

ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ
ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Ραπτάκης, Δ. Γ. *, Πιτιλάκης, Κ. Δ. **, και Λοντζετίδης, Κ. Σ. ***

* Φυσικός Α. Π. Θ., Ερευνητής, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής Α. Π. Θ.

** Αναπληρωτής Καθηγητής, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής Α. Π. Θ.

*** Διπλ. Πολ. Μηχανικός Α. Π. Θ., Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής Α. Π. Θ.

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Η ακριβής γνώση των γεωμετρικών και δυναμικών χαρακτηριστικών των επιφανειακών εδαφικών σχηματισμών είναι βασικής σημασίας, στη Γεωτεχνική Αντισεισμική Μηχανική και γενικότερα στον αντισεισμικό σχεδιασμό των έργων πολιτικού μηχανικού. Στην εργασία, παρουσιάζεται μια μεθοδολογία που στηρίζεται στην Αναστροφή των κυμάτων επιφανείας, για τον προσδιορισμό της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων Vs και της στρωματογραφίας. Η σύγκριση με αποτελέσματα από δοκιμές Cross Hole, σε τρεις περιοχές της Θεσσαλονίκης, αποδεικνύει την αξιοπιστία και την ακρίβεια της μεθόδου.

SEISMIC PROSPECTING FOR THE ESTIMATION
OF DYNAMIC PROPERTIES OF SOIL FORMATIONS

Raptakis, D. G., Pitilakis, K. D. and Lontzetidis, K. S.

A B S T R A C T

The accurate knowledge of the dynamic properties and the geometry of the surficial soil formations is very important, in geotechnical earthquake engineering and generally in the aseismic design of civil engineering constructions. In this paper, an inversion of surface waves scheme for the determination of shear wave velocity Vs and stratigraphy (soil profile) is presented. The comparison with the results of crosshole tests, in three regions of Thessaloniki, demonstrates the credibility and precision of the method.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη Γεωτεχνική Αντισεισμική Μηχανική και ειδικότερα για την εκτίμηση της τοπικής εδαφικής απόκρισης και της ακαμψίας των επιφανειακών εδαφικών σχηματισμών, η γνώση της ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων Vs και της απόσβεσης Q, είναι θεμελιώδους σημασίας. Για πολλούς λόγους, η επιτόπια μέτρηση των παραμέτρων αυτών είναι περισσότερο αντιπροσωπευτική της γεωλογικής πραγματικότητας, χωρίς να μειώνεται η προσφορά, των εργαστηριακών δοκιμών (σε αδιατάρακτα δείγματα), ιδιαίτερα όταν απαιτείται η γνώση της μείωσης της ακαμψίας και αύξησης της απόσβεσης, με την

αύξηση της διατμητικής παραμόρφωσης.

Μεταξύ των σεισμικών επιτόπου μεθόδων διασκόπησης, διακρίνονται οι δοκιμές Cross-Hole (σεισμική μεταξύ γεωτρήσεων) και η Αναστροφή των Κυμάτων Επιφάνειας, όπου αξιοποιούνται οι χρόνοι άφιξης ορισμένων φάσεων του σήματος. Τα τελευταία χρόνια οι ψηφιακές καταγραφές δίνουν τη δυνατότητα, αποθήκευσης μεγάλου όγκου πληροφοριών και καλύτερης επεξεργασίας τους.

Οι πρώτες, προϋποθέτουν την ύπαρξη δύο τουλάχιστον γεωτρήσεων, και είναι κατά τεκμήριο από τις ακριβέστερες. Αποτρεπτικός παράγοντας ευρείας εφαρμογής τους, είναι το υψηλό κόστος, ειδικά όταν πρόκειται για μικροζωνικές μελέτες εδαφικής απόκρισης σε μεγάλη έκταση.

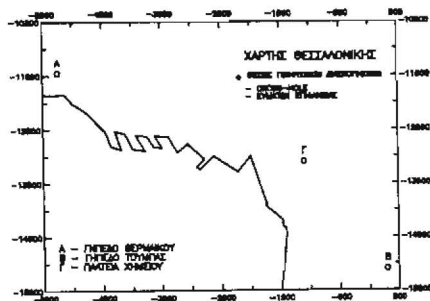
Η δεύτερη, χρησιμοποιείται από πολλά χρόνια, στη Σεισμολογία, για τη γνώση της δομής του εσωτερικού της Γης, από την ελεύθερη επιφάνεια του φλοιού μέχρι και τον επιφανειακό μανδύα (Ewing, W.M., et al., 1957). Αντίθετα, στη Γεωτεχνική και Αντισεισμική Μηχανική, η χρήση της μεθόδου, είναι σχετικά πρόσφατη. Σαν μέθοδος διασκόπησης, υπερτερεί σε σχέση με αυτή της σεισμικής διάθλασης S-κυμάτων, ως προς τη διακριτοποίηση εδαφικών στρώσεων με χαμηλότερες ταχύτητες των υπερκείμενων. Περιορισμός της μεθόδου είναι η επίπεδη στρωματογραφία. Μειονέκτημα της, η μακρά και επίπονη επεξεργασία (Jongmans, D., 1991).

