

ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΑΞΗΣ ΜΙΚΡΟΖΩΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΟΛΕΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ανάγκη για Μικροζωνική Μελέτη (Μ.Μ.) της σεισμικής επικινδυνότητας μιας περιοχής και την πρόταση μέτρων αντισεισμικής δόμησης έχει γίνει πλέον συνείδηση στην Χώρα μας, και όχι χωρίς λόγο: η δόμηση είναι πυκνή, η γεωλογική σύσταση και δομή πολυσύνθετη, η σεισμική δράση έντονη και συχνή και τα πρακτικά οφέλη από την εκπόνηση της Μ.Μ. άμεσα. Αντίθετα όμως οι στόχοι, τα μέσα και η έκταση μιας τέτοιας μελέτης δεν έχουν ακόμη διασαφηνισθεί. Σαν αποτέλεσμα, συχνά εκπονούνται μελέτες οι οποίες δεν ανταποκρίνονται στις ελάχιστες απαιτήσεις μιας Μ.Μ. Οι μελέτες αυτές έχουν μικρή μόνο ή και καθόλου συμβολή στην αντιμετώπιση του σεισμικού κινδύνου, παρά τη σημαντική επένδυση χρόνου και πόρων που προϋποθέτουν. Σε μερικές μάλιστα περιπτώσεις έχουν αναφερθεί και αρνητικές συνέπειες λόγω αναπαισιολόγητων κοινωνικών επιπτώσεων που προκαλούν.

Οι "Συστάσεις Σύνταξης Μικροζωνικών Μελετών" που ακολουθούν, εκδίδονται με πρωτοβουλία του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας/ΥΠΕΧΩΔΕ, με σκοπό η εκπόνηση των Μ.Μ. στην χώρα μας να γίνεται σε ενιαία και ορθολογιστική βάση, έτσι ώστε να διασφαλίζονται τόσο η επιστημονική αρτιότητα όσο και η πρακτική χρησιμότητα της μελέτης. Εκ προοιμίου, θα πρέπει να τονισθεί ότι οι συστάσεις που παρέχονται δεν έχουν τον δεσμευτικό χαρακτήρα κανονισμού, αλλά αποτελούν ένα συμβουλευτικό πλαίσιο αναφοράς για την ανάθεση Μικροζωνικών Μελετών από δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς καθώς και από οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης.

Η σύνταξη των συστάσεων έγινε από τους ακόλουθους επιστήμονες, με ειδίκευση στα επιμέρους αντικείμενα που συνθέτουν μια Μ.Μ.:

- Ιωάννη Λατουσάκη, Σεισμολόγο Ερευνητή Β'
- Γεώργιο Μπουκοβάλα, Αν. Καθηγητή Γεωτεχνικής - Εδαφοδυναμικής
- Ταξιάρχη Παπαδόπουλο, Αν. Καθηγητή Εφ. Γεωφυσικής
- Θεοδώρα Ροντογιάννη, Δρ. Γεωλόγο - Σεισμοτεκτονικό
- Γεώργιο Τσιαμπάο, Επίκ. Καθηγητή Τεχνικής Γεωλογίας

Το κείμενο των συστάσεων βασίσθηκε σε προηγούμενη σχετική εργασία που συντάχθηκε το 1987, μετά τους σεισμούς της Καλαμάτας, από τους Γ. Μπουκοβάλα και Γ. Τσιαμπάο υπό την εποπτεία των Στ. Χριστούλα και Γ. Κουμαντάκη. Οι αναθεωρήσεις και συμπληρώσεις που οδήγησαν στο νέο κείμενο αντανακλούν εν πολλοίς την πρόσθετη εμπειρία που αποκτήθηκε κατά την διάρκεια της δεκαετίας που πέρασε, μιας δεκαετίας με πολλούς ισχυρούς σεισμούς στην Ελλάδα (π.χ. σεισμοί Πύργου, Γρεβενών, Αιγίου, Πάρνηθας) και στο εξωτερικό (λ.χ. σεισμοί San Francisco, Los Angeles, Armenia, Kobe). Παρόμοιες αναθεωρήσεις και συμπληρώσεις θα είναι αναγκαίες και στο μέλλον, σε τακτά χρονικά διαστήματα, προκειμένου να διατηρηθεί η επικαιρότητα των συστάσεων.

Φεβρουάριος 2000

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εμπειρία από τους σεισμούς δείχνει ότι η ένταση και η καταστροφικότητα τους επηρεάζονται σημαντικά από την τοπογραφία και τις τοπικές συνθήκες του υπεδάφους, δηλαδή την ποιότητα, την δομή και το πάχος των γεωλογικών σχηματισμών που το συνιστούν. Για το λόγο αυτό μια Μικροζωνική Μελέτη (Μ.Μ.) αποσκοπεί στον προσδιορισμό της σεισμικής επικινδυνότητας μιας περιοχής λαμβάνοντας υπόψη τόσο το σεισμικό καθεστώς όσο και τις τοπικές τοπογραφικές, γεωλογικές και εδαφοτεχνικές συνθήκες.

Για να επιτευχθεί ο σκοπός της Μ.Μ. απαιτείται διεπιστημονική συνεργασία για τη συλλογή και αξιολόγηση πληροφοριών σχετικά με:

- την σεισμικότητα και την σεισμική επικινδυνότητα της ευρύτερης περιοχής,
- την τοπική γεωλογία και τεκτονική,
- τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους και του γεωλογικού υπόβαθρου (bedrock), και
- την σεισμική απόκριση του εδάφους.

