



ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ
ΕΝΩΣΗ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ
ΤΑΜΕΙΟ

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ

Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Πολιτισμού και Αθλητισμού



η περιφέρεια στο επίκεντρο της ανάπτυξης



Π2.3 Ανάπτυξη Σεισμικών Σεναρίων

Παραδοτέο 2.3: Ανάπτυξη Σεισμικών Σεναρίων

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΣ Ο.Τ.Μ. Α.Ε
ΑΤΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ Α.Ε.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2014

Περιεχόμενα

2.3.1 Μέθοδος Προσομοίωσης της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης	3
2.3.2 Επιλογή Σεναρίων Σεισμών	5
2.3.3 Εφαρμογή στοχαστικής μεθόδου και αποτελέσματα	6
2.3.3.1 Σενάριο σεισμού M5.9 στο ρήγμα της Φυλής	6
2.3.3.2 Σενάριο σεισμού M6.5 στο ρήγμα της Κινέτας	14
2.3.3.3 Σενάριο σεισμού M6.7 στο ρήγμα του Ωρωπού	18
2.3.3.4 Σενάριο σεισμού M6.7 στο νότιο ρήγμα των Αλκυονίδων	23
2.3.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων αιτιοκρατικής και πιθανοτικής προσέγγισης.....	28
2.3.5 Βιβλιογραφία	30
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	32

Π2.3 Ανάπτυξη Σεισμικών Σεναρίων

Στο παρόν παραδοτέο περιγράφονται συγκεκριμένα σενάρια σεισμών που εξετάστηκαν ως προς τον εδαφικό κραδασμό που θα προκαλούσαν εάν παρατηρούσαν στην πραγματικότητα, κατά μήκος του άξονα του αυτοκινητοδρόμου της Α.Ο. Για την προσομοίωση της εδαφικής κίνησης χρησιμοποιήθηκε η στοχαστική μέθοδος για σεισμικές πηγές πεπερασμένων διαστάσεων. Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής και φυσικά στη σεισμική πηγή που προκάλεσε τον πρόσφατο σεισμό των Αθηνών (Μ5.9, 1999). Πρόκειται για μια αιτιοκρατική μέθοδο τα αποτελέσματα της οποίας στο τέλος συγκρίνονται και με τη συμβατική πιθανοτική προσέγγιση για μέση περίοδο επανάληψης 475 και 975 χρόνων. Στην πιθανοτική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν πρόσφατα στοιχεία και μέθοδοι που αναπτύχθηκαν στο ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe, <http://www.share-eu.org/>).

Τα αποτελέσματα του παραδοτέου αυτού συμπληρούμενα με την καταγραφή των γεωτεχνικών συνθηκών κατά μήκος της Αττικής Οδού θα αποτελέσουν, σε επόμενη φάση, τη βάση για την εκτίμηση των κατάλληλων σεισμικών σεναρίων για την εκτίμηση της τρωτότητας και τον έλεγχο της ασφάλειας της Αττικής Οδού και των διαφόρων τεχνικών έργων που την απαρτίζουν, έναντι ισχυρού σεισμικού κραδασμού.

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εδαφοδυναμικής και Γεωτεχνικής Σεισμικής Μηχανικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΑΠΘ με κύρια ερευνήτρια τη Δρ. Ζαφειρία Ρουμελιώτη και επιβλέποντα τον Καθηγητή Κυριαζή Πιτιλάκη. Συμμετείχαν επίσης οι Επίκουροι Καθηγητές Δημήτρης Πιτιλάκης και Αναστάσιος Αναστασιάδης, οι Δρ. Σωτήρης Αργυρούδης, Σταυρούλα Φωτοπούλου και οι υποψήφιοι διδάκτορες Εύη Ρήγα, Άννα Καρατζέτζου και Γρηγόρης Τσινίδης.

2.3.1 Μέθοδος Προσομοίωσης της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης

Τις τελευταίες δεκαετίες, ένα από τα πολύτιμα εργαλεία των σεισμολόγων για τη μελέτη της ισχυρής εδαφικής κίνησης είναι το στοχαστικό μοντέλο της σημειακής σεισμικής πηγής (Hanks and McGuire, 1981, Boore, 1983; Boore and Atkinson, 1987; Atkinson and Boore, 1995). Το μοντέλο αυτό προτάθηκε αρχικά από τους Hanks and McGuire (1981), οι οποίοι υποστήριξαν ότι οι παρατηρούμενες υψίσυχνες (~1-10 Hz) σεισμικές κινήσεις μπορούν να χαρακτηριστούν ως πεπερασμένης διάρκειας λευκός γκαουσιανός θόρυβος (white Gaussian noise). Ο θόρυβος αυτός μπορεί να θεωρηθεί ότι επικάθεται πάνω σε ένα φάσμα πλάτους, το οποίο αντιστοιχεί στην εστία και τη διαδικασία διάρρηξης και περιγράφεται ικανοποιητικά με τη χρήση

γνωστών σεισμολογικών μοντέλων (Aki, 1967; Brune, 1970, 1971; Atkinson and Silva, 2000, μεταξύ άλλων).

Η στοχαστική μέθοδος, που είναι γνωστή και ως «μέθοδος του λευκού θορύβου», προτάθηκε από τον Boore (1983) και εφαρμόστηκε από μεγάλο αριθμό ερευνητών για την προσομοίωση της ισχυρής εδαφικής κίνησης από σημειακές σεισμικές πηγές (Boore and Atkinson, 1987; Toro and McGuire, 1987; Ou and Herrmann, 1990; Atkinson and Boore, 1995).

Οι Beresnev and Atkinson (1997), πρότειναν μια τεχνική για την επέκταση των εφαρμογών της στοχαστικής μεθόδου και σε περιπτώσεις πηγών με πεπερασμένες διαστάσεις, όπως είναι τα ρήγματα που συνδέονται με τη γένεση ισχυρών σεισμών. Η βασική ιδέα της μεθόδου περιλαμβάνει διαίρεση της μελετούμενης πηγής σε μικρότερα τμήματα, καθένα από τα οποία μπορεί να θεωρηθεί ως σημειακή σεισμική πηγή. Σε κάθε σημειακή πηγή αποδίδεται ένα θεωρητικό, στοχαστικό μοντέλο φάσματος της μορφής ω^{-2} (Aki, 1967) και καθένα από τα φάσματα αυτά συνελίσσεται με το αποτέλεσμα του δρόμου διάδοσης, το οποίο περιγράφεται κατά κύριο λόγο με εμπειρικό τρόπο (εμπειρικές σχέσεις πλάτους και διάρκειας των ισχυρών σεισμικών κινήσεων σε συνάρτηση με την απόσταση από την πηγή). Τα επιμέρους τελικά φάσματα από τα διάφορα τμήματα στα οποία έχει διαιρεθεί η αρχική πηγή, αθροίζονται στη θέση παρατήρησης χρησιμοποιώντας κατάλληλες χρονικές διορθώσεις, έτσι ώστε να παραχθεί το συνθετικό φάσμα της ισχυρής εδαφικής κίνησης από την πηγή πεπερασμένων διαστάσεων.

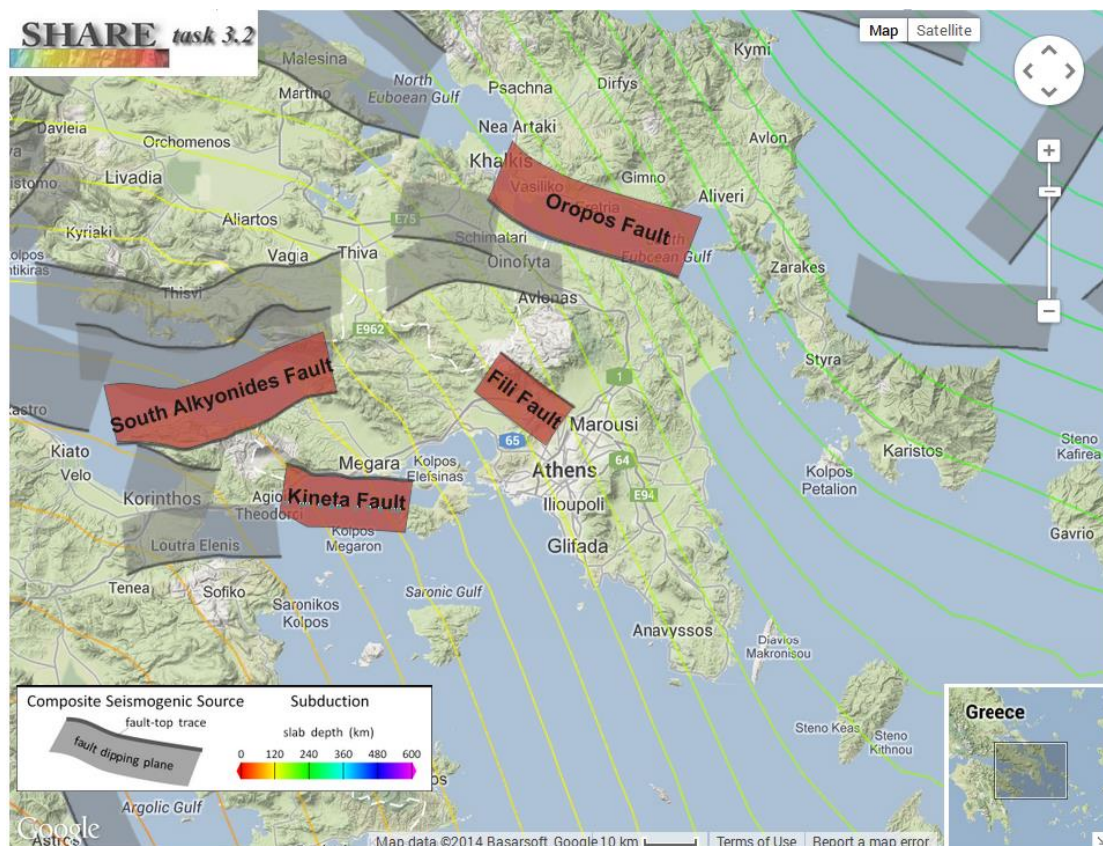
Η παραπάνω τεχνική έχει το πλεονέκτημα της απλότητας σε σύγκριση με άλλες που έχουν προταθεί για τον ίδιο σκοπό (Hartzell and Heaton, 1983; Somerville et al., 1991; Zeng et al., 1994, μεταξύ άλλων) και στις οποίες υπεισέρχονται πολύπλοκοι θεωρητικοί υπολογισμοί. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το ότι καμία από τις προτεινόμενες κατά καιρούς μεθοδολογίες δεν παρουσιάζει συστηματικά μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τις υπόλοιπες, οδήγησε στην επιλογή της συγκεκριμένης τεχνικής για την προσομοίωση της ισχυρής εδαφικής κίνησης στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία παρέχει τη δυνατότητα της περιγραφής των αποτελεσμάτων της σεισμικής πηγής, του δρόμου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων και των εδαφικών συνθηκών σε κάθε θέση ενδιαφέροντος μέσω απλών, εμπειρικών στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, σχέσεων. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται εκμετάλλευση του συνόλου των διαθέσιμων σεισμοτεκτονικών, γεωλογικών, γεωδαιτικών και γεωφυσικών δεδομένων μιας περιοχής, προσδίδοντας φυσική σημασία και επομένως αιτιοκρατικό χαρακτήρα στα σενάρια των σεισμών που εξετάζονται.

2.3.2 Επιλογή Σεναρίων Σεισμών

Τα σενάρια σεισμών που εξετάστηκαν στο πλαίσιο του παρόντος ερευνητικού προγράμματος είναι:

- Επανάληψη του σεισμού M5.9 του 1999 στο ρήγμα της Φυλής
- Σεισμός μεγέθους 6.5 στο ρήγμα της Κινέτας
- Σεισμός μεγέθους 6.7 στο ρήγμα του Ωρωπού
- Σεισμός μεγέθους 6.7 στο νότιο ρήγμα των Αλκυονίδων

Οι πηγές που εξετάστηκαν επιλέχθηκαν από τη σχετική βάση δεδομένων του SHARE (<http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>) και τη βάση GreDaSS (<http://gredass.unife.it/>) με τη λογική της εγγύτητάς τους ως προς τον αυτοκινητόδρομο της Αττικής Οδού και το σεισμικό δυναμικό τους. Οι θέσεις των πηγών αυτών σημειώνονται στον χάρτη του Σχήματος 2.3.1 με κόκκινο χρώμα.

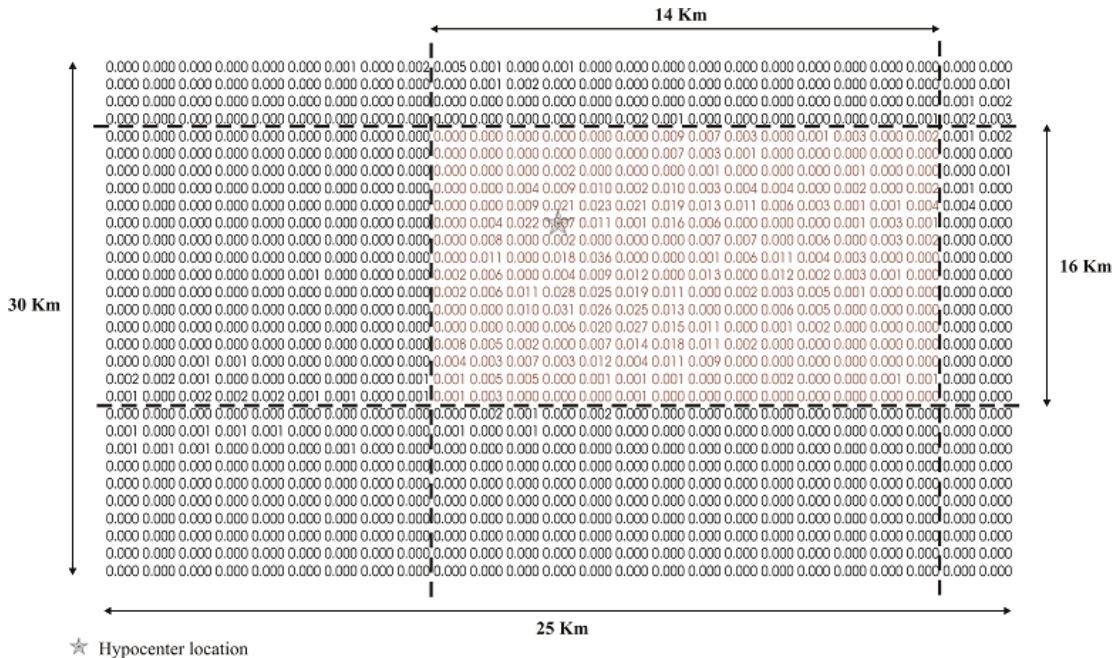


Σχήμα 2.3.1: Σεισμικές πηγές στην ευρύτερη περιοχή της Α.Ο. που περιλαμβάνονται στη σχετική βάση δεδομένων του ερευνητικού προγράμματος SHARE (<http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>). Με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι πηγές των σεναρίων σεισμών που εξετάζονται στο πλαίσιο του παρόντος παραδοτέου.

2.3.3 Εφαρμογή στοχαστικής μεθόδου και αποτελέσματα

2.3.3.1 Σενάριο σεισμού M5.9 στο ρήγμα της Φυλής

Προκειμένου να εφαρμοστεί η μέθοδος προσομοίωσης της ισχυρής εδαφικής κίνησης για πεπερασμένες πηγές (Beresnev and Atkinson, 1997) θα πρέπει να καθοριστούν ορισμένες παράμετροι για τη προσομοίωση της σεισμικής πηγής (π.χ. γεωμετρία - διαστάσεις πηγής και σημείο έναρξης της διάρρηξης), του δρόμου διάδοσης (υιοθέτηση εμπειρικής σχέσης απόσβεσης των σεισμικών κυμάτων) και των τοπικών εδαφικών συνθηκών (καθορισμός συντελεστών ενίσχυσης για το φάσμα της ισχυρής εδαφικής κίνησης) σε κάθε θέση παρατήρησης. Οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της παρούσας υποενότητας έχουν τεκμηριωθεί μέσω της προσομοίωσης των πραγματικών καταγραφών του σεισμού της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 (Ρουμελιώτη, 2003; Roumelioti et al., 2004). Το προσομοίωμα της σεισμικής πηγής περιλαμβάνει συγκεκριμένη κατανομή της ολίσθησης, η οποία προέκυψε από την αντιστροφή των χρονικών συναρτήσεων της πηγής, όπως αυτές υπολογίστηκαν με βάση τη μέθοδο των εμπειρικών συναρτήσεων Green (π.χ. Hartzell, 1979), καθώς και σεισμολογικά δεδομένα ευρέως φάσματος του σεισμού του 1999 (Roumelioti et al., 2003). Το σύνολο των στοχαστικών παραμέτρων που υιοθετήθηκαν παρατίθενται στον Πίνακα 2.3.1.



Σχήμα 2.3.2: Βάρη ολίσθησης για τον σεισμό της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 (M5.9) στην Πάρνηθα. Οι τιμές που σημειώνονται με κόκκινο χρώμα αντιστοιχούν στα 14×16 τμήματα στα οποία έχει διαιρεθεί η επιφάνεια του ρήγματος στο μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης (Πίνακας 2.3.1) (Ρουμελιώτη, 2003).

Πίνακας 2.3.1: Τιμές των παραμέτρων της στοχαστικής μεθόδου για πεπερασμένες πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση της ισχυρής εδαφικής κίνησης από τον σεισμό της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 στο ρήγμα της Φυλής.

