

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ & ΔΗΜ. ΕΡΓΩΝ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΟΑΣΠ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

στα πλαίσια του Συντονισμένου Προγράμματος Εφαρμοσμένης Έρευνας
Μελέτη της Επιρροής των Τοπικών Εδαφικών Συνθηκών
της Γεωμορφολογίας και της Δυναμικής Αλληλεπίδρασης
Εδάφους-Θεμελίωσης-Ανωδομής στις Ενόργανες Καταγραφές του
Εθνικού Δικτύου Επιταχυνσιογράφων

Περίληψη

Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας & Αντισεισμικών Κατασκευών
Εργαστήριο Γεωφυσικής ΑΠΘ

Φεβρουάριος 2004

Σκοπός

Η γνώση των τοπικών εδαφικών συνθηκών, των παραμέτρων σεισμικής απόκρισης και του σεισμοτεκτονικού περιβάλλοντος στις θέσεις καταγραφής της ισχυρής σεισμικής κίνησης, αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την επιστημονικά αποδεκτή αξιοποίηση των ενόργανων καταγραφών των εδαφικών επιταχύνσεων. Τα απαραίτητα δεδομένα για τη διερεύνηση της επιρροής των παραπάνω παραγόντων στην αποτίμηση βλαβών και στην περαιτέρω ερμηνεία, αξιολόγηση και αξιοποίησή τους στον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών αποτελούν κατά κύριο λόγο οι καταγραφές της ισχυρής σεισμικής κίνησης και όλες οι απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του υπεδάφους, τη μορφολογία, το είδος και τις παραμέτρους δυναμικής απόκρισης της κατασκευής όπου βρίσκονται εγκατεστημένοι οι επιταχυνσιογράφοι. Το παρόν ερευνητικό έργο εστιάζεται στη συλλογή, επεξεργασία και μελέτη σημαντικών παραμέτρων με τελικό στόχο την αξιόπιστη τεκμηρίωση πέντε θέσεων [Αθήνα (Χαλάνδρι, ΚΕΔΕ, ΓΥΣ), Ζάκυνθος, Κόρινθος] καταγραφής της ισχυρής σεισμικής κίνησης του Εθνικού δικτύου επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ.

Μεθοδολογία

Σύμφωνα με τους στόχους και με τα όσα προβλεπόταν στο παράρτημα της σχετικής σύμβασης του προγράμματος, η τεκμηρίωση των σταθμών περιλαμβάνει τα παρακάτω κύρια στάδια εργασιών :

Στάδιο 1 - Επιλογή και καθορισμός των θέσεων έρευνας

Οι πέντε σταθμοί που επελέγησαν και καλύπτουν γεωγραφικά και σεισμολογικά τη μεγαλύτερη δυνατή έκταση σύμφωνα με τα δεδομένα του ερευνητικού έργου είναι οι ακόλουθοι:

1. Σταθμός ATH2 : Αθήνα (Χαλάνδρι – Αετοπούλειο Πολιτιστικό Κέντρο)
2. Σταθμός ATH3 : Αθήνα (Πεδίο Αρεως – Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού)
3. Σταθμός ATH4 : Αθήνα (Πειραιώς – ΚΕΔΕ)
4. Σταθμός KOR : Κόρινθος (Δημαρχιακό Μέγαρο)
5. Σταθμός ZAK : Ζάκυνθος (κτίριο ΟΤΕ)

Η επιλογή των παραπάνω θέσεων έγινε από ένα αρχικό σύνολο περισσότερων σταθμών του Εθνικού δικτύου του ΙΤΣΑΚ, με τα εξής βασικά κριτήρια:

- την ύπαρξη σημαντικών καταγραφών ($a_{max} > 0.10g$ – $M_s \geq 5.0$).
- το σεισμοτεκτονικό περιβάλλον και η ποιότητα των υπαρχόντων σεισμολογικών στοιχείων και ενόργανων καταγραφών.
- τη γεωλογία της ευρύτερης περιοχής.
- τις τοπικές γεωτεχνικές συνθήκες.
- το είδος του κτιρίου και της θεμελίωσης.

