τη μελέτη της μετασεισμικής ακολουθίας).
- Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ημι-εμπειρική προσομοίωση για το ρήγμα της Πάρνηθας στη θέση Άνω Λιόσια (χαρακτηριστική θέση πολύ εγγύς πεδίου) η οποία αποκαλύπτει δύο φασματικές κορυφές επιτάχυνσης, γύρω στα 4-5 και 8-9 Hz και πλούσιο περιεχόμενο σε υψηλές συχνότητες (πάνω από 10Hz). Η εκτιμώμενη μέγιστη τιμή επιτάχυνσης σε αυτή τη θέση είναι της τάξης του 0.6g στις οριζόντιες συνιστώσες και 0.4g στην κατακόρυφη. Η διάρκεια της ισχυρής κίνησης είναι 2 με 3 δευτερόλεπτα.
- Μερικές τιμές μέγιστης επιτάχυνσης των συνθετικών της ημι-εμπειρικής προσέγγισης σε διάφορα σενάρια είναι υψηλότερες των αντίστοιχων αποτελεσμάτων της στοχαστικής προσέγγισης γιατί αντιπροσωπεύουν τα συγκεκριμένα πιο δυσμενή σενάρια και όχι στατιστικά μέγιστες τιμές.

Τέλος, η προσομοίωση της σεισμικής κίνησης επιχειρείται μέσω αμιγώς αναλυτικής - αιτιοκρατικής μεθοδολογίας, η οποία βασίζεται σε θεωρητικά στοιχεία δημιουργίας και διάδοσης σεισμικών κυμάτων. Λόγω της πολυπλοκότητας των υπολογισμών, η συγκεκριμένη προσέγγιση δεν ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της κίνησης σε πολλές

θέσεις. Χρησιμοποιείται ενδεικτικά για να προσομοιωθεί η κίνηση του κύριου σεισμού στη θέση των Άνω Λιοσσιών, μία θέση πολύ κοντά στην ανατολική απόληξη του σεισμογόνου ρήγματος, σαν μια προσπάθεια διερεύνησης της κίνησης που προκλήθηκε σε τόσο κοντινό πεδίο. Η συγκεκριμένη προσομοίωση είχε και ως στόχο τη διερεύνηση του ρόλου της κατευθυντικότητας της διάρρηξης σε μια περιοχή που βρίσκεται στο ανατολικό άκρο του ρήγματος, καθώς και την προσπάθεια εκτίμησης των παραμέτρων της ισχυρής κίνησης στο εγγύς πεδίο. Για το σενάριο που θέλει τη διάρρηξη να κατευθύνεται προς ανατολάς η μέγιστη τιμή επιτάχυνσης υπολογίζεται σε 0.6g ενώ στην αντίθετη περίπτωση μονόδρομης διάρρηξης προς δυσμάς η μέγιστη επιτάχυνση υπολογίζεται σε 0.4g.

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία χρησιμοποιείται επίσης για να εκτιμήσουμε την πιθανή σεισμική κίνηση στην ίδια θέση των Άνω Λιοσσιών που μπορεί να προκληθεί από σενάρια μελλοντικών σεισμών της ευρύτερης περιοχής. Αν και τελευταία αποτελεί μια πεποίθηση ότι δεν υπάρχει τόσο μεγάλο ρήγμα στην περιοχή της Αταλάντης που να αποτελεί μία από τις βασικές απειλές για την Αττική, προχωρήσαμε στη συγκεκριμένη προσομοίωση για λόγους περισσότερο σχεδιασμού ακραίου σεναρίου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι όλα τα συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα που προέρχονται από της παρακάτω θεωρητικές προσομοιώσεις, αναπαράγουν το κυματικό πεδίο μέχρι μέγιστο 4-5 Hz. Η ρεαλιστική αναπαραγωγή αξιόπιστων συνθετικών για μεγαλύτερες συχνότητες, όπως προαναφέρθηκε, δεν είναι δυνατή μέσω θεωρητικών μεθόδων. Κατά συνέπεια τα παραγόμενα συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα αντιπροσωπεύουν κινήσεις υποβάθρου, λόγω του γεγονότος ότι η πολύπλοκη επιφανειακή δομή της τάξης των μέτρων είναι σχεδόν διαφανής για τη συγκεκριμένη συχνοτική ζώνη.

Και για τις δύο προσομοιώσεις η μέγιστη επιτάχυνση δεν ξεπερνά τα 0.2g για οποιαδήποτε σενάριο διάρρηξης.

Και οι τρεις λοιπόν μεθοδολογίες προσομοίωσης συνηγορούν σε μία κατευθυντικότητα της σεισμικής διάρρηξης προς ανατολάς. Η έντονη εμφάνιση των αποτελεσμάτων της κατευθυντικότητας σε συγκεκριμένα διαστήματα περιόδων μπορεί να ερμηνευτεί θεωρητικά. Σύμφωνα με τη θεωρητική διατύπωση του φαινομένου της κατευθυντικότητας (Ben-Menahem, 1961, 1962) η μέγιστη ένταση των αποτελεσμάτων του προβλέπεται σε περιπτώσεις που οι διαστάσεις της πηγής είναι της ίδιας τάξης με το μήκος του ακτινοβολούμενου κύματος και σε περιπτώσεις που η διάρκεια της διάρρηξης είναι της ίδιας τάξης με την περίοδο του ακτινοβολούμενου κύματος. Στην περίπτωση του σεισμού της Αθήνας, η περίοδος 0.2 sec, για την οποία τα αποτελέσματα της κατευθυντικότητας είναι



ιδιαίτερα έντονα, αντιστοιχεί σε μήκος κύματος,  $\lambda$ , της τάξης των 16.5 km ( $c = \lambda/T$  όπου  $c=3.3$  km/sec η μέση ταχύτητα διάδοσης των εγκάρσιων κυμάτων και  $T=0.2$  sec η παρατηρούμενη περίοδος). Το συγκεκριμένο μήκος κύματος είναι συγκρίσιμο με τις διαστάσεις της σεισμικής πηγής (12 με 16 km). Αντίστοιχα, η διάρκεια της διάρρηξης που κυμάνθηκε από 3 έως 5 sec, είναι συμβατή με έντονη εκδήλωση του φαινομένου της κατευθυντικότητας στις αντίστοιχες περιόδους.