Σκοπός της εργασίας, είναι η παρουσίαση της μεθόδου της αναστροφής, η εφαρμογή της και η σύγκριση των αποτελεσμάτων της με αυτά των Cross-Hole. Η αναστροφή των κυμάτων επιφάνειας σε διατμητικά επιτυγχάνεται, αφού προσδιορισθούν οι καμπύλες σκέδασης των ταχυτήτων ομάδας (ή/και φάσης), εισάγοντας ένα τεχνητό στρωματοποιημένο προσομοίωμα. Η εφαρμογή και των δύο μεθόδων, σε τρεις διαφορετικές περιοχές της Θεσσαλονίκης (Σχ.1), πραγματοποιήθηκε με εξοπλισμό και τεχνογνωσία του Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων του Α.Π.Θ.

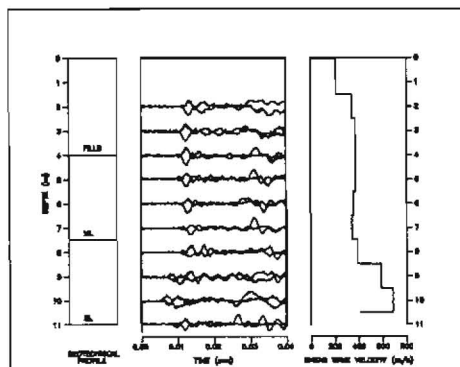
ΔΟΚΙΜΕΣ CROSSHOLE

Η μέθοδος Cross-Hole, βασίζεται στην εύρεση των χρόνων των πρώτων αφίξεων των απ'ευθείας P και S κυμάτων (Ραπτάκης, Δ., 1991). Οι χρόνοι διαδρομής χαρακτηρίζουν τους κείμενους κατά στρώσεις εδαφικούς σχηματισμούς (Σχ.2). Οι ταχύτητες V_p και V_s προσδιορίζονται από τους χρόνους διαδρομής των κυμάτων χώρου. Παρά το σχετικά εύκολο υπολογισμό των ταχυτήτων, στην πράξη, υπάρχουν δυσκολίες στην αναγνώριση των απ'ευθείας αφίξεων, που οφείλονται σε αιτίες όπως:

- οι προθύτερες αφίξεις διαθλώμενων και ανακλώμενων κυμάτων, ιδιαίτερα όταν η αντίθεση των ταχυτήτων, των διαδοχικών εδαφικών στρώσεων είναι μεγάλη,
- η αμοιβαία μετατροπή των P και S σε S και P κύματα αντίστοιχα, από την πρόσκρουση τους στις διεπιφάνειες, (Waters, K., 1985).
- τα κύματα που προέρχονται, από συμβολές και περιθλάσεις των διαφόρων τύπων κυμάτων,
- το είδος της πηγής (μηχανική/εκρηκτική)-που λόγω του κοντινού πεδίου-επηρεάζει το συχνοτικό περιεχόμενο του σήματος (McLamore, V.R., et al., 1978).
- η χρησιμοποίηση φίλτρων κατά τη λήψη του σήματος, που διαφοροποιούν τη μορφή του και το χρόνο άφιξης του (Ραπτάκης, Δ., 1991), (Staton, C.T., et al., 1978).



Σχ.1. Χάρτης του ευρύτερου πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης, με τις θέσεις (κύκλοι) των Γεωφυσικών Διασκοπήσεων (Αναστροφή των Κυμάτων Επιφάνειας, Cross-Hole).



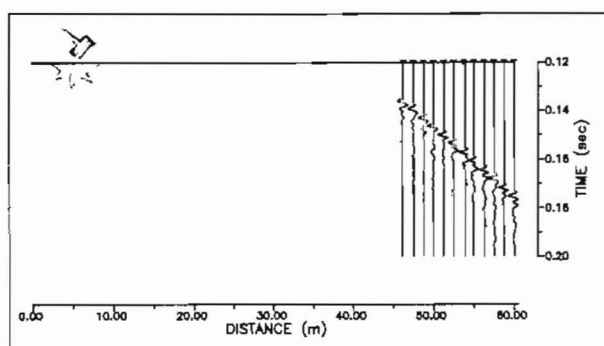
Σχ.2. Γεωτεχνική τομή, με τα τυπικά σειсмоγράμματα από δοκιμές Cross-hole (κέντρο), γεωτεχνικό προφίλ (αριστερά), προφίλ ταχυτήτων Vs, (δεξιά).

Στην εργασία αυτή, τα αποτελέσματα τους παρουσιάζονται κυρίως με σκοπό την σύγκριση των δύο μεθόδων.

