

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

### ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι πλέον αποδεκτό ότι η δόνηση που παρατηρείται κατά τη διάρκεια ενός σεισμικού γεγονότος σε μία συγκεκριμένη θέση αποτελεί συνάρτηση, τόσο της σεισμικής πηγής και του τρόπου διαδόσεως των σεισμικών κυμάτων μέχρι το σεισμικό υπόβαθρο της εν λόγω θέσης, όσο και των τοπικών συνθηκών που επικρατούν εκεί. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις κατά τις οποίες οι διαφοροποιήσεις στην έκταση και στην ένταση των σεισμικών βλαβών αποδίδονται στις τοπικές συνθήκες, καθώς αυτές δύναται να επηρεάσουν καθοριστικώς τον επιφανειακό (οριζόντιο και κατακόρυφο) σεισμικό κραδασμό. Η αλλοίωση είναι εμφανής τόσο στις χρονοϊστορίες της δόνησης, όσο και στο φασματικό (συχνотικό) περιεχόμενό της, ενώ συχνά παρατηρείται σημαντική χρονική παράταση της δόνησης. Μολονότι συνήθως διατυπώνονται διαφορετικές επιστημονικές απόψεις για τα αίτια της επιλεκτικής συγκέντρωσης βλαβών, ο ρόλος των τοπικών συνθηκών θεωρείται σχεδόν πάντοτε σημαντικός.

Ο όρος «*τοπικές συνθήκες*» περιλαμβάνει ένα ευρύτατο φάσμα γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών τόσο του εδάφους, όσο και του «κατά σύμβαση σκληρού» σεισμικού υποβάθρου του. Ο όρος αυτός συνηθίζεται να περιγράφει:

- α. τις εδαφικές στρωματογραφικές συνθήκες
- β. τις γεωμορφικές συνθήκες που περιλαμβάνουν την γεωλογική δομή και την χωρική διάταξη του υποβάθρου.
- γ. το επιφανειακό ανάγλυφο και την τοπογραφική διάταξη.

Ο όρος «*εδαφικές στρωματογραφικές*» συνθήκες υπονοεί απλοποιητικώς την αποκλειστική ύπαρξη οριζοντίων πολύστρωτων εδαφικών σχηματισμών που εκτείνονται σε θεωρητικώς άπειρο μήκος (μονοδιάστατες εδαφικές συνθήκες). Αντιθέτως, ο όρος γεωμορφικές συνθήκες λαμβάνει υπόψη την παρουσία γεωμετρικών ανωμαλιών, τόσο των ίδιων των εδαφικών στρωμάτων, όσο και του (κατά σύμβαση σκληρού) σεισμικού

υποβάθρου, υποθέτοντας ταυτοχρόνως οριζόντια επιφάνεια. Τελευταία, αλλά εξίσου σημαντική συνιστώσα των τοπικών συνθηκών αποτελεί η τοπογραφία, η οποία ως ανεξάρτητο χαρακτηριστικό περιορίζεται στην γεωμετρική διάταξη της επιφάνειας.

Είναι σαφές ότι η παραπάνω διάκριση είναι απολύτως πλασματική, και πραγματοποιείται για λόγους απολύτως πρακτικούς. Η μονοδιάστατη, δισδιάστατη, και ακόμη περισσότερο η τρισδιάστατη διάδοση των σεισμικών κυμάτων διαμέσου πολύπλοκων εδαφικών σχηματισμών αποτελεί ιδιαίτερος σύνθετο πρόβλημα. Στην πραγματικότητα, η διάκριση των τοπικών συνθηκών στα επιμέρους χαρακτηριστικά τους είναι συνήθως δύσκολη, αν όχι αδύνατη. Συνεπώς, τα φαινόμενα που παρατηρούνται αποτελούν προϊόντα επαλληλίας και αλληλοεπιδράσεως των χαρακτηριστικών αυτών (βλ. Ψαρρόπουλος 2001).

Στον σεισμό της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 παρατηρήθηκαν έντονες και επιλεκτικές συγκεντρώσεις βλαβών σε συγκεκριμένες περιοχές της πλειόσειστης περιοχής. Οι διαφορές στην ένταση ήταν οφθαλμοφανείς ακόμα και σε περιοχές που δεν απείχαν πολύ μεταξύ τους, και επίσης δεν παρουσίαζαν μεγάλες διαφορές ως προς την ποιότητα – ανθεκτικότητα των κτιρίων. Το γεγονός αυτό δημιούργησε σοβαρές υποψίες ότι σε ορισμένες περιοχές η σεισμική δόνηση επηρεάστηκε σημαντικά από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, οι οποίες διαδραμάτισαν μάλλον καθοριστικό ρόλο στην ένταση και στην κατανομή των βλαβών. Η άποψη αυτή ενισχύθηκε μάλιστα και από τις καταγραφές του κυρίως σεισμού (δυστυχώς, εκτός πλειόσειστης περιοχής), όπου σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν απρόσμενα υψηλές επιταχύνσεις. Επεξεργασία των μετασεισμικών καταγραφών και σεισμικές αναλύσεις εδαφικής απόκρισης από διάφορους ερευνητές επιβεβαίωσαν αργότερα την σημαντικότερη επίδραση του εδάφους και των τοπικών εδαφικών συνθηκών γενικότερα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, μολονότι εν-γένει δεν υπήρχαν γεωτεχνικά στοιχεία στις θέσεις καταγραφής του κύριου σεισμού (με εξαίρεση τους σταθμούς του Μετρό), διεξήχθησαν (κυρίως από το Κ.Ε.Δ.Ε.) γεωτεχνικές έρευνες σε θέσεις έντονης συγκέντρωσης βλαβών για τον προσδιορισμό των υπεδαφικών συνθηκών και αριθμητικές προσομοιώσεις από διάφορους ερευνητές για τον προσδιορισμό των επιπέδων επιταχύνσεως (βλ. Gazetas et al 2002, Boukovalas et al 2002, κ.α).

Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικώς οι τοπικές συνθήκες και τα επίπεδα επιτάχυνσης που διαπιστώθηκαν :

- α. σε θέσεις όπου υπήρξαν προ-εγκατεστημένοι (πριν από τον κύριο σεισμό) επιταχυνσιογράφοι του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου, του Πανεπιστημίου Αθηνών, και του ΙΤΣΑΚ, θέσεις στις οποίες προέκυψαν καταγραφές του κύριου σεισμού,
- β. σε χαρακτηριστικές θέσεις στις οποίες παρουσιάστηκαν σημαντικές συγκεντρώσεις βλαβών, και για τον λόγο αυτόν τοποθετήθηκαν επιταχυνσιογράφοι αμέσως μετά τον κύριο σεισμό ώστε να καταγραφεί η μετασεισμική δραστηριότητα.

Ο βασικός στόχος του παρόντος κεφαλαίου είναι η συγκέντρωση, αξιολόγηση, και εξέταση του ρόλου των γεωτεχνικών συνθηκών που επικρατούν στις θέσεις όπου υπήρξαν ενόργανες καταγραφές, τόσο κατά την διάρκεια όσο και κατά την μετασεισμική ακολουθία του σεισμού της 7/9/1999.

Περιγράφονται δισδιάστατες λύσεις της βιβλιογραφίας που αφορούν τοπογραφικές κυρίως ανωμαλίες, ενώ πραγματοποιούνται ελαστικές μονοδιάστατες αναλύσεις εδαφικής απόκρισης (SHAKE91) για τον προσδιορισμό των μονοδιάστατων καμπυλών φασματικής ενίσχυσης (με θεώρηση υστερητικής απόσβεσης 5%) σε κάθε θέση.

Τόσο τα γεωτεχνικά στοιχεία, όσο και οι μονοδιάστατες αναλύσεις ανά θέση παρουσιάζονται στο Παράρτημα 2.

Οι θέσεις καταγραφής του κυρίου σεισμού για τις οποίες συγκεντρώθηκαν και αξιολογήθηκαν γεωτεχνικά στοιχεία είναι οι εξής :

#### **Σταθμοί Γεωδυναμικού Ινστιτούτου**

- Μετρό - Μοναστηράκι (MNSA)
- Μετρό - Σύνταγμα (SGMA & SGMB)
- Μετρό - Σεπόλια (SPLA & SPLB)
- Μετρό - Πεντάγωνο (PNT)
- Μετρό - Δάφνη (DFN)
- Μετρό - Συγγρού (FIX)
- Δημόκριτος (DMK)
- Νέο Ψυχικό (ATHA)

#### **Σταθμοί ΙΤΣΑΚ**

- Χαλάνδρι (ATH-2)

- ΚΕΔΕ (ATH-3)
- Κυψέλη – ΓΥΣ (ATH-4)

Αντίστοιχα, οι θέσεις καταγραφής μετασεισμών για τις οποίες συγκεντρώθηκαν και αξιολογήθηκαν γεωτεχνικά στοιχεία είναι οι εξής :

#### **Σταθμοί Πανεπιστημίου Αθηνών**

- Αδάμες (ADAM)
- Αδάμες FARAN – Παλαιό Κτίριο (FARA)

#### **Σταθμοί ΙΤΣΑΚ**

- Αδάμες FARAN – Νέο Κτίριο (FAR)
- Μεταμόρφωση – Δημαρχείο (MET)
- Μενίδι – Δημαρχείο (MND)
- Άνω Λιόσια – Δημαρχείο (ALS)
- Άνω Λιόσια – ΟΤΕ (MC-ALS)
- Καματερό – Γήπεδο Handball (KAM)
- Θρακομακεδόνες – Μ. Αλεξάνδρου (TRM)

#### **Σταθμοί Γεωδυναμικού Ινστιτούτου**

- Παλαιό Φάληρο – Ευγενίδειο
- Κορυδαλός – Δημαρχείο
- Αγ. Ιωάννης Ρέντης

Σημειώνεται ότι για τον ακριβή υπολογισμό της καμπύλης φασματικής ενίσχυσης σε κάθε θέση απαιτείται ο προσδιορισμός των ταχυτήτων διάδοσης διατμητικού κύματος  $V_s$  σε κάθε υποκείμενη εδαφική στρώση μέσω γεωφυσικών δοκιμών Crosshole και Downhole. Δυστυχώς, πλήρης γεωφυσική διερεύνηση των ταχυτήτων  $V_s$  πραγματοποιήθηκε από ερευνητές μόνον σε ορισμένες από τις προαναφερθείσες θέσεις καταγραφής. Για τον λόγο αυτόν στις υπόλοιπες θέσεις αξιοποιήθηκαν εμπειρικές συσχετίσεις της ταχύτητας  $V_s$  με τον αριθμό κρούσεων  $N_{SPT}$ , ή εκτιμήθηκε η ταχύτητα  $V_s$  προσεγγιστικά.

## ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

### Θέσεις Καταγραφής Κυρίου Σεισμού

#### Μετρό – Μοναστηράκι (MNSA)

Σύμφωνα με τους Gazetas et al (2002), η εδαφική κατατομή (προφίλ) στη θέση του σταθμού αποτελείται από στιφρές αμμώδεις αργίλους και από άκρως αποσαθρωμένους σχιστολιθικούς σχηματισμούς σε βάθος τουλάχιστον 60 m. Δυστυχώς, δεν βρέθηκαν στοιχεία για την ταχύτητα διάδοσης διατμητικού κύματος  $V_s$  του υπεδάφους στην θέση του καταγραφικού οργάνου. Με βάση τα διαθέσιμα γεωτεχνικά στοιχεία (δοκιμές SPT) προκύπτει εμπειρικά ότι η μέση τιμή ταχυτήτων διάδοσης διατμητικού κύματος  $V_s$  για βάθη μικρότερα των 30 m κυμαίνεται μεταξύ 300 και 400 m/s, ενώ παρακάτω η ταχύτητα  $V_s$  υπερβαίνει τα 700 m/s, τιμή αντιπροσωπευτική «βραχώδους» υποβάθρου (βλ. Παρ.2, Σχ. 1).

#### Μετρό – Σύνταγμα (SGMA & SGMB)

Στο σταθμό του Μετρό στην πλατεία Συντάγματος, το έδαφος που υποστηρίζει και περιβάλλει το σταθμό του Μετρό είναι ελαφρώς αποσαθρωμένος βράχος. Σύμφωνα με τα στοιχεία γεωτρήσεων της εταιρείας Αττικό Μετρό, πρόκειται για αθηναϊκό σχιστόλιθο-μεταψαμμίτη και ψαμμιτικό σχιστόλιθο. Οι ταχύτητες διατμητικού κύματος  $V_s$  εκτιμώνται εμπειρικά και κυμαίνονται μεταξύ 250 και 500 m/s μέχρι το βάθος των 25 περίπου μέτρων. Σε μεγαλύτερο βάθος οι ταχύτητες  $V_s$  ξεπερνάνε τα 600 με 700 m/s, οπότε θα μπορούσε να θεωρηθεί «βραχώδες» υπόβαθρο (βλ. Παρ. 2, Σχ. 2).

#### Μετρό – Σεπόλια (SPLA & SPLB)

Στις εγκαταστάσεις του Μετρό στα Σεπόλια υπήρχαν δύο όργανα με οριζόντια απόσταση μεταξύ τους περί τα 150 m. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Αττικό Μετρό η εδαφική κατατομή (προφίλ) στην περιοχή του Μετρό στα Σεπόλια είναι ομοιόμορφη και σχετικώς μαλακή : 13 m εδάφους (ιλώδους αργίλου) με ταχύτητα διάδοσης διατμητικού κύματος  $V_s$  περί τα 300 m/s, που υπέρκειται στιφρότερου ημιβράχου (κροκαλοπαγούς και σχιστολίθου) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 3).

### **Μετρό – Πεντάγωνο (PNT)**

Η καταγραφή πραγματοποιήθηκε στο σταθμό του Μετρό Πεντάγωνο στην περιοχή του Παπάγου, σε βάθος 15 m. Στην περιοχή του σταθμού εμφανίζονται επιφανειακές προσχώσεις μικρού βάθους και κατόπιν 15 με 20 m ιλυώδους αργίλου που υπέρκειται του αθηναϊκού σχιστολίθου. Για την ιλυώδη άργιλο μπορεί να υιοθετηθεί ταχύτητα  $V_s$  μεταξύ 300 και 400 m/sec (βλ. Παρ. 2, Σχ. 4).

### **Μετρό – Δάφνη (DFNA)**

Η καταγραφή πραγματοποιήθηκε στο εσωτερικό του σταθμού Δάφνη του Μετρό, και σε βάθος 13.5 m. Τα γεωτεχνικά στοιχεία για την συγκεκριμένη θέση είναι ελλιπή, όμως οι Bouckovalas et al (2002) βασιζόμενοι στα στοιχεία δύο γεωτρήσεων σε απόσταση περί τα 100 m από την υπό-εξέταση θέση προτείνουν σεισμικό υπόβαθρο στα 9 m, ενώ για τις υπερκείμενες στρώσεις οι ταχύτητες  $V_s$  μεταβάλλονται από 300 έως 450 m/sec (βλ. Παρ. 2, Σχ. 5).

### **Μετρό – Συγγρού (FIX)**

Η καταγραφή πραγματοποιήθηκε στο εσωτερικό του σταθμού Νέος Κόσμος του Μετρό, και σε βάθος 15 m. Σύμφωνα με στοιχεία της Αττικό Μετρό συναντώνται αλλουβιακές αποθέσεις σε μικρό βάθος (περί τα 6 m) και στη συνέχεια Αθηναϊκός σχιστόλιθος-μεταψαμμίτης (βλ. Παρ. 2, Σχ. 6).