Στα κεφάλαια 2, 3, 4, 5 & 6 που ακολουθούν παρέχονται συστάσεις για την εκπόνηση των αντίστοιχων εργασιών (μελετών και ερευνών) καθώς και για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων υπό μορφή χαρτών σεισμικής επικινδυνότητας. Επιπλέον, στο κεφάλαιο 7 γίνεται συνοπτική παρουσίαση των εργασιών που απαιτούνται για την επόνηση Μ.Μ., τόσο για πόλεις και άλλες οικιστικές περιοχές, όσο και για ειδικά έργα υποδομής όπως υψηλά κτίρια, μεγάλες γέφυρες, φράγματα, σήραγγες, λιμένες, κλπ. Η σύνθεση της ομάδας μελέτης που απαιτείται για τον προγραμματισμό και την άρτια εκτέλεση των εργασιών αυτών περιγράφεται στο κεφάλαιο 8.

Οι προτεινόμενες συστάσεις δίδονται υπό μορφή πλαισίου, δηλαδή χωρίς τις λεπτομέρειες των τεχνικών χαρακτηριστικών, όπως π.χ. οργάνων, συγκεκριμένων προγραμμάτων υπολογισμού κλπ. Ο μελετητής του έργου καλείται να κάνει αυτές τις επιλογές έτσι ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητοί στόχοι της Μ.Μ. με τον πλέον αξιόπιστο και οικονομικό τρόπο. Επομένως, η εκτέλεση των επιμέρους ερευνών που απαιτεί η Μ.Μ. είναι δυνατόν να ακολουθεί προδιαγραφές, συστάσεις ή κανονισμούς που έχουν συνταχθεί από επίσημους φορείς (του εσωτερικού ή του εξωτερικού) για αντίστοιχης φύσης εργασίες.

Μια ολοκληρωμένη Μ.Μ. περιλαμβάνει όλες τις προτεινόμενες εργασίες και επομένως αποτελεί αναγκαστικά ένα εκτεταμένο έργο, τόσο από πλευράς χρόνου εκτέλεσης όσο και από πλευράς κόστους. Είναι όμως δυνατή και η σταδιακή εκτέλεση των εργασιών, για την κάλυψη επιμέρους αναγκών. Αρκεί βέβαια όλες οι εργασίες να γίνονται εντός των πλαισίων των συστάσεων, με ευθύνη ειδικευμένου επιστημονικού προσωπικού, έτσι ώστε να έχουν πρακτική χρησιμότητα και να μπορούν να συμπληρωθούν σε επόμενα στάδια για να οδηγήσουν τελικώς σε μία ολοκληρωμένη Μ.Μ.

Τέλος επισημαίνεται ότι τα αποτελέσματα μιας Μ.Μ. είναι δυνατό να τροποποιηθούν και να αναθεωρηθούν μετά την εκπόνηση της, με βάση πληροφορίες οι οποίες δεν ήταν αρχικά διαθέσιμες αλλά προέκυψαν στα πλαίσια κατασκευής άλλων τεχνικών έργων ή επέκτασης της Μ.Μ.. Επομένως, η συνεχής συμπλήρωση ή/και αναθεώρηση μιας Μ.Μ. θα πρέπει να θεωρείται δεδομένη προκειμένου να συνεχίσουν να ικανοποιούνται οι στόχοι για τους οποίους αρχικά συντάχθηκε.

2. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ & ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

2.1. Αντικείμενο - Σκοπός

Η μελέτη σεισμικότητας - σεισμικής επικινδυνότητας αποβλέπει στην εκτίμηση των αναμενόμενων ισχυρών κινήσεων στο υπόβαθρο μιας περιοχής καθώς και των αντίστοιχων σεισμικών εντάσεων, για διαφορετικές μέσες περιόδους επανάληψης των σεισμών.

Σημειώνεται ότι, η μελέτη σεισμικότητας που χρησιμοποιήθηκε ως βάση για τον προσδιορισμό των σεισμικών ζωνών στον ισχύοντα εκάστοτε αντισεισμικό κανονισμό, θα θεωρείται ως βασικό κείμενο αναφοράς κατά την εκπόνηση της Μ.Μ. Αποτελέσματα ή απόψεις που είναι ασύμβατες με την παραπάνω μελέτη μπορούν να υιοθετηθούν μόνον εάν αποδειχθεί αναλυτικά και τεκμηριωθεί ότι αποτελούν μια σαφώς ακριβέστερη προσέγγιση της τοπικής σεισμικότητας.