Παράμετρος	Σύμβολο	Τιμή
Παράταξη, κλίση ρήγματος	fi1,dip	115°, 57°
Γεωγραφικές συντεταγμένες σημείου αναφοράς (άνω άκρο επιφάνειας ρήγματος)	alat1 alon1	38.144° 23.544°
Θέσεις προσομοίωσης ισχυρής εδαφικής κίνησης	alat2 alon2	Τρία σημεία κατά μήκος του άξονα της Α.Ο. Point 1: 38.09°, 23.56° Point 2: 38.02°, 23.83° Point 3: 37.88°, 23.93°
Μήκος ρήγματος Πλάτος ρήγματος	rleng wid	14×16 km (Roumelioti et al., 2004)
Αριθμός τμημάτων ρήγματος (subfaults) κατά μήκος της παράταξης και της κλίσης	$N_L \times N_W$	14x16 (Roumelioti et al., 2004)
Βάθος πάνω άκρου ρήγματος	h	3.3 km
Πτώση τάσης	stress	50 bars
Αριθμός σημείων για FFT (δύναμη του 2)	leng1	4096
Διάστημα δειγματοληψίας χρονοσειρών	dt	0.005 sec
Ταχύτητα διάδοσης των S-κυμάτων στο φλοιό	beta	3.3 km/sec
Πυκνότητα φλοιού	rho	2.72 gr/cm ³
Παράμετρος ελέγχου έντασης της ακτινοβολίας	sfact	1.5
Παράμετρος επιλογής φίλτρου	ikap	1 ("kappa" filter)
Παράμετρος κ_0	kappa	0.035 (για επιφανειακές συνθήκες βράχου)
Παράμετροι του μοντέλου απόσβεσης $Q(f)=Q_0 * f^{**} \eta$	Q_0 η	100.0 0.8
Μοντέλο γεωμετρικής διασποράς	igeom	0 (μοντέλο 1/r)
Παράμετροι μοντέλου διάρκειας	rmin rd1 rd2 durmin b1 b2 b3	1000. 1000. 1000. 0. 0.16 -0.03 0.04
Παράμετρος συνάρτησης μορφοποίησης	iwind	1 (Saragoni-Hart window)
Παράμετροι φάσματος απόκρισης	nfreq freq1 freq2	20 0.1 20.
Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης	damp	0.05
Ενίσχυση τοπικών εδαφικών συνθηκών	namp1	Εμπειρικοί συντελεστές ενίσχυσης κατά EC8, τροποποιημένοι (SHARE, Pitilakis et al., 2012) και κατά Pitilakis et al. (2013)

Παράμετρος επιλογής μοντέλου ολίσθησης	islip	Roumelioti et al., 2003
Θέση σημείου έναρξης της διάρρηξης	i_0, j_0	4,6 (Δυτικό τμήμα του ρήγματος)

Για τον καθορισμό του αριθμού των υποπηγών (subfaults) στα οποία διαιρείται το επίπεδο του σεισμογόνου ρήγματος κατά την εφαρμογή της στοχαστικής μεθόδου χρησιμοποιήθηκε η εμπειρική σχέση των Beresnev and Atkinson (1999), η οποία βασίστηκε σε «*a posteriori*» στοχαστικές προσομοιώσεις μεγάλου αριθμού σεισμών από τους συγγραφείς της συγκεκριμένης εργασίας. Η εμπειρική σχέση έχει τη μορφή:

$$\log \Delta l = 0.4M - 2 \quad (1)$$

όπου Δl είναι το μήκος κάθε υποπηγής. Κατά τον υπολογισμό της παραπάνω εμπειρικής σχέσης θεωρήθηκε ότι $\Delta l = \Delta w$, υπόθεση η οποία υιοθετείται και στο πλαίσιο των εδώ περιγραφόμενων προσομοιώσεων. Ο αριθμός των υποπηγών κατά μήκος της παράταξης, N_L , και κατά μήκος της κλίσης, N_w , του ρήγματος υπολογίζεται τελικά από τις σχέσεις:

$$N_L = \frac{L}{\Delta l} \quad (2)$$

$$N_w = \frac{w}{\Delta w}$$

Για την παράμετρο $\Delta \sigma$ χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή των 50 bars (Kanamori and Anderson, 1975), η οποία βρίσκεται κοντά στη μέση τιμή των 56 bars που υπολόγισαν οι Margaris and Boore (1998) από προσομοιώσεις των φασμάτων απόκρισης πρόσφατων μεγάλων σεισμών του ελληνικού χώρου. Η συγκεκριμένη παράμετρος ελέγχει την τιμή της σεισμικής ροπής καθενός από τα τμήματα στα οποία διαιρείται το ρήγμα και τον τελικό αριθμό των «υποπηγών», οι οποίες πρέπει να συντεθούν ώστε να εξισωθεί η σεισμική ροπή του υπό προσομοίωση σεισμού. Εκτιμάται ότι η τιμή των 50 bars περιγράφει ικανοποιητικά και τα σενάρια σεισμών που ενδιαφέρουν τη συγκεκριμένη έρευνα.

Για τη γεωμετρική διασπορά των σεισμικών κυμάτων θεωρήθηκε το μοντέλο $1/r$, όπου r είναι η απόσταση από τη σεισμική εστία. Αν και τα περισσότερα μοντέλα γεωμετρικής διασποράς που έχουν κατά καιρούς προταθεί περιλαμβάνουν τριγωνική συνάρτηση (για παράδειγμα Atkinson and Boore, 1995; Sokolon, 2000) εξάρτησης της απόσβεσης από την απόσταση, το μοντέλο $1/r$ θεωρείται επαρκές για προσομοιώσεις της ισχυρής εδαφικής κίνησης σε μικρές αποστάσεις (<50 – 60 km), όπως αυτές που εξετάζονται στην παρούσα έρευνα.

Η προσομοίωση της απόσβεσης που σχετίζεται με τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων από την περιοχή της σεισμικής εστίας ως τη θέση καταγραφής έγινε μέσω της σχέσης $Q(f) = 100f^{0.8}$. Οι συντελεστές της σχέσης υιοθετήθηκαν ως αντιπροσωπευτικοί μέσοι όροι των τιμών που έχουν προταθεί για τον ελληνικό χώρο (Hatzidimitriou 1993, 1995; Π. Χατζηδημητρίου, προσωπική επικοινωνία). Σημειώνεται ότι το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου παράγοντα θεωρείται αμελητέο σε περιπτώσεις που η απόσταση υποκέντρου – σημείου παρατήρησης είναι μικρότερη από 50 km (Street et al., 1975; Archuleta et al., 1982).

Για το συνυπολογισμό της περαιτέρω απόσβεσης των υψηλών συχνοτήτων που οφείλεται σε λόγους διάφορους του δρόμου διάδοσης, χρησιμοποιήθηκε το φίλτρο των Anderson and Hough (1984), το οποίο περιλαμβάνει την παράμετρο κ_0 . Για τη συγκεκριμένη παράμετρο χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή που έχει προταθεί για επιφανειακές συνθήκες βράχου στον ελλαδικό χώρο ($\kappa_0=0.035$, Margaris and Boore, 1998; Klimis et al., 1999).

Από την εφαρμογή της επιλεγμένης μεθόδου προσομοίωσης της εδαφικής κίνησης και για κάθε σημείο παρατήρησης προκύπτουν η συνθετική χρονική ιστορία της επιτάχυνσης του εδάφους (το τμήμα που αντιστοιχεί στα S κύματα) και το αντίστοιχο φάσμα σχεδιασμού για επιφανειακές συνθήκες βράχου. Προκειμένου να συνυπολογιστεί το αποτέλεσμα των τοπικών εδαφικών συνθηκών σε κάθε θέση, θα πρέπει το εκάστοτε φάσμα σχεδιασμού να τροποποιηθεί με κατάλληλους συντελεστές περιγραφής της εδαφικής ενίσχυσης ανάλογα με την κατηγορία του εδάφους. Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας παρουσιάζουμε συγκριτικά τα αποτελέσματα της χρήσης τριών διαφορετικών ομάδων συντελεστών (κατά Ευρωκώδικα 8, τους τροποποιημένους συντελεστές που προτάθηκαν στο πλαίσιο του SHARE για τις κατηγορίες εδάφους του Ευρωκώδικα 8 (Pitilakis et al., 2012) - Πίνακας 2.3.2 - και μια πιο πρόσφατη ομάδα συντελεστών ενίσχυσης που προτάθηκε από τους Pitilakis et al., 2013) για μια ενδεικτική κατηγορία εδάφους (C κατά τον Ευρωκώδικα 8). Ωστόσο, αντίστοιχα αποτελέσματα μπορούν να παραχθούν για οποιοδήποτε σημείο του άξονα της Α.Ο. και για οποιαδήποτε κατηγορία εδάφους.

Πίνακας 2.3.2: Συντελεστές φασματικής ενίσχυσης για τις τέσσερις κατηγορίες εδάφους του EC8, όπως περιλαμβάνονται στην τρέχουσα έκδοση του Ευρωκώδικα και όπως τροποποιήθηκαν από τους Pitilakis et al. (2012) στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος SHARE.

EC8 Κατηγορία Εδάφους	Τύπος 2 ($M_s \leq 5.5$)		Τύπος 1 ($M_s > 5.5$)	
	SHARE	EC8	SHARE	EC8
B	1.40	1.35	1.30	1.20
C	2.10	1.50	1.70	1.15

D	2.20*	1.80	1.60*	1.35
E	1.60	1.60	1.40**	1.40

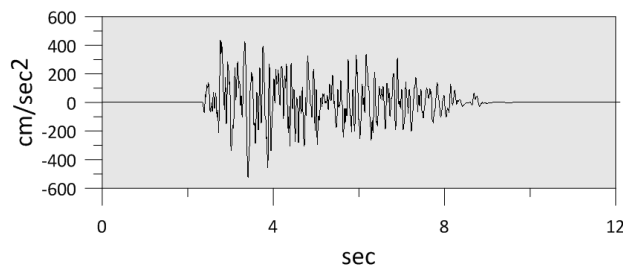
* περιορισμένα δεδομένα

** υπολογισμένοι με βάση καταγραφές της ισχυρής εδαφικής κίνησης του Kik-Net στην επιφάνεια και τον βράχο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της εδαφικής επιτάχυνσης για τρία σημεία κατά μήκος του άξονα της Α.Ο. (Σχήμα 2.3.3). Στο Σχήμα 2.3.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για ένα σημείο του δυτικού τμήματος του άξονα (Point 1, Σχήμα 2.3.3), στο Σχήμα 2.3.5 τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για ένα σημείο του κεντρικού τμήματος του άξονα (Point 2, Σχήμα 2.3.3) και στο Σχήμα 2.3.6 τα αντίστοιχα αποτελέσματα για ένα σημείο του ανατολικού τμήματος του άξονα της Α.Ο. (Point 3, Σχήμα 2.3.3). Όπως αναμένεται λόγω μεταξύ άλλων και της διαφορετικής απόστασης των τριών σημείων από τη εκάστοτε θεωρούμενη σεισμική πηγή, οι μέγιστες επιταχύνσεις αλλά και οι φασματικές τιμές (ελαστικά φάσματα απόκρισης για $\xi=5\%$) παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των τριών σημείων.

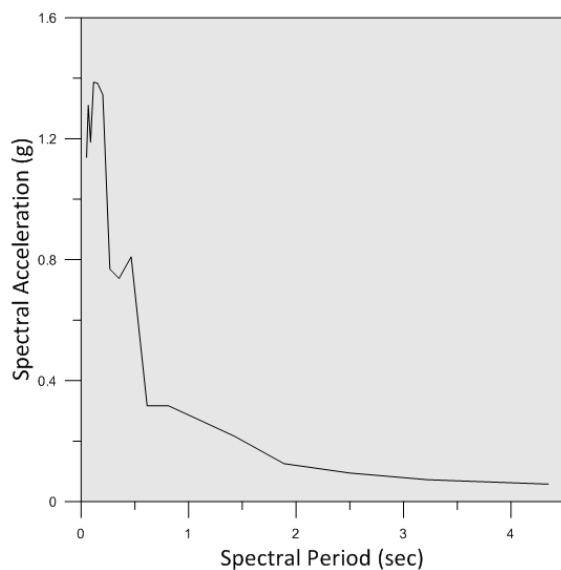


Σχήμα 2.3.3: Χάρτης με τις θέσεις των τριών σημείων που επιλέχθηκαν για να δοθούν ενδεικτικά τα αποτελέσματα της στοχαστικής μεθόδου προσομοίωσης της εδαφικής κίνησης.



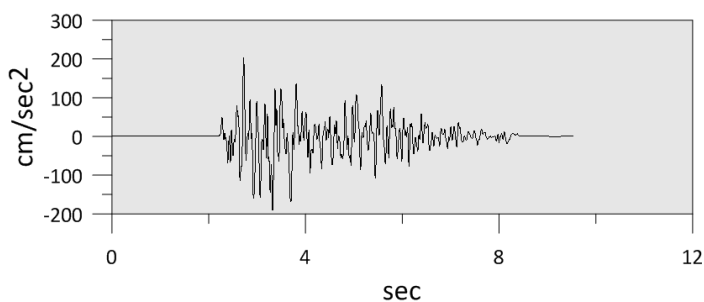
α)

(συνεχίζεται)

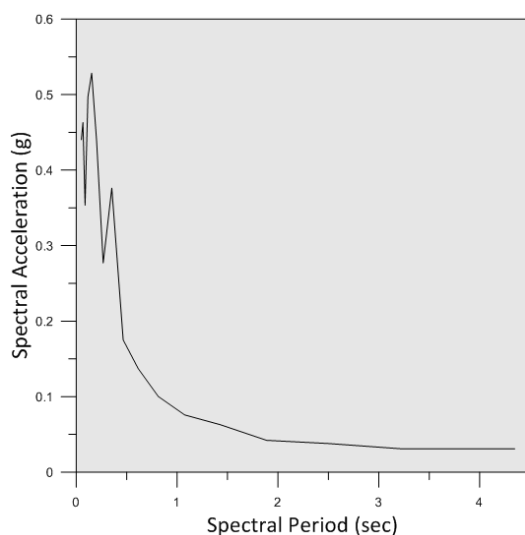


β)

Σχήμα 2.3.4: α) Συνθετικό επιταχυνσιόγραμμα και β) φάσμα ελαστικής απόκρισης επιτάχυνσης (απόσβεση 5%) όπως υπολογίστηκαν για το σημείο 1 (Point 1, Σχήμα 2.3.3) για σενάριο σεισμού M5.9 στο ρήγμα της Φυλής σύμφωνα με τις παραμέτρους του Πίνακα 2.3.1.

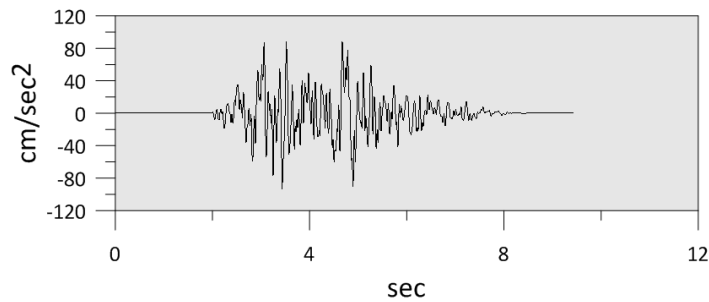


α)

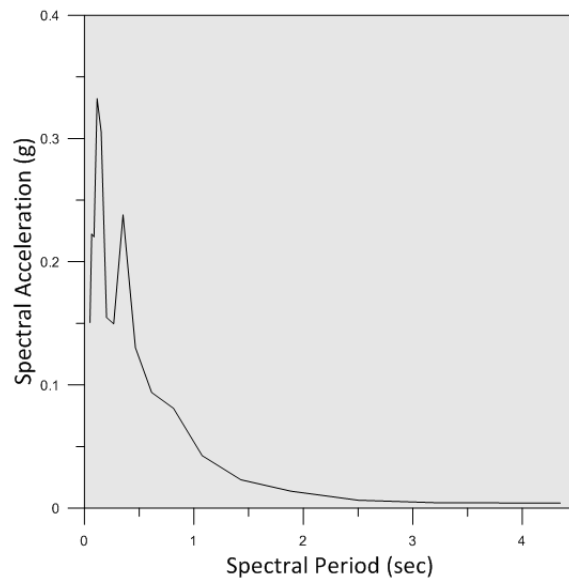


β)

Σχήμα 2.3.5: α) Συνθετικό επιταχυνσιόγραμμα και β) φάσμα ελαστικής απόκρισης επιτάχυνσης (απόσβεση 5%) όπως υπολογίστηκαν για το σημείο 2 (Point 2, Σχήμα 2.3.3) για σενάριο σεισμού M5.9 στο ρήγμα της Φυλής σύμφωνα με τις παραμέτρους του Πίνακα 2.3.1.



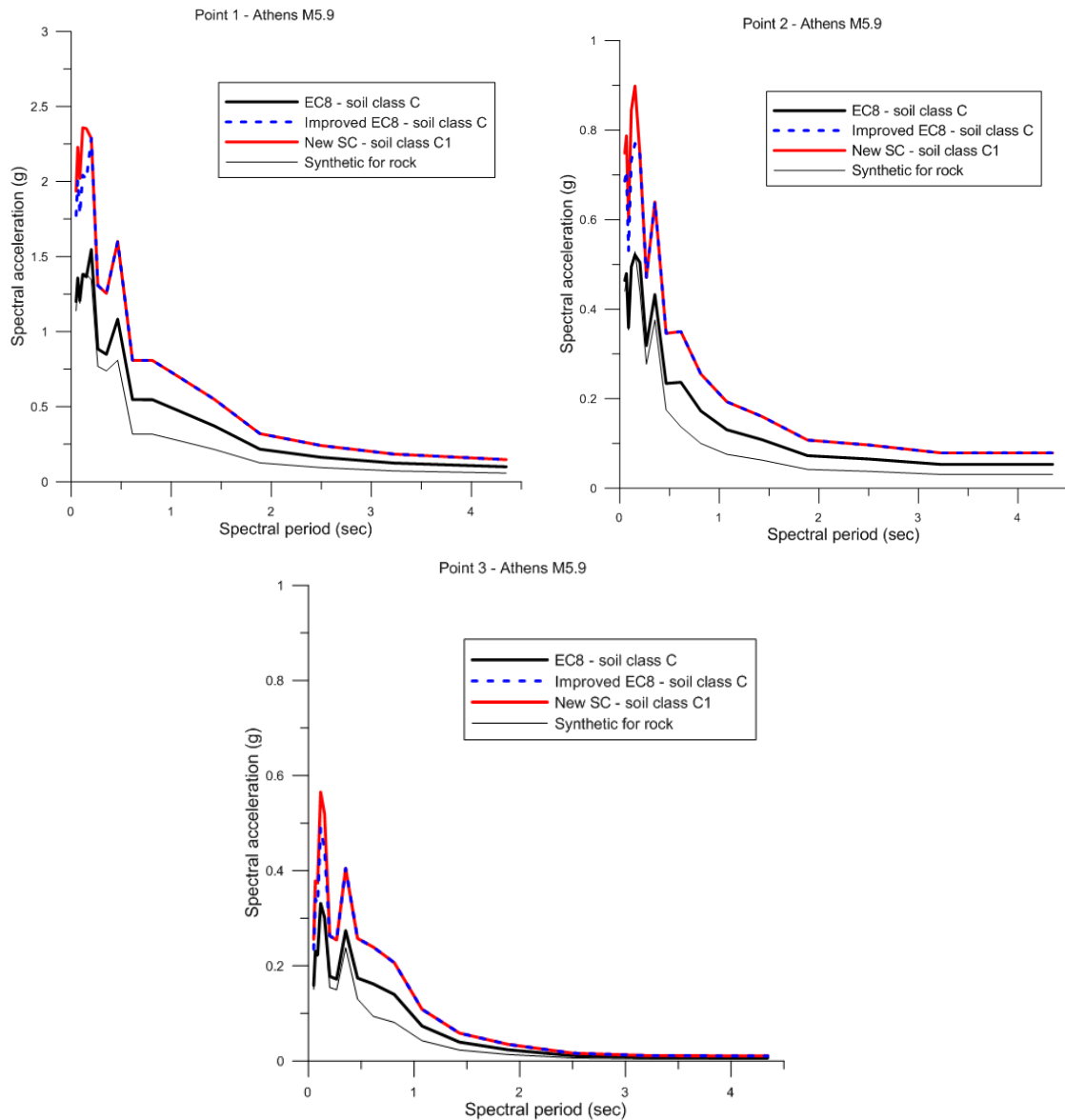
α)



β)

Σχήμα 2.3.6: α) Συνθετικό επιταχυνσιόγραμμα και β) φάσμα ελαστικής απόκρισης επιτάχυνσης (απόσβεση 5%) όπως υπολογίστηκαν για το σημείο 3 (Point 3, Σχήμα 2.3.3) για σενάριο σεισμού M5.9 στο ρήγμα της Φυλής σύμφωνα με τις παραμέτρους του Πίνακα 2.3.1.

Στο Σχήμα 2.3.7 γίνεται σύγκριση των φασμάτων απόκρισης που υπολογίστηκαν για τα τρία σημεία του άξονα της Α.Ο. μετά από κατάλληλη ενίσχυσή τους σύμφωνα με τους συντελεστές ενίσχυσης του Ευρωκώδικα 8, τους τροποποιημένους συντελεστές ενίσχυσης που προτάθηκαν από τους Pitilakis et al. (2012) και τη νέα κατηγοριοποίηση των εδαφών και τους αντίστοιχους συντελεστές ενίσχυσης που προτάθηκαν από τους Pitilakis et al. (2013). Τα φάσματα παρουσιάζονται ενδεικτικά για μια κατηγορία εδάφους (C κατά Ευρωκώδικα 8 και την αντίστοιχη C1 της νέας κατηγοριοποίησης από τους Pitilakis et al., 2013). Οι αντίστοιχες συγκρίσεις για τις υπόλοιπες κατηγορίες περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Α του παρόντος.



Σχήμα 2.3.7: Φάσματα σχεδιασμού για τρία σημεία της Α.Ο. (Σχήμα 2.3.3), όπως προέκυψαν μετά την τροποποίηση του συνθετικού φάσματος απόκρισης για κάθε θέση με βάση τους συντελεστές του Πίνακα 2.3.2 και αυτούς που προτάθηκαν από τους Pitilakis et al. (2013). Το συνθετικό φάσμα σχεδιασμού για επιφανειακές συνθήκες βράχου (λεπτή μαύρη γραμμή) παρουσιάζεται για λόγους σύγκρισης.

2.3.3.2 Σενάριο σεισμού M6.5 στο ρήγμα της Κινέτας

Οι παράμετροι που σχετίζονται με την περιγραφή της γεωμετρίας του ρήγματος της Κινέτας, όπως και το μέγιστο μέγεθος που συνδέεται με την πηγή αυτή (M6.5) προέρχονται από τη σχετική βάση δεδομένων του ερευνητικού προγράμματος SHARE και την αντίστοιχη βάση με δεδομένα που αφορούν αποκλειστικά τον ελλαδικό χώρο (<http://gredass.unife.it/>). Οι τιμές των παραμέτρων που περιγράφουν το αποτέλεσμα του δρόμου διάδοσης παραμένουν οι ίδιες σε όλα τα σενάρια που εξετάζονται και η διαδικασία επιλογής τους περιγράφηκε στην προηγούμενη υποενότητα (2.3.3.1). Το σύνολο των τιμών των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση της εδαφικής κίνησης από το σενάριο σεισμού M6.5 στο ρήγμα της Κινέτας, συνοψίζονται στον Πίνακα 2.3.3.

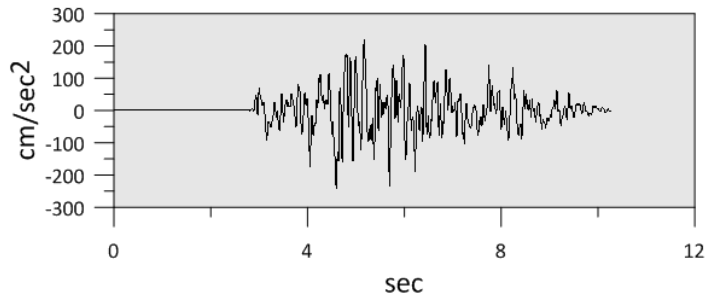
Σε ότι αφορά την κατανομή της ολίσθησης, επειδή αυτή δεν μπορεί να είναι γνωστή για έναν μελλοντικό σεισμό, εξετάζεται ένα τυχαίο μοντέλο. Άλλωστε οι λεπτομέρειες της διάρρηξης δεν αναμένεται να έχουν επίδραση στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για το συγκεκριμένο σενάριο σεισμού καθώς το σύνολο των σημείων ενδιαφέροντος (τα σημεία του άξονα της Α.Ο.) βρίσκονται σε σημαντική απόσταση από το θεωρούμενο ρηξιγενές επίπεδο. Εάν η διάρρηξη ξεκινούσε από το δυτικό τμήμα του ρήγματος και κατευθυνόταν προς τα ανατολικά, θα προκαλούσε την έγερση φαινομένων κατευθυντικότητας και ενδεχομένως την αύξηση των συνθετικών τιμών της εδαφικής κίνησης στο ανατολικό τμήμα της Α.Ο. (δηλ. στο τμήμα που βρίσκεται προς την κατεύθυνση της διάδοσης της διάρρηξης). Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή, η απόσταση μεταξύ της σεισμικής πηγής και των σημείων ενδιαφέροντος θα ήταν διπλάσια της μέγιστης διάστασης της σεισμικής πηγής με αποτέλεσμα το φαινόμενο της κατευθυντικότητας, αν παρατηρούνταν, θα ήταν εξασθενημένο. Για τον λόγο αυτόν, δεν εξετάστηκαν διαφορετικές θέσεις του σημείου έναρξης της διάρρηξης, αλλά μια μέση θέση, στο κέντρο περίπου της θεωρούμενης σεισμικής πηγής.

Πίνακας 2.3.3: Τιμές των παραμέτρων της στοχαστικής μεθόδου για πεπερασμένες πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση της ισχυρής εδαφικής κίνησης από σενάριο σεισμού M6.5 στο ρήγμα της Κινέτας.

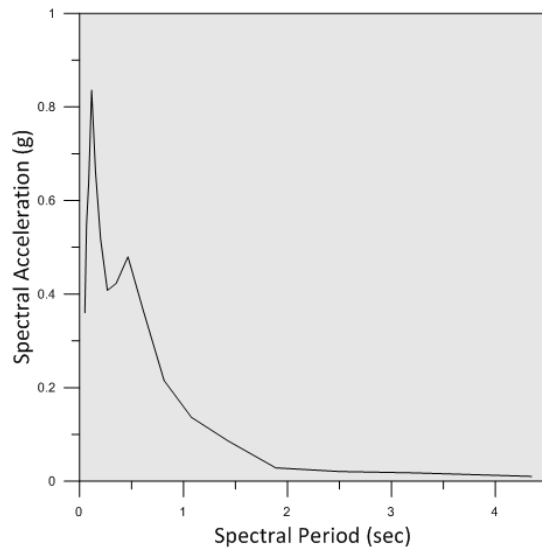
Παράμετρος	Σύμβολο	Τιμή
Παράταξη, κλίση ρήγματος	fi1,dip	95°, 60°
Γεωγραφικές συντεταγμένες σημείου αναφοράς (άνω άκρο επιφάνειας ρήγματος)	alat1 alon1	37.980° 23.176°
Θέσεις προσομοίωσης ισχυρής εδαφικής κίνησης	alat2 alon2	Τρία σημεία κατά μήκος του άξονα της Α.Ο. Point 1: 38.09°, 23.56° Point 2: 38.02°, 23.83° Point 3: 37.88°, 23.93°

Μήκος ρήγματος	rleng	22×15 km
Πλάτος ρήγματος	wid	(http://gredass.unife.it/)
Αριθμός τμημάτων ρήγματος (subfaults) κατά μήκος της παράταξης και της κλίσης	$N_L \times N_W$	6x4 [Σχέση (1)]
Βάθος πάνω άκρου ρήγματος	h	3.3 km
Πτώση τάσης	stress	50 bars
Αριθμός σημείων για FFT (δύναμη του 2)	leng1	4096
Διάστημα δειγματοληψίας χρονοσειρών	dt	0.005 sec
Ταχύτητα διάδοσης των S-κυμάτων στο φλοιό	beta	3.3 km/sec
Πυκνότητα φλοιού	rho	2.72 gr/cm ³
Παράμετρος ελέγχου έντασης της ακτινοβολίας	sfact	1.5
Παράμετρος επιλογής φίλτρου	ikap	1 ("kappa" filter)
Παράμετρος κ_0	kappa	0.035 (για επιφανειακές συνθήκες βράχου)
Παράμετροι του μοντέλου απόσβεσης	Q_0	100.0
$Q(f)=Q_0 * f^{**} \eta$	eta	0.8
Μοντέλο γεωμετρικής διασποράς	igeom	0 (μοντέλο 1/r)
Παράμετροι μοντέλου διάρκειας	rmin	1000.
	rd1	1000.
	rd2	1000.
	durmin	0.
	b1	0.16
	b2	-0.03
	b3	0.04
Παράμετρος συνάρτησης μορφοποίησης	iwind	1 (Saragoni-Hart window)
Παράμετροι φάσματος απόκρισης	nfreq	20
	freq1	0.1
	freq2	20.
Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης	damp	0.05
Ενίσχυση τοπικών εδαφικών συνθηκών	namp1	Εμπειρικοί συντελεστές ενίσχυσης κατά EC8, τροποποιημένοι (Pitilakis et al., 2012) και κατά Pitilakis et al. (2013)
Παράμετρος επιλογής μοντέλου ολίσθησης	islip	Τυχαία κατανομή
Θέση σημείου έναρξης της διάρρηξης	i_0, j_0	3,3

Τα αποτελέσματα της στοχαστικής προσομοίωσης για τα τρία σημεία του άξονα της Α.Ο. παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.3.8 έως 2.3.10, ενώ στο Σχήμα 2.3.11 γίνεται συγκριτική παρουσίαση του συνθετικού φάσματος απόκρισης κάθε θέσης μετά τη χρήση διαφορετικών συντελεστών ενίσχυσης.

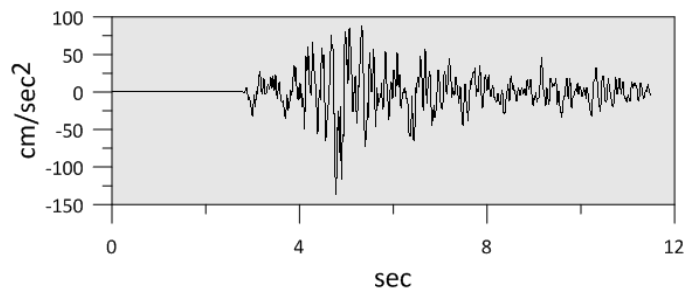


α)



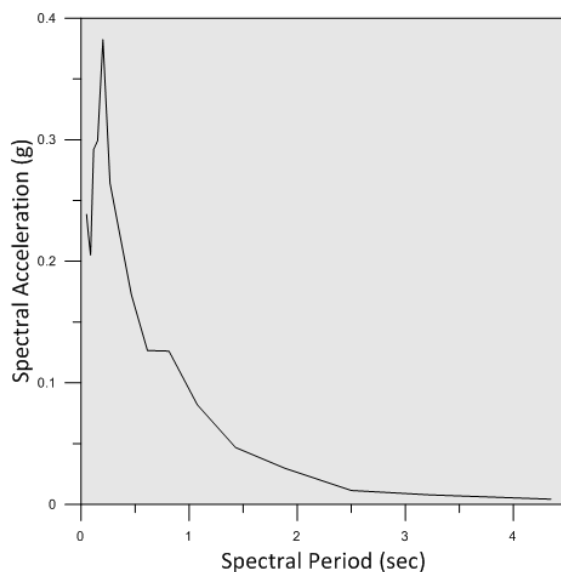
β)

Σχήμα 2.3.8: α) Συνθετικό επιταχυνσιόγραμμα και β) φάσμα ελαστικής απόκρισης επιτάχυνσης (απόσβεση 5%) όπως υπολογίστηκαν για το σημείο 1 (Point 1, Σχήμα 2.3.3) για σενάριο σεισμού M6.5 στο ρήγμα της Κινέτας σύμφωνα με τις παραμέτρους του Πίνακα 2.3.3.



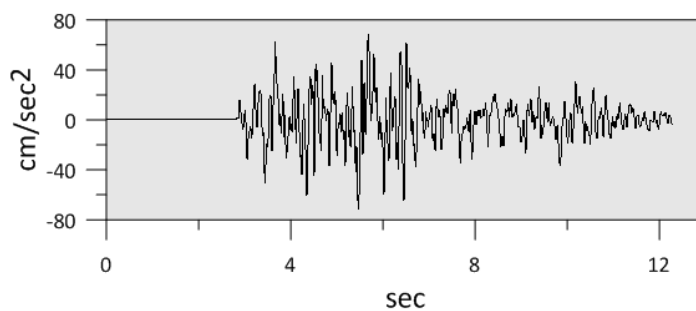
α)

(συνεχίζεται)

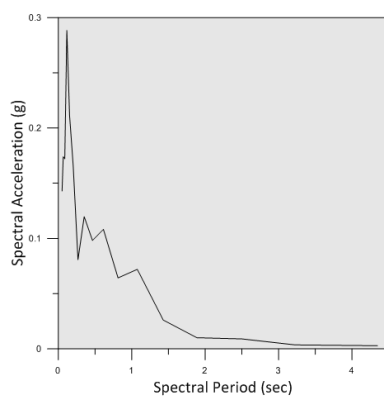


β)

Σχήμα 2.3.9: α) Συνθετικό επιταχυνσιόγραμμα και β) φάσμα ελαστικής απόκρισης επιτάχυνσης (απόσβεση 5%) όπως υπολογίστηκαν για το σημείο 2 (Point 2, Σχήμα 2.3.3) για σενάριο σεισμού M6.5 στο ρήγμα της Κινέτας σύμφωνα με τις παραμέτρους του Πίνακα 2.3.3.

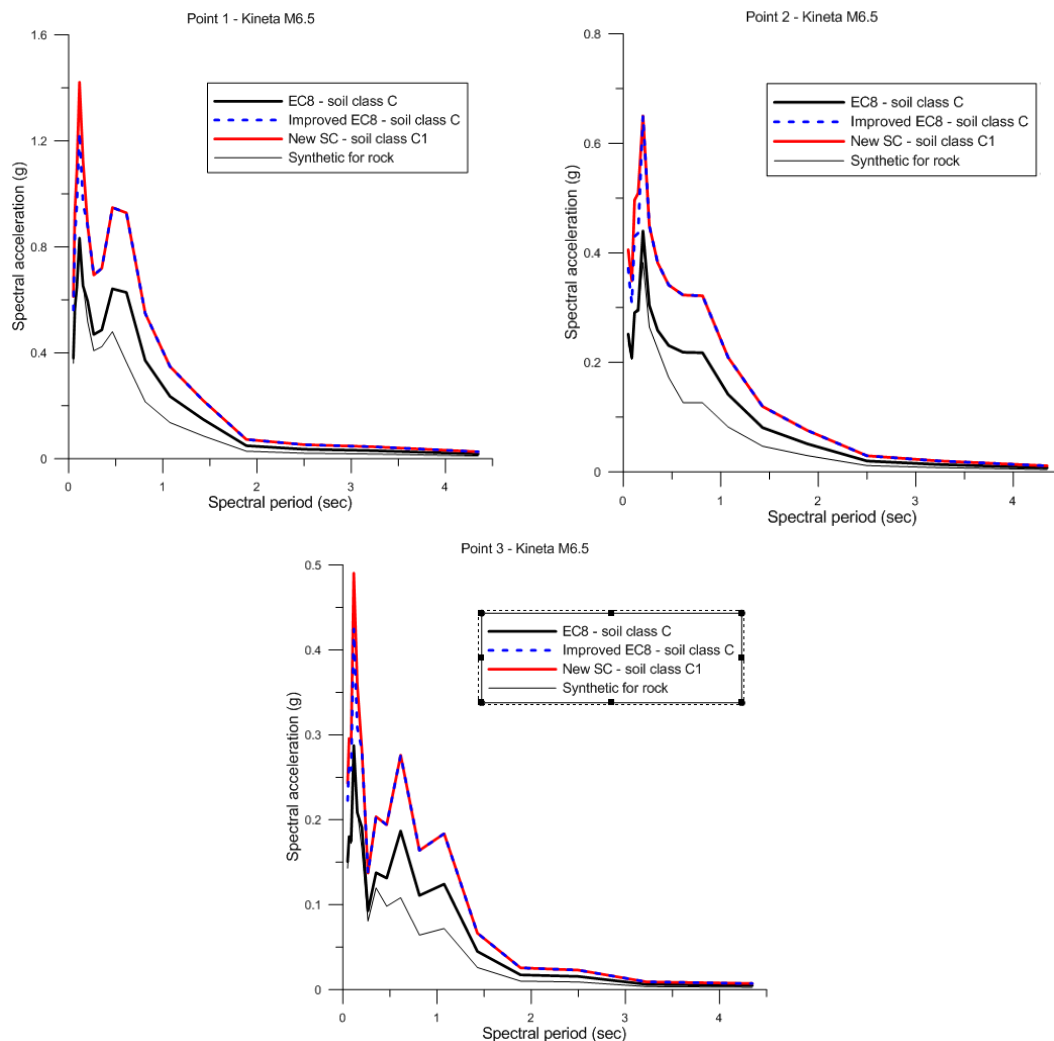


α)



β)

Σχήμα 2.3.10: α) Συνθετικό επιταχυνσιόγραμμα και β) φάσμα απόκρισης (παράγοντας απόσβεσης 5%) όπως υπολογίστηκαν για το σημείο 3 (Point 3, Σχήμα 2.3.3) για σενάριο σεισμού M6.5 στο ρήγμα της Κινέτας σύμφωνα με τις παραμέτρους του Πίνακα 2.3.3.



Σχήμα 2.3.11: Φάσματα σχεδιασμού για τρία σημεία της Α.Ο. (Σχήμα 2.3.3), όπως προέκυψαν μετά την τροποποίηση του συνθετικού φάσματος απόκρισης για κάθε θέση με βάση τους συντελεστές του Πίνακα 2.3.2 και αυτούς που προτάθηκαν από τους Pitilakis et al. (2013). Τα αποτελέσματα αφορούν το σενάριο σεισμού M6.5 στο ρήγμα της Κινέτας. Το συνθετικό φάσμα σχεδιασμού για επιφανειακές συνθήκες βράχου (λεπτή μαύρη γραμμή) παρουσιάζεται για λόγους σύγκρισης.

2.3.3.3 Σενάριο σεισμού M6.7 στο ρήγμα του Ωρωπού

Το ρήγμα του Ωρωπού, όπως περιγράφεται στις βάσεις δεδομένων GreDaSS και SHARE, (<http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/> και <http://gredass.unife.it/>), εμφανίζει ένα σεισμικό δυναμικό με μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος M6.8. Το συνολικό μήκος της σύνθετης σεισμικής πηγής είναι περίπου 35 km, η παράταξή της κυμαίνεται από 280°-305° και η μέση κλίση της είναι 60°. Οι παράμετροι αυτές, μαζί με τις υπόλοιπες που περιγράφουν το αποτέλεσμα του δρόμου διάδοσης και περιγράφηκαν σε προηγούμενες ενότητες, περιλαμβάνονται στον Πίνακα 2.3.4. Η συγκεκριμένη σεισμική πηγή κλίνει προς τα ΒΑ, δηλ. προς την κατεύθυνση την αντίθετη από αυτήν του τεχνικού έργου και κατά συνέπεια η κατανομή της ολίσθησης στην επιφάνεια του ρηξιγενούς επιπέδου δεν επηρεάζει τα

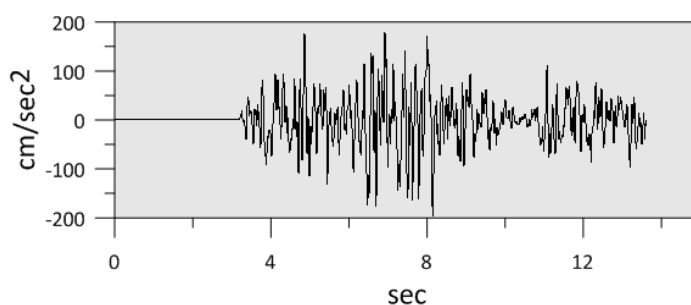
αποτελέσματα της προσομοίωσης της εδαφικής κίνησης στα σημεία ενδιαφέροντος, δηλ. στα σημεία του άξονα του αυτοκινητοδρόμου. Επιπρόσθετα, λόγω του συγκεκριμένου προσανατολισμού της σεισμικής πηγής ως προς το έργο δεν τίθεται θέμα εκδήλωσης του φαινομένου της κατευθυντικότητας της διάρρηξης προς την Α.Ο. και γι' αυτόν το λόγο εξετάζεται και στην περίπτωση του σεναρίου του Ωρωπού ένα μέσο σενάριο, το οποίο περιλαμβάνει έναρξη της διάρρηξης στο κεντρικό τμήμα του ρήγματος και διάδοσή της και προς τις δυο κατευθύνσεις.

Πίνακας 2.3.4: Τιμές των παραμέτρων της στοχαστικής μεθόδου για πεπερασμένες πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση της ισχυρής εδαφικής κίνησης από σενάριο σεισμού Μ6.7 στο ρήγμα του Ωρωπού.

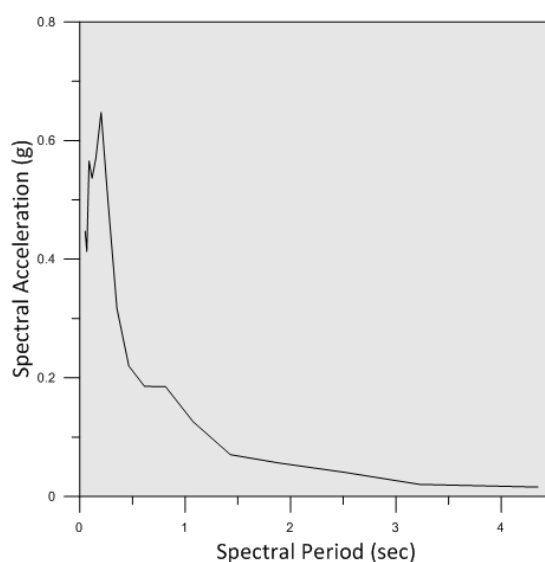
Παράμετρος	Σύμβολο	Τιμή
Παράταξη, κλίση ρήγματος	fi1,dip	280°, 60°
Γεωγραφικές συντεταγμένες σημείου αναφοράς (άνω άκρο επιφάνειας ρήγματος)	alat1 alon1	38.283° 23.954°
Θέσεις προσομοίωσης ισχυρής εδαφικής κίνησης	alat2 alon2	Τρία σημεία κατά μήκος του άξονα της Α.Ο. Point 1: 38.09°, 23.56° Point 2: 38.02°, 23.83° Point 3: 37.88°, 23.93°
Μήκος ρήγματος Πλάτος ρήγματος	rleng wid	35×16 km (http://gredass.unife.it/)
Αριθμός τμημάτων ρήγματος (subfaults) κατά μήκος της παράταξης και της κλίσης	$N_L \times N_W$	7x3 [Σχέση (1)]
Βάθος πάνω άκρου ρήγματος	h	3.3 km
Πτώση τάσης	stress	50 bars
Αριθμός σημείων για FFT (δύναμη του 2)	leng1	4096
Διάστημα δειγματοληψίας χρονοσειρών	dt	0.005 sec
Ταχύτητα διάδοσης των S-κυμάτων στο φλοιό	beta	3.3 km/sec
Πυκνότητα φλοιού	rho	2.72 gr/cm ³
Παράμετρος ελέγχου έντασης της ακτινοβολίας	sfact	1.5
Παράμετρος επιλογής φίλτρου	ikap	1 ("kappa" filter)
Παράμετρος κ_0	kappa	0.035 (για επιφανειακές συνθήκες βράχου)
Παράμετροι του μοντέλου απόσβεσης $Q(f)=Q_0 * f^{**} \eta$	Q_0 η	100.0 0.8
Μοντέλο γεωμετρικής διασποράς	igeom	0 (μοντέλο 1/r)
Παράμετροι μοντέλου διάρκειας	rmin rd1 rd2 durmin b1 b2 b3	1000. 1000. 1000. 0. 0.16 -0.03 0.04
Παράμετρος συνάρτησης μορφοποίησης	iwind	1 (Saragoni-Hart window)

Παράμετροι φάσματος απόκρισης	nfreq	20
	freq1	0.1
	freq2	20.
Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης	damp	0.05
Ενίσχυση τοπικών εδαφικών συνθηκών	namp1	Εμπειρικοί συντελεστές ενίσχυσης κατά EC8, τροποποιημένοι (Pitilakis et al., 2012) και κατά Pitilakis et al. (2013)
Παράμετρος επιλογής μοντέλου ολίσθησης	islip	Τυχαία κατανομή
Θέση σημείου έναρξης της διάρρηξης	i_0, j_0	4,3 (κεντρικό τμήμα του ρήγματος)

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τα τρία σημεία της Α.Ο. (Σχήμα 2.3.3) παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.3.12-2.3.14. Οι συγκρίσεις των φασμάτων απόκρισης που υπολογίστηκαν για τα τρία σενάρια, μετά από ενίσχυσή τους με τη χρήση διάφορων κατάλληλων συντελεστών, παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.3.15.

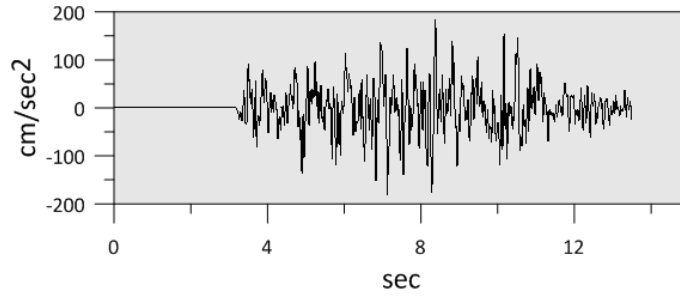


α)

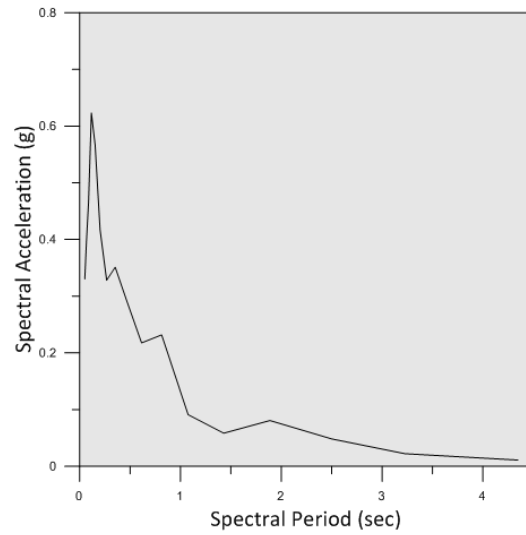


β)

Σχήμα 2.3.12: α) Συνθετικό επιταχυνσιόγραμμα και β) φάσμα ελαστικής απόκρισης επιτάχυνσης (απόσβεση 5%) όπως υπολογίστηκαν για το σημείο 1 (Point 1, Σχήμα 2.3.3) για σενάριο σεισμού M6.7 στο ρήγμα του Ωρωπού σύμφωνα με τις παραμέτρους του Πίνακα 2.3.4.

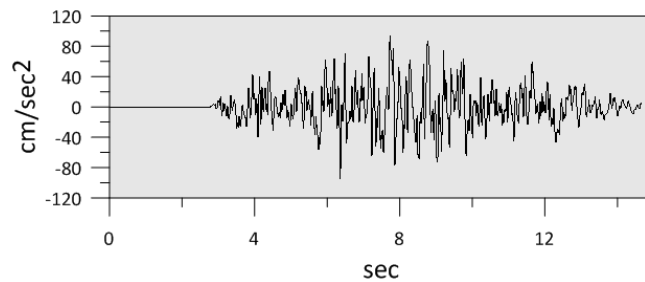


α)



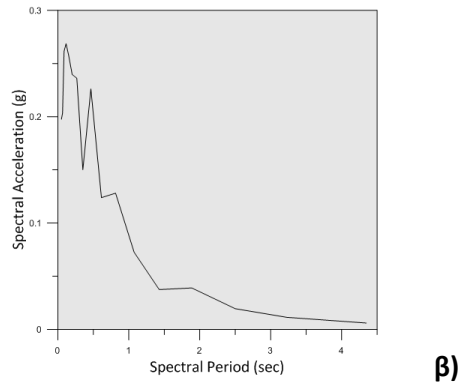
β)

Σχήμα 2.3.13: α) Συνθετικό επιταχυνσιόγραμμα και β) φάσμα ελαστικής απόκρισης επιτάχυνσης (απόσβεση 5%) όπως υπολογίστηκαν για το σημείο 2 (Point 2, Σχήμα 2.3.3) για σενάριο σεισμού M6.7 στο ρήγμα του Ωρωπού σύμφωνα με τις παραμέτρους του Πίνακα 2.3.4.

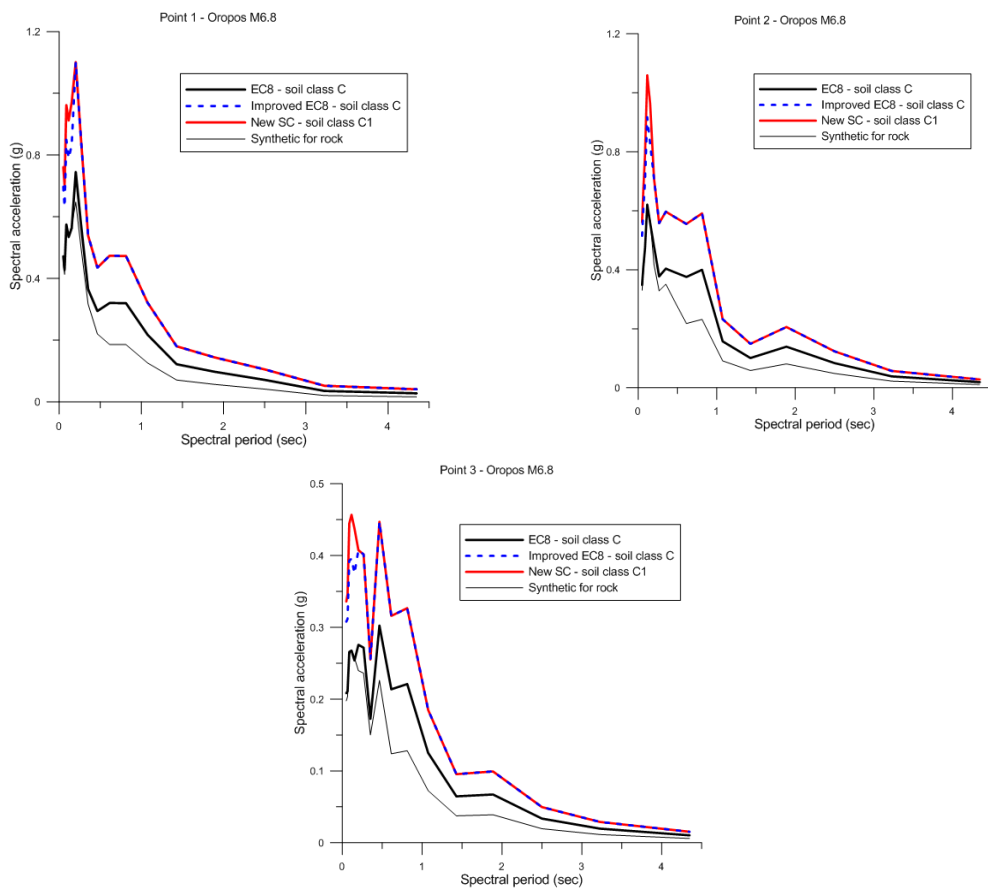


α)

(συνεχίζεται)



Σχήμα 2.3.14: α) Συνθετικό επιταχυνσιόγραμμα και β) φάσμα ελαστικής απόκρισης επιτάχυνσης (απόσβεση 5%) όπως υπολογίστηκαν για το σημείο 3 (Point 3, Σχήμα 2.3.3) για σενάριο σεισμού M6.7 στο ρήγμα του Ωρωπού σύμφωνα με τις παραμέτρους του Πίνακα 2.3.4.



Σχήμα 2.3.15: Φάσματα σχεδιασμού για τρία σημεία της Α.Ο. (Σχήμα 2.3.3), όπως προέκυψαν μετά την τροποποίηση του συνθετικού φάσματος απόκρισης για κάθε θέση με βάση τους συντελεστές του Πίνακα 2.3.2 και αυτούς που προτάθηκαν από τους Pitilakis et al. (2013). Τα αποτελέσματα αφορούν το σενάριο σεισμού M6.7 στο ρήγμα του Ωρωπού. Το συνθετικό φάσμα σχεδιασμού για επιφανειακές συνθήκες βράχου (λεπτή μαύρη γραμμή) παρουσιάζεται για λόγους σύγκρισης.

2.3.3.4 Σενάριο σεισμού M6.7 στο νότιο ρήγμα των Αλκυονίδων

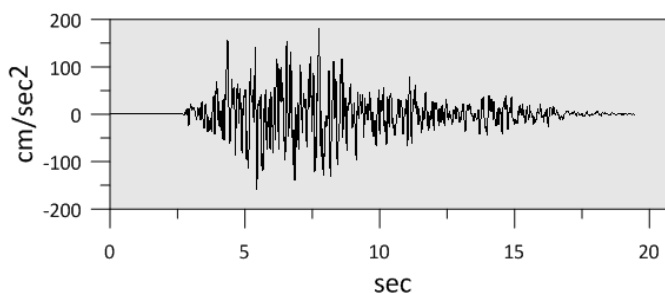
Το τελευταίο σενάριο που εξετάστηκε περιλαμβάνει διάρρηξη του συνολικού μήκους του νότιου ρήγματος των Αλκυονίδων, που αντιστοιχεί σε σεισμό μεγέθους M6.7. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, οι απαραίτητες παράμετροι για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της σεισμικής πηγής βασίζονται στα στοιχεία που δίνονται στις σχετικές βάσεις δεδομένων του SHARE (<http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>) και της GreDaSS (<http://gredass.unife.it/>), ενώ οι τιμές των παραμέτρων που περιγράφουν το αποτέλεσμα του δρόμου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων παραμένουν σταθερές και ίδιες με αυτές που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Λόγω της σχετικά μεγάλης απόστασης του ρήγματος από το τεχνικό έργο ενδιαφέροντος (> μια διάσταση της σεισμικής πηγής) και του προσανατολισμού της πηγής ως προς το τεχνικό έργο (ακόμα και πλησιέστερο προς τη σεισμική πηγή δυτικό τμήμα του άξονα της Α.Ο. βρίσκεται σε αζιμούθιο >30° μεγαλύτερο από την παράταξη της πηγής), οι λεπτομέρειες της διάρρηξης δεν αναμένεται να επηρεάσουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, οπότε εξετάζεται μια τυχαία κατανομή ολίσθησης στην επιφάνεια του ρήγματος και ένα μέσο σενάριο που περιλαμβάνει δικατευθυντική διάδοση της διάρρηξης (δηλ. υπόκεντρο στο κεντρικό τμήμα της θεωρούμενης ρηξιγενούς επιφάνειας). Οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των συνθετικών επιταχυνσιογραμμάτων και φασμάτων απόκρισης περιλαμβάνονται στον Πίνακα 2.3.5.

Πίνακας 2.3.5: Τιμές των παραμέτρων της στοχαστικής μεθόδου για πεπερασμένες πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση της ισχυρής εδαφικής κίνησης από σενάριο σεισμού M6.7 στο νότιο ρήγμα των Αλκυονίδων.

Παράμετρος	Σύμβολο	Τιμή
Παράταξη, κλίση ρήγματος	fi1,dip	235°, 60°
Γεωγραφικές συντεταγμένες σημείου αναφοράς (άνω άκρο επιφάνειας ρήγματος)	alat1 alon1	38.007° 22.855°
Θέσεις προσομοίωσης ισχυρής εδαφικής κίνησης	alat2 alon2	Τρία σημεία κατά μήκος του άξονα της Α.Ο. Point 1: 38.09°, 23.56° Point 2: 38.02°, 23.83° Point 3: 37.88°, 23.93°
Μήκος ρήγματος Πλάτος ρήγματος	rleng wid	38×15 km (http://gredass.unife.it/)
Αριθμός τμημάτων ρήγματος (subfaults) κατά μήκος της παράταξης και της κλίσης	$N_L \times N_W$	7x3 [Σχέση (1)]
Βάθος πάνω άκρου ρήγματος	h	3.3 km
Πτώση τάσης	stress	50 bars
Αριθμός σημείων για FFT (δύναμη του 2)	leng1	4096
Διάστημα δειγματοληψίας χρονοσειρών	dt	0.005 sec
Ταχύτητα διάδοσης των S-κυμάτων στο	beta	3.3 km/sec

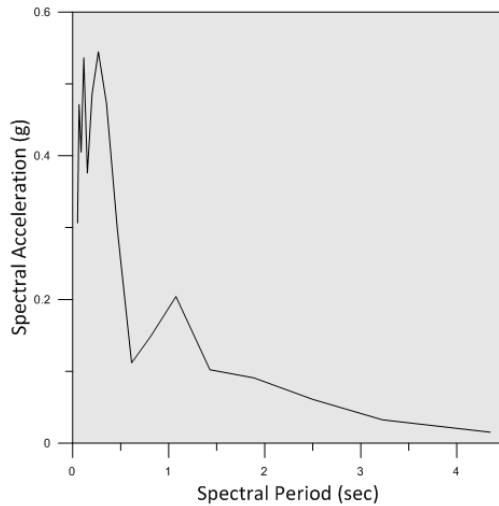
φλοιό		
Πυκνότητα φλοιού	rho	2.72 gr/cm ³
Παράμετρος ελέγχου έντασης της ακτινοβολίας	sfact	1.5
Παράμετρος επιλογής φίλτρου	ikap	1 ("kappa" filter)
Παράμετρος κ₀	kappa	0.035 (για επιφανειακές συνθήκες βράχου)
Παράμετροι του μοντέλου απόσβεσης	Q ₀	100.0
Q(f)=Q₀*f**eta	eta	0.8
Μοντέλο γεωμετρικής διασποράς	igeom	0 (μοντέλο 1/r)
Παράμετροι μοντέλου διάρκειας	rmin	1000.
	rd1	1000.
	rd2	1000.
	durmin	0.
	b1	0.16
	b2	-0.03
	b3	0.04
Παράμετρος συνάρτησης μορφοποίησης	iwind	1 (Saragoni-Hart window)
Παράμετροι φάσματος απόκρισης	nfreq	20
	freq1	0.1
	freq2	20.
Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης	damp	0.05
Ενίσχυση τοπικών εδαφικών συνθηκών	namp1	Εμπειρικοί συντελεστές ενίσχυσης κατά EC8, τροποποιημένοι (Pitilakis et al., 2012) και κατά Pitilakis et al. (2013)
Παράμετρος επιλογής μοντέλου ολίσθησης	islip	Τυχαία κατανομή
Θέση σημείου έναρξης της διάρρηξης	i ₀ , j ₀	4,3 (κεντρικό τμήμα του ρήγματος)

Τα αποτελέσματα της στοχαστικής προσομοίωσης της εδαφικής κίνησης για τα τρία σημεία της Α.Ο. παρουσιάζονται στα σχήματα 2.3.16 έως 2.3.18, ενώ στο σχήμα 2.3.19 παρουσιάζονται τα φάσματα απόκρισης τροποποιημένα, με χρήση διάφορων συντελεστών, για τον συνυπολογισμό του αποτελέσματος των τοπικών εδαφικών συνθηκών.



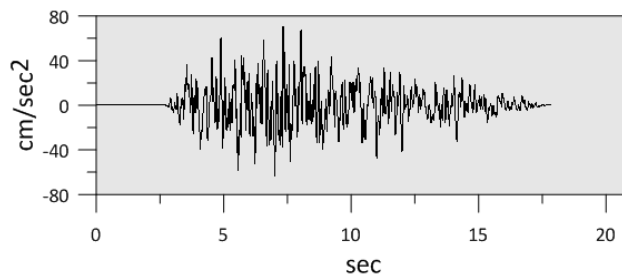
α)

(συνεχίζεται)

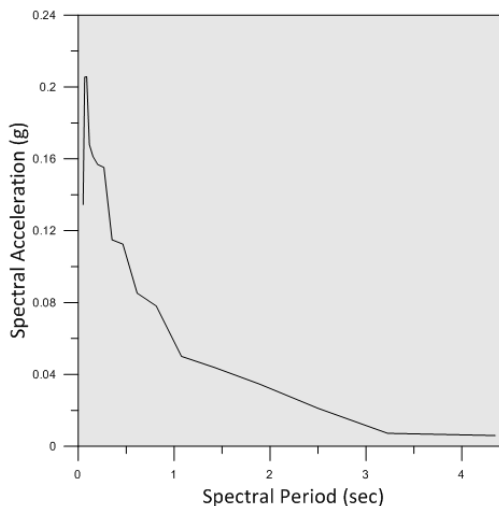


β)

Σχήμα 2.3.16: α) Συνθετικό επιταχυνσιόγραμμα και β) φάσμα ελαστικής απόκρισης επιτάχυνσης (απόσβεση 5%) όπως υπολογίστηκαν για το σημείο 1 (Point 1, Σχήμα 2.3.3) για σενάριο σεισμού M6.7 στο νότιο ρήγμα των Αλκυονίδων σύμφωνα με τις παραμέτρους του Πίνακα 2.3.5.

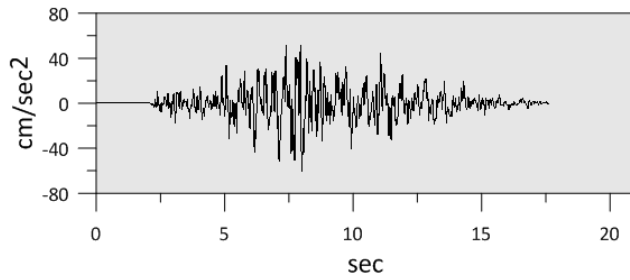


α)

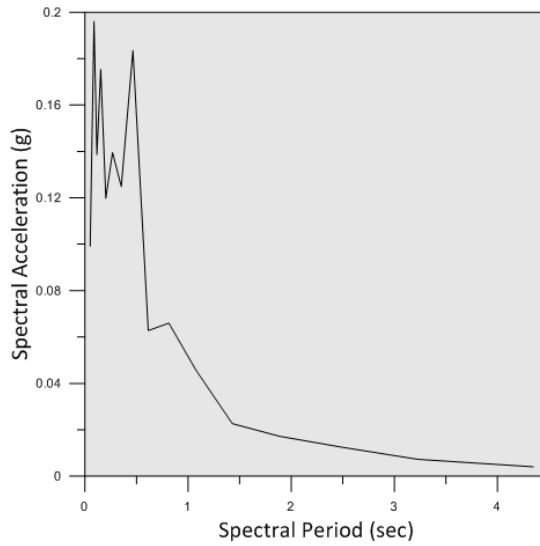


β)

Σχήμα 2.3.17: α) Συνθετικό επιταχυνσιόγραμμα και β) φάσμα ελαστικής απόκρισης επιτάχυνσης (απόσβεση 5%) όπως υπολογίστηκαν για το σημείο 2 (Point 2, Σχήμα 2.3.3) για σενάριο σεισμού M6.7 στο νότιο ρήγμα των Αλκυονίδων σύμφωνα με τις παραμέτρους του Πίνακα 2.3.5.

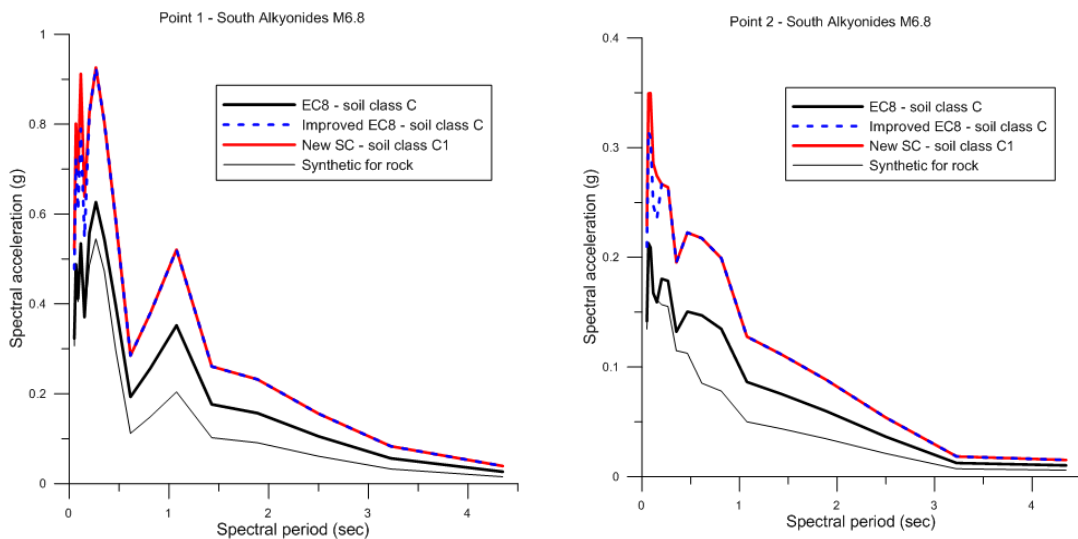


α)

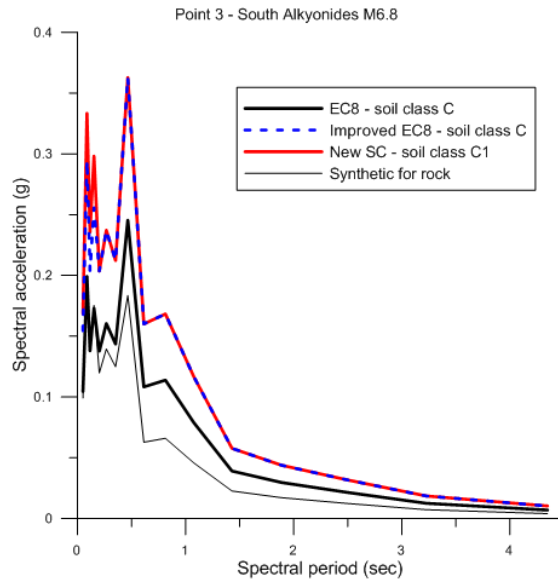


β)

Σχήμα 2.3.18: α) Συνθετικό επιταχυνσιόγραμμα και β) φάσμα ελαστικής απόκρισης επιτάχυνσης (απόσβεση 5%) όπως υπολογίστηκαν για το σημείο 3 (Point 3, Σχήμα 2.3.3) για σενάριο σεισμού Μ6.7 στο νότιο ρήγμα των Αλκυονίδων σύμφωνα με τις παραμέτρους του Πίνακα 2.3.5.



(συνεχίζεται)

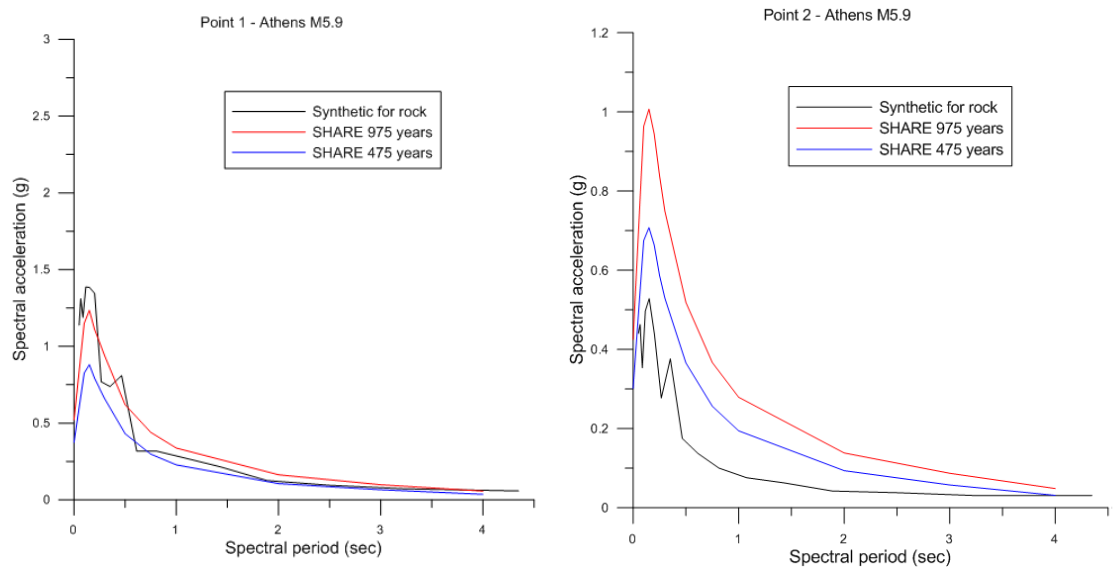


Σχήμα 2.3.19: Φάσματα σχεδιασμού για τρία σημεία της Α.Ο. (Σχήμα 2.3.3), όπως προέκυψαν μετά την τροποποίηση του συνθητικού φάσματος απόκρισης για κάθε θέση με βάση τους συντελεστές του Πίνακα 2.3.2 και αυτούς που προτάθηκαν από τους Pitilakis et al. (2013). Τα αποτελέσματα αφορούν το σενάριο σεισμού Μ6.7 στο νότιο ρήγμα των Αλκυονίδων. Το συνθητικό φάσμα σχεδιασμού για επιφανειακές συνθήκες βράχου (λεπτή μαύρη γραμμή) παρουσιάζεται για λόγους σύγκρισης.

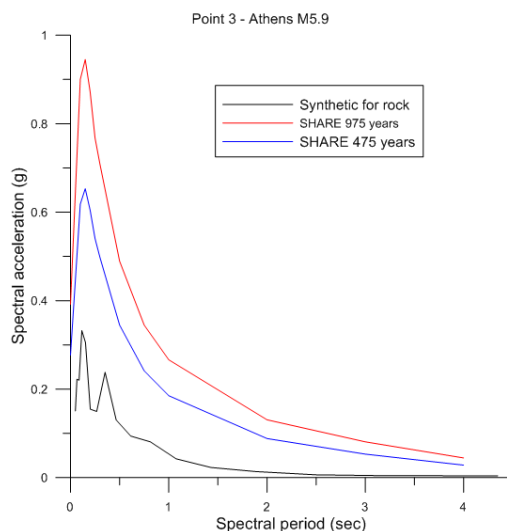
2.3.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων αιτιοκρατικής και πιθανοτικής προσέγγισης

Τα ελαστικά φάσματα απόκρισης της αιτιοκρατικής προσέγγισης στις τρεις χαρακτηριστικές θέσεις του αυτοκινητοδρόμου της Α.Ο. συγκρίνονται με αυτά που προέκυψαν από την εφαρμογή της κλασικής πιθανοτικής μεθόδου (Παραδοτέο 2.1). Τα αποτελέσματα των δυο μεθόδων δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα αφού τα μεν της αιτιοκρατικής προσέγγισης αφορούν ένα συγκεκριμένο σενάριο, τα δε της πιθανοτικής περιλαμβάνουν τη συνεισφορά όλων των γνωστών σεισμικών πηγών στην περιοχή του έργου. Ωστόσο, επειδή τα σενάρια που εξετάζονται με την αιτιοκρατική μέθοδο είναι ακραία για την εκάστοτε περιοχή (δηλ. εξετάζονται οι πλησιέστερες ως προς το τεχνικό έργο ενδιαφέροντος σεισμικές πηγές και το μέγιστο μέγεθος σεισμού που μπορούν αυτές να δώσουν), μπορεί να θεωρηθεί ότι τα αποτελέσματα των δυο προσεγγίσεων είναι ως ένα βαθμό συγκρίσιμα στις μεγάλες περιόδους επανάληψης.

Η σύγκριση παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3.20 για το σενάριο του σεισμού M5.9 στο ρήγμα της Φυλής, το οποίο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες, είναι το δυσμενέστερο για τα σημεία που εξετάστηκαν.



(συνεχίζεται)



Σχήμα 2.3.20: Σύγκριση συνθετικών φασμάτων απόκρισης για επιφανειακές συνθήκες βράχου, όπως αυτά προέκυψαν από την εφαρμογή της στοχαστικής μεθόδου για των πεπερασμένων διαστάσεων ρήγμα της Φυλής (σενάριο σεισμού M5.9) με τα φάσματα που προτείνονται από το SHARE για $T=475$ χρόνια και $T=975$ χρόνια. Η σύγκριση γίνεται ξεχωριστά για καθένα από τα τρία σημεία κατά μήκος του αυτοκινητοδρόμου της Α.Ο. που εξετάστηκαν (Σχήμα 2.3.3).

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το συνθετικό φάσμα που προτείνεται για το σημείο 1 (Point 1, Σχήμα 2.3.20) υπερβαίνει το φάσμα που προτείνεται από το SHARE για περίοδο επανάληψης 475 χρόνια, ενώ ταυτίζεται σε μεγάλο βαθμό με το αντίστοιχο των 975 χρόνων. Για τις υπόλοιπες δυο θέσεις, οι οποίες απείχαν σημαντικά μεγαλύτερες αποστάσεις από τη θεωρούμενη σεισμική πηγή, τα φάσματα της πιθανοτικής προσέγγισης (SHARE) υπερκαλύπτουν, όπως ήταν αναμενόμενο, τις προβλεπόμενες συνθετικές κινήσεις.

2.3.5 Βιβλιογραφία

- Aki, K. (1967). Scaling law of seismic spectrum, *J. Geophys. Res.* **72**, 1217 – 1231.
- Anderson, J. G., and S. E. Hough (1984). A model for the shape of the Fourier amplitude spectrum of acceleration at high frequencies, *Bull. Seism. Soc. Am.* **74**, 1969-1993.
- Archuleta, R. J., A. Granswick, C. Mueller and P. Spudich (1982). Source parameters of the 1980 Mammoth lakes, California, earthquake sequence, *J. Geophys. Res.* **87**, 4595 – 4607.
- Atkinson, G. M. and D. M. Boore (1995). Ground motion relations for eastern North America, *Bull. Seism. Soc. Am.* **85**, 17 – 30.
- Atkinson, G. M. and W. Silva (2000). Stochastic modeling of California ground motions, *Bull. Seism. Soc. Am.* **90**, 255 – 274.
- Beresnev, I. A. and G. M. Atkinson (1997). Modeling finite-fault radiation from the ω^n spectrum, *Bull. Seism. Soc. Am.* **87**, 67 – 84.
- Beresnev, I. A. and G. M. Atkinson (1999). Generic finite-fault model for ground-motion prediction in eastern North America, *Bull. Seism. Soc. Am.* **89**, 608 – 625.
- Boore, D. M. (1983). Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, *Bull. Seism. Soc. Am.* **73**, 1865 – 1894.
- Boore, D. M. and G. M. Atkinson (1987). Stochastic prediction of ground motion and spectral response parameters at hard-rock sites in eastern North America, *Bull. Seism. Soc. Am.* **77**, 440 – 467.
- Brune, J. N. (1970). Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, *J. Geophys. Res.* **75**, 4997 – 5009.
- Brune, J. N. (1971). Correction, *J. Geophys. Res.* **76**, 5002.
- Hanks, T. C. and R. K. McGuire (1981). The character of high-frequency strong ground motion, *Bull. Seism. Soc. Am.* **71**, 2071 – 2095.
- Hartzell, S. (1978). Earthquake aftershocks as Green's functions, *Geophys. Res. Lett.* **5**, 1 – 4.
- Hartzell, S. H. and T. H. Heaton (1983). Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* **73**, 1553-1583.
- Hatzidimitriou, P. M. (1993). Attenuation of coda waves in Northern Greece, *Pure and Appl. Geophys.* **140**, 63 – 78.
- Hatzidimitriou, P. M. (1995). S-wave attenuation in the crust in Northern Greece, *Bull. Seism. Soc. Am.* **85**, 1381 – 1387.
- Kanamori, H. and D. L. Anderson (1975). Theoretical basis of some empirical relations in seismology, *Bull. Seism. Soc. Am.* **65**, 1073 – 1095.

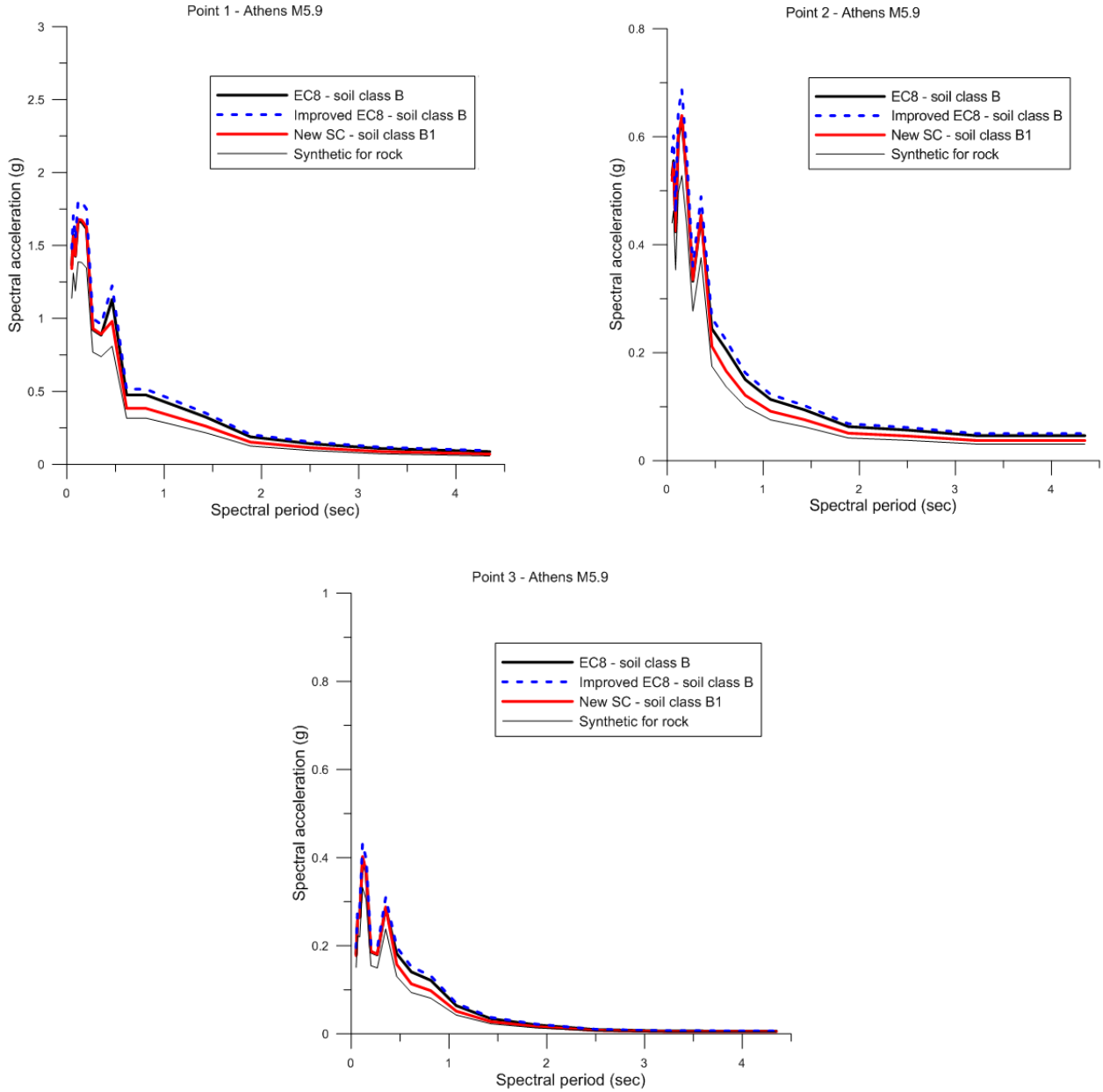
- Klimis, N. S., B. N. Margaris and P. K. Koliopoulos (1999). Site dependent amplification functions and response spectra in Greece, *Journal of Earthquake Engineering* 3, 2, 237 – 247.
- Margaris, B. N. and D. M. Boore (1998). Determination of $\Delta\sigma$ and κ_0 from response spectra of large earthquakes in Greece, *Bull. Seism. Soc. Am.* 88, 170 – 182.
- Ou, G.-B. and R. B. Herrmann (1990). A statistical model for ground motion produced by earthquakes at local and regional distances, *Bull. Seism. Soc. Am.* **80**, 1397 – 1417.
- Pitilakis K., E. Riga and A. Anastasiadis (2013). New code site classification, amplification factors and normalized response spectra based on a worldwide ground-motion database, *Bulletin of Earthquake Engineering*, DOI: 10.1007/s10518-013-9440-9.
- Pitilakis K., E. Riga and A. Anastasiadis (2012). Design spectra and amplification factors for Eurocode 8, *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 10, No. 5, pp 1377-1400, DOI: 10.1007/s10518-012-9367-6.
- Ρουμελιώτη, Ζ. (2003). Συμβολή στην προσομοίωση της ισχυρής σεισμικής κίνησης, με έμφαση στο κοντινό πεδίο, στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου, *Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, σελ. 210.
- Roumelioti, Z., D. Dreger, A. Kiratzi, and N. Theodoulidis (2003). Slip distribution of the September 7, 1999 Athens earthquake inferred from an empirical Green's function study, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93(2), 775 - 782.
- Roumelioti, Z., A. Kiratzi and N. Theodoulidis (2004). Stochastic strong ground motion simulation of the 7 September 1999 Athens (Greece) earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am*, 94(3), 1036 - 1052.
- Sokolov, V. (2000). Spectral parameters of ground motion in different regions: Comparison of empirical models, *Soil Dyn. Earthquake Eng.* 19, 173-181.
- Somerville, P., Irikura, K., Graves, R., Sawada, S., Wald, D., Abrahamson, N., Iwasaki, Y., Kagawa, Smith, N., and A.Kowada (1999). Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, *Seism. Res. Lett.*, **70**, 59-80.
- Street, R. N., R. B. Hermann and O. W. Nuttli (1975). Spectral characteristics of the Lg wave generated by central United States earthquakes, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 41, 51 – 63.
- Toro, G. R. and R. K. McGuire (1987). An investigation into earthquake ground motion characteristics in eastern North America, *Bull. Seism. Soc. Am.* **77**, 468 – 489.
- Zeng Y. H., J. G. Anderson, and G. A. Yu (1994). Composite source model for computing realistic synthetic strong ground motions, *Geophys. Res. Lett.* **21**, 725 – 728.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Φάσματα σχεδιασμού για τρία σημεία της Α.Ο. (Σχήμα 2.3.3), όπως προέκυψαν μετά την τροποποίηση του συνθετικού φάσματος απόκρισης για κάθε θέση με βάση τους συντελεστές του Πίνακα 2.3.2 και αυτούς που προτάθηκαν από τους Pitilakis et al. (2013). Το συνθετικό φάσμα σχεδιασμού για επιφανειακές συνθήκες βράχου (λεπτή μαύρη γραμμή) παρουσιάζεται για λόγους σύγκρισης.

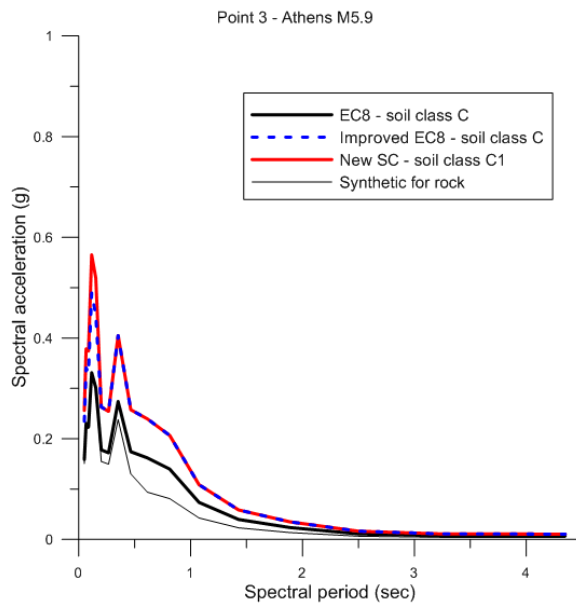
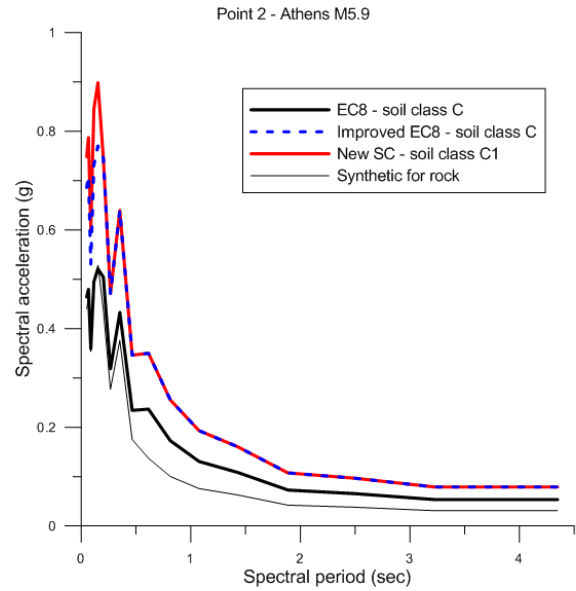
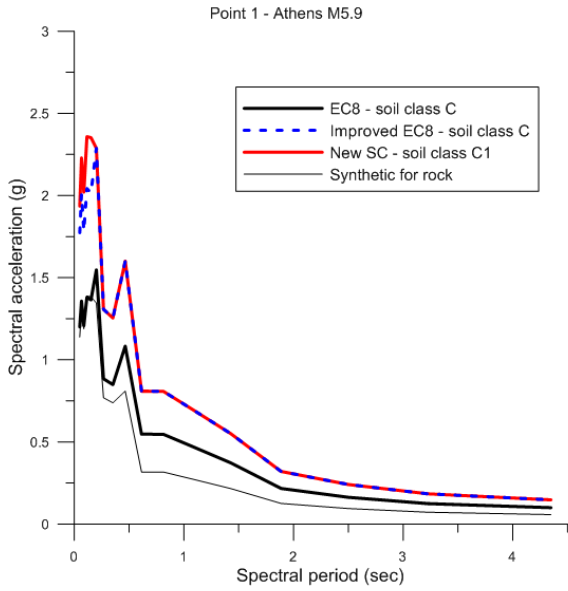
Σενάριο Σεισμού M5.9 στο Ρήγμα της Φυλής

Κατηγορία Εδάφους B



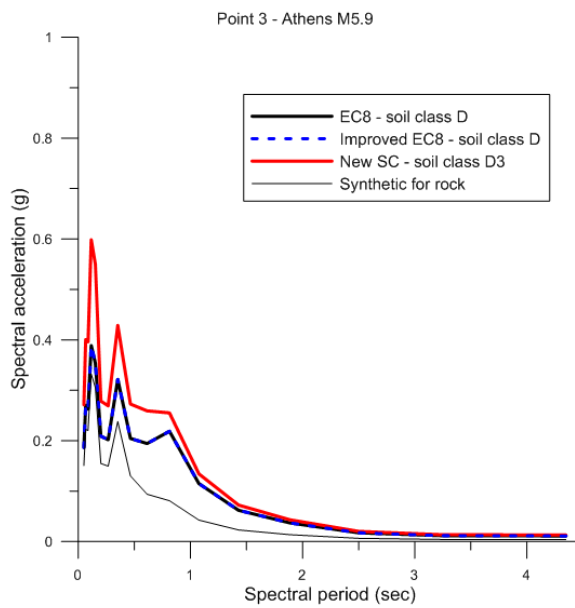
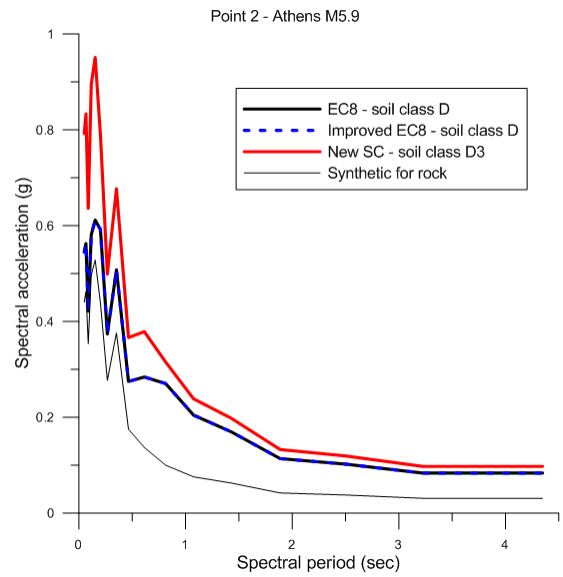
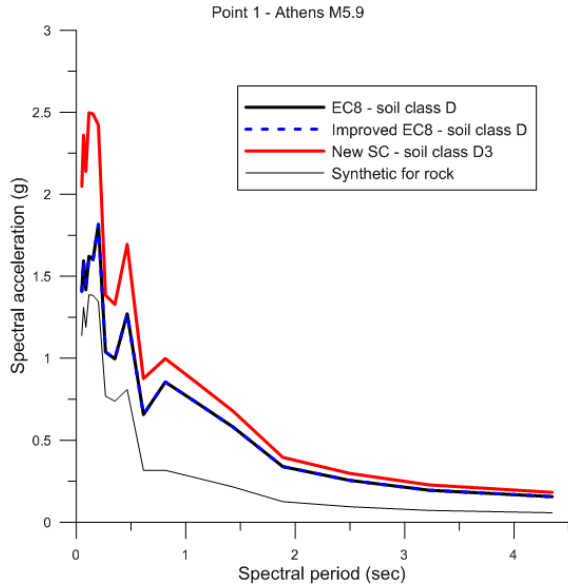
Σενάριο Σεισμού Μ5.9 στο Ρήγμα της Φυλής

Κατηγορία Εδάφους C



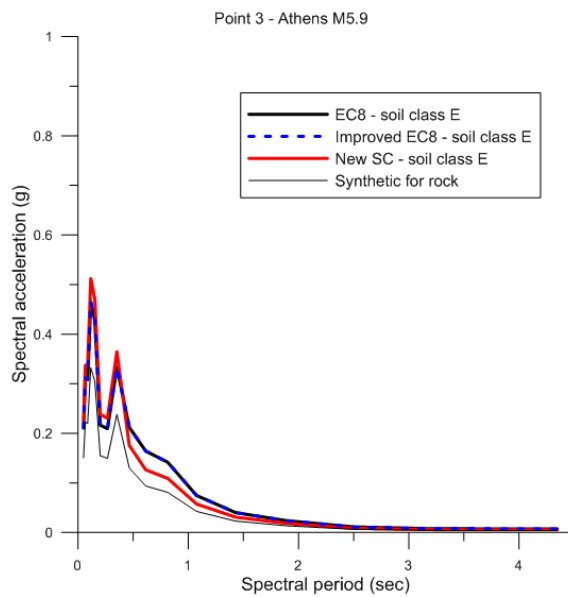
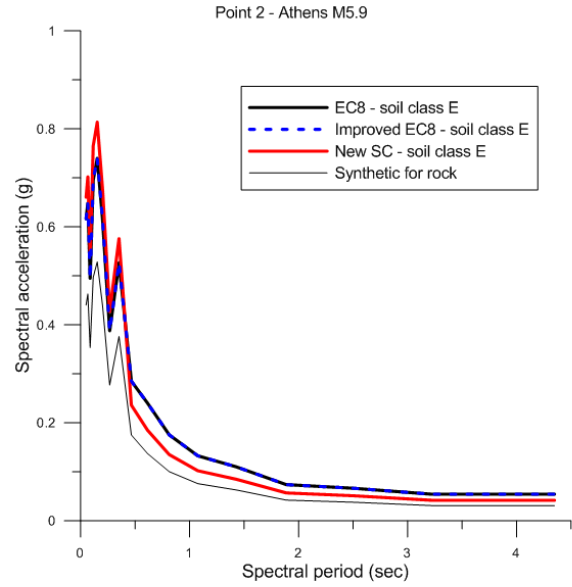
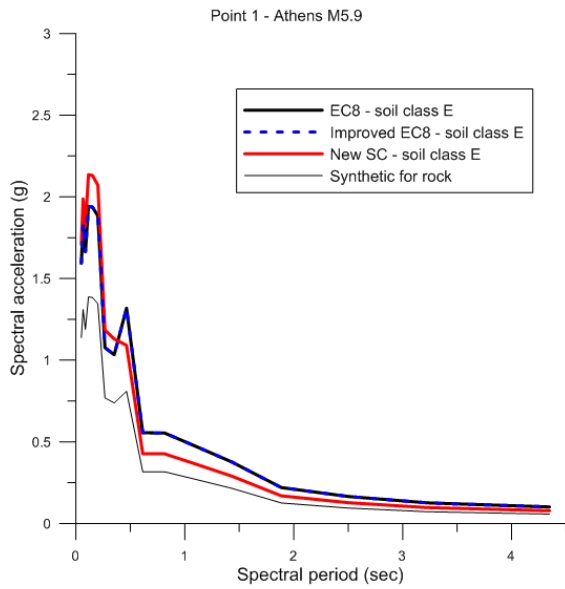
Σενάριο Σεισμού M5.9 στο Ρήγμα της Φυλής

Κατηγορία Εδάφους D



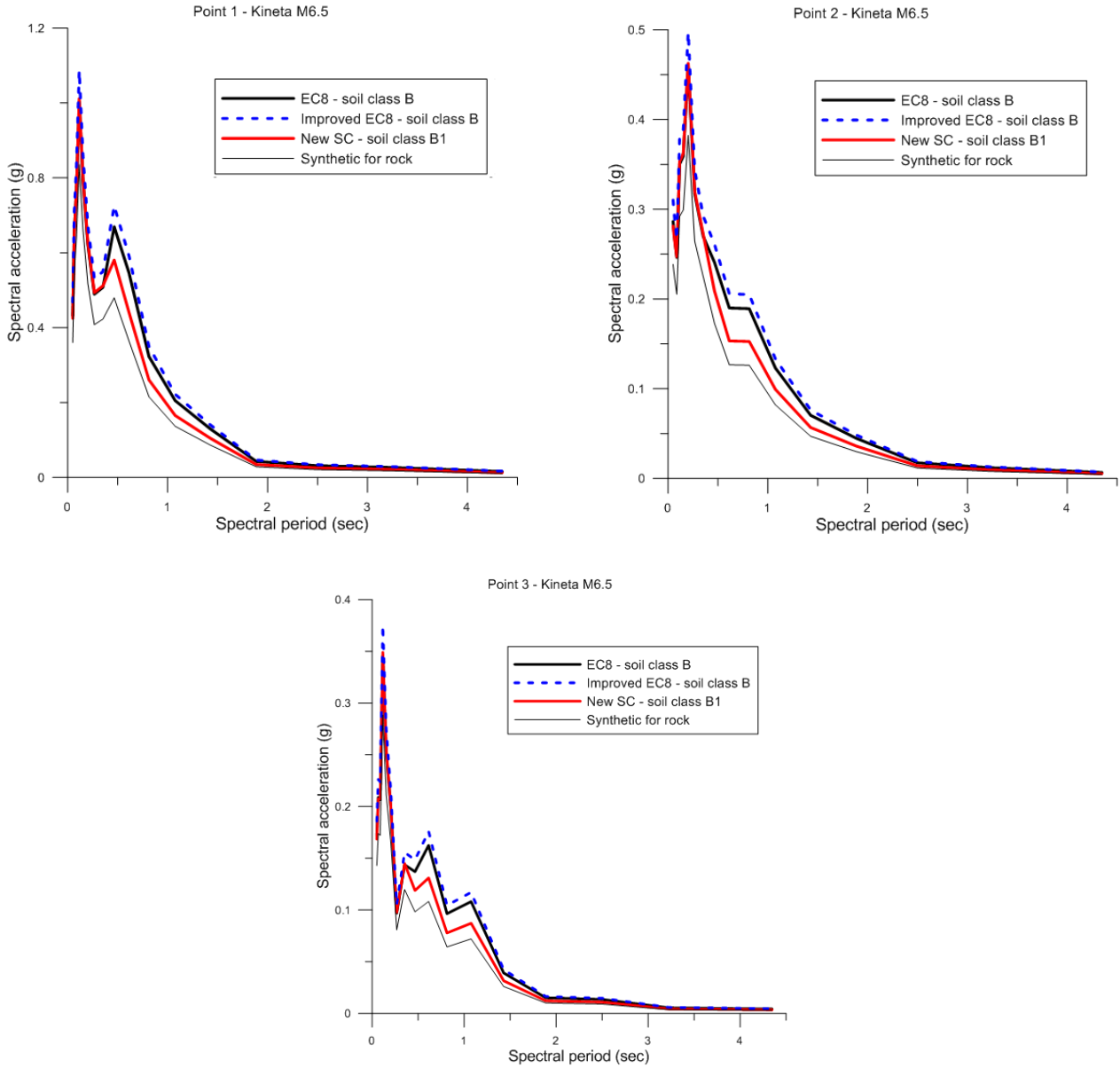
Σενάριο Σεισμού M5.9 στο Ρήγμα της Φυλής

Κατηγορία Εδάφους E



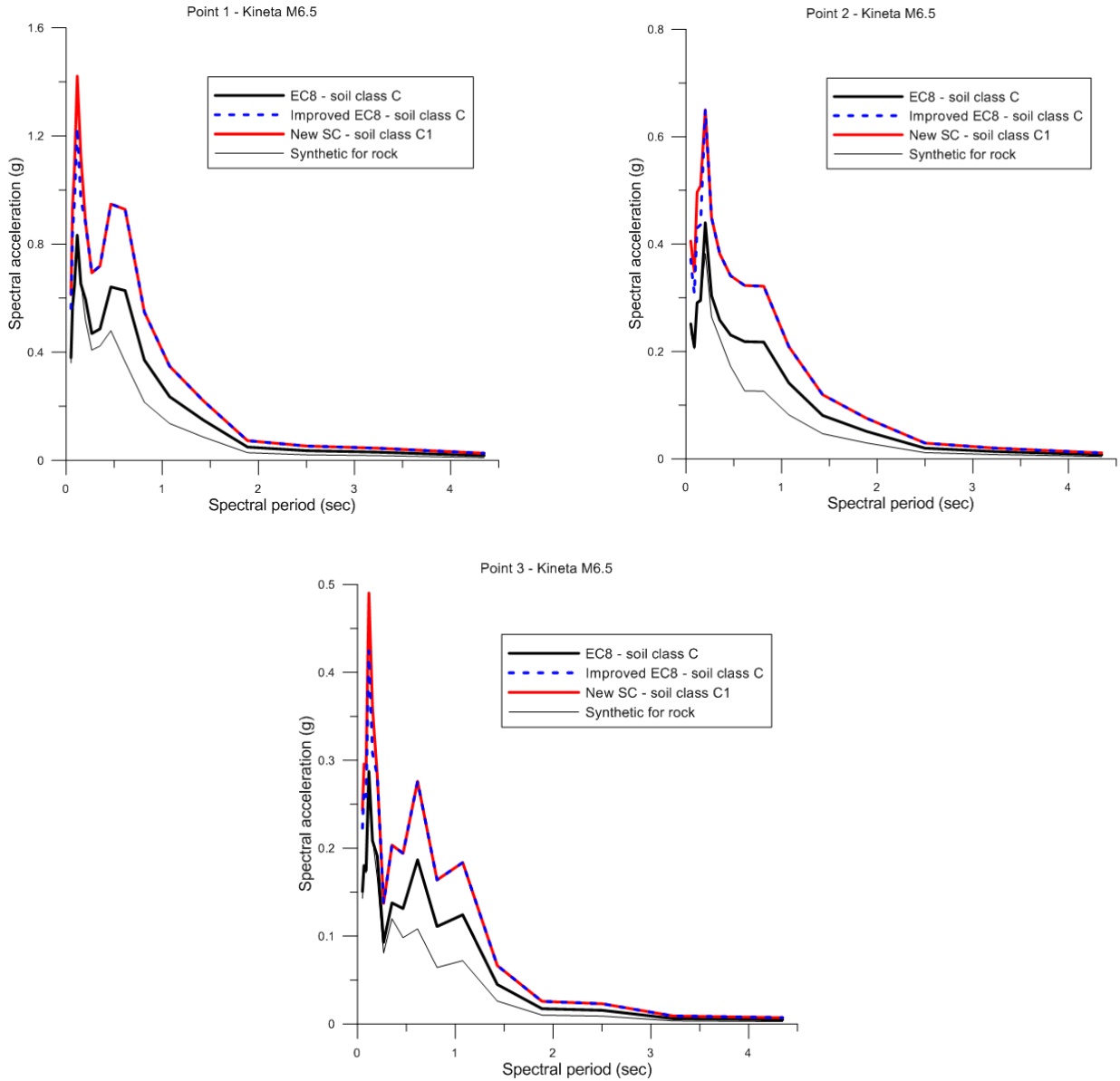
Σενάριο Σεισμού M6.5 στο Ρήγμα της Κινέτας

Κατηγορία Εδάφους Β



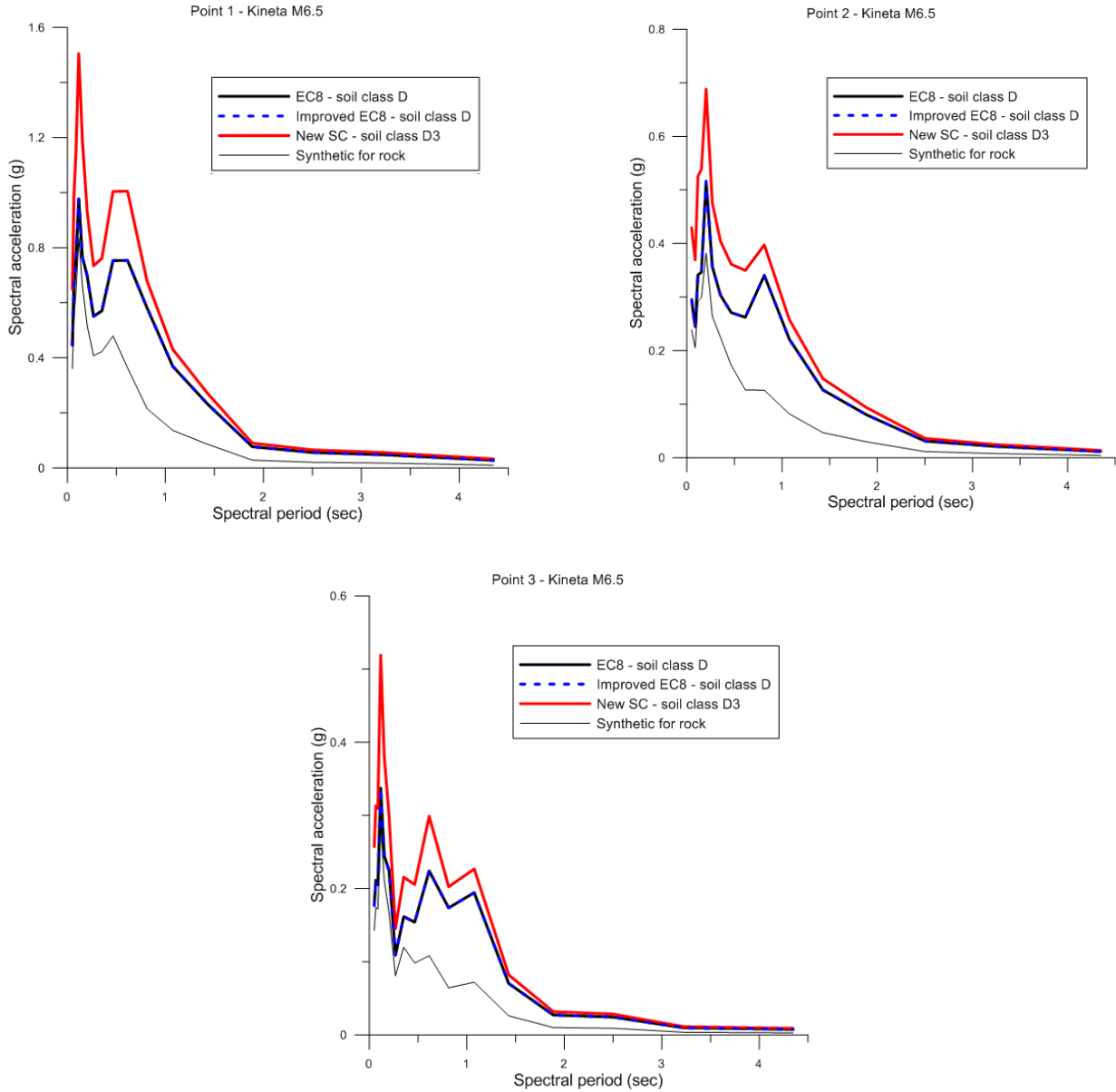
Σενάριο Σεισμού M6.5 στο Ρήγμα της Κινέτας

Κατηγορία Εδάφους C



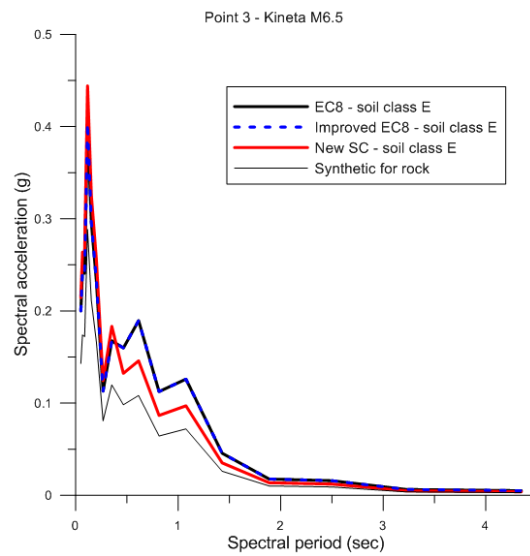
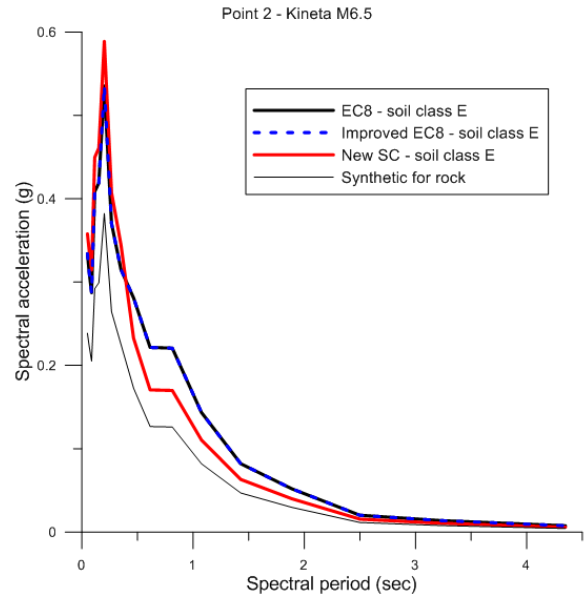
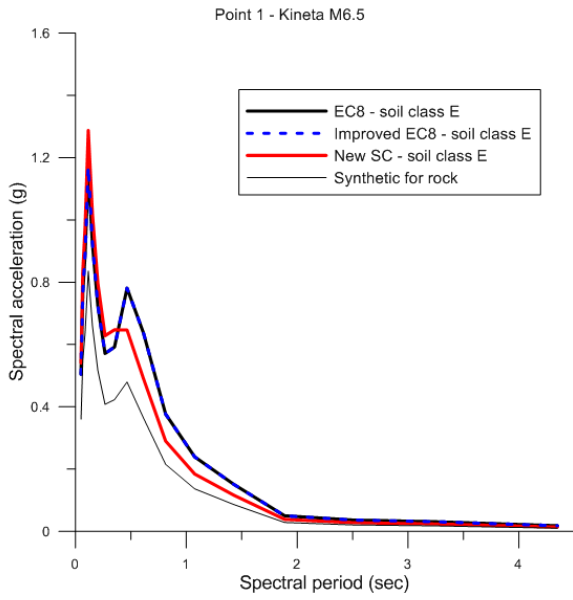
Σενάριο Σεισμού M6.5 στο Ρήγμα της Κινέτας

Κατηγορία Εδάφους D



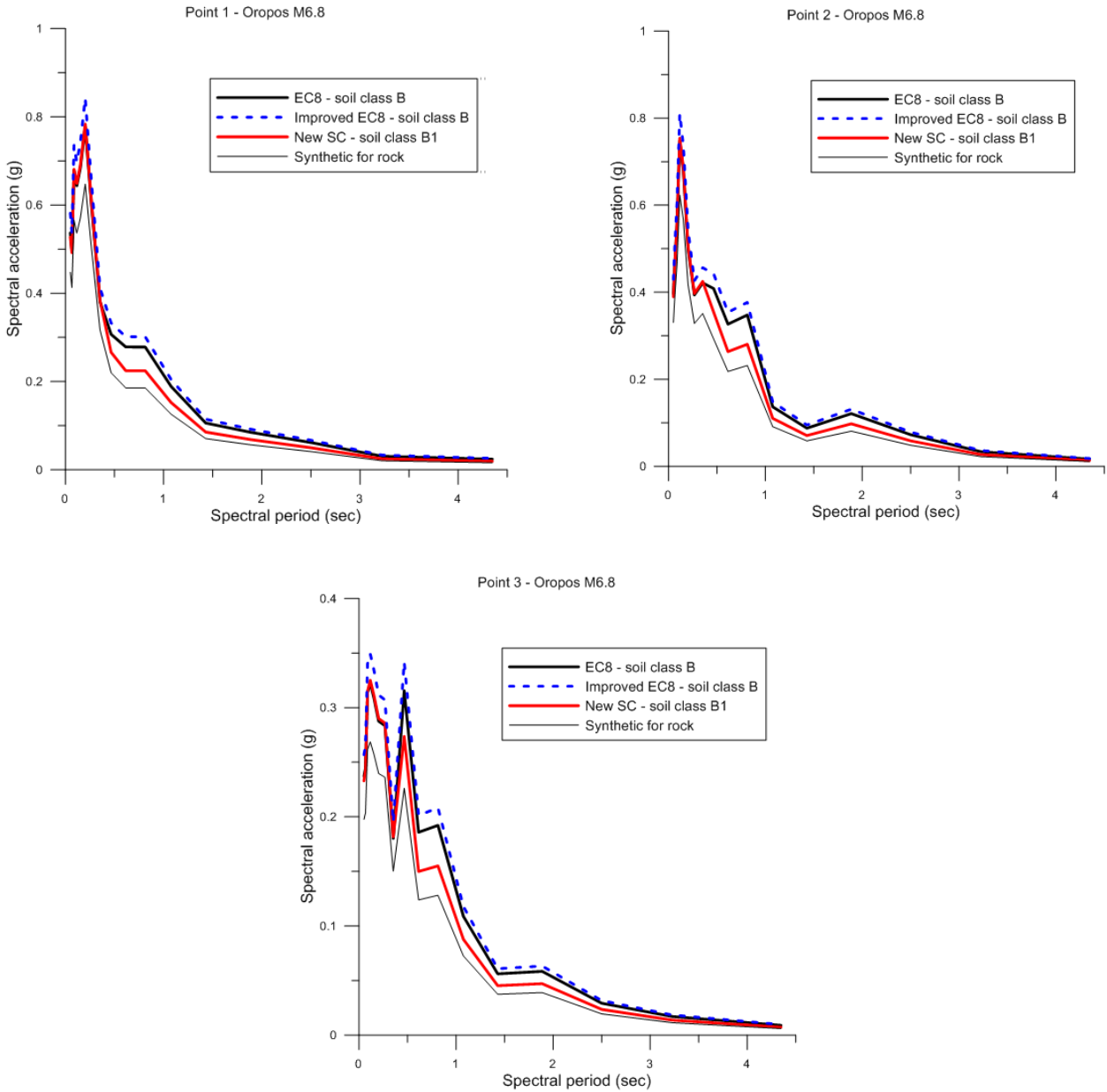
Σενάριο Σεισμού M6.5 στο Ρήγμα της Κινέτας

Κατηγορία Εδάφους E



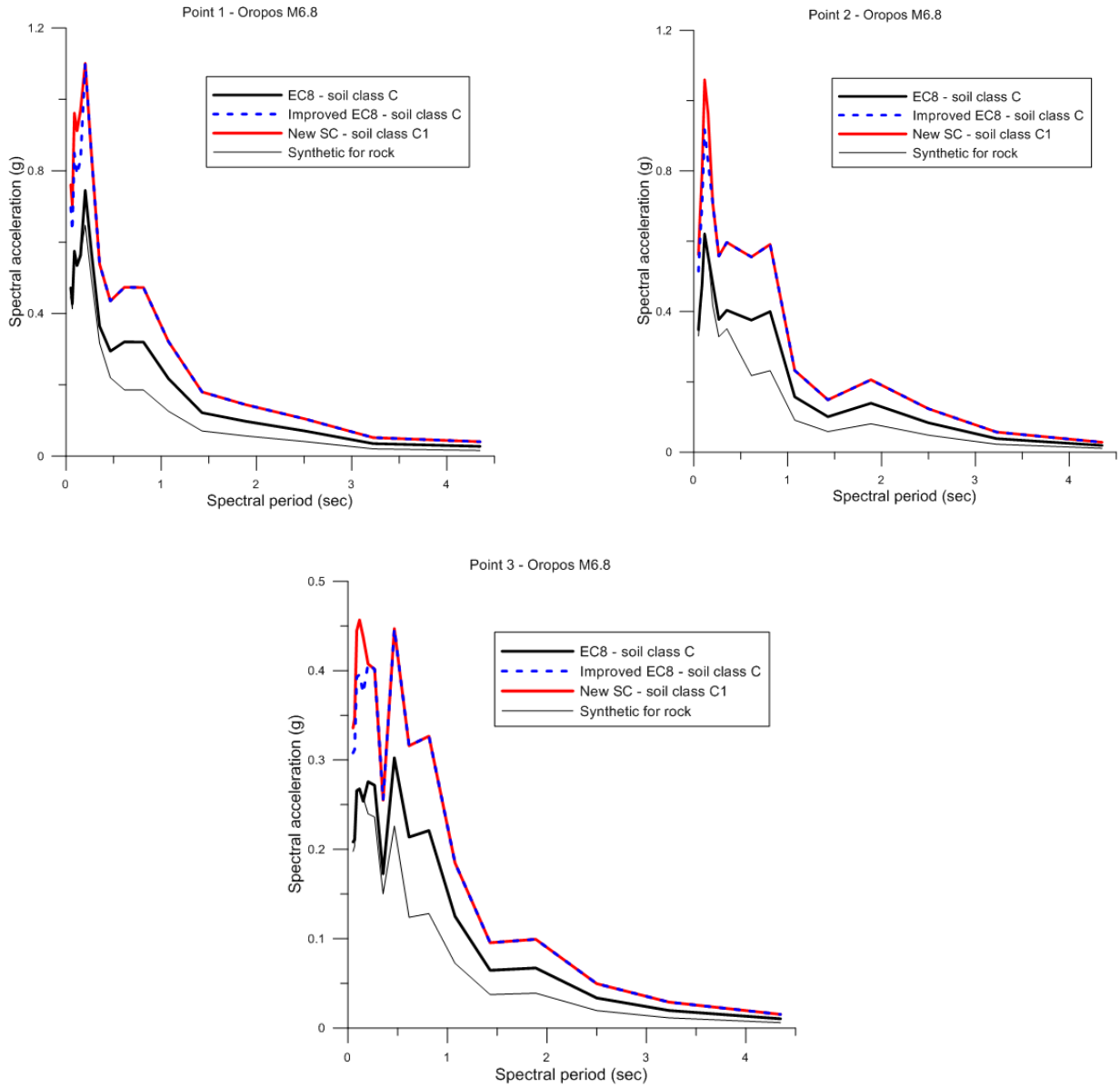
Σενάριο Σεισμού Μ6.8 στο Ρήγμα του Ωρωπού

Κατηγορία Εδάφους Β



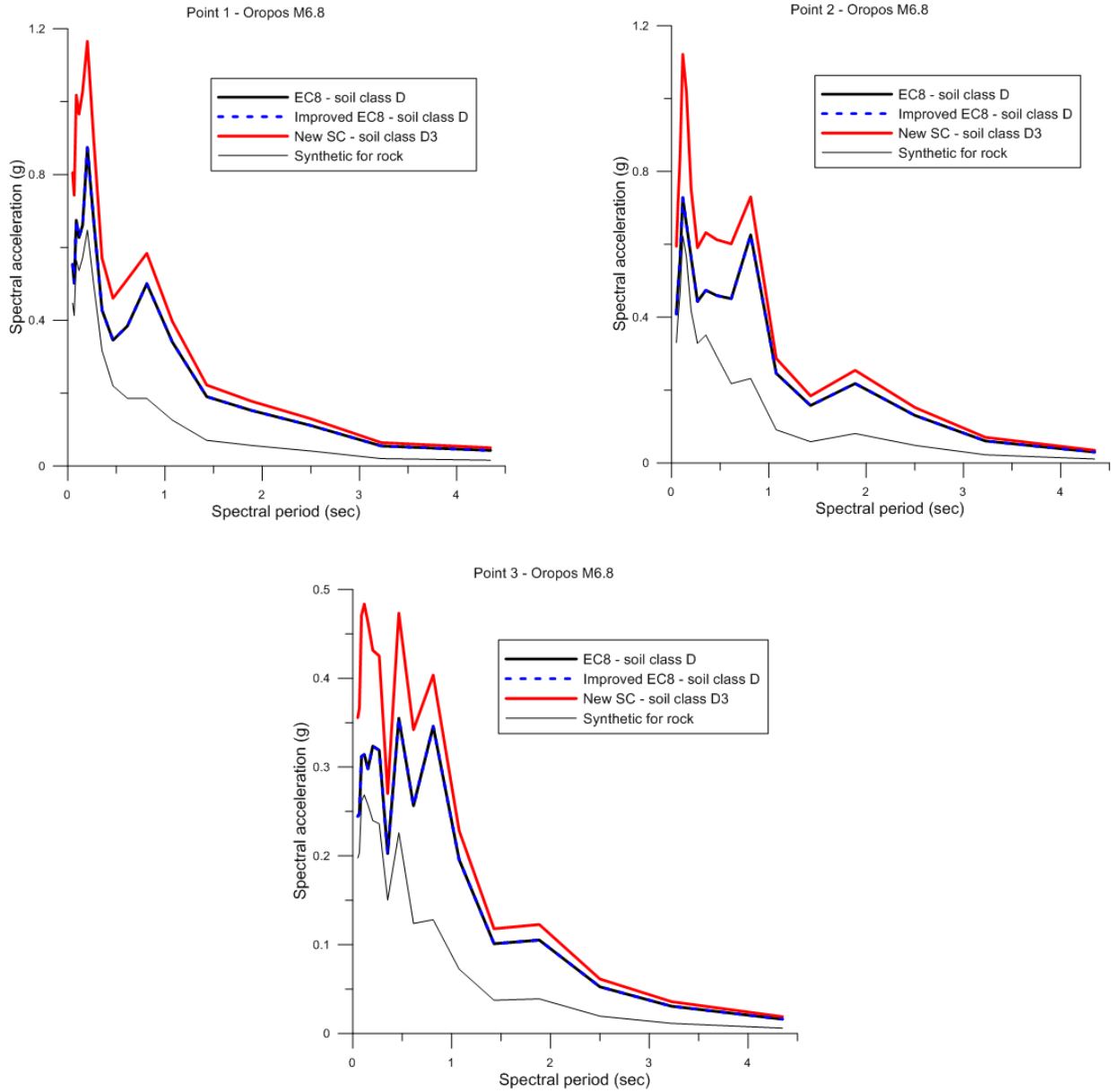
Σενάριο Σεισμού Μ6.8 στο Ρήγμα του Ωρωπού

Κατηγορία Εδάφους C



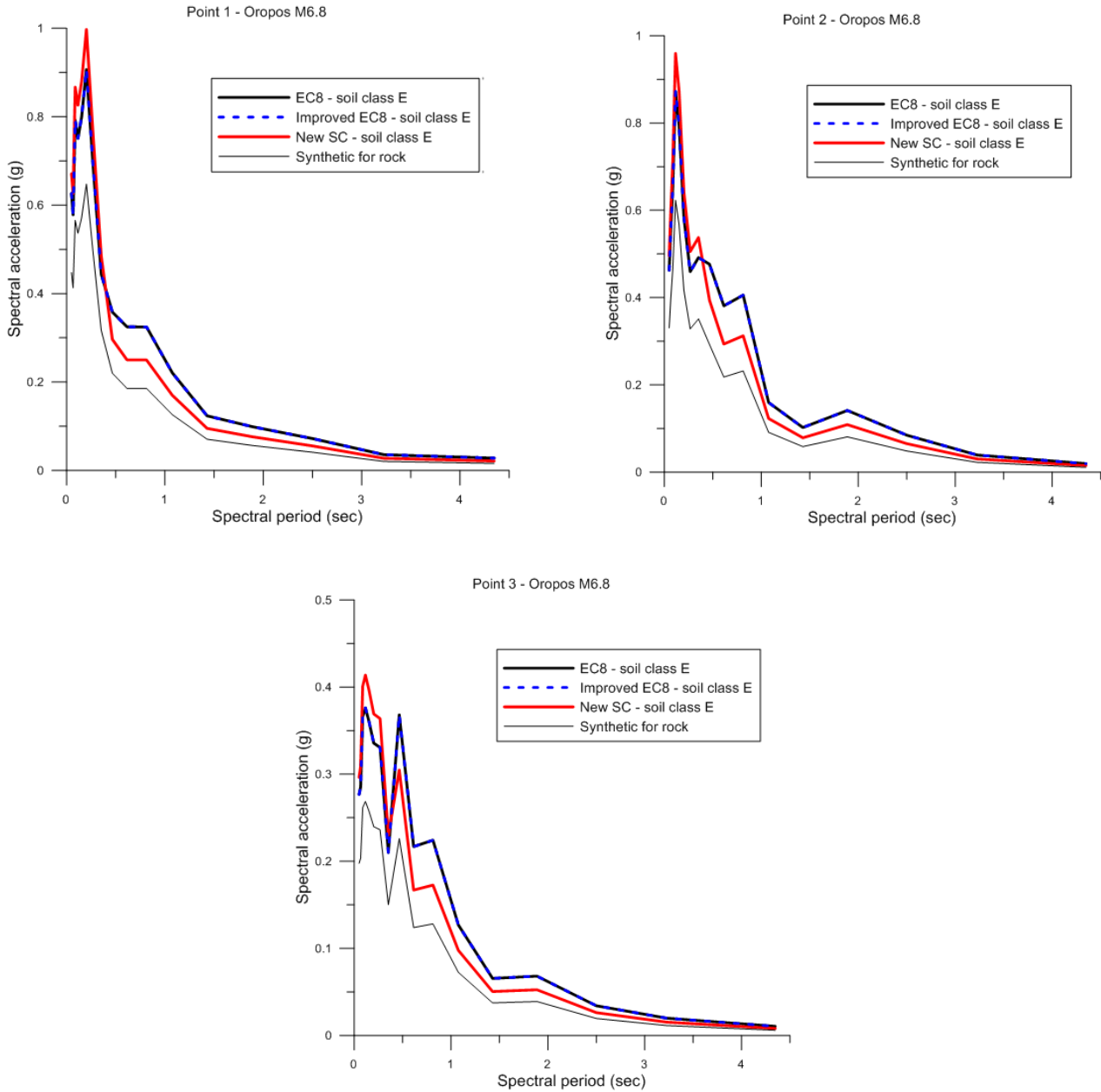
Σενάριο Σεισμού Μ6.8 στο Ρήγμα του Ωρωπού

Κατηγορία Εδάφους D



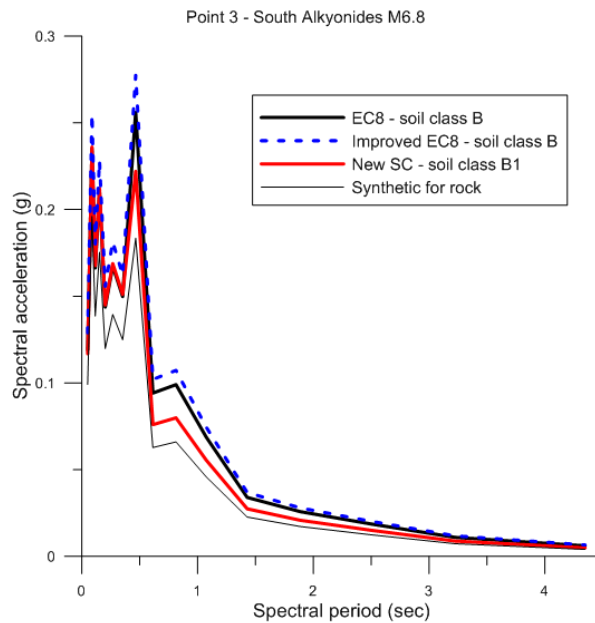
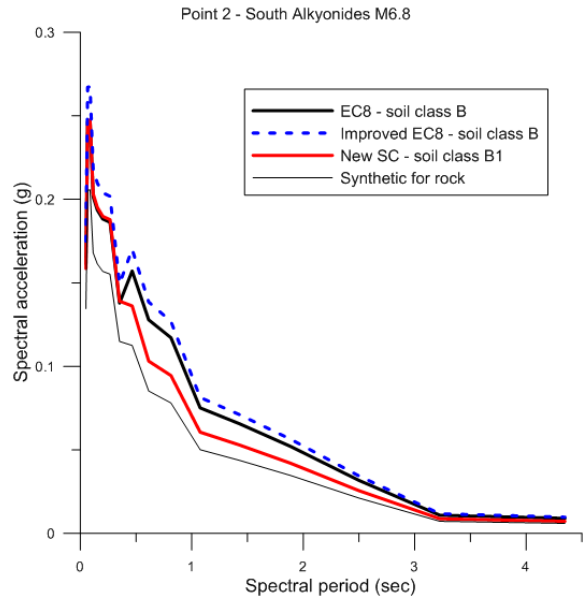
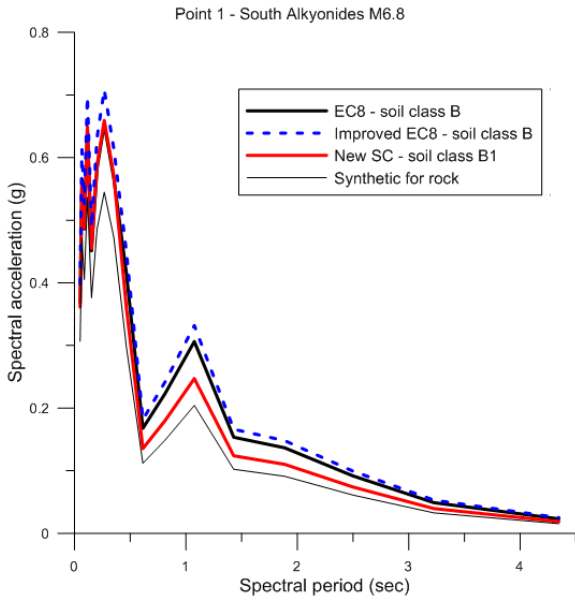
Σενάριο Σεισμού Μ6.8 στο Ρήγμα του Ωρωπού

Κατηγορία Εδάφους Ε



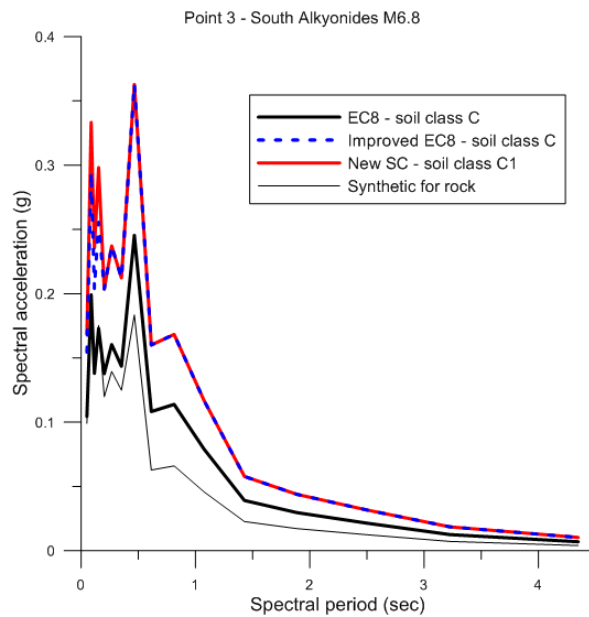
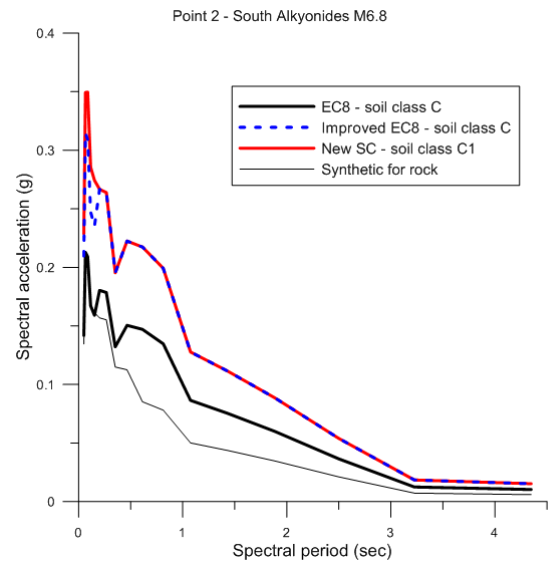
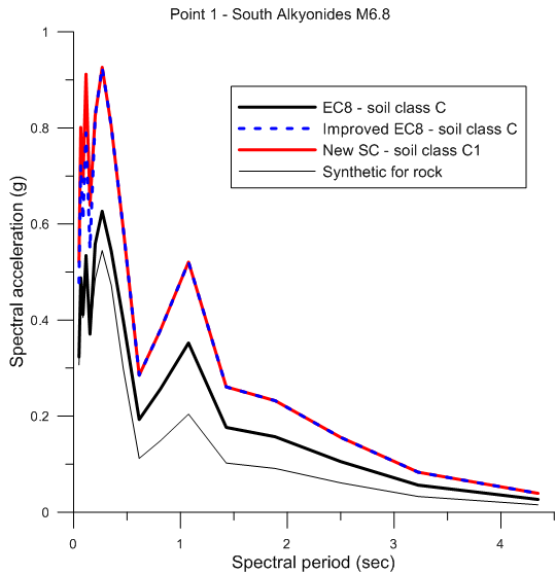
Σενάριο Σεισμού M6.8 στο Νότιο Ρήγμα των Αλκυονίδων

Κατηγορία Εδάφους Β



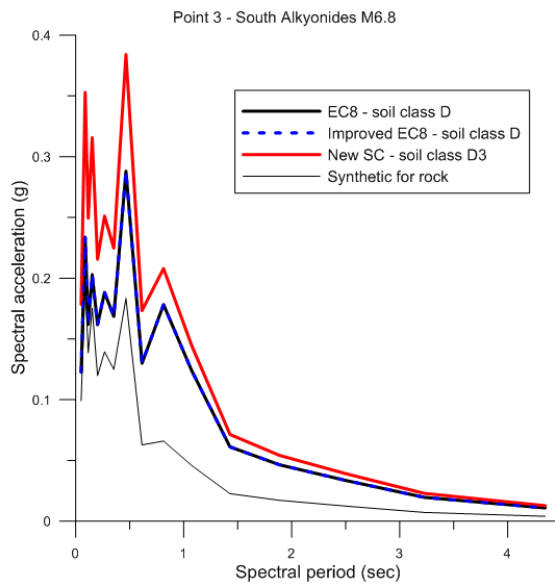
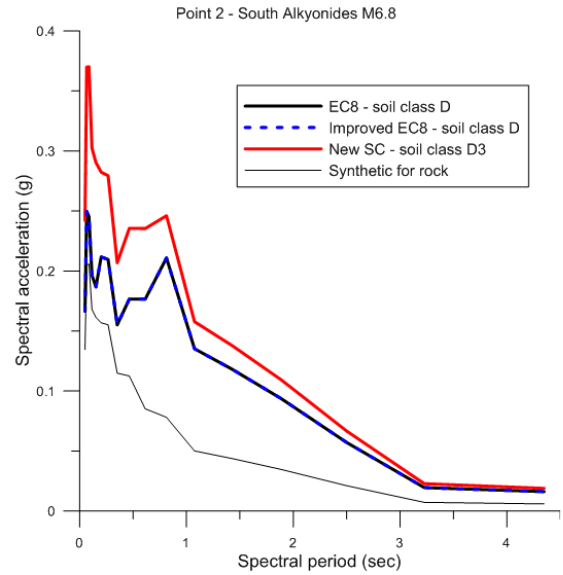
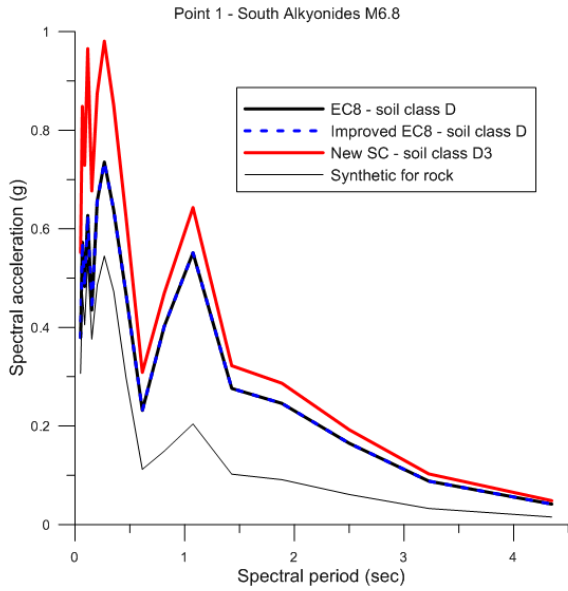
Σενάριο Σεισμού M6.8 στο Νότιο Ρήγμα των Αλκυονίδων

Κατηγορία Εδάφους C



Σενάριο Σεισμού M6.8 στο Νότιο Ρήγμα των Αλκυονίδων

Κατηγορία Εδάφους D



Σενάριο Σεισμού M6.8 στο Νότιο Ρήγμα των Αλκυονίδων

Κατηγορία Εδάφους E