### **Δημόκριτος (DMK)**

Πρόκειται για επιφανειακή καταγραφή. Δυστυχώς, στην περιοχή του Δημοκρίτου δεν υπάρχουν πλήρη γεωτεχνικά στοιχεία, όμως κρίνεται ότι το καταγραφικό όργανο βρίσκεται σε επιφανειακή εκδήλωση βράχου.

### **Νέο Ψυχικό (ATHA)**

Πρόκειται για επιφανειακή καταγραφή στο ισόγειο κτιρίου στο Νέο Ψυχικό. Γεωτρήσεις στην περιοχή που αξιοποίησαν οι Bouckovalas et al (2002) συναντούν 6 περίπου μέτρα μετρίως αποσαθρωμένο αθηναϊκό σχιστόλιθο (υπό μορφή αργιλώδους αμμοχάλικου) με ταχύτητα  $V_s$  περί τα 250 m/sec, και πολύ αποσαθρωμένο μέχρι τα 20 m με ταχύτητα  $V_s$  μεταξύ 300 και 400 m/sec (βλ. Παρ. 2, Σχ. 7).

### **Χαλάνδρι (ATH-02)**

Η καταγραφή πραγματοποιήθηκε στο ισόγειο κτιρίου του Δήμου Χαλανδρίου. Σύμφωνα με τους Bouckovalas et al (2002) συναντώνται εναλλασσόμενες στρώσεις αμμώδους αργίλου και αργιλώδους άμμου με μέση ταχύτητα  $V_S$  περί τα 400 m/sec. Σε βάθος 20 περίπου μέτρων συναντάται κροκαλοπαγές και κατόπιν Αθηναϊκός σχιστόλιθος.

### **ΚΕΔΕ (ATH-03)**

Πρόκειται για επιφανειακή καταγραφή στο ισόγειο κτιρίου του Κέντρου Ερευνών Δημοσίων Έργων. Σύμφωνα με τους Gazetas et al (2002) η κατατομή στην εν λόγω θέση αποτελείται από:

- α. ένα εδαφικό στρώμα πάχους 10 m περίπου, αποτελούμενο από μαργαϊκή αμμώδη άργιλο, με μέση ταχύτητα 320 με 400 m/s, και
- β. τον υποκείμενο μαλακό βράχο που χαρακτηρίζεται από δυστημσία παρόμοια με αυτήν της βάσης στο Μοναστηράκι (περί τα 700 m/s).

### **ΓΥΣ (ATH-04)**

Πρόκειται για επιφανειακή καταγραφή στο σε κτίριο της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού. Σύμφωνα με τους Bouckovalas et al (2002) συναντώνται 12 περίπου μέτρα αργίλου με ταχύτητα  $V_S$  μεγαλύτερη από 250 m/sec που υπέρκειται αποσαθρωμένου Αθηναϊκού σχιστόλιθου.

### **Σημείωση :**

Ερευνητές του ΙΤΣΑΚ (Αναστασιάδης – προσωπική επικοινωνία) προσδιόρισαν μέσω δοκιμών Crosshole και Downhole τις ταχύτητες  $V_S$  στις τρεις θέσεις που προηγήθηκαν (ATH-02, ATH-03, ATH-04), και τις βρήκαν ελαφρώς αυξημένες σε σχέση με αυτές των Bouckovalas et al (2002) και Gazetas et al (2002).

Όσον αφορά την θέση ATH-02, διαπιστώθηκε ότι η  $V_S$  κυμαίνεται περί τα 500 m/sec μέχρι τα 10 m, και μετά αυξάνεται απότομα. (βλ. Παρ. 2, Σχ. 8). Όσον αφορά την θέση ATH-03 διαπιστώθηκε ότι η  $V_S$  κυμαίνεται περί τα 400 m/sec μέχρι τα 15 m, αυξάνεται περί τα 600 m/sec μέχρι τα 30 m, και είναι > 800 μετά τα 30 m (βλ. Παρ. 2, Σχ. 9). Όσον αφορά την θέση ATH-04, διαπιστώθηκε ότι η  $V_S$  υπερβαίνει τα 500 m/sec μέχρι τα 12 m, και μετά αυξάνεται απότομα, ξεπερνώντας και τα 1200 m/sec (βλ. Παρ. 2, Σχ. 10).

## Θέσεις Καταγραφής Μετασεισμών

### Αδάμες

Κατά το σεισμό της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 παρατηρήθηκε ιδιαίτερος υψηλή συγκέντρωση βλαβών σε κατοικίες και κτίρια βιομηχανικής χρήσεως που βρίσκονταν σε περιοχές γειτνιάζουσες με τα πρηνή του Κηφισού ποταμού ή των παραποτάμων του. Μία τέτοια περιοχή που εμφάνισε απρόσμενα πολλές βλάβες ήταν η περιοχή των Αδαμών, η οποία συνορεύει με τα πρηνή του Κηφισού, εκεί που ο ποταμός παρουσιάζει το βαθύτερο σημείο του. Με σκοπό να διερευνηθεί εάν και κατά πόσο το συγκεκριμένο τοπογραφικό ανάγλυφο ή και η εδαφική κατατομή (προφίλ) συνετέλεσαν στην συγκέντρωση και ανομοιόμορφη κατανομή των βλαβών που παρατηρήθηκε σε μία ζώνη 300 περίπου μέτρων από την παρειά του πρηνούς, ερευνητές διεξήγαγαν αναλύσεις κυματικής διάδοσης σε μία και δύο διαστάσεις (βλ. Gazetas et al 2002). Τα αποτελέσματά τους δείχνουν ότι η επίδραση της τοπογραφίας είναι σημαντική μόνον σε μία ζώνη 50 περίπου μέτρων από την παρειά του πρηνούς, αλλά η επίδραση αυτή γίνεται έντονη εάν και εφόσον ληφθούν υπόψη οι σχετικώς μαλακές εδαφικές στρώσεις που εντοπίστηκαν ακόμα και σε μεγάλα βάθη.

Τοπογραφική μελέτη της περιοχής κατέληξε για το πρηνές της χαράδρας σε μία μέση κλίση 2 : 1 (μήκος προς ύψος), και βάθος 40 περίπου μέτρων. Γεωτεχνική έρευνα (του ΚΕΔΕ) βοήθησε στον προσδιορισμό των υπεδαφικών συνθηκών και την εκτίμηση των ταχυτήτων διαδόσεως διατμητικού κύματος (βλ. Παρ. 2, Σχ. 11). Οι γεωτρήσεις B1 και B2 αφορούν το όργανο ADAM που βρίσκεται κοντά στα πρηνή του ποταμού, ενώ οι γεωτρήσεις B3 και B4 βρίσκονται δίπλα στα όργανα FARA και FAR, τα οποία είναι εγκατεστημένα στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου της εταιρείας FARAN.

Οι Gazetas et al (2002), αξιολογώντας τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων και των δοκιμών Crosshole, κατέληξαν στα εξής γενικά συμπεράσματα για την περιοχή των Αδαμών :

- Οι γεωτρήσεις συνάντησαν εναλλασσόμενες στρώσεις ιλυωδών άμμων με χαλίκια και αμμωδών αργίλων με χαλίκια μέχρι ένα βάθος 20 – 30 m. Σε μερικές γεωτρήσεις εντοπίστηκαν παρεμβλλόμενα στρώματα αμμολίθου ή μάργας.
- Υπάρχει μία αδρή ποιοτική συμφωνία μεταξύ των τιμών  $N_{SPT}$  και  $V_s$ , αν και η παρουσία τεμαχίων ασβεστολίθου σε ορισμένες στρώσεις οδηγεί σε πλασματική αύξηση των τιμών  $N_{SPT}$  και δυσχεραίνει την ποσοτική συσχέτιση.
- Οι προσεγγιστικές μέσες ταχύτητες  $V_s$  των εδαφικών στρωμάτων είναι ενδεικτικές εδαφών που χαρακτηρίζονται από πολύ σκληρά έως μετρίως σκληρά.



- Μολονότι δεν εντοπίσθηκε βραχώδες υπόβαθρο στο βάθος των 80 m, τα στρώματα κάτω από τα 30 m περιλαμβάνουν μαλακούς βράχους (μάργες και αμμολίθους) με ταχύτητες 550 έως 800 m/s.

Σημειώνεται ότι για τα γεωτεχνικά στοιχεία που ακολουθούν χρησιμοποιήθηκε το Σχεσιακό Σύστημα Διαχείρισης Γεωτεχνικών Δεδομένων «HELGEORDAS» που έχει αναπτυχθεί στον Τομέα Γεωτεχνικής του Ε.Μ.Π., και το οποίο περιλαμβάνει περισσότερες από 2000 γεωτεχνικές έρευνες σε διάφορες θέσεις του Λεκανοπεδίου της Αθήνας (βλ. Αντωνίου 2003). Αξιοποιώντας στοιχεία γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή της κάθε θέσης πραγματοποιείται μία ποιοτική περιγραφή των εδαφικών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε θέση. Εξαίρεση αποτελεί η περιοχή των Θρακομακεδόνων για την οποία χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της γεωλογικής μελέτης (Κεφ. 1).

### **Μεταμόρφωση – Δημαρχείο (MET)**

Με βάση πληθώρα γεωτρήσεων που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη του ενός χιλιομέτρου από το Δημαρχείο της Μεταμόρφωσης διαπιστώνεται ότι εμφανίζεται μία επιφανειακή αργιλική στρώση πάχους 4 περίπου μέτρων με μέση ταχύτητα  $V_s$  περί τα 300 m/sec, και κατόπιν εντοπίζεται μάργα με ταχύτητα  $V_s$  μεγαλύτερη από 600 m/sec. Το απλοποιημένο χαρακτηριστικό προφίλ διακρίνεται στο Παρ. 2, Σχ. 12.

### **Μενίδι – Δημαρχείο (MND)**

Τόσο από στοιχεία παρακείμενης γεώτρησης, όσο και από το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής διαπιστώνεται ότι το Δημαρχείο του Μενιδίου και το αντίστοιχο καταγραφικό όργανο βρίσκεται σε επιφανειακή εκδήλωση βράχου.