Στάδιο 2: Γεωτεχνική – Γεωλογική και Γεωφυσική μελέτη.

Το δεύτερο στάδιο αφορά την πραγματοποίηση των ερευνητικών εργασιών στο πεδίο και στο εργαστήριο, με στόχο την πρόταση μιας πλήρους εδαφοδυναμικής τομής σε κάθε θέση οργάνου. Συνοπτικά πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εργασίες-έρευνες:

- γεωλογική αναγνώριση της ευρύτερης περιοχής και συλλογή των διαθέσιμων γεωτεχνικών πληροφοριών για την ευρύτερη περιοχή των πέντε θέσεων έρευνας (συνολικά 78 γεωτρήσεις από 21 διαφορετικές θέσεις).
- εκτέλεση μίας (1) ερευνητικής - δειγματοληπτικής γεώτρησης σε κάθε σταθμό, με πυκνή δειγματοληψία και εκτέλεση επιτόπου δοκιμών της τυποποιημένης δοκιμής διείδυσης (SPT).
- διενέργεια μίας (1) καταστροφικής γεώτρησης, σε μικρή απόσταση από τη δειγματοληπτική (3 έως 5 μέτρα), προκειμένου να εκτελεστούν δοκιμές Cross-hole ή/και Down-hole. Συνολικά διενεργήθηκαν 11 γεωτρήσεις συνολικού μήκους 453,20 m που δίδονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1: Στοιχεία Εκτελεσθέντων Γεωτρήσεων

Γεώτρηση (κωδικός)	Βάθος (m)	Σταθμός Επιταχυνσιογράφου	Παρατηρήσεις
ΑΤΗ2 – Γ1	40,20	Αθήνα – Αετοπούλειο Πολιτιστικό Κέντρο	Δειγματοληπτική
ΑΤΗ2 – Γ1Α	40,00	Αθήνα – Αετοπούλειο Πολιτιστικό Κέντρο	Μη-δειγματοληπτική
ΑΤΗ3 – Γ1	41,00	Αθήνα – ΚΕΔΕ	Δειγματοληπτική
ΑΤΗ3 – Γ1Β	42,00	Αθήνα – ΚΕΔΕ	Δειγματοληπτική
ΑΤΗ3 – Γ1Α	41,00	Αθήνα – ΚΕΔΕ	Μη-δειγματοληπτική
ΑΤΗ4 – Γ1	41,00	Αθήνα – Γ.Υ.Σ.	Δειγματοληπτική
ΑΤΗ4 – Γ1Α	41,00	Αθήνα – Γ.Υ.Σ.	Μη-δειγματοληπτική
ΚΟΡ – Γ1	41,50	Κόρινθος – Δημαρχείο	Δειγματοληπτική
ΚΟΡ – Γ1Α	41,50	Κόρινθος – Δημαρχείο	Μη-δειγματοληπτική
ΖΑΚ – Γ1	42,00	Ζάκυνθος – ΟΤΕ	Δειγματοληπτική
ΖΑΚ – Γ1Α	42,00	Ζάκυνθος – ΟΤΕ	Μη-δειγματοληπτική

- εκτέλεση κατάλληλα προσαρμοσμένου προγράμματος εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής, προσδιορισμού των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφικών υλικών σε κάθε θέση μελέτης.
- Εκτέλεση δοκιμών συντονισμού για τον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών και των καμπυλών μεταβολής του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης με το πλάτος διατμητικής παραμόρφωσης σε επιλεγμένα εδαφικά δείγματα.
- διεξαγωγή ειδικών γεωφυσικών δοκιμών εντός γεωτρήσεων (Cross-Hole/Downhole) στην περιοχή εγκατάστασης του επιταχυνσιογράφου για τον προσδιορισμό των ταχυτήτων διάδοσης των κυμάτων Ρ και S των επιφανειακών εδαφικών στρώσεων.

