

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ Ο.Α.Σ.Π. με τίτλο:

**ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ
ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
ΕΔΑΦΩΝ, ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ**

Επιστημονικός Υπεύθυνος: Γεώργιος Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός του εν λόγω ερευνητικού προγράμματος ήταν η ανάπτυξη απλοποιημένων κριτηρίων (*αναλυτικών σχέσεων ή διαγραμμάτων*) για την ευχερή αποτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας εδαφών, πρανών και ρηγμάτων στα πλαίσια του αντισεισμικού σχεδιασμού και της προστασίας έργων υποδομής. Συγκεκριμένα, η έρευνα επικεντρώθηκε σε τρία (3) καίρια προβλήματα, τα οποία διερευνήθηκαν ανεξάρτητα σε αντίστοιχα παράλληλα μέτωπα, και συγκεκριμένα την:

- (α) Επίδραση των **εδαφών** στην μέγιστη επιτάχυνση και ταχύτητα του σεισμού, καθώς και στα αντίστοιχα ελαστικά φάσματα αποκρίσεως
- (β) Επίδραση της τοπογραφίας μονοκλινών **πρανών** στις ανωτέρω σεισμικές παραμέτρους.
- (γ) Αντισεισμικός σχεδιασμός και δόμηση πλησίον του ίχνους ενεργών **ρηγμάτων**.

Σεισμική επικινδυνότητα εδαφών: Μετά από ενδελεχή μελέτη της βιβλιογραφίας, κατέστη σαφές ότι οι υπάρχουσες μέθοδοι εκτίμησης της επικινδυνότητας εδαφών είναι είτε υπεραπλουστευτικές (π.χ. εμπειρικές σχέσεις) είτε πολύπλοκες (π.χ. αριθμητικές μέθοδοι). Συνεπώς, η ανάγκη για απλοποιημένα, αλλά αξιόπιστα, κριτήρια υπολογισμού της επικινδυνότητας εδαφών είναι μεγάλη.

Ετσι κατ' αρχήν διαμορφώθηκαν **απλές σχέσεις υπολογισμού της εδαφικής «ενίσχυσης»**, και συγκεκριμένα των συντελεστών «ενίσχυσης» της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης A_a και ταχύτητας A_v και του ελαστικού φάσματος απόκρισης A_{Sa} . Οι σχέσεις αυτές προέκυψαν από στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων από πλέον των 700 ισοδύναμα-γραμμικών αναλύσεων σεισμικής απόκρισης. Η αξιοπιστία των σχέσεων διακριβώθηκε μέσω σύγκρισης με επιτόπου μετρήσεις, αλλά και λεπτομερείς αριθμητικές αναλύσεις, σχετιζόμενες με επτά ιστορικά περιστατικά σεισμών στο σεισμό του Northridge, και το δίκτυο επιταχυνσιογράφων SMART-1.

Στη συνέχεια, και με βάση τις εν λόγω σχέσεις, έγινε λεπτομερής σχολιασμός των διατάξεων του ΕΑΚ2000, του NEHRP-2000 (Αντισεισμικός Κανονισμός ΗΠΑ) και του EC-8 (προσχέδιο, Μαΐου 2002). Ετσι διαμορφώθηκε ένα πλαίσιο προτερημάτων – ελλείψεων των κανονισμών αυτών, το οποίο και αποτέλεσε τη βάση για τις **προτεινόμενες κανονιστικές διατάξεις** σχετικά με την κατηγοριοποίηση των εδαφών και τα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού. Οι προτάσεις αυτές οικοδομήθηκαν επί του προσχεδίου του EC-8, και σε σχέση με τον ΕΑΚ-2000 έχουν αρκετές διαφορές, με κυριότερες:

- την ποσοτικοποίηση των κριτηρίων καθορισμού των κατηγοριών εδάφους με βάση την ιδιοπερίοδο T_S του εδαφικού στρώματος, και
- την υιοθέτηση δύο ομάδων ελαστικών φασμάτων απόκρισης, μίας για υψίσυχνες και μίας για χαμηλόσυχνες διεγέρσεις.