2.2. Επιμέρους Εργασίες

- α. Συγκέντρωση και αξιολόγηση των σεισμολογικών δεδομένων για την εκτίμηση της **σεισμικότητας** της περιοχής μελέτης. Οι πληροφορίες αυτές πρέπει να ανατρέχουν στο παρελθόν όσο το δυνατό παλαιότερα και πρέπει να περιλαμβάνουν:
 - κατάλογο επικέντρων σεισμών (συντεταγμένες, βάθος, χρόνο γένεσης), ομογενοποιημένο ως προς το μέγεθος και με καθορισμένη χρονική πληρότητα,
 - υπο-καταλόγους σεισμικών ακολουθιών, εφόσον είναι διαθέσιμοι ή μπορούν να εξαχθούν από υπάρχοντα στοιχεία καθώς και διαθέσιμους μηχανισμούς γένεσης, και
 - κατάλογο σεισμικά ενεργών "σεισμογόνων όγκων", όπως αυτοί καθορίζονται από μηχανισμούς γένεσης, επιφανειακές εκδηλώσεις ρηγμάτων που συνδέονται με συγκεκριμένους σεισμούς, μετασεισμικές ακολουθίες και μακροσεισμικά στοιχεία για την εκτίμηση της κύριας σεισμικής απειλής για την περιοχή μελέτης.
- β. Συγκέντρωση και αξιολόγηση των σεισμολογικών δεδομένων για την εκτίμηση της **σεισμικής επικινδυνότητας** της περιοχής μελέτης. Οι πληροφορίες αυτές πρέπει επίσης να ανατρέχουν όσο το δυνατόν παλαιότερα στο παρελθόν, να περιλαμβάνουν δε κατάλογο παρατηρημένων μακροσεισμικών εντάσεων καθώς και όλα τα επιπρόσθετα στοιχεία (μέγιστες εντάσεις, ισόσειστες καμπύλες, κλπ.) που είναι διαθέσιμα για τους σεισμούς που έπληξαν την περιοχή.
- γ. Συλλογή καταγραφών ισχυρών εδαφικών κινήσεων από επιταχυνσιογράφους στην υπό εξέταση περιοχή και επεξεργασία αυτών με σκοπό τον υπολογισμό:
 - της χρονοϊστορίας της σεισμικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης,
 - του φάσματος συχνοτήτων και της δεσπόζουσας συχνότητας της ισχυρής εδαφικής κίνησης.
- δ. Μικροσεισμική μελέτη για τον προσδιορισμό της σεισμικής δραστηριότητας και της σχέσης της προς τις τεκτονικές δομές της περιοχής ενδιαφέροντος που δεν έχουν επιφανειακή έκφραση ή που έχουν επιφανειακή έκφραση αλλά η εμφάνισή τους δεν επιτρέπει κατηγορηματική γνώμη ως προς το σεισμογόνο χαρακτήρα τους. Η καταγραφή μικροσεισμών θα γίνει με πυκνό δίκτυο φορητών σεισμογράφων υψηλής ευαισθησίας, η δε ερμηνεία των μετρήσεων θα περιλαμβάνει:
 - υπολογισμό των γεωγραφικών συντεταγμένων και του βάθους της εστίας κάθε μικροσεισμού
 - κατανομή των εστιών στο χώρο, για να εντοπιστούν τυχόν ενεργές δομές

- υπολογισμό του μεγέθους του μικροσεισμού
- εκτίμηση των μηχανισμών γένεσης του μικροσεισμού και αξιολόγηση της δυναμικής κατάστασης των ρηγμάτων της περιοχής.

Η χρονική έκταση και το βάθος αυτών των διερευνήσεων είναι συνάρτηση της συχνότητας και της έντασης της σεισμικής δράσεως στην περιοχή.

- ε. Συνεκτίμηση των ανωτέρω με σκοπό τον υπολογισμό των παραμέτρων της σεισμικής κίνησης του υποβάθρου (π.χ. επιτάχυνση, ταχύτητα, μετατόπιση, φάσματα) που είναι απαραίτητες για την ανάλυση της σεισμικής απόκρισης του εδάφους (Κεφ. 5).

Προκειμένου να μειωθεί η (αναπόφευκτη) αβεβαιότητα στον υπολογισμό των ανωτέρω παραμέτρων, συνιστάται να χρησιμοποιούνται διάφορες (περισσότερες της μίας) μεθοδολογίες ανάλυσης. Επιπλέον, συνιστάται η επιλογή κατάλληλων προσομοιωμάτων των σεισμικών πηγών σύμφωνα με το σεισμοτεκτονικό καθεστώς της περιοχής μελέτης.

2.3. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των παραπάνω επιμέρους εργασιών περιλαμβάνει:

- χάρτη επικέντρων και σεισμικών πηγών, με όλα τα επίκεντρα και τις σεισμικές πηγές που επιδρούν στη διαμόρφωση του σεισμικού περιβάλλοντος της περιοχής,
- χάρτες ισόσειστων καμπυλών της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος, για όλους τους σεισμούς για τους οποίους υπάρχουν τα κατάλληλα στοιχεία.
- τις αναγκαίες σεισμικές παραμέτρους (π.χ. ένταση, επιτάχυνση, ταχύτητα, μετατόπιση, φάσματα) στο υπόβαθρο, για διάφορες μέσες περιόδους επανάληψης (π.χ. 475 και 949 χρόνια) και διάφορες εστιακές αποστάσεις (near, moderate και far field), και
- αντιπροσωπευτικά επιταχυνσιογραφήματα για τις αναμενόμενες σεισμικές κινήσεις στο υπόβαθρο, για διάφορες μέσες περιόδους επανάληψης (π.χ. 475 και 949 χρόνια) και διάφορες εστιακές αποστάσεις (near, moderate και far field).

Τα επιταχυνσιογραφήματα θα συνοδεύονται απαραίτητα από τα αντίστοιχα ελαστικά φάσματα απόκρισης και φάσματα συχνοτήτων, θα παρέχονται δε σε σχεδιαστική μορφή καθώς και υπό μορφή αρχείων για απ' ευθείας ανάγνωση από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Επιπλέον, όλοι οι χάρτες πρέπει να είναι ευκρινείς και να παρέχουν την δυνατότητα απ' ευθείας αναγνώσεως των παρουσιαζόμενων στοιχείων.

3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

3.1. Αντικείμενο – Σκοπός

Η έρευνα των γεωλογικών συνθηκών αποσκοπεί στην εκτίμηση των γεωλογικών-τεκτονικών χαρακτηριστικών της υπό εξέταση περιοχής τα οποία είναι δυνατόν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά του εδάφους σε σεισμό. Τέτοια χαρακτηριστικά αποτελούν η στρωματογραφική διάρθρωση, η λιθολογική σύσταση και το πάχος των γεωλογικών σχηματισμών, οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητές τους, η ύπαρξη ρηγμάτων, τα υπόγεια νερά, κ.α.. Έμφαση πρέπει να δίδεται στις πρόσφατες κυρίως εδαφικές αποθέσεις, οι οποίες είναι δυνατόν να διαφοροποιήσουν έντονα την σεισμική δόνηση, χωρίς βέβαια να παραβλέπονται τα χαρακτηριστικά και η δομή του γεωλογικού υποβάθρου.

3.2. Επιμέρους Εργασίες

α. Συγκέντρωση και αξιολόγηση υπαρχόντων στοιχείων που αφορούν την περιοχή, όπως γεωλογικές, τεκτονικές, υδρογεωλογικές, γεωφυσικές και γεωτεχνικές έρευνες.

β. **Γεωφυσικές Έρευνες** για την συλλογή στοιχείων τα οποία θα συναξιολογηθούν στα πλαίσια της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης και της εκπόνησης νεοτεκτονικού χάρτη. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται συνηθέστερα για τον σκοπό αυτό είναι:

- η σεισμική διάθλαση, για τον προσδιορισμό του βάθους και του αναγλύφου του βραχώδους υποβάθρου καθώς και των πιθανών πλευρικών και κατακόρυφων ασυνεχειών στους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής,
- η γεωηλεκτρική διασκόπηση (με την τεχνική των βυθοσκοπήσεων), για τον εντοπισμό του υδροφόρου ορίζοντα καθώς και για τον εντοπισμό του βραχώδους υποβάθρου όταν συναντάται σε μεγάλα σχετικά βάθη (> 50m), και
- η σεισμική ανάκλαση, για την πληρέστερη περιγραφή της δομής των υπεδαφικών σχηματισμών όπου αυτό κριθεί αναγκαίο (π.χ. σε περιοχές με γεωλογική ιδιομορφία).

Σε ειδικές περιπτώσεις, είναι δυνατόν να απαιτηθεί και η χρήση πιο εξειδικευμένων μεθόδων όπως η σεισμική ή γεωηλεκτρική τομογραφία, οι βαρυτομετρικές μετρήσεις, οι γεωφυσικές διαγραφίες σε οπές γεωτρήσεων (Loggings), το γεωραντάρ, κλπ..

γ. **Τεχνικο-γεωλογική Έρευνα** η οποία θα συνίσταται στην:

- φωτογεωλογική ερμηνεία και ανάλυση της ευρύτερης περιοχής,
- περιγραφή των λιθολογικών ενοτήτων και εντοπισμό των ορίων τους, με βάση κυρίως τα φυσικά χαρακτηριστικά και την εκτιμώμενη μηχανική τους συμπεριφορά,
- επισήμανση παλαιών και νέων κατολισθήσεων, καταπτώσεων, ερπυσμών και κάθε άλλης μορφής εδαφικής αστάθειας, καθώς και εντοπισμός περιοχών επιρρεπών σε εκδήλωση εδαφικών μετακινήσεων,
- καταγραφή των ασυνεχειών των βραχωδών σχηματισμών (διεύθυνση, κλίση, εξάπλωση, πυκνότητα, άνοιγμα ασυνεχειών, υλικά πληρώσεως κλπ.), καθώς και στην αποτύπωση καρστικών μορφών,
- απογραφή των πηγών και αναφορά στις διακυμάνσεις της στάθμης των υπόγειων νερών της περιοχής, κατά τις διάφορες εποχές του έτους, και
- καταγραφή και εκτίμηση της ανθρωπογενούς επίδρασης στο γεωλογικό περιβάλλον.

δ. **Νεοτεκτονική Έρευνα** η οποία θα εκτείνεται σε απόσταση 8-10 km τουλάχιστον περιμετρικά της περιοχής ενδιαφέροντος και θα περιλαμβάνει:

- αποτύπωση των τεκτονικών στοιχείων, όπως επωθήσεων, επιπτεύσεων, αξόνων πτυχώσεων, ρηγμάτων, διευθύνσεων και κλίσεων των στρωμάτων,
- ταξινόμηση των ρηγμάτων ανάλογα με την σεισμική τους δραστηριότητα, όπως για παράδειγμα, σε: (i) **σεισμικά**, που σχετίζονται άποδεδειγμένα με κάποιο σεισμό, σύμφωνα με σύγχρονα ή ιστορικά δεδομένα, (ii) **ενεργά** (ή πιθανώς ενεργά), που τα χαρακτηριστικά τους υποδηλώνουν ότι είναι ικανά να προκαλέσουν σεισμό, ή (iii) **άγνωστης δραστηριότητας** για τα οποία δεν προκύπτει σαφώς πιθανότητα ενεργοποίησης ή λείπουν τα κατάλληλα στοιχεία για την αξιολόγησή τους,
- ανάλυση και αξιολόγηση τεκτονικών και σεισμολογικών δεδομένων που αφορούν τα σεισμικά ρήγματα,
- προσδιορισμό και αποτύπωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των ενεργών ρηγμάτων και του άλματός τους (όπου αυτό είναι εφικτό), και
- μικροτεκτονικές μετρήσεις για τον προσδιορισμό του πεδίου των τεκτονικών τάσεων και σύγκριση με τα στοιχεία μηχανισμού γένεσης των σεισμών της περιοχής.

3.3. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των ανωτέρω εργασιών θα πρέπει να συναξιολογηθούν προκειμένου να προκύψει μία όσο το δυνατόν σαφέστερη εικόνα για την γεωλογία της περιοχής. Οι επί μέρους εργασίες θα περιγραφούν αναλυτικά τα δε αποτελέσματά τους θα παρουσιαστούν υπό μορφήν εποπτικών χαρτών, τομών και διαγραμμάτων, όπως για παράδειγμα:

- Νεοτεκτονικός χάρτης κλίμακας 1:10.000 ή 1:20,000
- τεχνικογεωλογικός χάρτης και τομές κλίμακας 1:5000 ή μεγαλύτερης
- χάρτης ασταθών γεωλογικά ζωνών
- τεκτονικά διαγράμματα Schmidt για τις ασυνέχειες των βραχωδών σχηματισμών και την ανάλυση δυνητικών αστοχιών
- τεκτονικά διαγράμματα Schmidt για τις μετρήσεις μικροτεκτονικής
- χάρτες ισοπαχών καμπυλών των πρόσφατων σχηματισμών καθώς και χάρτες ισοβαθών καμπυλών του γεωλογικού υπόβαθρου
- γεωφυσικές τομές που θα δείχνουν αφενός την κατανομή των γεωφυσικών παραμέτρων στα επιφανειακά στρώματα (διαγράμματα μονοδιάστατης ή δισδιάστατης απεικόνισης) και αφετέρου τις θέσεις των ασυνεχειών των διαφορετικών στρωμάτων και ιδιαίτερα του ανάγλυφου του γεωλογικού υπόβαθρου.

4. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

4.1. Αντικείμενο – Σκοπός

Η γεωτεχνική έρευνα αποσκοπεί στην εκτίμηση εκείνων των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφικών σχηματισμών και του υποκειμένου γεωλογικού υπόβαθρου, τα οποία επηρεάζουν τη δυναμική τους απόκριση σε σεισμό.

Έτσι, στόχος της έρευνας είναι η εκτίμηση του πάχους, της γεωμετρίας και των μεταβολών κατά την οριζόντια και κατακόρυφο έννοια κάθε εδαφικής στρώσεως, της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα όπως και της συμπεριφοράς (σχέση τάσεων-παραμορφώσεων) των πρόσφατων εδαφικών σχηματισμών και του γεωλογικού υπόβαθρου σε μονοτονική και δυναμική - επαναλαμβανόμενη φόρτιση. Για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και μείωση του κόστους των απαιτούμενων εργασιών, ο προγραμματισμός της γεωτεχνικής έρευνας πρέπει να γίνει με βάση τα προκαταρκτικά τουλάχιστον αποτελέσματα της γεωλογικής και γεωφυσικής έρευνας (Κεφ. 3) και να έχει ως γνώμονα τις απαιτήσεις της ανάλυσης δυναμικής απόκρισης (Κεφ. 5) που θα ακολουθήσει.

4.2. Επί μέρους Εργασίες

Οι επί μέρους εργασίες που απαιτούνται στα πλαίσια της γεωτεχνικής έρευνας είναι:

- α. Συγκέντρωση και αξιολόγηση των γεωτεχνικών στοιχείων που υπάρχουν ήδη για την περιοχή (γεωτρήσεις, ερευνητικά φρέατα, επιτόπου γεωτεχνικές δοκιμές, κ.α.).
- β. **Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και συνήθεις επί τόπου δοκιμές** οι οποίες δύνανται να εκτελεστούν εντός των γεωτρήσεων (π.χ. πρότυπη δοκιμή διείσδυσης ή επιτόπου δοκιμή πτερυγίου) ή ανεξάρτητα από τις γεωτρήσεις (π.χ. στατική πενετρομέτρηση ή δοκιμή Marchetti). Οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και οι επιτόπου δοκιμές αποβλέπουν στην:
 - εκτίμηση της θέσης του βραχώδους υπόβαθρου και της στρωματογραφίας των υπερκείμενων εδαφών (θέση, πάχος, γεωμετρία και φυσική κατάσταση διαφόρων εδαφικών στρωμάτων),

- εκτίμηση της στάθμης του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα,
 - λήψη διαταραγμένων και αδιατάρακτων δειγμάτων από το έδαφος και το υπόβαθρο,
 - προσεγγιστική εκτίμηση, από εμπειρικές σχέσεις, φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων που επιδρούν στη δυναμική απόκριση του εδάφους (π.χ. σύσταση, ταχύτητες διαδόσεως σεισμικών κυμάτων, ή/και αντίσταση σε ρευστοποίηση), και βαθμονόμηση των γεωφυσικών διασκοπήσεων.
- γ. Ειδικές γεωφυσικές δοκιμές** για τη επιτόπου μέτρηση της ταχύτητας μετάδοσης των σεισμικών κυμάτων στο έδαφος. Ενδεικτικά αναφέρονται οι δοκιμές Crosshole και Crosshole Tomography, η δοκιμή Downhole, η δοκιμή Σεισμοκώννου, η δοκιμή Φασματικής Ανάλυσης Επιφανειακών Κυμάτων, κλπ. Επισημαίνεται ότι οι δοκιμές αυτές θα πρέπει να καλύπτουν ομοιόμορφα όλο το βάθος των εδαφικών σχηματισμών, καθώς και τα ανώτερα στρώματα του υποβάθρου.
- δ. Εργαστηριακές δοκιμές επί διαταραγμένων δειγμάτων** όπως κοκκομετρήσεις, προσδιορισμός των ορίων Atterberg, κλπ. Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών θα χρησιμοποιηθούν για την κατάταξη και το διαχωρισμό των διαφόρων εδαφικών στρώσεων και του υπόβαθρου.
- ε. Συνήθειες εργαστηριακές δοκιμές επί αδιατάρακτων δειγμάτων** (π.χ. δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης, τριαξονικής φόρτισης και απ' ευθείας διάτμησης) με σκοπό την εκτίμηση της συμπεριφοράς του εδάφους σε στατική καταπόνηση. Επιπλέον, με τη χρήση εμπειρικών σχέσεων, τα παραπάνω αποτελέσματα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την προκαταρκτική εκτίμηση ιδιοτήτων δυναμικής συμπεριφοράς των εδαφικών στρώσεων.
- στ. Ειδικές εργαστηριακές δοκιμές επί αδιατάρακτων δειγμάτων** για την εκτίμηση της ανελαστικής συμπεριφοράς του εδάφους σε δυναμική φόρτιση. Ενδεικτικά, αναφέρονται η δοκιμή Resonant Column για τον προσδιορισμό του ελαστικού μέτρου διατμήσεως (G) και ο βαθμός υστερητικής αποσβέσεως (D) του εδάφους. Η δοκιμή αυτή θα πρέπει να εκτελείται για διάφορες τιμές του εύρους δυναμικής διατμητικής παραμόρφωσης ($10^{-5} < \gamma_c < 10^{-2}$) προκειμένου να εκτιμηθεί η ανελαστική μεταβολή των ανωτέρω παραμέτρων.
- ζ. Ειδικές εργαστηριακές δοκιμές επί αδιατάρακτων δειγμάτων** για την εκτίμηση του κινδύνου ρευστοποίησης και συσσώρευσης μόνιμων (πλαστικών) παραμορφώσεων. Ενδεικτικά, αναφέρονται οι δοκιμές ανακυκλιζόμενης τριαξονικής φόρτισης και οι δοκιμές ανακυκλιζόμενης διάτμησης (απλής ή στρεπτικής).

4.3. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

- Τα αποτελέσματα των παραπάνω εργασιών θα συναξιολογηθούν για την κατά το δυνατόν καλύτερη εκτίμηση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους. Στατιστικές μέθοδοι αξιολόγησης θα χρησιμοποιηθούν όπου αυτό επιβάλλεται λόγω σημαντικής διασποράς των μετρήσεων.
- Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων στην κυρίως μελέτη θα είναι συνοπτική και θα αφορά αντιπροσωπευτικές τομές σε όλη την έκταση της υπό εξέταση περιοχής. Τα λεπτομερή αποτελέσματα θα συμπεριληφθούν σε παράρτημα της μελέτης.
- Για κάθε αντιπροσωπευτική τομή θα παρουσιάζονται απαραίτητα τα φυσικά και μηχανικά εκείνα χαρακτηριστικά, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα για την δυναμική ανάλυση που θα επακολουθήσει (Κεφ. 5).

5. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

5.1. Αντικείμενο - Σκοπός

Η ανάλυση της δυναμικής απόκρισης του εδάφους αποβλέπει στην εκτίμηση:

- της σεισμικής κίνησης στην επιφάνεια του εδάφους και στο υπέδαφος (π.χ. χρονική εξέλιξη της επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης με τον χρόνο)
- του κινδύνου ρευστοποίησης και δυναμικής συνίζησης χαλαρών, μη συνεκτικών σχηματισμών
- του κινδύνου αστοχίας φυσικών ή τεχνητών πρηνών στην υπό μελέτη περιοχή, όπως κλιτύων, εκχωμάτων, επιχωμάτων κλπ.

Δεδομένα για τις δυναμικές αναλύσεις αποτελούν οι σεισμικές κινήσεις του βραχώδους υπόβαθρου, που υπολογίσθηκαν κατά την μελέτη σεισμικότητας (Κεφ.2), όπως και οι χαρακτηριστικές εδαφικές τομές που προσδιορίσθηκαν με βάση τη γεωλογική, τη γεωφυσική και τη γεωτεχνική μελέτη της περιοχής (Κεφ. 3 & 4).

5.2. Επιμέρους Στάδια της Ανάλυσης

- α. Προσεγγιστικός υπολογισμός της επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών στα χαρακτηριστικά της σεισμικής κίνησης, λαμβάνοντας υπόψη τις γεωλογικές συνθήκες και την σεισμικότητα της περιοχής. Οι προσεγγιστικές εκτιμήσεις μπορούν να βασισθούν σε εμπειρικές σχέσεις από τη βιβλιογραφία, σε απλοποιημένες δυναμικές προσομοιώσεις του εδάφους, σε μικροσεισμικές μετρήσεις (Microtremors), κλπ.
- β. Αναγνώριση των χαλαρών, μη συνεκτικών εδαφικών σχηματισμών που κινδυνεύουν να παρουσιάσουν φαινόμενα αποσταθεροποίησης λόγω του σεισμού (π.χ. ρευστοποίηση, καθίζηση, κατολίσθηση). Για τον σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεωλογικά και σεισμολογικά κριτήρια από την βιβλιογραφία.
- γ. Αναλυτικός υπολογισμός της εδαφικής απόκρισης για όλες τις αντιπροσωπευτικές εδαφικές τομές, που ορίσθηκαν στα πλαίσια της γεωλογικής-γεωφυσικής-γεωτεχνικής έρευνας, καθώς και τις πιθανές σεισμικές κινήσεις του βραχώδους υπόβαθρου, που εκτιμήθηκαν κατά την μελέτη σεισμικότητας της περιοχής. Οι αναλυτικοί υπολογισμοί πρέπει να λαμβάνουν απαραίτητως υπόψη την ανομοιομορφία του εδάφους και την ανελαστική συμπεριφορά του κατά τη διάρκεια της σεισμικής φόρτισης. Τα αποτελέσματα πρέπει να περιλαμβάνουν:
 - την θεμελιώδη ιδιοπερίοδο κάθε εδαφικής τομής
 - την μέγιστη σεισμική επιτάχυνση, ταχύτητα και μετατόπιση στην επιφάνεια του εδάφους
 - τα ελαστικά φάσματα απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους, για κτίρια και άλλες συνήθεις κατασκευές, με διάφορους βαθμούς απόσβεσης, καθώς και
 - επιταχυνσιογραφήματα, ή άλλο ισοδύναμο σύνολο πληροφοριών, για την ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους και για διάφορα βάθη μέσα στο υπέδαφος.
- δ. Αναλυτική εκτίμηση του κινδύνου ρευστοποίησης και δυναμικής συνίζησης χαλαρών, μη συνεκτικών εδαφικών σχηματισμών καθώς και του κινδύνου αστοχίας (κατολίσθηση ή πλευρική εξάπλωση φυσικών και τεχνητών πρηνών. Οι υπολογισμοί μπορεί να βασισθούν στα αποτελέσματα των αναλύσεων σεισμικής απόκρισης, σε συνδυασμό με αποτελέσματα από συνήθεις επιτόπου (in situ) και εργαστηριακές δοκιμές που εκτελέσθηκαν στα πλαίσια της γεωτεχνικής έρευνας.
- ε. Ειδικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης οι οποίες λαμβάνουν λεπτομερώς υπόψη τις ιδιαιτερότητες του έργου (π.χ. τρισδιάστατη τοπογραφία, ισχυρή σεισμική δόνηση ή

συσσώρευση πίεσης πόρων και πλαστικών παραμορφώσεων) και να προτείνουν συγκεκριμένα μέτρα αντιμετώπισης πιθανών φαινομένων αστοχίας του εδάφους (π.χ. ρευστοποίηση, δυναμική συνίζηση ή αστοχία πρηνών). Οι υπολογισμοί θα πρέπει να βασισθούν τόσο σε αναλυτική όσο και σε εργαστηριακή προσομοίωση της ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς και της απομείωσης της διατμητικής αντοχής του εδάφους υπό δυναμική- ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

5.3. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων της δυναμικής απόκρισης του εδάφους θα παρουσιασθούν συνοπτικά (υπό μορφή χαρτών) για όλη την περιοχή της Μ.Μ., και λεπτομερώς για κάθε θέση ανάλυσης. Συγκεκριμένα, για όλη την περιοχή της Μ.Μ. θα παρουσιασθούν σε χάρτες:

- οι περιοχές που παρουσιάζουν κίνδυνο ρευστοποίησης ή δυναμικής συνίζησης,
- οι περιοχές που παρουσιάζουν κίνδυνο κατολισθήσεων, πλευρικής εξάπλωσης, καταπτώσεων βράχων κλπ,
- η τοπική μεταβολή της θεμελιώδους περιόδου των πρόσφατων εδαφικών αποθέσεων, και
- η τοπική μεταβολή των μέγιστων παραμέτρων της σεισμικής κίνησης (π.χ. επιτάχυνση, ταχύτητα, μετατόπιση στην επιφάνεια του εδάφους).

Επί πλέον, για κάθε θέση ανάλυσης, τα αποτελέσματα θα περιλαμβάνουν:

- την βασική ιδιοπερίοδο της εδαφικής τομής,
- τις μέγιστες παραμέτρους της σεισμικής κίνησης (π.χ. επιτάχυνση, ταχύτητα μετατόπιση) στην επιφάνεια του εδάφους,
- διαγράμματα επιτάχυνσης, ταχύτητας ή μετατόπισης με το χρόνο για την ελεύθερη επιφάνεια και για διάφορες στάθμες εντός του εδάφους, και
- ελαστικά φάσματα απόκρισης στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους, για διάφορους συντελεστές απόσβεσης της ανωδομής.

6. ΧΑΡΤΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

6.1. Αντικείμενο - Σκοπός

Στο στάδιο αυτό, που είναι και το τελικό της όλης μελέτης, όλα τα στοιχεία που συλλέχθηκαν, εκτιμήθηκαν ή υπολογίσθηκαν προηγουμένως θα συναξιολογηθούν για την εκπόνηση χαρτών σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής ενδιαφέροντος. Οι χάρτες μπορεί να είναι σε γραφική ή ηλεκτρονική μορφή (π.χ. με χρήση G.I.S.). Επιπλέον, θα πρέπει να είναι άμεσα χρησιμοποιήσιμοι για τον πολεοδομικό σχεδιασμό μιας περιοχής καθώς και για τον αντισεισμικό σχεδιασμό συνήθων κτιρίων ή άλλων ειδικών κατασκευών.

6.2. Χάρτες

Τα αποτελέσματα της μελέτης σεισμικής επικινδυνότητας θα συνοψισθούν στους παρακάτω χάρτες:

- α. Χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας λόγω αστοχίας του φυσικού εδάφους και του υπεδάφους. Οι χάρτες αυτοί θα είναι σε κλίμακα 1:5.000 ή μεγαλύτερη και θα περιλαμβάνουν τις περιοχές που παρουσιάζουν κίνδυνο:

- ρευστοποίησης του εδάφους
- δυναμικής συνίζησης
- κατολίσθησης ή πλευρικής εξάπλωσης φυσικών ή τεχνητών πρηνών,
- κατακρημνίσεων, και
- διαρρήξεων.

β. Χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας για τον υπολογισμό των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού συνήθων κατασκευών, ανάλογα προς τον ισχύοντα εκάστοτε αντισεισμικό κανονισμό. Στους χάρτες αυτούς, κλίμακας 1:5.000 ή μεγαλύτερης, θα παρουσιάζεται ο διαχωρισμός της υπό μελέτη περιοχής σε ζώνες συμβατές προς τα κριτήρια που προβλέπονται από τον ισχύοντα αντισεισμικό κανονισμό. Για κάθε ζώνη θα πρέπει να αναφέρεται η εκτιμώμενη μέγιστη/ενεργός επιτάχυνση της σεισμικής κίνησης στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και το αντίστοιχο ελαστικό φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με τον ισχύοντα αντισεισμικό κανονισμό.

γ. Χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας για τον υπολογισμό των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού συνήθων κατασκευών, με κριτήρια ανεξάρτητα από τον ισχύοντα εκάστοτε αντισεισμικό κανονισμό. Οι χάρτες αυτοί θα εκπονούνται μόνον σε περίπτωση που μπορούν να εξασφαλίσουν μεγαλύτερη ακρίβεια στον αντισεισμικό σχεδιασμό, σε σύγκριση με τους χάρτες που εκπονήθηκαν σύμφωνα προς τον ισχύοντα αντισεισμικό κανονισμό. Και σε αυτή την περίπτωση, ο διαχωρισμός της υπό μελέτη περιοχής σε ζώνες θα γίνει υπό κλίμακα 1:5.000 ή μεγαλύτερης. Επίσης, για την κάθε ζώνη θα ορίζονται τα χαρακτηριστικά της σεισμικής κίνησης στην επιφάνεια του εδάφους (π.χ. μέγιστη/ενεργός επιτάχυνση, ταχύτητα ή μετατόπιση) καθώς και τα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού που έχουν προκύψει από τις αναλύσεις σεισμικής απόκρισης.

δ. Χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας για τον αντισεισμικό σχεδιασμό ειδικών τεχνικών έργων (π.χ. υψηλά κτίρια, μεγάλες γέφυρες, φράγματα, σήραγγες, εμπορικοί λιμένες, χώροι αποθήκευσης αποβλήτων). Οι χάρτες αυτοί θα έχουν κλίμακα 1:1.000 ή μεγαλύτερη και θα περιλαμβάνουν τον διαχωρισμό της περιοχής ενδιαφέροντος σε ζώνες, οι οποίες θα χαρακτηρίζονται από τυπικά:

- ελαστικά φάσματα αποκρίσεως κατασκευών διαφόρων βαθμών απόσβεσης
- επιταχυνσιογραφήματα της σεισμικής κίνησης στην ελεύθερη επιφάνεια και σε διάφορες στάθμες μέσα στο υπέδαφος. Όλα τα επιταχυνσιογραφήματα θα πρέπει να δίδονται γραφικά καθώς και ψηφιοποιημένα.

Όλοι οι χάρτες θα συνταχθούν για τους αναμενόμενους σεισμούς διαφόρων εστιακών αποστάσεων και περιόδων επανάληψης που ορίστηκαν στα πλαίσια της μελέτης σεισμικότητας και σεισμικής επικινδυνότητας (Κεφ. 2). Επιπλέον, θα συνοδεύονται από ανάλυση των αβεβαιοτήτων στους υπολογισμούς, από διευκρινιστικά σχόλια και παρατηρήσεις που θα διευκολύνουν τη χρήση τους, καθώς και από γενικές συστάσεις που θα αφορούν:

- στην καταλληλότητα (ή μη) των διαφόρων προς δόμηση περιοχών
- στον αντίστοιχο τρόπο δόμησης και θεμελίωσης
- σε προβλήματα που μπορεί να προκύψουν στις ήδη δομημένες περιοχές.

7. ΣΤΑΔΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΜΙΚΡΟΖΩΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε στην Εισαγωγή, οι Μ.Μ. διακρίνονται σε αυτές που αφορούν πόλεις (και γενικότερα αστικές περιοχές) και αυτές που αφορούν ειδικά έργα υποδομής. Οι επιμέρους εργασίες (μελέτες και έρευνες) που απαιτούνται σε κάθε μία από τις δύο αυτές περιπτώσεις συνοψίζονται στον ακόλουθο Πίνακα.

ΕΡΕΥΝΑ	ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	
	ΠΟΛΕΙΣ	ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
2. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ	2.2α/ β/ γ/ δ/ ε	2.2α/ β/ γ/ δ/ ε
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ	3.2α/ β/ γ/ δ	3.2α/ β/ γ/ δ
4. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ	4.2α/ β/ γ/ δ/ ε/ στ	4.2α/ β/ γ/ δ/ ε/ στ/ ζ
5. ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ	5.2α/ β/ γ/ δ	5.2α/ β/ γ/ δ/ ε
6. ΧΑΡΤΕΣ	6.2α/ β/ γ	6.2α/ β/ γ/ δ

Με **τονισμένους (bold)** χαρακτήρες επισημαίνονται οι **πρόσθετες** εργασίες που απαιτούνται στην περίπτωση ειδικών έργων υποδομής.

8. ΟΜΑΔΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Κατά τον καθορισμό της ομάδας μελέτης θα πρέπει να ληφθή απαραίτητα υπόψη ο πολυδιάστατος χαρακτήρας της Μ.Μ. και επομένως η ανάγκη εκπόνησης των εργασιών από ομάδα επιστημόνων με αποδεδειγμένη εμπειρία σε θέματα Σεισμολογίας, Γεωλογίας, Γεωφυσικής, Γεωτεχνικής Μηχανικής και Εδαφοδυναμικής. Είναι προφανές ότι η πληρότητα στην σύσταση της ομάδας μελέτης καθώς και η αρμονική συνεργασία και ο συντονισμός μεταξύ των μελών της αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για την εκπλήρωση των στόχων της Μ.Μ..

Επιπλέον, τονίζεται ότι όλες οι επιμέρους εργασίες θα πρέπει να έχουν σαφή τεχνικό προσανατολισμό μια και αποσκοπούν τελικά στην ικανοποίηση των αναγκών που επιβάλλει ο αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών. Για τον λόγο αυτό, ο προγραμματισμός των εργασιών μιας Μ.Μ. καθώς και η διατύπωση των τελικών συμπερασμάτων δεν είναι δυνατόν να γίνεται χωρίς την ουσιαστική συμβολή μηχανικών με ειδικευση και εμπειρία σε θέματα Αντισεισμικής Μηχανικής.