Στάδιο 3: Συλλογή σεισμολογικών στοιχείων

Στο στάδιο αυτό περιλαμβάνονται τα εξής:

- στοιχεία που αφορούν τη σεισμικότητα, τη σεισμοτεκτονική, την απόσβεση των σεισμικών κυμάτων καθώς και τα αποτελέσματα της μελέτης σεισμικής επικινδυνότητας σε κάθε θέση
- συλλογή, καταγραφή, επεξεργασία και τεκμηρίωση όλων των ενόργανων καταγραφών και των λοιπών σεισμολογικών στοιχείων που αφορούν τις πέντε (5) θέσεις μελέτης. Το αρχείο δεδομένων περιλαμβάνει πλήρη κατάλογο των σεισμών, τις παραμέτρους κάθε σεισμού και όλες τις σχετικά επεξεργασμένες μορφές παρουσίασης.

Στάδιο 4: Μελέτη εδαφικής σεισμικής απόκρισης

Σε κάθε θέση μελέτης πραγματοποιήθηκε ένας μεγάλος αριθμός μελετών εδαφικής απόκρισης με θεωρητικά προσομοιώματα για διάφορες σεισμικές διεγέρσεις καθώς και με εμπειρικές μεθόδους με βάση τις ενόργανες καταγραφές. Η μελέτη αυτή έχει πολλαπλούς στόχους, όπως:

- την εκτίμηση όλων των παραμέτρων της αναμενόμενης ισχυρής σεισμικής κίνησης στην επιφάνεια, των ελαστικών φασμάτων απόκρισης, και την εκτίμηση της μεταβολής PGA, της διατμητικής παραμόρφωσης γ και της διατμητικής τάσης τ , με το βάθος.
- την εκτίμηση της αξιοπιστίας των μεθόδων που εφαρμόστηκαν με βάση τις συγκρίσεις των βασικών παραμέτρων που προκύπτουν από πραγματικές καταγραφές.
- την εκτίμηση μέσω φασμάτων για δύο επίπεδα σεισμικής διέγερσης σε συνθήκες επιφανειακής εμφάνισης του βραχέως υποβάθρου, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των θεωρητικών αναλύσεων καθώς και το ελαστικό φάσμα για κατηγορία εδάφους Α του Ευρωκώδικα..

Επιπρόσθετα, σε όλες τις θέσεις πραγματοποιήθηκαν δοκιμές μέτρησης μικροθορύβου σε θέσεις εντός (πλησίον της θέσης όπου βρίσκεται μόνιμα εγκατεστημένος ο επιταχυνσιογράφος του ΙΤΣΑΚ) και εκτός του κτιρίου με σκοπό την σύγκριση (κυρίως στις τιμές της δεσπόζουσας περιόδου των εδαφικών αποθέσεων) καθώς και τον έλεγχο αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της τεχνικής του φασματικού λόγου της οριζόντιας προς την κατακόρυφη συνιστώσα (HVSΡ).

Στάδιο 5: Μελέτη της επιρροής του κτιρίου στη θέση του σταθμού

Η αποτύπωση των κτηρίων εντός των οποίων είναι εγκατεστημένοι οι επιταχυνσιογράφοι και η συνοπτική εξέτασή τους από άποψη δυναμικής απόκρισης και αλληλεπίδρασης εδάφους-θεμελίωσης-ανωδομής επιτρέπουν την σε πρώτο επίπεδο εκτίμηση της πιθανής επιρροής των κτηριακών συνθηκών στις καταγραφές. Συγκεκριμένα, με βάση τις υπάρχουσες καταγραφές, τη μορφολογία του κτηρίου κάθε σταθμού μελέτης, τις τοπικές εδαφικές συνθήκες εκτιμάται η πιθανή επιρροή του κτηρίου στις ενόργανες καταγραφές. Λαμβάνοντας υπόψη τις εδαφικές συνθήκες και τον τύπο του κτηρίου εγκαταστάθηκε σε (2) θέσεις μελέτης (Ζάκυνθος, Κόρινθος), το κινητό σύστημα καταγραφής για τον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών του κτιρίου και τη μελέτη της δυναμικής αλληλεπίδρασης εδάφους-θεμελίωσης-ανωδομής.