Σεισμική επικινδυνότητα πρανών: Μετά από σε βάθος μελέτη της βιβλιογραφίας, κατέστη σαφές ότι δεν υπάρχουν απλουστευτικές μέθοδοι εκτίμησης της επικινδυνότητας πρανών, πέρα από κάποιες (συμβουλευτικές μόνο) διατάξεις κανονισμών (όπως του EC-8 και του Γαλλικού κανονισμού PS 1992). Ετσι, η τοπογραφική επιδείνωση της σεισμικής κίνησης υπολογίζεται στην πράξη μόνο με λεπτομερείς αριθμητικές αναλύσεις. Συνεπώς, η ανάγκη για απλοποιημένα, αλλά αξιόπιστα, κριτήρια υπολογισμού της επικινδυνότητας πρανών είναι και εδώ μεγάλη.

Πραγματοποιήθηκε κατ' αρχήν ένα μεγάλο πλήθος δι-διάστατων αριθμητικών αναλύσεων μετάδοσης κυμάτων πλησίον τοπογραφικής ανωμαλίας μορφής μονοκλινούς πρανούς. Οι αναλύσεις αυτές διερεύνησαν παραμετρικά την επίδραση των (πλέον σημαντικών βιβλιογραφικά) παραμέτρων: α) κλίση και ύψος πρανούς, β) δεσπόζουσα περίοδος διέγερσης, και γ) δυσστησία και απόσβεση εδάφους.

Τα λεπτομερή αριθμητικά αποτελέσματα για την απόκριση της επιφανείας του εδάφους χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για την διαμόρφωση **απλών σχέσεων υπολογισμού της τοπογραφικής επιδείνωσης**, και συγκεκριμένα του συντελεστή μέγιστης ενίσχυσης της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης $A_{h,c,max}$, του συντελεστή εμφάνισης μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης κίνησης $A_{v,c,max}$ και των αποστάσεων πίσω από τη στέψη του πρανού όπου φθίνει η τοπογραφική επίδραση, τόσο για την οριζόντια $D_{h,c}$, όσο και για την παρασιτική κατακόρυφη κίνηση $D_{v,c}$. Σημειώνεται ότι οι σχέσεις αυτές θεωρήθηκαν συναρτήσεις των προαναφερθέντων σημαντικών παραμέτρων. Η αξιοπιστία τους διακριβώθηκε με βάση αποτελέσματα από λεπτομερείς αριθμητικές αναλύσεις για τους σεισμούς του Αιγίου 1995 και της Πάρνηθας 1999. Αντίστοιχη διακρίβωση με βάση επιτόπου μετρήσεις δεν επιχειρήθηκε, καθώς δεν βρέθηκε καλώς τεκμηριωμένο ιστορικό περιστατικό στη βιβλιογραφία. Ο λόγος είναι ότι ακόμη και αν υπάρχουν ταυτόχρονες καταγραφές σε 2 – 3 σημεία της περιοχής ενός πρανού, αυτές θα πρέπει να θεωρούνται απλώς ενδεικτικές της απόκρισης, καθώς η εν λόγω σεισμική κίνηση αναμένεται να έχει έντονη χωρική διαφοροποίηση (ειδικά για υψίσυχνες διεγέρσεις) που δημιουργεί την ανάγκη πολύ πυκνών δικτύων καταγραφών στην περιοχή μονοκλινών πρανών.

Στη συνέχεια, διαμορφώθηκε ένα πλαίσιο **προτεινόμενων κανονιστικών διατάξεων** για την αποτίμηση της τοπογραφικής επιδείνωσης και πως αυτή επιδρά στα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, προτείνεται η χρήση δύο συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης, του T_h και του T_v , οι οποίοι «διορθώνουν» το συντελεστή εδάφους S (soil factor) του οριζόντιου ελαστικού φάσματος ελευθέρου πεδίου. Ο συντελεστής T_h θεωρείται συνάρτηση των $A_{h,c,max}$, $D_{h,c}$ και της οριζόντιας απόστασης από το πρανές. Αντίστοιχα, ο συντελεστής T_v θεωρείται συνάρτηση των $A_{v,c,max}$, $D_{v,c}$ και της ίδιας απόστασης. Επισημαίνεται, ότι τα φάσματα που προκύπτουν με χρήση του T_h βρίσκουν εφαρμογή στον ορισμό των οριζοντίων σεισμικών

δράσεων, ενώ τα αντίστοιχα με χρήση του T_v στον ορισμό παρασιτικών κατακόρυφων σεισμικών δράσεων που εμφανίζονται μόνο πλησίον τοπογραφικών ανωμαλιών.

Σεισμική επικινδυνότητα ρηγμάτων: Ο σχεδιασμός έργων Πολιτικού Μηχανικού πλησίον του ίχνους ενεργών ρηγμάτων είναι ένα πολύ δύσκολο αντικείμενο. Χαρακτηριστικό είναι ότι οι κανονιστικές διατάξεις δεν ορίζουν συνήθως ούτε καν εύρος μη επιτρεπτής δόμησης εκατέρωθεν του ίχνους, αλλά παραπέμπουν σε εξειδικευμένες μελέτες και έρευνες (π.χ. ΕΑΚ2000). Συνεπώς, η ανάγκη για απλοποιημένα, έστω προκαταρκτικά, κριτήρια υπολογισμού της επικινδυνότητας ρηγμάτων είναι πολύ μεγάλη. Μάλιστα, οι δυσκολίες του προβλήματος αυξάνουν σημαντικά όταν υπάρχει επικάλυψη του ρήγματος από προσχωματικές αποθέσεις ικανού πάχους, καθώς τότε, ακόμη και αν η θέση και τα χαρακτηριστικά του ρήγματος στο βραχώδες υπόβαθρο είναι δεδομένα, απομένει μια σειρά πρακτικών ερωτημάτων προς απάντηση πριν από τον σχεδιασμό των έργων. Συγκεκριμένα:

- Θα αναδυθεί η διάρρηξη στην επιφάνεια του εδάφους και που;
- Ποια θα είναι η παραμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους και σε τι έκταση θα εκτείνεται εκατέρωθεν του ίχνους του ρήγματος;
- Θα υπάρξει τοπική ενίσχυση της σεισμικής δόνησης και πόση;

Η παρούσα έρευνα επικεντρώθηκε στα δύο πρώτα ερωτήματα, καθώς το τρίτο είναι σεισμολογικού περισσότερο χαρακτήρα. Συγκεκριμένα, έγινε αριθμητική προσέγγιση του προβλήματος διάδοσης διάρρηξης υποβάθρου μέσω εδαφικής στρώσης με χρήση κώδικα πεπερασμένων διαφορών. Η βαθμονόμηση του κώδικα βασίστηκε σε ποιοτική σύγκριση με καταγεγραμμένες περιπτώσεις διαρρήξεων από την διεθνή βιβλιογραφία και σε λεπτομερή ανάλυση της καλά τεκμηριωμένης διάρρηξης του Νικομηδηνού στην λεκάνη της Βόλβης.

Στη συνέχεια έγιναν παραμετρικές αριθμητικές αναλύσεις, με στόχο τη διερεύνηση της επίδρασης του είδους του ρήγματος (κανονικό ή ανάστροφο), της κλίσης του, του πάχους της εδαφικής στρώσης H , και του είδους της (πυκνή και χαλαρή άμμος, μαλακή και υπερστερεοποιημένη άργιλος). Εκ των αποτελεσμάτων των αναλύσεων, το ενδιαφέρον εστιάστηκε στις βασικές παραμέτρους σχεδιασμού, δηλαδή στη μετατόπιση d_0 του ρήγματος στο υπόβαθρο που απαιτείται για την ανάδυση της διάρρηξης στην επιφάνεια του εδάφους, στην απόκλιση S του ίχνους του ρήγματος στην επιφάνεια του εδάφους από την ευθεία προβολή του επιπέδου του ρήγματος, και στο εύρος της ζώνης L περί το ίχνος του ρήγματος εντός της οποίας η κλίση της επιφάνειας του εδάφους (διαφορική καθίζηση ή ανύψωση) ξεπερνά το όριο των 2% που απαιτείται για την αποφυγή βλαβών στην ανωδομή συνήθων κτιρίων.

Τα αριθμητικά αποτελέσματα συγκρίνονται γενικώς καλά με αντίστοιχα αποτελέσματα από πειράματα φυγοκεντρική (centrifuge tests), και παρουσιάζονται σε μορφή **απλοποιητικών διαγραμμάτων (προκαταρκτικού) σχεδιασμού**. Διαφαίνεται γενικώς, ότι η πλέον σημαντική παράμετρος είναι μάλλον το είδος και η κλίση του ρήγματος, ενώ η γεωμετρία της επιφάνειας διάρρηξης εντός του εδάφους είναι ευθέως ανάλογη του πάχους H , και συνεπώς οι τιμές των d_0 , S και L κανονικοποιούνται ως προς H .