### **Άνω Λιόσια – Δημαρχείο (ALS) και ΟΤΕ (MC-ALS)**

Συνεκτιμώντας τα αποτελέσματα διαφόρων παρακειμένων γεωτρήσεων προκύπτει ότι για στην θέση του Δημαρχείου συναντώνται 25 περίπου μέτρα στρώσεων αργιλώδους άμμου που υπέρκεινται κροκαλοπαγούς. Η ταχύτητα  $V_s$  της αργιλώδους άμμου εκτιμάται μεταξύ 250 και 350 m/sec. Στην θέση του ΟΤΕ η εικόνα είναι παρόμοια με την διαφορά ότι το βάθος των μαλακών σχηματισμών είναι ελαφρώς μεγαλύτερο (περί τα 30 m) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 13 και

14). Σημειώνεται ότι, στα πλαίσια εκπόνησης μικροζωνικής μελέτης του Δήμου Ανω Λιοσίων, πραγματοποιήθηκαν γεωφυσικές διασκοπήσεις Downhole και Crosshole, κατά τις οποίες μετρήθηκαν με σχετική ακρίβεια η ταχύτητα  $V_s$  σε 10 περίπου χαρακτηριστικές θέσεις.

#### **Καματερό – Γήπεδο Handball (KAM)**

Το Γήπεδο Handball του Καματερού βρίσκεται στη θέση Γεροβουνό, όπου παρουσιάζονται σαφείς επιφανειακές μαργαϊκές εκδηλώσεις. Παρόλα αυτά, λόγω αποσάθρωσης και επιχώσεων, οι επιφανειακές στρώσεις είναι σχετικώς μαλακές σε ένα βάθος 3 έως 4 m. Το απλοποιημένο χαρακτηριστικό προφίλ διακρίνεται στο Παρ. 2, Σχ. 15.

#### **Θρακομακεδόνες – Μ. Αλεξάνδρου (TRM)**

Σύμφωνα με την έκθεση του καθηγητή Παυλίδη, στην περιοχή των Θρακομακεδόνων συναντάται μια μεγάλη ποικιλία λιθολογικών τύπων, μη συνεκτικών, όπως κροκαλοπαγή, ερυθροστρώματα, κορήματα, κροκαλολατυποπαγή, άμμοι, άργιλοι, οργανικά στρώματα κ.α.

#### **Παλαιό Φάληρο – Ευγενίδειο**

Με βάση επτά γεωτρήσεις σε απόσταση 300 περίπου μέτρων από το Ευγενίδειο Ιδρυμα προκύπτει ότι, αν και δεν αποκλείονται μερικές δεκάδες εκατοστά επιχώσεων, στην θέση του οργάνου η μάργα βρίσκεται σχεδόν στην επιφάνεια ως επιφανειακή εκδήλωση βράχου.

#### **Κορυδαλός – Δημαρχείο**

Αν και οι διαθέσιμες γεωτρήσεις βρίσκονταν σε απόσταση μεγαλύτερη του ενός χιλιόμετρου από τη θέση του Δημαρχείου, μέσω παρεμβολής κρίνεται ότι το βραχώδες υπόβαθρο βρίσκεται στα 3 περίπου μέτρα, ενώ υπέρκειται επιφανειακές στρώσεις επιχώσεων (βλ. Παρ. 2, Σχ. 16)

#### **Αγ. Ιωάννης Ρέντης**

Με βάση τα αποτελέσματα γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή, στην θέση του Δημαρχείου συναντώνται σχετικώς μαλακές αργλικές προσχώσεις του Κηφισού σε βάθος μεγαλύτερο των 20 – 25 m. Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία είναι αδύνατον να προσδιορισθεί το βραχώδες υπόβαθρο.

## **ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ**

### **Θέσεις Καταγραφής Κυρίου Σεισμού**

Όσον αφορά τις θέσεις καταγραφής του κυρίου σεισμού, υπενθυμίζεται ότι οι περισσότερες απ' αυτές βρίσκονται μέσα ή δίπλα σε κατασκευές – σταθμούς του Μετρό. Η αλληλεπίδραση των σταθμών με το έδαφος είχε ως συνέπεια την πολυδιάστατη διάθλαση και ανάκλαση σεισμικών κυμάτων, με αποτέλεσμα η μονοδιάστατη θεωρία να μην δύναται να εκτιμήσει ρεαλιστικώς τα καταγεγραμμένα επίπεδα φασματικής ενίσχυσης.

### **Μοναστηράκι (MNSA)**

Οι Gazetas et al 2002 υποστηρίζουν ότι η σχετικώς μεγάλη επιτάχυνση (0.51 g) του κυρίως σεισμού που καταγράφηκε κατά την μία μόνον διεύθυνση στο σταθμό του Μοναστηρακίου οφείλεται στην ύπαρξη υπογείων έργων και έργων αντιστηρίξεως δίπλα στο καταγραφικό όργανο MNSA. Μάλιστα δε, οι ανάστροφες αναλύσεις τους απέδειξαν ότι η επιτάχυνση ελευθέρου πεδίου κυμαίνεται περί τα 0.35 g (βλ. Παρ. 2, Σχ. 17), τιμή συγκρίσιμη με αυτές που καταγράφηκαν σε γειτονικούς σταθμούς (όπως KEDE και SGMA).

### **Μετρό – Σύνταγμα (SGMA & SGMB)**

Και σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν υπόνοιες ότι οι καταγραφές έχουν επηρεαστεί από την παρουσία του σταθμού. Σύμφωνα με την μονοδιάστατη θεώρηση ο σχηματισμός είναι σχετικώς εύκαμπτος παρουσιάζοντας μέγιστη ενίσχυση περί τα 3.5 Hz (ή 0.3 sec) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 18).

### **Μετρό – Σεπόλια (SPLA & SPLB)**

Στην περίπτωση των Σεπολίων η μονοδιάστατη ανάλυση οδηγεί σε θεμελιώδη ιδιοσυχνότητα περί τα 6 Hz (ή 0.15 sec) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 19). Οι Bouckovalas et al (2002) υποστηρίζουν ότι μόνον κατά την διεύθυνση Trans η μονοδιάστατη θεώρηση είναι ρεαλιστική.

### **Μετρό – Πεντάγωνο (PNT)**

Αν και τα γεωτεχνικά στοιχεία για την εν-λόγω θέση δεν είναι αξιόπιστα, σύμφωνα με την μονοδιάστατη θεώρηση ο σχηματισμός είναι σχετικώς εύκαμπτος παρουσιάζοντας μέγιστη ενίσχυση περί τα 3.5 Hz (ή 0.3 sec) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 20).

### **Μετρό – Δάφνη (DFN)**

Ο σχηματισμός παρουσιάζεται αρκετά δύσκαμπτος, καθώς η μονοδιάστατη ανάλυση δίνει θεμελιώδη ιδιοσυχνότητα περί τα 9 Hz (ή 0.11 sec) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 21).

### **Μετρό – Συγγρού (FIX)**

Ο σχηματισμός παρουσιάζεται πολύ δύσκαμπτος, καθώς η μονοδιάστατη ανάλυση δίνει θεμελιώδη ιδιοσυχνότητα περί τα 14 Hz (ή 0.07 sec) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 22).

### **Δημόκριτος (DMK)**

Καθώς πρόκειται για επιφανειακή εκδήλωση βράχου δεν αναμένεται φασματική ενίσχυση στις συχνότητες ενδιαφέροντος (έως τα 20 Hz).

### **Νέο Ψυχικό (ATHA)**

Σύμφωνα με την μονοδιάστατη θεώρηση ο σχηματισμός είναι σχετικώς εύκαμπτος παρουσιάζοντας μέγιστη ενίσχυση στα 5 Hz (ή 0.2 sec) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 23).

### **Χαλάνδρι (ATH-2)**

Σύμφωνα με την μονοδιάστατη θεώρηση ο σχηματισμός παρουσιάζει μέγιστη ενίσχυση περί τα 8 Hz (ή 0.12 sec) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 24).

### **ΚΕΛΕ (ATH-3)**

Σύμφωνα με την μονοδιάστατη θεώρηση ο σχηματισμός παρουσιάζει μέγιστη ενίσχυση περί τα 7 Hz (ή 0.16 sec) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 25).

### **Κυψέλη – ΓΥΣ (ΑΤΗ-4)**

Ο σχηματισμός παρουσιάζεται αρκετά δύσκαμπτος, καθώς η μονοδιάστατη ανάλυση δίνει θεμελιώδη ιδιοσυχνότητα περί τα 11 Hz (ή 0.09 sec) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 26).

### **Θέσεις Καταγραφής Μετασεισμών**

#### **Αδάμες**

Στην περιοχή των Αδαμών, όπως προαναφέρθηκε, η επίδραση της τοπογραφίας είναι σημαντική, αλλά η επίδραση αυτή γίνεται έντονη εάν και εφόσον ληφθούν υπόψη οι σχετικώς μαλακές εδαφικές στρώσεις που εντοπίστηκαν ακόμα και σε μεγάλα βάθη.

Στο Σχήμα 27 του παραρτήματος 2 παρουσιάζονται οι καμπύλες τοπογραφικής επιδείνωσης (λόγος δισδιάστατης προς μονοδιάστατη ενίσχυση) που υπολόγισαν οι Gazetas et al (2002) για την περιοχή των Αδαμών. Σημειώνεται ότι μετασεισμικές καταγραφές (Διαγουρτάς – προσωπική επικοινωνία) επιβεβαιώνουν με σχετική ακρίβεια τους συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης που υπολογίστηκαν μέσω των αριθμητικών προσομοιωμάτων και αναλύσεων.

### **Μεταμόρφωση – Δημαρχείο (MET)**

Ο σχηματισμός παρουσιάζεται πολύ δύσκαμπτος, καθώς η μονοδιάστατη ανάλυση δίνει θεμελιώδη ιδιοσυχνότητα περί τα 18 Hz (ή 0.07 sec) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 28).

### **Μενίδι – Δημαρχείο (MND)**

Καθώς πρόκειται για επιφανειακή εκδήλωση βράχου (μάργας) δεν αναμένεται φασματική ενίσχυση στις συχνότητες ενδιαφέροντος (έως τα 20 Hz).

### **Άνω Λιόσια – Δημαρχείο (ALS) και ΟΤΕ (MC-ALS)**

Σύμφωνα με την μονοδιάστατη θεώρηση ο σχηματισμός είναι σχετικώς εύκαμπτος παρουσιάζοντας μέγιστη ενίσχυση περί τα 3.5 Hz (ή 0.3 sec) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 29 και 30).

### **Καματερό – Γήπεδο Handball (KAM)**

Ο σχηματισμός παρουσιάζεται πολύ δύσκαμπτος, καθώς η μονοδιάστατη ανάλυση δίνει θεμελιώδη ιδιοσυχνότητα μεγαλύτερη από 20 Hz (ή 0.05 sec) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 31).

#### **Θρακομακεδόνες – Μ. Αλεξάνδρου (TRM)**

Μολονότι το έδαφος στη θέση του οργάνου θα μπορούσε να θεωρηθεί ημίβραχος, η μεγάλη μεταβλητότητα των εδαφικών συνθηκών δεν επιτρέπει την αξιόπιστη κατάστρωση προσομοιώματος.

#### **Παλαιό Φάληρο – Ευγενίδειο**

Καθώς πρόκειται για επιφανειακή εκδήλωση βράχου (μάργας) δεν αναμένεται φασματική ενίσχυση στις συχνότητες ενδιαφέροντος (έως τα 20 Hz).

#### **Κορυδαλός – Δημαρχείο**

Ο σχηματισμός παρουσιάζεται πολύ δύσκαμπτος, καθώς η μονοδιάστατη ανάλυση δίνει θεμελιώδη ιδιοσυχνότητα μεγαλύτερη από 20 Hz (ή 0.05 sec) (βλ. Παρ. 2, Σχ. 32).

#### **Αγ. Ιωάννης Ρέντης**

Η έλλειψη στοιχείων για το βραχώδες υπόβαθρο δεν επιτρέπει την αξιόπιστη χρήση της μονοδιάστατης θεώρησης. Απαιτείται γεωφυσική διερεύνηση για τον εντοπισμό του σεισμικού υποβάθρου.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εξετάζοντας τα στοιχεία και τα αποτελέσματα του κεφαλαίου, καταλήγουμε στα εξής γενικά συμπεράσματα :

- η επίδραση υπογείων κατασκευών ενδέχεται να είναι σημαντική σε επιφανειακές καταγραφές (λόγω ανακλάσεων και διαθλάσεων των σεισμικών κυμάτων), και για τον λόγο αυτόν επιβάλλεται να λαμβάνεται ρεαλιστικώς υπόψη.
- οι τοπογραφικές συνθήκες σε συνδυασμό με την στρωματογραφία καθορίζουν σημαντικά την ένταση και το φασματικό περιεχόμενο του επιφανειακού σεισμικού κραδασμού. Για τον λόγο αυτόν στις περιπτώσεις έντονων τοπογραφικών ανωμαλιών η μονοδιάστατη θεώρηση κρίνεται ως ακατάλληλη.
- οι καμπύλες φασματικής ενίσχυσης παρουσιάζονται ιδιαίτερα ευαίσθητες στις μηχανικές ιδιότητες των εδαφικών στρώσεων, καθώς και στην θέση του κατά-σύμβαση σκληρού σεισμικού υποβάθρου.
- οι εμπειρικές συσχετίσεις της ταχύτητας διάδοσης διατμητικού κύματος  $V_S$  και του αριθμού κρούσεων  $N_{SPT}$  πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή, καθώς συνήθως αναφέρονται σε συγκεκριμένους τύπους εδαφών. Αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές της ταχύτητας  $V_S$  οδηγούν σε σημαντικά σφάλματα ως προς τις θεμελιώδεις ιδιοσυχνότητες του υποκείμενου σχηματισμού.
- σε μεγάλα επίπεδα επιταχύνσεων (και κατά συνέπεια διατμητικών παραμορφώσεων) η θεώρηση ιξωδο-ελαστικής συμπεριφοράς του εδάφους παύει να είναι ρεαλιστική. Για τον λόγο αυτόν οι ελαστικές καμπύλες φασματικής ενίσχυσης που υπολογίσθηκαν στο κεφάλαιο αυτό ισχύουν μόνον στην περίπτωση ασθενών μετασεισμικών δονήσεων, και δεν μπορούν να συγκριθούν με τις φασματικές ενισχύσεις ισχυρών καταγραφών.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Αττικό Μετρό. Τεχνική Έκθεση για τις Γεωτεχνικές Συνθήκες στις Θέσεις των Σταθμών.

Αντωνίου (2003). Εφαρμογές των Γεωγραφικών Συστημάτων πληροφοριών στη Γεωτεχνική Μηχανική, Διδακτορική Διατριβή, Τομέας Γεωτεχνικής Ε.Μ.Π.

Bouckovalas G. D., Kouretzis G. P., and Kalogeras I. S. (2002), Site-Specific Analysis of Strong Motion Data from the September 7, 1999 Athens, Greece Earthquake, Natural Hazards 27: 105-131.

Gazetas G., Kallou P.V., and Psarropoulos P.N. (2002), Topography and Soil Effects in the Ms 5.9 Parnitha (Athens) Earthquake: the case of Adames. Natural Hazards 27: 133-169.

Κουρετζής (2000). Γεωτεχνική Ανάλυση και Αξιολόγηση των Καταγραφών της Ισχυρής Κίνησης από τον Σεισμό της Αθήνας 07/09/1999. Μεταπτυχιακή Εργασία, Τομέας Γεωτεχνικής Ε.Μ.Π.

Kramer S. (1996) Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall Inc.

Ψαρρόπουλος Π., (2001). Αριθμητική Εδαφοδυναμική Προσομοίωση στη Σεισμική Ανάλυση Βάθρων και Ακροβάθρων Γεφυρών, Διδακτορική Διατριβή, Τομέας Γεωτεχνικής Ε.Μ.Π.