Στάδιο 6: Τεκμηρίωση των πέντε θέσεων - σταθμών επιταχυνσιογράφων

Η οριστική τεχνική έκθεση είναι διαρθρωμένη με βάση τις πέντε θέσεις έρευνας και περιλαμβάνει όλα τα αποτελέσματα των επιμέρους μελετών καθώς και τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στις ενδιάμεσες εκθέσεις προόδου (Ιούλιος 2001 και Μάιος 2003). Για κάθε σταθμό το σύνολο των επιμέρους εργασιών και των αποτελεσμάτων των μελετών-ερευνών παρουσιάζονται σε χωριστό τεύχος το οποίο και αποτελεί την τεκμηρίωση του. Τα δεδομένα και οι πληροφορίες που δίδονται μπορούν να αξιοποιηθούν πολλαπλώς από την Πολιτεία, από τους μηχανικούς μελετητές καθώς επίσης και για περαιτέρω έρευνα.

Στόχοι που επιτεύχθηκαν

Οι βασικοί στόχοι του προγράμματος συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Στον προσδιορισμό σε κάθε θέση έρευνας-σταθμού καταγραφής του ισχυρού σεισμικού κραδασμού του Εθνικού δικτύου του ΙΤΣΑΚ, των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφικών στρώσεων, των εδαφοδυναμικών ιδιοτήτων των κύριων εδαφικών σχηματισμών καθώς και της αντίστοιχης εδαφοδυναμικής τομής.
- Στη μελέτη και αξιολόγηση της επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών για διάφορα σενάρια σεισμών στο βραχώδες υπόβαθρο με αναλυτικά προσομοιώματα της εδαφικής απόκρισης λαμβανομένων υπόψη των γραμμικών και μη γραμμικών εδαφοδυναμικών ιδιοτήτων της εδαφικής στήλης.
- Στον υπολογισμό συντελεστών φασματικής ενίσχυσης καθώς και ελαστικών φασμάτων για δύο επίπεδα σεισμικής διέγερσης σε συνθήκες επιφανειακής εμφάνισης του βραχώδους υποβάθρου ($PGA_{Rock} < 0.2g$ και $PGA_{Rock} > 0.2g$).
- Στον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών του κτηρίου στο οποίο βρίσκεται εγκατεστημένος ο επιταχυνσιογράφος του Εθνικού δικτύου του ΙΤΣΑΚ στους σταθμούς Κόρινθος (KOR) και Ζάκυνθος (ZAK).
- Στην εκτίμηση της επιρροής του κτηρίου στις ενόργανες καταγραφές.
- Στη δημιουργία βάσης δεδομένων με τα παραπάνω δεδομένα και αποτελέσματα των επιμέρους μελετών.
- Στη δημιουργία αξιόπιστων αριθμητικών προσομοιωμάτων των κτιρίων των σταθμών Κόρινθος (KOR) και Ζάκυνθος (ZAK), κατάλληλων για ανάλυση με χρονικό-ιστορικό διέγερσης.

Χρησιμότητα Προγράμματος

Τα αποτελέσματα του προγράμματος μπορούν να συμβάλλουν στην αξιοπιστία των κριτηρίων κατηγοριοποίησης του υπεδάφους θεμελίωσης, των σεισμικών φορτίων σχεδιασμού και στη δυνατότητα υιοθέτησης σχετικών διατάξεων σε μελλοντικές εκδόσεις του ΕΑΚ για την ορθολογικότερη προσέγγιση των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού.