

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ Ν.Ε.Α.Κ., EC8 ΚΑΙ UBC/97 ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Α. Σέξτος, Πολιτικός Μηχανικός, Υποψ. Διδάκτωρ
Κ. Μάκρας, Πολιτικός Μηχανικός, Υποψ. Διδάκτωρ
Κ. Πιτιλάκης, Καθηγητής

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται μια πρώτη αξιολόγηση και αποτίμηση των διατάξεων του EC8, NEAK και UBC/97 που αφορούν την εκτίμηση των σεισμών σχεδιασμού. Χρησιμοποιούνται θεωρητικές αναλύσεις και πραγματικές καταγραφές από σημαντικούς σεισμούς της τελευταίας 20ετίας από την Ελλάδα και το εξωτερικό (Θεσσαλονίκη, Αλκυονίδες, Καλαμάτα, Λευκάδα, Κοζάνη, Αίγιο, Πύργος, Tabas, Mexico City, Loma Prieta, Northridge, Kobe). Στόχος της εργασίας είναι η συγκριτική παρουσίαση και αξιολόγηση των κανονισμών και μέσω αυτής, η αναζήτηση των κυρίων αξόνων πάνω στις οποίες θα πρέπει να κινηθεί η προσεχής αναμόρφωση του Ευροκώδικα 8 και κατ'επέκταση του NEAK.

SUMMARY

In the current study a primary evaluation of the EC8, Greek Seismic Code (NEAK) and UBC/97 provisions related to the estimation of the design earthquake is attempted. For that purpose, analytical procedures are performed, together with the use of recordings obtained from strong ground motions of the last 20 years both in Greece and abroad (Thessaloniki, Alkyonides, Kalamata, Lefkas, Kozani, Aigion, Pyrgos, Tabas, Mexico, Loma Prieta, Northridge, Kobe). The scope of the study is the comparative presentation and evaluation of the Seismic Codes and the investigation of the main lines along which the future improvements of Eurocode 8 and NEAK are to be made.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών από Ο/Σ, η διαδικασία εκτίμησης του σεισμού σχεδιασμού δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές μεταξύ των σύγχρονων κανονισμών. Η τιμή της ισοδύναμης δύναμης (τέμνουσας βάσης) που αναμένεται να ασκηθεί σε κατασκευή δεδομένης ιδιοπεριόδου, είναι συνάρτηση της επιτάχυνσης που προκύπτει από το φάσμα σχεδιασμού και του συντελεστή μετελαστικής συμπεριφοράς (q κατά NEAK και EC8, R κατά UBC), της συνολικής δηλαδή ικανότητας των δομικών στοιχείων να απορροφήσουν τη σεισμική ενέργεια μέσα από σταθερούς κύκλους φόρτισης. Η γενική μορφή του φάσματος σχεδιασμού απηχεί την παραδοχή ενιαίου επιπέδου σεισμικής επικινδυνότητας και της αντίστοιχης αποδεκτής πιθανότητας υπέρβασης των κρίσιμων παραμέτρων, που για τους ανωτέρω κανονισμούς είναι της

τάξης του 10% σε χρονική διάρκεια 50 ετών. Παράλληλα, ο μελετητής οδηγείται σε επιμέρους τροποποιήσεις ανάλογα με το έδαφος έδρασης, τον τύπο της θεμελίωσης και τη σπουδαιότητα της κατασκευής. Παρά την κοινή τους φιλοσοφία όμως, σημαντικές διαφορές παρατηρούνται μεταξύ των κανονισμών, τόσο στην ποσοτική εκτίμηση των ανωτέρω παραγόντων όσο και στη μεθοδολογία υπολογισμού. Οι διαφοροποιήσεις αυτές θα αναμενόταν να αμβλύνονται μετά την υιοθέτηση του αντίστοιχου μειωτικού συντελεστή q και κατά τη σύγκριση σε επίπεδο είτε ισοδύναμης στατικής δύναμης είτε, το προτιμότερο, της απαιτούμενης ποσότητας οπλισμού. Εντούτοις, οι διαφορές παραμένουν σημαντικές, ακόμη και όταν πρόκειται για κατασκευές απόλυτα όμοιες ως προς το δομικό σύστημα, το έδαφος θεμελίωσης και το επίπεδο σεισμικής επικινδυνότητας. Οι αποκλίσεις αυτές μεταξύ των κανονισμών εξαρτώνται από σειρά παραγόντων μεταξύ των οποίων η «κατασκευαστική παράδοση», το οικονομικό επίπεδο της κάθε χώρας και ο βαθμός αφομοίωσης της νέας γνώσης η οποία συνεχώς συσσωρεύεται, ιδιαίτερα ύστερα από σημαντικούς σεισμούς σε περιοχές με πυκνό δίκτυο επιταχυνσιογράφων.

Στο πλαίσιο των αποκλίσεων αυτών, εντάσσονται οι μικρές αλλά σημαντικές τροποποιήσεις που εισάγονται στην τελευταία έκδοση του Αμερικάνικου αντισεισμικού κανονισμού (UBC/97), οι οποίες αφορούν την τιμή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης καθώς και την εξάρτηση αυτών από τις εδαφικές συνθήκες, την ένταση της σεισμικής κίνησης και τα φαινόμενα κοντινού πεδίου. Εργαλεία για την παρουσίαση και τον σχολιασμό των ανωτέρω αλλαγών, αποτελούν αφενός τα αποτελέσματα παραμετρικών θεωρητικών αναλύσεων, αφετέρου δε η επεξεργασία διαθέσιμων καταγραφών από ισχυρούς σεισμούς της τελευταίας 20ετίας στην Ελλάδα και το εξωτερικό (Θεσσαλονίκη, Αλκυονίδες, Καλαμάτα, Λευκάδα, Κοζάνη, Αίγιο, Πύργος, Tabas, Mexico, Loma Prieta, Northridge, Kobe). Σκοπός του παρόντος άρθρου είναι η σύγκριση των ελαστικών φασμάτων των συγκεκριμένων καταγραφών με τα αντίστοιχα φάσματα του EC8 και του UBC/97, η οποία μπορεί να αποτελέσει τη βάση για γόνιμη συζήτηση γύρω από την αξιοπιστία των σεισμών σχεδιασμού καθώς και τη δυνατότητα υιοθέτησης σχετικών διατάξεων σε μελλοντικές εκδόσεις του NEAK και του EC8.

2. ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ

Οι καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν έχουν επιλεγεί με τρόπο ώστε να αντιπροσωπεύουν κατά το δυνατό διαφορετικές εδαφικές συνθήκες, συχνοτικό περιεχόμενο και επικεντρικές αποστάσεις. Δεν πρέπει βέβαια να μας διαφεύγει το γεγονός ότι το στατιστικό δείγμα είναι σχετικά περιορισμένο και αφορά σχεδόν αποκλειστικά ισχυρές σεισμικές κινήσεις, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις είναι δύσκολο να αποσυζευχθεί η επιρροή της τοπογραφίας, του μηχανισμού διάρρηξης, των εδαφικών συνθηκών ή άλλων τοπικών φαινομένων όπως η ρευστοποίηση. Σημειώνεται ακόμη η χρήση διαφορετικού σεισμικού καταλόγου κατά την μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας των δύο κανονισμών, το γεγονός ότι οι περισσότερες καταγραφές εκτός ΗΠΑ μόνον ενδεικτικά μπορούν να συγκριθούν με τα φάσματα του UBC/97, καθώς και το ότι η αντιστοίχιση των σεισμικών ζωνών και των κατηγοριών εδαφών απαιτεί κατάλληλες παραδοχές όπως περιγράφεται σε επόμενη παράγραφο. Επιπρόσθετα, αρκετές διατάξεις του UBC/97 διαφέρουν από τις αντίστοιχες του σε παράλληλη ισχύ εγχειριδίου αντισεισμικού σχεδιασμού NEHRP με το οποίο προβλέπεται να ενοποιηθεί σύντομα υπό τη μορφή του γενικού κανονισμού IBC-2000.

Παράλληλα, μέσω των θεωρητικών αναλύσεων που παρουσιάζονται, αναδεικνύεται η ευαισθησία των αποτελεσμάτων της εδαφικής απόκρισης στην επιλογή του μοντέλου προσομοίωσης του εδάφους. Η καλή γνώση της επιρροής της μεθόδου που επιλέγεται στην απόκριση της εδαφικής στήλης προσλαμβάνει ιδιαίτερη σημασία αν αναλογιστεί κανείς ότι τόσο ο UBC/97 όσο και άλλοι σύγχρονοι κανονισμοί χρησιμοποιούν θεωρητικές αναλύσεις για τον εμπλουτισμό των δεδομένων στα οποία στηρίζουν τις προτάσεις για τα φάσματα σχεδιασμού.

3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Προκειμένου να είναι εφικτή η συγκριτική παρουσίαση των επιμέρους παραμέτρων της ισχυρής εδαφικής κίνησης κατά EC8 και UBC/97 απαιτήθηκε η, έστω προσεγγιστική, ομαδοποίηση των εδαφικών κατηγοριών σε ‘μαλακό’, ‘ενδιάμεσο’ και ‘πολύ σκληρό έδαφος’ (Πίν. 1). Υπενθυμίζεται ότι ο ΝΕΑΚ διακρίνει τέσσερις (4) κατηγορίες εδάφους, ενώ ο EC8 τρεις (3) βασικές και τρεις (3) ειδικές, οι οποίες διαχωρίζονται με ποιοτικά κριτήρια. Αντίθετα, ο UBC/97 κατατάσσει το έδαφος θεμελίωσης σε πέντε (5) βασικές κατηγορίες και μία ειδική. Ο διαχωρισμός γίνεται με βάση την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων (V_s) στα πρώτα 30m.

Η κατάταξη των εδαφών στην μονοπαραμετρική κλίμακα της ταχύτητας V_s υπερτερεί οπωσδήποτε της καθαρά ποιοτικής εκτίμησης διότι περιορίζει την αβεβαιότητα επιλογής Παρόλη όμως την απλότητα της, έχουν διατυπωθεί βάσιμες επιφυλάξεις ως προς την αξιοπιστία χρήσης της μέσης τιμής V_s των πρώτων 30m για την περιγραφή των εδαφικών συνθηκών και του ρόλου τους σε ισχυρούς σεισμικού κραδασμούς. Απλή παρατήρηση ενόργανων μετρήσεων της εδαφικής κίνησης σε κατακόρυφα δίκτυα επιταχυνσιογράφων (βλέπε Port Island, Euroseistest, Pitilakis et al., 1999) αποδεικνύει πως τα βαθύτερα εδαφικά στρώματα, όταν μάλιστα έχουν μικρή δυσκαμψία, είναι δυνατό να έχουν έναν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της σεισμικής κίνησης στην επιφάνεια. Είναι επομένως πολύ παρακινδυνευμένο να θεωρηθεί πως αποτελεί γενικό κανόνα η δυνατότητα περιγραφής της εδαφικής κίνησης από την ιδιοπερίοδο της εδαφικής στήλης των 30 πρώτων μέτρων. Στο σημείο αυτό, ο UBC/97 αν και υπερτερεί του EC8 χρειάζεται σαφέστατα βελτίωση.

4. ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

Η πρώτη από τις δύο βασικές καινοτομίες που εισάγει ο UBC/97 είναι η θεώρηση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης ως μη-γραμμικής συνάρτησης της έντασης της σεισμικής κίνησης και των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η μεταβολή της υιοθετούμενης από τον UBC/97 και τον EC8 τιμής της PGA για «ισοδύναμες» ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας και «ισοδύναμα» εδάφη σύμφωνα με την παραδοχή του Πίνακα 1. Είναι φανερό πως οι τιμές της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης παρουσιάζονται στον UBC/97 γενικά αυξημένες κατ' απόλυτη τιμή σε σχέση με τον EC8. Η αύξηση αυτή είναι της τάξης του 12-25% για όλα τα εδάφη της σεισμικής ζώνης 4 και φτάνει το 100% για τα μαλακά εδάφη των ζωνών 1-3. Αποτελεί ερώτημα σε ποιο βαθμό οι αυξημένες τιμές PGA που προτείνονται από τον UBC/97 οφείλονται καθαρά σε νεώτερες μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας, ή αποτελούν μια προσπάθεια συνεκτίμησης της επιρροής των τοπικών εδαφικών συνθηκών, ειδικά στην περιοχή των χαμηλών περιόδων, με βάση ενόργανες καταγραφές και θεωρητικές αναλύσεις. Δεν αποκλείεται να συντρέχουν και οι δύο λόγοι.

Κάθε προσπάθεια σύγκρισης πάντως μεταξύ των τιμών PGA των UBC/97 και EC8 θα πρέπει να πραγματοποιείται σε σχέση με τις διατάξεις που αφορούν τη δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας από την κατασκευή αλλά και τους κανόνες μόρφωσης που την εξασφαλίζουν. Έτσι, παρά τις γενικά μεγαλύτερες επιταχύνσεις σχεδιασμού, η τέμνουσα βάσης κατά UBC/97 μιας «τυπικής» κατασκευής δεν είναι κατ'ανάγκη μεγαλύτερη στον ίδιο βαθμό από αυτή που υπολογίζεται με τον EC8 και αυτό γιατί, σε γενικές γραμμές, οι τιμές του συντελεστή μεταελαστικής συμπεριφοράς R είναι μεγαλύτερες από αυτές του q που προτείνει ο Ευροκώδικας 8.

Παρατηρείται ακόμη ότι ενώ στον EC8 οι τιμές PGA ελάχιστα σχετίζονται με τις εδαφικές συνθήκες (μείωση 10% αφορά μόνο την περίπτωση μαλακού εδάφους) και είναι απολύτως ανεξάρτητες της σεισμικής επικινδυνότητας, στον UBC/97 η τιμή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης αποτελεί μη-γραμμική συνάρτηση των δύο ανωτέρω παραγόντων. Έτσι, στην περίπτωση ασθενούς αναμενόμενης σεισμικής κίνησης (Ζώνη 1) και πολύ μαλακού εδάφους (S_E), η PGA προτείνεται 3.2 φορές υψηλότερη από αυτή που αντιστοιχεί σε βράχο (S_A). Η διαφορά αυτή αμβλύνεται στην περίπτωση υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας (Ζώνη 4) όπου όμοια με τον EC8, η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση στον UBC/97 είναι σχεδόν ανεξάρτητη των τοπικών εδαφικών συνθηκών.

Σύγκριση με αναλύσεις

Οι ανωτέρω διατάξεις του UBC/97 συνδέονται με τον περιορισμό της εδαφικής ενίσχυσης κατά τη διάρκεια του ισχυρού εδαφικού κραδασμού, εξαιτίας της μη-γραμμικής υστερητικής απόκρισης των εδαφικών υλικών. Για την ανάδειξη του ρόλου της μη-γραμμικής συμπεριφοράς στη διαμόρφωση της ισχυρής εδαφικής κίνησης, αναλύθηκε (Pitilakis et al., 1999) ένα εξιδανικευμένο εδαφικό προφίλ (30m μαλακής αργίλου, $V_s=200\text{m/sec}$) που ανήκει στις κατηγορίες εδάφους τύπου C κατά EC8 και Sd κατά UBC/97, υπό πέντε ισχυρές σεισμικές κινήσεις καταγεγραμμένες σε βράχο ή σε πολύ σκληρό έδαφος, με μέγιστες επιταχύνσεις που κυμαίνονται από 0.1g έως 0.7g. Στην προσομοίωση της εδαφικής απόκρισης χρησιμοποιήθηκαν (α) η ισοδύναμη γραμμική προσέγγιση στην οποία η μη γραμμική συμπεριφορά των εδαφικών υλικών εισάγεται από τις καμπύλες G_0 - γ -D μεταβολής του μέτρου διάτμησης και της διατμητικής απόσβεσης με τη διατμητική παραμόρφωση, (β) η μη γραμμική ανάλυση σύμφωνα με την οποία το μέτρο διάτμησης διαφοροποιείται σε κάθε χρονικό βήμα ανάλογα με την τρέχουσα διατμητική παραμόρφωση ακολουθώντας μία υπερβολική σχέση τάσεων-παραμορφώσεων και (γ) η ελαστοπλαστική προσέγγιση υπό από στραγγιζόμενες και αστράγγιστες συνθήκες.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι υπολογισθείσες τιμές της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης ως προς την αντίστοιχη επιτάχυνση στο βράχο μαζί με αυτές που προκύπτουν από τις προτεινόμενες κατά EC8 και UBC/97 τιμές PGA, καθώς και τις σχετικές καμπύλες των Dickenson & Seed (1996). Οι αναλύσεις αυτές, επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση επάνω σε μαλακό έδαφος αναμένεται να είναι μεγαλύτερη από αυτή του βράχου, τουλάχιστον μέχρι ενός επιπέδου διέγερσης που κυμαίνεται από 0.18-0.45g ανάλογα με τη μέθοδο προσομοίωσης και την παραδοχή στραγγισμένων ή αστράγγιστων συνθηκών. Για ισχυρότερες επιταχύνσεις, η εδαφική κίνηση παύει να ενισχύεται και αρχίζει να απομειώνεται. Παράλληλα προκύπτει πως οι προτεινόμενες από τον UBC/97 τιμές είναι αρκετά συντηρητικές, γεγονός που οφείλεται τόσο στο δείγμα των καταγραφών που έχουν χρησιμοποιηθεί όσο και στη χρήση της ισοδύναμης γραμμικής μεθόδου (SHAKE) με την οποία μεγεθύνεται

σημαντικά η εδαφική κίνηση. Αντίθετα, η χρήση ενός πραγματικά μη-γραμμικού ελαστοπλαστικού μοντέλου με αστράγγιστες συνθήκες είναι δυνατό να οδηγήσει σε σημαντικά μικρότερες τιμές της PGA στην επιφάνεια, για ισχυρές σεισμικές κινήσεις του βραχώδους υποβάθρου.

Σε κάθε περίπτωση, κατά τη διαμόρφωση των κανονιστικών διατάξεων ο εμπλουτισμός του δείγματος μέσω αναλύσεων που στηρίζονται στην υιοθέτηση συγκεκριμένου μοντέλου προσομοίωσης, θα πρέπει να πραγματοποιείται με ιδιαίτερη προσοχή ειδικά όταν είναι έκδηλη η μη-γραμμική συμπεριφορά του εδάφους (μαλακές άργιλοι, χαλαρές κορεσμένες αμμοίλιες, λεπτόκοκκες άμμοι κ.α.). Εκτιμάται συνεπώς ότι το υπάρχον επίπεδο γνώσεων στο θέμα δεν επαρκεί για την κάλυψη όλων των εδαφικών κατηγοριών με τον ίδιο βαθμό αξιοπιστίας, ειδικά σε σχέση με τις ισχυρές εδαφικές κινήσεις που εκ των πραγμάτων παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την Ελλάδα.

5. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Η δεύτερη σημαντική αλλαγή που εισάγεται στον UBC/97, αφορά την αύξηση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης όταν συντρέχουν συνθήκες «κοντινού πεδίου» όπως αυτές ορίζονται από το αναμενόμενο μέγεθος ($M_w \geq 6.5$), την απόσταση ($R \leq 2-10\text{km}$) και τον ρυθμό ολίσθησης του ρήγματος (2-5mm/έτος), αποκλειστικά για περιοχές που ανήκουν στη ζώνη υψηλότερης σεισμικής επικινδυνότητας. Σε αυτή την περίπτωση, η τιμή της PGA λαμβάνεται ως συνάρτηση των ανωτέρω παραγόντων, οδηγώντας σε επιπρόσθετη αύξηση της τιμής της που σε οριακές συνθήκες ($M_w > 7.0$, $R < 2\text{km}$, ρυθμός ολίσθησης $> 5\text{mm/έτος}$) είναι της τάξης του 50% (Πιν.2) ενώ ακόμη προβλέπεται και αξιοσημείωτη μετατόπιση του φάσματος προς τις μεγάλες περιόδους. Είναι φανερό πως αυτές οι αυξημένες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης που αγγίζουν οριακά και το 0.6g, αναπόφευκτα οδηγούν σε σημαντικά δυσμενέστερες δράσεις σχεδιασμού.

Οι ανωτέρω διατάξεις του UBC/97 σκοπό έχουν να αντιμετωπίσουν τα δυσμενή φαινόμενα που ισχύουν στο «έγγυς πεδίο» και συνδέονται με τον μηχανισμό διάρρηξης του ρήγματος, τον προσανατολισμό αυτού και την πραγματική (όχι την επικεντρική) απόσταση από την προβολή της ρηξιγενούς ζώνης στην επιφάνεια. Τα αποτελέσματα των συνθηκών «κοντινού πεδίου» δεν περιορίζονται στις υψηλότερες τιμές PGA. Έχει παρατηρηθεί σε αρκετούς πρόσφατους ισχυρούς σεισμούς, ότι πλησίον της περιοχής θραύσης το φασματικό περιεχόμενο των δύο συνιστωσών είναι δυνατό να διαφέρει σημαντικά. Έχει ακόμη δειχθεί (Sommerville, 1997) ότι η κατευθυντικότητα του (εφαπτομενικού) ρήγματος παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς η συνιστώσα της κίνησης στην εγκάρσια ως προς το επίπεδο του ρήγματος διεύθυνση, μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερη της παράλληλης, για περιόδους μεγαλύτερες των 0.5 sec. Συνέπεια αυτού είναι η μετατόπιση της δεσπόζουσας περιόδου της κίνησης προς τα δεξιά έως και κατά 0.5 sec, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για κατασκευές μεγάλης ιδιοπεριόδου όπως είναι για παράδειγμα οι γέφυρες.

Οι διατάξεις του UBC/97 βρίσκονται γενικά σε ικανοποιητική συμφωνία με τα παραπάνω. Δεν πρέπει πάντως να μας διαφεύγει το γεγονός ότι αναφέρονται κατά κύριο λόγο σε μετωπική κατευθυντικότητα εφαπτομενικών ρηγμάτων, ενώ στον Ελληνικό χώρο η πλειοψηφία αυτών είναι κανονικά. Έχει άλλωστε επισημανθεί (Ambraseys et al., 1996) πως οι φασματικές τιμές είναι συνάρτηση όχι μόνο του μεγέθους, της απόστασης, και των τοπικών εδαφικών συνθηκών αλλά και του σεισμικού καταλόγου που έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμησή τους. Η δυνατότητα συνεπώς αναγωγής των συγκεκριμένων διατάξεων στην Ελληνική πραγματικότητα αν και χρίζει περαιτέρω

διερεύνησης, εντούτοις παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον καθώς πολλά αστικά κέντρα και περιοχές σημαντικού πολιτιστικού ή οικονομικού ενδιαφέροντος στην Ελλάδα, βρίσκονται πολύ κοντά σε ενεργώς σεισμικές ζώνες,

Σύγκριση με καταγραφές

Για λόγους σύγκρισης, εξετάζονται περιπτώσεις ισχυρών σεισμών από την Ελλάδα και τον διεθνή χώρο όπου θεωρείται πως ισχύουν συνθήκες «κοντινού πεδίου» (Πίν. 1-έντονοι χαρακτήρες). Εκτός της Καλαμάτας με επικεντρική απόσταση $R=8\text{km}$ και εστιακό βάθος 12km , της περιοχής Tarzana ($R=6\text{km}$) κοντά στο Northridge και της Arleta ($R=9\text{km}$) όπου μετρήθηκε ο υψηλότερος λόγος κατακόρυφης προς οριζόντια επιτάχυνση, εκτιμάται ότι στις συνθήκες κοντινού πεδίου εμπίπτει και ο σεισμός του Αιγίου ($R=18\text{km}$) λόγω της αρκετά μικρής απόστασης R' από την προβολή της ρηξιγενούς ζώνης στην επιφάνεια (Γκαζέτας, 1995) αλλά και της μεγάλης θεμελιώδους ιδιοπεριόδου (0.50sec) που αποτελεί ένδειξη ισχυρής επιρροής της κατευθυντικότητας (Somerville & Graves, 1993). Οι καταγραφές στο Port Island κατά τον σεισμό του Kobe ($R=12\text{km}$) θεωρούνται και αυτές σχετικά κοντινές εξαιτίας του συνδυασμού μικρής απόστασης από τη ζώνη θραύσης του ρήγματος ($R'=6.6\text{km}$) και μεγάλου μεγέθους της σεισμικής κίνησης ενώ ο σεισμός του Tabas είναι ιδιαίτερα κοντινός ($R'=1.2\text{km}$, εστιακό βάθος $H=5\text{km}$) και ταυτόχρονα πολύ ισχυρός ($M_w=7.3$). Η συγκριτική παρουσίαση των φασμάτων των ανωτέρω καταγραφών πραγματοποιείται στο Σχήμα 2 για κάθε «ισοδύναμη» κατηγορία εδάφους και σε σχέση με τα φάσματα σχεδιασμού κατά UBC/97 και EC8. Σημειώνεται ότι για λόγους σύγκρισης με τους Ελληνικούς σεισμούς, το φάσμα επιταχύνσεων του EC8 αναφέρεται στη σεισμική ζώνη III ενώ του UBC/97 στη ζώνη 4, όπου άλλωστε ανήκουν οι καταγραφές από τις ΗΠΑ.

Παρατηρείται (Σχ.2) ότι το προτεινόμενο ελαστικό φάσμα του UBC/97 για το κοντινό πεδίο περιβάλλει αρκετά ικανοποιητικά τις υψηλές φασματικές επιταχύνσεις τόσο των Ελληνικών όσο και των διεθνών σεισμών, με εξαίρεση την περίπτωση του Tabas όπου πράγματι ο συνδιασμός απόστασης από το ρήγμα και μεγέθους ήταν εξαιρετικά δυσμενής, και της Tarzana όπου ο ρόλος της τοπογραφίας υπήρξε καθοριστικός. Με την επιφύλαξη του πολύ μικρού διαθέσιμου δείγματος κοντινών σεισμών από τον Ελληνικό χώρο (Αίγιο, Καλαμάτα), το αντίστοιχο φάσμα του EC8 δείχνει να μην επαρκεί καθώς ο λόγος των φασματικών του τιμών προς τη μέγιστη φασματική επιτάχυνση της κάθε καταγραφής δεν ξεπερνά το 0.6.

Συμπερασματικά, οι διατάξεις του UBC/97 σχετικά με τη σεισμική κίνηση πλησίον της περιοχής θραύσης του ρήγματος, δείχνουν να κινούνται προς τη σωστή κατεύθυνση χωρίς όμως να είναι δυνατή η ποσοτική αποτίμηση των προτεινόμενων συντελεστών, ή η απευθείας υιοθέτηση τους στις διατάξεις του EC8 και του NEAK. Επιπλέον, δεν είναι διαθέσιμες σε μεγάλο βαθμό εκείνες οι πληροφορίες σεισμικής επικινδυνότητας που θα καθιστούσαν εφικτό και απλό στον μελετητή να γνωρίζει το αν εμπίπτει ή όχι σε ζώνη με υψηλό κίνδυνο φαινομένων κοντινού πεδίου. Σε σχέση με το θέμα αυτό ο NEAK (Ο.Α.Σ.Π., 1999) κινείται με σύνεση στη σωστή κατεύθυνση. Προτείνει την αύξηση της σεισμικής δράσης σχεδιασμού κατά 25%, γεγονός που καλύπτει τουλάχιστο την αναμενόμενη ενίσχυση της εδαφικής επιτάχυνσης, όχι όμως και της διαφοροποίησης του φάσματος. Παράλληλα δηλώνει ρητά ότι απαιτούνται ειδικές σεισμολογικές-γεωλογικές-γεωτεχνικές-στατικές μελέτες, ενώ σε κάθε περίπτωση η οριοθέτηση των σεισμικώς ενεργών ρηγμάτων είναι θέμα της Πολιτείας και των επίσημων φορέων που διαμορφώνουν τον Αντισεισμικό Κανονισμό της χώρας.

Κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης

Η υψηλή τιμή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης εξαιτίας συνθηκών κοντινού πεδίου θεωρείται ότι είναι ακόμη περισσότερο ευδιάκριτη στην κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης, τάση που γενικά επιβεβαιώνεται και από τις καταγραφές κοντινού πεδίου που μελετήθηκαν (Πιν. 2), παρότι η επιρροή των φαινομένων εγγύτητας με το ρήγμα δεν είναι πάντα εύκολο να απομονωθεί στις καταγραφές καθώς ο ρόλος της τοπογραφίας (Tarzana) ή των ειδικών εδαφικών συνθηκών (Port Island-Kobe) είναι συχνά εξίσου σημαντικός. Έναντι των υψηλών τιμών κατακόρυφης PGA που παρατηρούνται, οι διατάξεις αύξησης των οριζοντίων εδαφικών επιταχύνσεων που προτείνει ο UBC/97 λειτουργούν έμμεσα προς τη μεριά της ασφάλειας. Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης ο λόγος της κατακόρυφης προς την οριζόντια επιτάχυνση των καταγραφών ο οποίος, με την επιφύλαξη και πάλι του μικρού και ανομοιογενούς δείγματος, μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερος (Arleta, 1.59) ή μικρότερος (Αίγιο, 0.34) της γνωστής τιμής 0.7 που χρησιμοποιείται για την αναγωγή του φάσματος οριζόντιας επιτάχυνσης σε κατακόρυφης, με τάση να είναι μικρότερος του 0.7 για την περίπτωση των Ελληνικών σεισμών. Ο μεγάλος βαθμός αβεβαιότητας επαληθεύεται και από αναλυτικότερους σεισμικούς καταλόγους (Γκαζέτας, 1996).

Είναι γνωστό ακόμη ότι η κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης αν και μεγενθύνεται κατά τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων από το βραχώδες υπόβαθρο στην επιφάνεια, εντούτοις διατηρεί κατά βάση το υψίσυγχο συχνοτικό της περιεχόμενο (Pitilakis et al., 1999, Chavez Garcia et al., 1999) σε αντίθεση με τις οριζόντιες συνιστώσες που υφίστανται σημαντικές αλλαγές συχνοτικού περιεχομένου. Η υιοθέτηση επομένως μιας απλής αναλογικής σχέσης οριζόντιας και κατακόρυφης μέγιστης επιτάχυνσης (PGHA, PGVA) και αντιστοίχως ανάλογης σχέσης των φασματικών τιμών όπως υπονοεί ο NEAK, αν και θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια συνετή βάση για την εκτίμηση της PGVA, εντούτοις είναι εκτός πραγματικότητας ως προς τις φασματικές τιμές της κατακόρυφης συνιστώσας. Απαιτείται συνεπώς η κριτική προσέγγιση της μορφής του φάσματος της κατακόρυφης συνιστώσας της κίνησης, της αξιοπιστίας σύνδεσης του με αυτό της οριζόντιας και της δυνατότητας ενδεχόμενης διάκρισης των παραπάνω ανάλογα με την απόσταση από τη ρηξηγενή ζώνη.

5. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

Η ενίσχυση του προσπίπτοντος σεισμικού κύματος από την υπερκείμενη εδαφική στρώση αποτελεί ένα πολύπλοκο φαινόμενο που εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την ένταση της σεισμικής κίνησης, τον τύπο του εδάφους, τον μηχανισμό διάρρηξης, την απόσταση από την εστία και τις τοπογραφικές συνθήκες. Σύμφωνα με τον Ευροκώδικα 8 και τον NEAK, ο συντελεστής φασματικής ενίσχυσης β_0 είναι σταθερός και ίσος προς 2.5 ανεξαρτήτως της κατηγορίας εδάφους. Επιπρόσθετα, στον EC8 ο λόγος F της φασματικής επιτάχυνσης σε μαλακό έδαφος προς την αντίστοιχη του βράχου (site coefficient) είναι ίσος με τη μονάδα για εδάφη κατηγορίας A,B και 0.9 για εδάφη C, ανεξάρτητα από την ένταση της σεισμικής κίνησης.

Στον UBC/97, ενώ ο συντελεστής φασματικής ενίσχυσης διατηρείται γενικά ίσος προς 2.5, ταυτοχρόνως εισάγεται μια διαδικασία με την οποία αναγνωρίζεται πως η φασματική ενίσχυση είναι μη-γραμμική συνάρτηση της έντασης της σεισμικής κίνησης και των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Αυτό επιτυγχάνεται με την υιοθέτηση δύο αντί

ενός παραμέτρων ενίσχυσης F που εκφράζουν την τιμή της φασματικής επιτάχυνσης σε μαλακό έδαφος προς την αντίστοιχη του βράχου (Finn, 1999). Ο πρώτος (F_a) ενισχύει την εδαφική κίνηση στις μικρές περιόδους (0.1-0.5 sec) ενώ ο δεύτερος (F_v) στην υπόλοιπη περιοχή του φάσματος. Οι τιμές αυτές έχουν προκύψει από επεξεργασία διαθέσιμων καταγραφών και μεγάλο αριθμό αναλύσεων (Borcherdt, 1997), κυρίως με τη χρήση της ισοδύναμης γραμμικής μεθόδου (SHAKE). Είναι φανερό πως λόγω της σταθερής τιμής του β_0 , η τιμή του συντελεστή F_a που προκύπτει στην περιοχή των σταθερών τιμών του φάσματος εξαρτάται ουσιαστικά απευθείας από τη μεταβλητή τιμή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης η οποία όπως περιγράφηκε είναι αντιστρόφως ανάλογη του επιπέδου της σεισμικής επικινδυνότητας και άμεσα εξαρτώμενη από τις πέντε εδαφικές κατηγορίες. Στις μεγαλύτερες περιόδους, ο συντελεστής F_v προκύπτει από τον λόγο των φασματικών τιμών στον κατερχόμενο κλάδο. Επιπρόσθετα, οι περίοδοι ελέγχου (control periods) T_s και T_0 μετατοπίζονται προς την περιοχή των μεγάλων περιόδων, όχι μόνο ανάλογα με την κατηγορία του εδάφους όπως ισχύει κατά NEAK και EC8, αλλά και με την ένταση της σεισμικής κίνησης, περιγράφοντας την αύξηση της ιδιοπερίόδου του εδάφους εξαιτίας μη-γραμμικών φαινομένων.

Σύγκριση με αναλύσεις

Η αποτίμηση της φασματικής ενίσχυσης και των συντελεστών F_a και F_v προκύπτει από τις παραμετρικές αναλύσεις που περιγράφησαν στην παράγραφο 3. Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του λόγου των φασμάτων απόκρισης στην επιφάνεια του εδαφικού προφίλ προς τα αντίστοιχα του βράχου, για τρεις περιοχές περιόδων και διάφορα επίπεδα σεισμικής διέγερσης στο βραχώδες υπόβαθρο καθώς και οι αντίστοιχοι συντελεστές F των κανονισμών. Στην περιοχή των μικρών περιόδων (0-0.5sec), ο UBC/97 υιοθετεί συντελεστές F_a μεγαλύτερους αυτών που προέκυψαν από τις αναλύσεις, οι οποίοι με τη σειρά τους ξεπερνούν τον σταθερό και ίσο προς 0.9 συντελεστή που προτείνει ο EC8 (Σχ.3α). Η μεγαλύτερη ενίσχυση της κίνησης στις χαμηλές περιόδους για μαλακά αλλά και σκληρότερα εδάφη, επιβεβαιώνεται από τους Ambraseys et al. (1996) ενώ επιπλέον συνηγορεί υπέρ της άποψης (Bard, 1998) ότι τουλάχιστο για μέτριας έντασης κινήσεις (<0.2g) ο EC8 χρειάζεται αναθεώρηση.

Σε ενδιάμεσες περιόδους (0.5-0.15sec) εξαιτίας φαινομένων συντονισμού της εδαφικής στήλης που αναλύθηκε ($T_0 = 4H/V_s = 4 \times 30/200 = 0.6$ sec) παρατηρούνται έντονες φασματικές μεγενθύνσεις ειδικά στα χαμηλά επίπεδα διέγερσης (PGA βράχου <0.2g). Ο συντελεστής F_v του UBC/97 συμφωνεί όπως αναμενόταν με τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τη χρήση του ισοδύναμου μοντέλου EQL, ενώ οι ελαστοπλαστικές αναλύσεις οδηγούν σε σαφέστατα ισχυρότερες ενισχύσεις. Όσο όμως αυξάνεται η ένταση της διέγερσης στο βραχώδες υπόβαθρο, τόσο οι ελαστοπλαστικές αναλύσεις, εξαιτίας της καλύτερης προσομοίωσης της μη-γραμμικής συμπεριφοράς του εδάφους, παρουσιάζουν σαφέστατη μείωση της φασματικής ενίσχυσης ακόμη και σε επίπεδα χαμηλότερα του EC8 (Σχ.2β). Διαπιστώνεται δηλαδή ότι ο EC8 ενώ ενδεχομένως χρίζει προσαρμογής σε μέτριας έντασης δονήσεις (PGA<0.2g), εντούτοις σε πραγματικά ισχυρές δονήσεις δεν αποκλίνει σημαντικά από τις τιμές που υπολογίζονται από τις μη-γραμμικές ελαστοπλαστικές αναλύσεις για τα μαλακά εδάφη.

Αν και οι παραμετρικές θεωρητικές αναλύσεις που παρουσιάζονται εδώ, έχουν σχετικά περιορισμένη έκταση (αφορούν μόνο τα μαλακά εδάφη κατηγορίας C κατά EC8, γ κατά NEAK και $S_{D,E}$ κατά UBC/97), αναδεικνύουν μια σειρά από πολύ ενδιαφέροντα στοιχεία όπως: (α) την αξιοσημείωτη εξάρτηση των φασματικών τιμών

από τις μεθόδους ανάλυσης (β) την εξαιρετικά μεγάλη επιρροή της μη-γραμμικής συμπεριφοράς του εδάφους, η οποία εκδηλώνεται τόσο σε χαμηλές όσο και σε υψηλές εντάσεις σεισμικής διέγερσης (γ) την ανάγκη έναρξης συζήτησης περί την αναθεώρηση των φασματικών τιμών του EC8 για τις ασθενείς προς μέτριας έντασης δονήσεις (<0.2g) (δ) τη μεγάλη μείωση των φασματικών τιμών σε ισχυρές σεισμικές δονήσεις.

Σύγκριση με καταγραφές

Από τα κανονικοποιημένα φάσματα επιταχύνσεων των διαθέσιμων καταγραφών του σχήματος 4 φαίνεται ότι τουλάχιστο για τον Ελληνικό χώρο τα φάσματα σχεδιασμού του EC8 περιβάλλουν ικανοποιητικά τις καταγραφές στις μεγάλες περιόδους με μόνη εξαίρεση την περίπτωση της καταγραφής στην Έδεσσα όπου όμως οι αναλογίες με τις καταγραφές στην πόλη του Μεξικού, εξηγούν την ιδιαίτερα σημαντική φασματική ενίσχυση. Ο συντελεστής $\beta_0=2.5$ φαίνεται συμφωνεί με την μέση τιμή των μέγιστων φασματικών ενισχύσεων που παρατηρούνται στα φάσματα των καταγραφών. Αν και η στατιστική επεξεργασία θα ήταν προτιμότερο να πραγματοποιείται χωριστά για κάθε περιοχή περιόδων, το γεγονός ότι οι μέγιστες τιμές, τουλάχιστο για τον Ελληνικό χώρο, εμφανίζονται στη σταθερή περιοχή του φάσματος δικαιολογεί την ενδεικτική εκτίμηση μιας μέσης μέγιστης φασματικής ενίσχυσης και την σύγκρισή της με τον συντελεστή β_0 . Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται μεταξύ των διεθνών καταγραφών και του UBC/97 είναι γενικά μεγαλύτερες κυρίως σε σχέση με τις ασυνήθιστες μεγάλες τιμές ενίσχυσης (Mexico City, Irpinia, Treasure Island, Kobe).

Οι αλλαγές του UBC/97 που συνδέουν την ενίσχυση της εδαφικής κίνησης με την ένταση της σεισμικής διέγερσης και τις εδαφικές συνθήκες έχουν σχολιαστεί θετικά (Seed & Moss, 1999). Πράγματι, η περισσότερο αναλυτική κατηγοριοποίηση των εδαφών με σκοπό την καλύτερη περιγραφή της εδαφικής ενίσχυσης, αποτελεί οπωσδήποτε εξέλιξη στον UBC/97 και ενδεχόμενα θα μπορούσε να εξεταστεί σε μελλοντική αναθεώρηση του EC8 και του NEAK. Από την άλλη όμως, η μεθοδολογία εκτίμησης των απαιτούμενων συντελεστών και οι κυρίως η ακριβής ποσοτική εκτίμηση των τιμών για τον Ελλαδικό χώρο, απαιτούν εκτεταμένη πιστοποίηση. Παράλληλα, επιδέχονται βελτίωσης και διερεύνησης κυρίως σε σχέση με την αλληλεπίδρασή τους με τους ενισχυτικούς συντελεστές κοντινού πεδίου, αλλά και με την συνολική μελέτη της σύνθετης επιρροής των τοπικών εδαφικών συνθηκών σε δύο και τρεις διαστάσεις.

7. ΦΑΣΜΑΤΑ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ, ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

Στα Σχήματα 5 και 6 παρουσιάζονται τα φάσματα ταχυτήτων και μετακινήσεων των εικοσιενός (21) καταγραφών και η σύγκρισή τους με τα αντίστοιχα φάσματα των EC8 και UBC/97. Η συγκριτική παρουσίαση γίνεται όχι μόνο διότι αποτελούν ικανοποιητικότερο μέτρο ποσοτικής έκφρασης της σεισμικής ενέργειας αλλά και διότι ο σχεδιασμός με βάση μετακινήσεις αντί επιταχύνσεων (displacement based design) απασχολεί την τρέχουσα έρευνα και δεν αποκλείεται στο άμεσο μέλλον να εξελιχθεί στην κύρια μέθοδο ανάλυσης των κατασκευών.

Σε γενικές γραμμές παρατηρείται πολύ μεγαλύτερη διασπορά τιμών από ότι στις επιταχύνσεις τόσο μεταξύ καταγραφών όσο και σε σχέση με τους κανονισμούς. Σημειωτέον ότι η απευθείας σύγκριση του UBC/97 με τον EC8 δεν είναι δυνατή διότι οι καμπύλες αναφέρονται σε διαφορετικά επίπεδα σεισμικής επικινδυνότητας. Από την κατάλληλη αναγωγή τους όμως, προκύπτει πως οι φασματικές ταχύτητες του UBC/97 είναι αισθητά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του EC8, ως συνέπεια των υψηλότερων

σχετικά τιμών PGA αλλά και της μετατόπισης των φασμάτων σχεδιασμού στις υψηλές περιόδους, διαφορές που εντείνονται για τον ίδιο λόγο στο «εγγύς πεδίο». Ως προς τις Ελληνικές καταγραφές, παρατηρείται ότι ο EC8 δίνει ένα λογικό μέσο επίπεδο σχεδιασμού, που θα μπορούσε να θεωρηθεί ως συντηρητικό για την περίπτωση των μαλακών εδαφών. Ειδικά στην περιοχή των χαμηλών περιόδων ($T < 0.6$ sec) στην οποία εμπίπτουν οι συνηθισμένες κατασκευές, η σύγκριση είναι αρκετά καλή. Εξάιρεση ενδεχομένως αποτελεί η περίπτωση του Αιγίου, όπου ο ισχυρός μακροπερίοδος παλμός που χαρακτηρίζει το επιταχυνσιογράφημα οδηγεί σε υψηλές φασματικές ταχύτητες της τάξης του 1.1 m/sec, τιμή που δεν προβλέπεται από τον κανονισμό.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία έγινε μια προσπάθεια σύγκρισης πραγματικών καταγραφών και θεωρητικών αναλύσεων με τους σεισμούς σχεδιασμού που προτείνονται κατά EC8 και UBC/97. Στόχος της μελέτης είναι η συγκριτική αξιολόγηση των δύο κανονισμών, και κατ'επέκταση του ΝΕΑΚ, και η διαμόρφωση γενικών αξόνων πάνω στους οποίους θα πρέπει να κινηθεί η βελτίωση του EC8. Τα κύρια συμπεράσματα συνοψίζονται ως εξής:

1. Η κατηγοριοποίηση των εδαφών στον EC8 είναι αρκετά ελλιπής. Αναγκαία κρίνεται η αύξηση του αριθμού των κατηγοριών και κυρίως, η καλύτερη ποσοτική τους διαφοροποίηση με βάση την ταχύτητα V_s και το βάθος του οιονεί βραχώδους υποστρώματος. Η θεώρηση μόνο των 30m από την επιφάνεια που υιοθετείται στον UBC/97 είναι όχι μόνο ανεπαρκής αλλά είναι δυνατό να οδηγήσει σε πολύ λανθασμένα αποτελέσματα.
2. Τα φάσματα σχεδιασμού του UBC/97 κινούνται γενικά στη σωστή κατεύθυνση (διαφοροποίηση του φάσματος ανάλογα με την ένταση του σεισμού, τις τοπικές εδαφικές συνθήκες και τις συνθήκες «κοντινού πεδίου»). Ο EC8 θα μπορούσε να εμπνευστεί από τη λογική των φασμάτων αυτών και να καταλήξει σε ώριμες προτάσεις στη βάση της διαφοροποίησης των φασματικών τιμών για μέτριας ($\leq 0.2g$) και ισχυρής ($> 0.2g$) έντασης σεισμικού κραδασμού.
3. Η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής διέγερσης όπως και τα φάσματα ταχυτήτων και μετακινήσεων θα πρέπει να τύχουν περισσότερο συστηματικής μελέτης διότι παρουσιάζουν μεγάλο θεωρητικό και πρακτικό ενδιαφέρον, ενώ οι κανονισμοί οφείλουν να βελτιώσουν σημαντικά τις σχετικές διατάξεις οι οποίες είναι τουλάχιστον ελλιπείς κατά περίπτωση ανακριβείς.
4. Σε κάθε περίπτωση, η αποτελεσματική αποτίμηση των τιμών PGA και των φασμάτων σχεδιασμού των προς σύγκριση κανονισμών θα πρέπει να εξετάζεται σε σχέση με τις διατάξεις που αφορούν τη δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας από την κατασκευή αλλά και τους κανόνες μόρφωσης που την εξασφαλίζουν.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ambraseys, N.N., Simpson, K.A. & J.J. Bommer (1996)
Prediction of horizontal response spectra in Europe, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **25**, 371-400.
- Bard, P.Y. (1998)
EC8 parts 1-1, two year inquiry, *Unofficial proposal for the review of EC8 provisions, Grenoble, France*.
- Borcherdt, B. (1997)

- Estimates of the Site-Dependent Response Spectra for New and Existing Highway Facilities (Methodology and Justification), *Proceedings of the FHWA/NCEER Workshop on the National Representation of Seismic Ground Motion for New and Existing Highway Facilities*, TR NCEER-97-0010, 171-201.
- Chávez-García, F.J., Raptakis, D., Makra, K. & K. Pitilakis (1999)
Site effects at EUROSEISTEST: Results from 2D numerical modeling and comparison with observations. Accepted for publication in *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*.
- Γκαζέτας, Γ. (1995)
Ο σεισμός του Αιγίου 15-6-95: Ανάλυση των αιτιών των βλαβών στις εύκαμπτες πυλωτές, με έμφαση στην αστοχία του κτιρίου διοικήσεων Ε.Β.Ο., *Ενημερωτικό Δελτίο Τ.Ε.Ε.*, Ν.1883.
- Γκαζέτας, Γ. (1996)
Εδαφομηχανική και Σεισμική Μηχανική «Ιστορικά Περιστατικά» Καλαμάτα 1986, Northridge 1994, Αίγιο 1995, Kobe 1995, Εκδόσεις Συμμελών.
- Dickenson, S.E. & R.B. Seed (1996)
Nonlinear dynamic response of soft and deep cohesive soil deposits, *Proceedings of International Workshop on Site Response*, 2, 67-81, Yokosuka, Japan.
- European Committee for Standardization (1994)
Eurocode 8 : Design Provision for Earthquake Resistance of Structures, Brussels.
- Finn, L.W.D. (1999)
Codes, standards and seismic safety evaluation of earth structures, *Proceedings of the Second International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Lisboa, 21-25 June*, 1091-1106.
- NEHRP (1997)
Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, *Building Seismic Safety Council, FEMA*.
- Ο.Α.Σ.Π. (1999)
Σχέδιο κειμένου του κεφαλαίου 5 «Θεμελιώσεις, Αντιστηρίξεις, Γεωκατασκευές», *Μόνιμη Επιτροπή Επιστημονικής Υποστήριξης του ΝΕΑΚ*.
- Pitilakis, K., Margaris, V., Lekidis, V., Theodulidis, N. & A. Anastasiadis (1992)
The Griva, northern Greece, earthquake of December 21, 1990 (Seismological, structural and geotechnical aspects), *European Earthquake Engineering*, VI (2), 20-35.
- Pitilakis, K., Raptakis, D & K. Makra (1999)
Site effects: Recent considerations and design provisions, *Proceedings of the Second International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Lisboa, 21-25 June*, 901-912.
- Pitilakis, K., Raptakis, D., Lontzetidis, K., Tika-Vassilikou, Th. & D. Jongmans (1999)
Geotechnical & Geophysical description of EURO-SEISTEST, using field, laboratory tests and moderate strong-motion recordings. *Journal of Earthquake Engineering* (in press).
- Seed, R.B. & R.E.S. Moss (1999)
Recent advances in US codes and policy with regard to seismic geotechnics, *Proceedings of the Second International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Lisboa, 21-25 June*, 1111-1121.
- Sommerville, P (1997)

The characteristics and quantification of near fault ground motion, *Proceedings of the FHWA/NCEER Workshop on the National Representation of Seismic Ground Motion for New and Existing Highway Facilities*, TR NCEER-97-0010, 293-318.

Uniform Building Code (1997)

Structural Engineering Design Provisions, International Conference of building officials, **2**, Whittier, California.

V_s (m/sec) 0		180	360	760	1500	
UBC/97	S_E		S_D	S_C	S_B	S_A
N.E.A.K /95	Κατηγορία Δ: Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλής πλαστικότητας και πάχους > 10m.	Κατηγορία Γ : Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής πυκνότητας πάχους >5m, μέσης πυκν. πάχους >70m.	Κατηγορία Β: Αποσαθρωμένα βραχώδη εδάφη, άμμος μέσης/μεγάλης πυκνότητας, στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους >70m.		Κατηγορία Α: Βραχώδες έδαφος ή στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού / σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους <70m.	
EC 8 /94	Subsoil class C Χαλαρές άμμοι, μαλακές-μέσες άργιλοι $V_s < 200$ m/sec στα 20m ($T > 0.4$ sec)		Subsoil class B Βαθείες αποθέσεις μέσης/πυκνής άμμου, σκληρές άργιλοι με $V_s = 200$ m/sec στα 10m, ή 350 m/sec στα 50m. ($0.10 < T \approx 0.2 < 0.40$ sec)		Subsoil class A Βραχώδες έδαφος με $V_s > 800$ m/sec, αμμώδες έδαφος ή υπερστερεοποιημένες άργιλοι με $V_s > 400$ m/sec στα 10m. ($T < 0.10$)	
Ιαπων./98 Γέφυρες	Ground Type III ($T > 0.6$ sec)		Ground Type II ($0.60 > T > 0.20$ sec)		Ground Type I ($T < 0.20$ sec)	

Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση των εδαφών κατά τους σύγχρονους κανονισμούς

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ PGA ΚΑΤΑ EC8 και UBC/97

Σεισμ Ζώνη	Πολύ σκληρό έδαφος			Ενδιάμεσο έδαφος			Μαλακό έδαφος	
	EC8 (S _A)	UBC/97 (S _A) (S _B)		EC8 (S _B)	UBC/97 (S _C) (S _D)		EC8 (S _C)	UBC/97 (S _E)
1	0.12	0.06	0.08	0.12	0.09	0.12	0.108	0.19
2 ^A	0.16	0.12	0.15	0.16	0.18	0.22	0.144	0.30
2 ^B	-	0.16	0.20	-	0.24	0.28	-	0.34
3	0.24	0.24	0.30	0.24	0.33	0.36	0.216	0.36
4	0.32	0.32 N _a	0.40 N _a	0.32	0.40 N _a	0.36 N _a	0.288	0.36 N _a
4ΣΚΠ ¹	-	0.48 ²	0.60 ²	-	0.60 ²	0.54 ²	-	0.54 ²

ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ (PHGA) ΑΠΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ

Πολύ σκληρό έδαφος				Ενδιάμεσο έδαφος				Μαλακό έδαφος			
Σεισμός	M	Θέση	(g)	Σεισμός	M	Θέση	(g)	Σεισμός	M	Θέση	(g)
Loma Pr.	7.3	Yerba B.	0.06	Κοζάνη	6.4		0.20	Έδεσσα	6.0		0.10
Irpinia	5.3	Cairano	0.16	Καλαμάτα	6.0	Νομ.	0.27	Θες/νίκη	6.5		0.14
Kobe	7.2	P.I. -83m	0.38	Καλαμάτα	6.0	ΟΤΕ	0.29	Λευκάδα	5.9		0.14
Loma Pr.	7.3	Gilroy	0.42	Αλκυονίδες	6.7	Κόρινθ.	0.30	Loma P.	7.3	Tr.Isl.	0.16
Northridge	6.7	Tarzana	1.74	Northridge	6.7	Arleta	0.34	Mexico	7.9		0.17
				Πάτρα	5.6		0.39	Kobe	7.2	P.I-16	0.58
				Northridge	6.7	P.Dam	0.42				
				Πύργος	5.5		0.44				
				Αίγιο	6.4	ΟΤΕ	0.53				
				Tabas	7.3		0.98				

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ (PVGA) ΑΠΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ

Πολύ σκληρό έδαφος				Ενδιάμεσο έδαφος				Μαλακό έδαφος			
Σεισμός	M	Θέση	(g)	Σεισμός	M	Θέση	(g)	Σεισμός	M	Θέση	(g)
Loma Pr.	7.3	Yerba	0.02	Αλκυονίδες	6.7	Κόρινθ.	0.11	Loma P.	7.3	Tr.Isl.	0.02
Irpinia	5.3	Cairano	0.05	Πάτρα	5.6		0.12	Έδεσσα	6.0		0.04
Kobe	7.2	P.I. -83m	0.19	Πύργος	5.5		0.12	Mexico	7.9		0.04
Loma Pr.	7.3	Gilroy	0.21	Northridge	6.7	P.Dam	0.18	Λευκάδα	5.9		0.12
Northridge	6.7	Tarzana	1.03	Καλαμάτα	6.0	Νομ.	0.19	Θες/νίκη	6.5		0.13
				Αίγιο	6.4	ΟΤΕ	0.19	Kobe	7.2	P.I-16	0.80
				Καλαμάτα	6.0	ΟΤΕ	0.32				
				Northridge	6.7	Arleta	0.54				
				Tabas	7.3		0.94				

¹ συνθήκες κοντινού πεδίου,

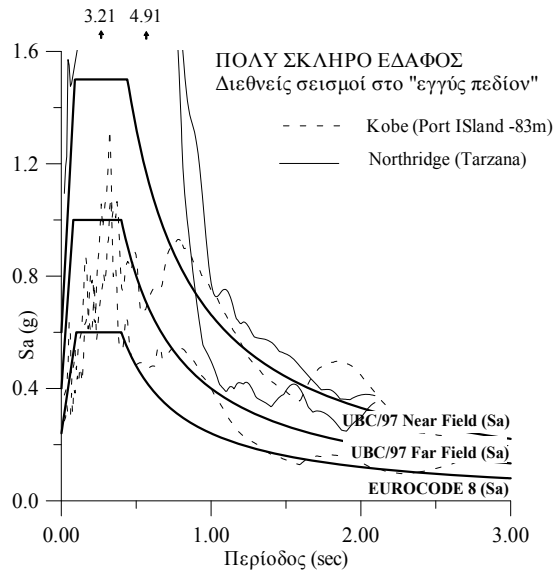
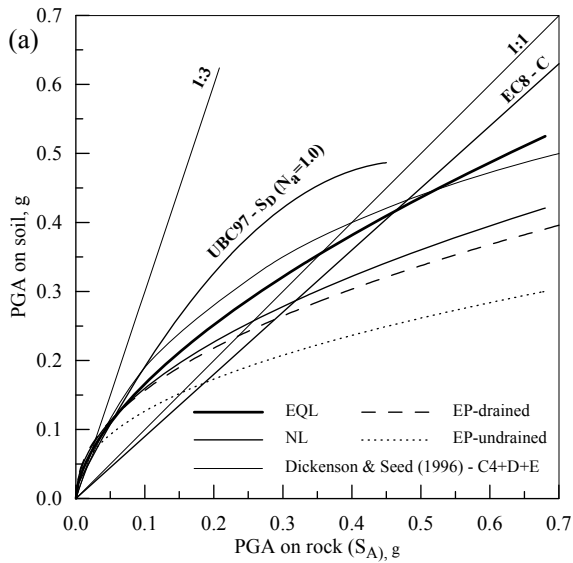
² μέγιστη δυνατή τιμή λόγω αύξησης 50% όταν συντρέχουν οι δυσμενέστερες Σ.Κ.Π. κατά UBC/97

³ Με έντονη γραφή οι περιπτώσεις όπου ισχύουν συνθήκες κοντινού πεδίου

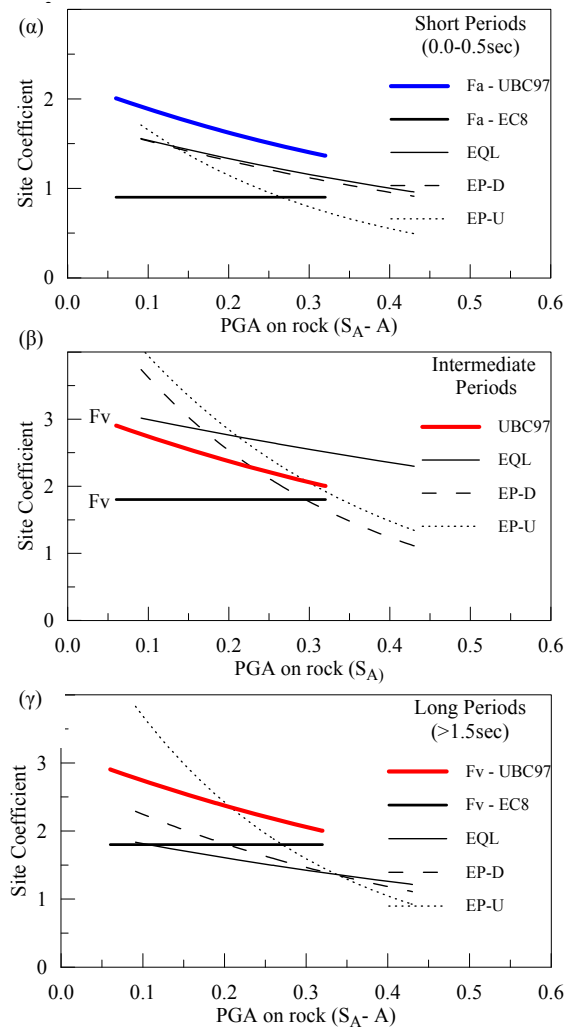
⁴ Με πλαγιαστή γραφή οι περιπτώσεις πιθανής έντονης επιρροής από την τοπογραφία

⁵ Με υπογράμμιση οι περιπτώσεις ρευστοποίησης

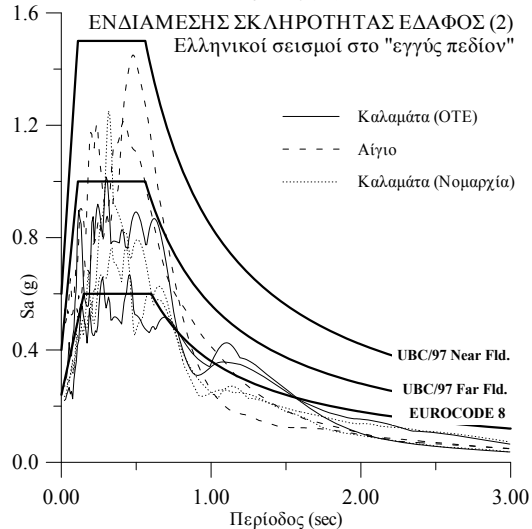
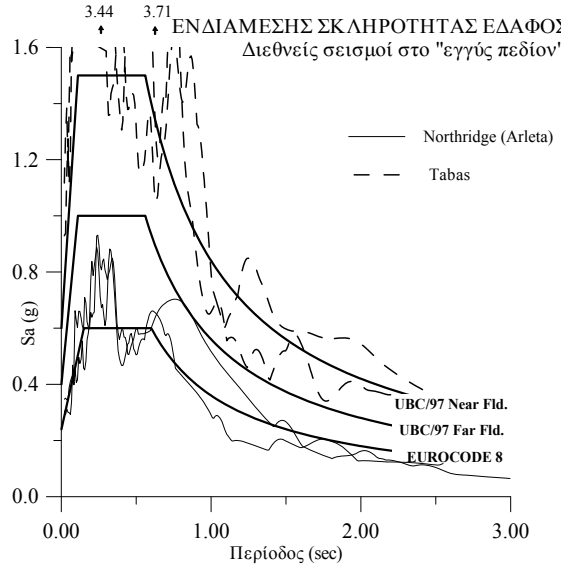
Πίνακας 2: Συγκριτική παρουσίαση μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων σύγχρονων κανονισμών και πραγματικών καταγραφών.



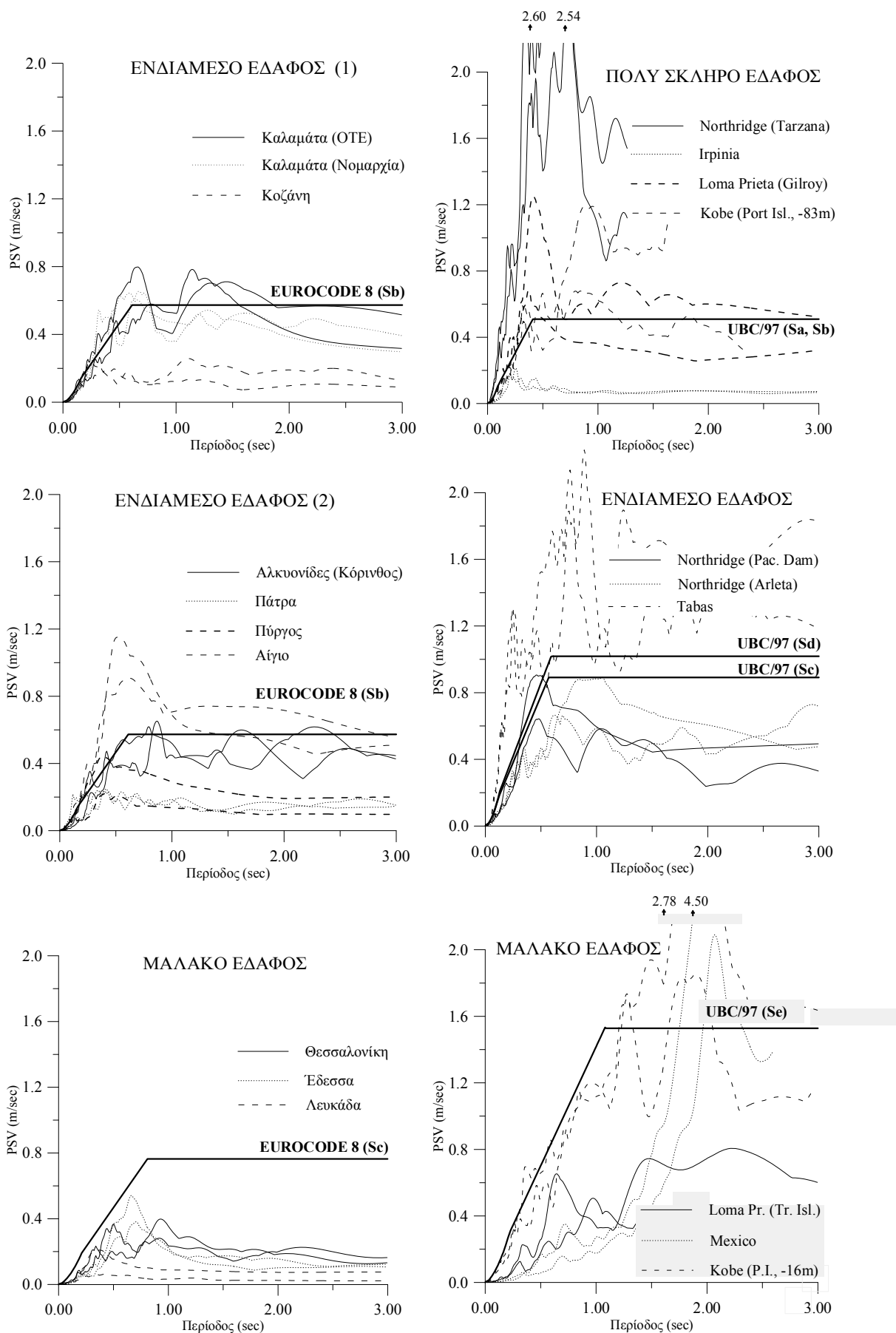
Σχήμα 1: Παραμετρικές αναλύσεις εδαφικής ενίσχυσης για έδαφος C_(EC8), S_D (UBC/97)



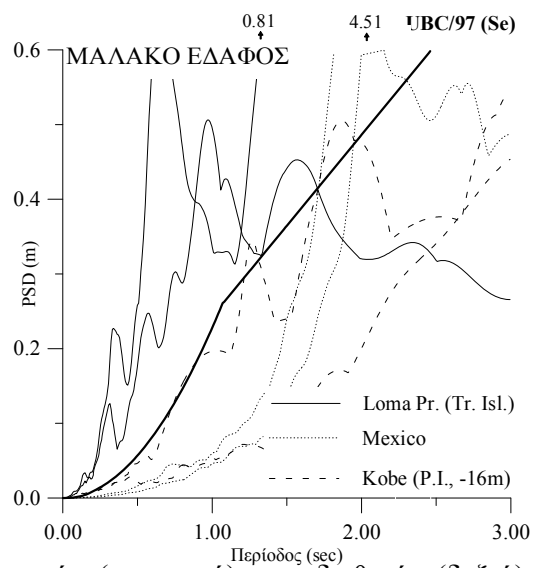
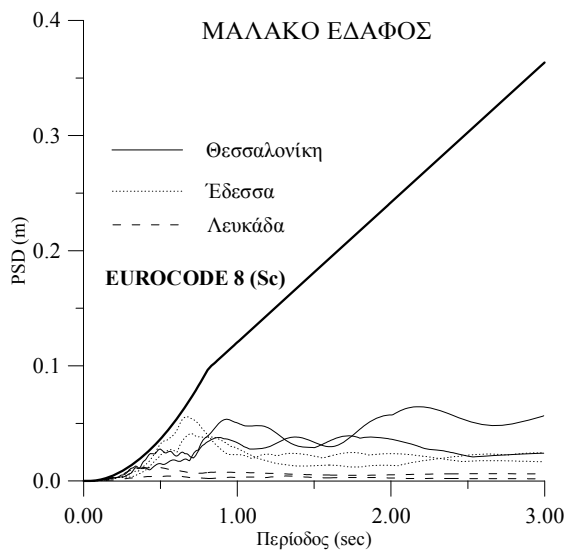
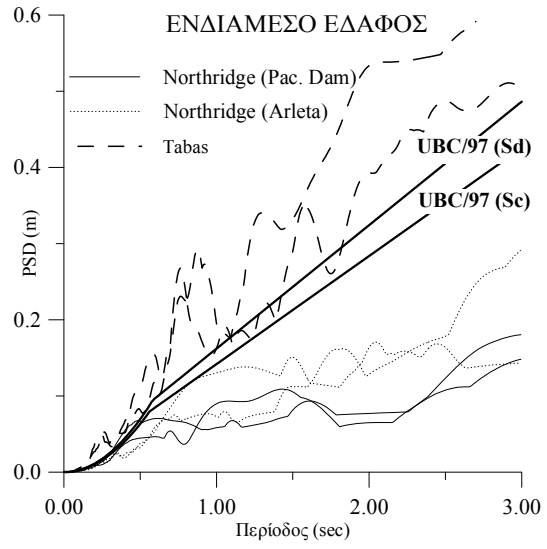
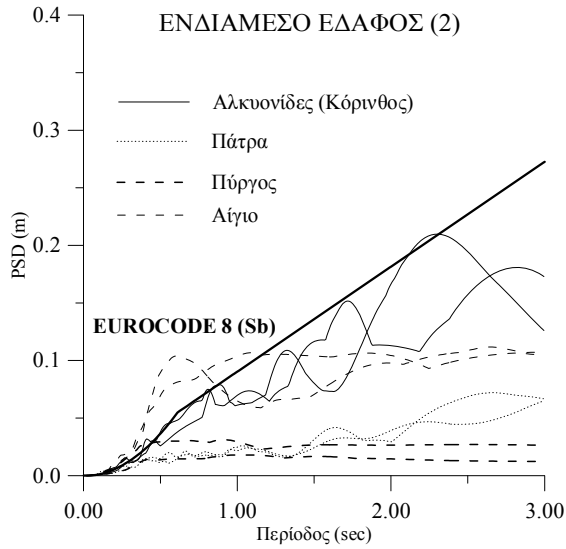
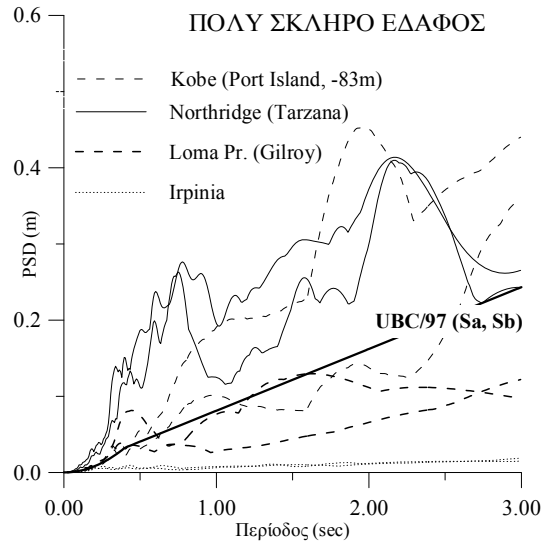
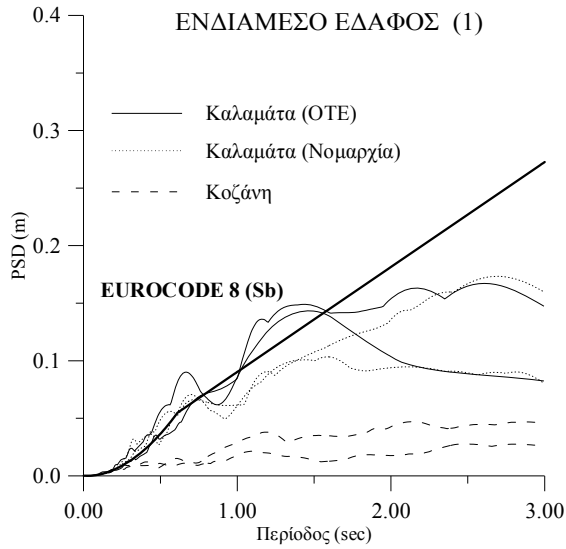
Σχήμα 2: Συντελεστές φασματικής ενίσχυσης κατά EC8 και UBC/97 με υπολογισθείσες τιμές (EQL: ισοδύναμη γραμμική ανάλυση, EP-D / EP-U: Ελαστοπλαστική στραγγισμένες/ αστραγγιστες συνθήκες).



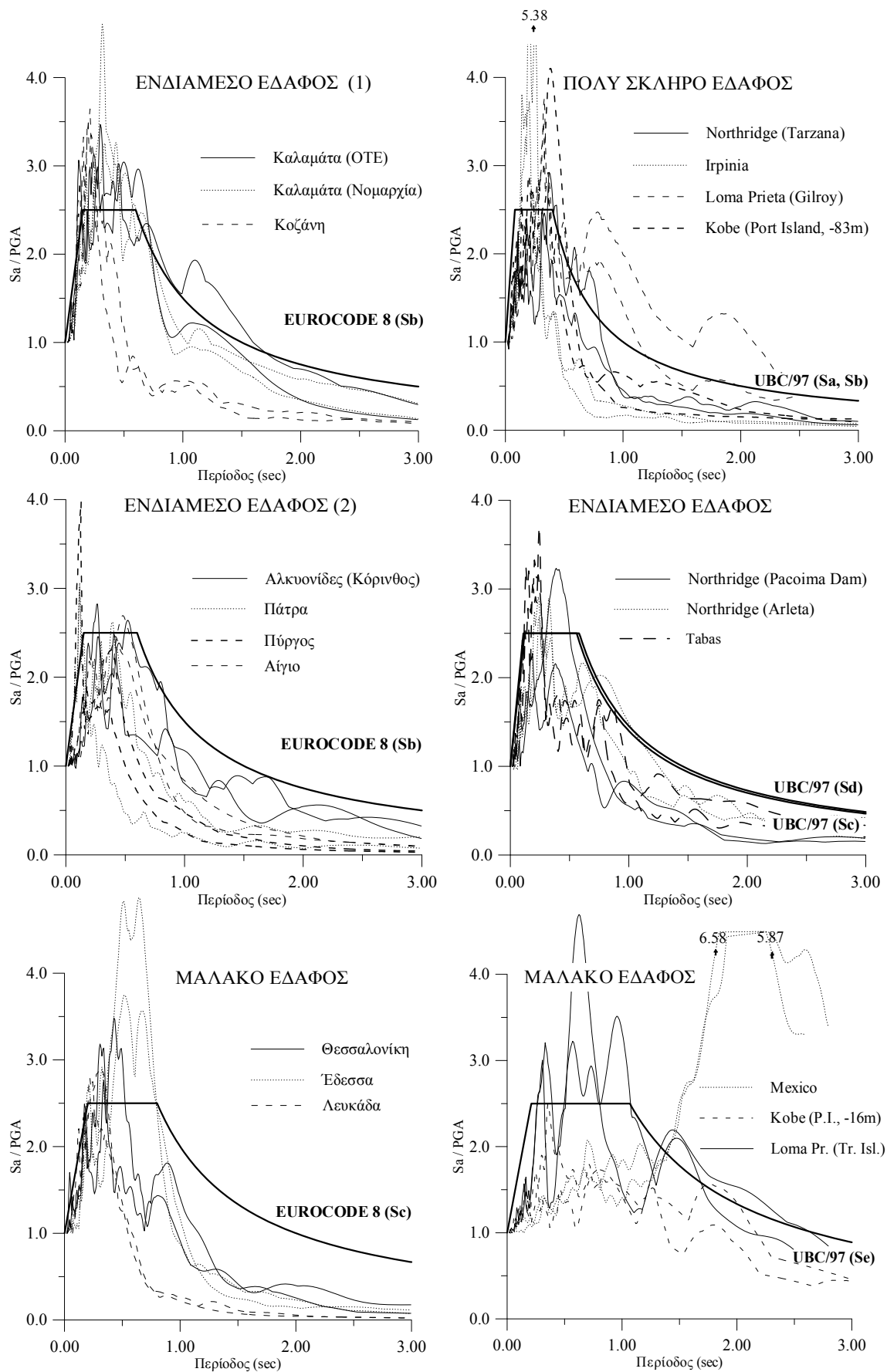
Σχήμα 3: Απόλυτες τιμές φασματικής επιτάχυνσης σύμφωνα με τον UBC/97, EC8 και διαθέσιμες καταγραφές σε συνθήκες κοντινού πεδίου.



Σχήμα 5: Φάσματα ψευδοταχύτητας από Ελληνικές (αριστερά) και διεθνείς (δεξιά) καταγραφές σε σχέση με EC8 και UBC/97 για κάθε κατηγορία εδάφους



Σχήμα 6: Φάσματα μετακίνησης από Ελληνικές (αριστερά) και διεθνείς (δεξιά) καταγραφές σε σχέση με EC8 και UBC/97 για κάθε κατηγορία εδάφους.



Σχήμα 4: Κανονικοποιημένα φάσματα επιτάχυνσης από Ελληνικές και διεθνείς καταγραφές σε σχέση με EC8 και UBC/97 για κάθε κατηγορία εδάφους