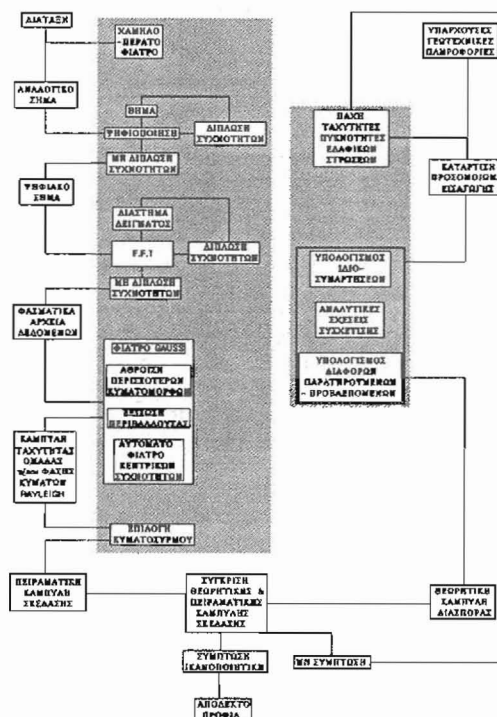
ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Η τεχνική λήψης του σήματος, στο οποίο δεσπόζουν τα κύματα επιφάνειας, είναι η κλασική της σεισμικής διάθλασης (Σχ.3). Τα κύματα Rayleigh αναγνωρίζονται από το μεγάλο πλάτος και τη σχετικά χαμηλή συχνότητά τους, διαδίδονται ως διαταραχές στα επιφανειακά στρώματα. Προκύπτουν από τα διαδιδόμενα παράλληλα στην επιφάνεια μετωπικά κύματα, τα οποία προέρχονται από συμβολές πολλαπλών ανακλάσεων, στις διεπιφάνειες εδαφικών στρωμάτων με διαφορετικές ταχύτητες και πυκνότητες. Η παγίδευση των κυμάτων αυτών, ιδιαίτερα στις υψηλές συχνότητες, στα επιφανειακά στρώματα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφορετικών κυματοσυρμών διάδοσης, σχηματικά ανάλογων των αρμονικών σ'ένα δονούμενο σύστημα (Jongmans, D., et al., 1990).

Χαρακτηρίζονται σκεδαζόμενα, από το γεγονός ότι η ταχύτητα τους μεταβάλλεται με τη συχνότητα. Το βάθος διεξόδυσής τους αυξάνει με την περίοδο. Αυτή ακριβώς η ιδιότητα της σκέδασης χρησιμοποιείται, διαμέσου μιας διαδικασίας αναστροφής, από τη μεταβολή των ταχυτήτων Rayleigh ομάδας U ή/και φάσης c με την περίοδο, για την επανάνκτηση των εγκαρσίων κυμάτων κατανεμημένων με το βάθος. Η ταχύτητα ομάδας, εκφράζει την ταχύτητα μεταφοράς της ενέργειας, ενώ η ταχύτητα φάσης αντιπροσωπεύει τη φαινόμενη ταχύτητα ενός αρμονικού όρου. Η ταχύτητα ομάδας προκύπτει από την ταχύτητα φάσης (Waters, K., 1985).



Σχ.3. Σεισμική γραμμή, της διάταξης πηγής και γεωφώνων με τα αντίστοιχα σειсмоγράμματα.



Σχ.4. Σχεδιάγραμμα των φάσεων της ανάλυσης των κυμάτων Rayleigh (περιφεριακά), και οι επιμέρους επεξεργασίες ανά φάση (γραμμοσκιασμένα τμήματα).

Η ανάλυση των κυμάτων επιφάνειας, γίνεται κύρια σε δύο φάσεις σχεδόν ανεξάρτητες (Σχ.4). Στην πρώτη, προσδιορίζονται οι

πειραματικές καμπύλες σκέδασης, δηλ. η μεταβολή της ταχύτητας U ή/και c σε σχέση με τη συχνότητα, με βάση τα σειсмоγράμματα (Dziwonski, A.M. and Hales, A.L., 1972). Στη δεύτερη, υπολογίζονται οι θεωρητικές καμπύλες σκέδασης μέσα από αναλυτικές σχέσεις, μεταξύ των χαρακτηριστικών της και της κατανομής των V_s , με το βάθος. Η διαδικασία της αναστροφής ολοκληρώνεται με τη σύγκριση των καμπυλών σκέδασης, που προκύπτουν από τις δυο φάσεις. Στην περίπτωση, που η θεωρητική καμπύλη προσεγγίζει την πειραματική, το υποθετικό προσομοίωμα εισαγωγής γίνεται αποδεκτό και αντιπροσωπεύει την εδαφική τομή. Αντίθετα, όταν δεν υπάρχει ικανοποιητική προσέγγιση προτείνεται ένα νέο προσομοίωμα με διαφορετικά δυναμικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά, μέχρι να επιτευχθεί η σύγκλιση των καμπυλών σκέδασης (Ραπτάκης, Δ., κ.α. 1992).

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για τη σύνταξη της Μικροζωνικής Μελέτης του πολυεδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης, διενεργείται μια μεγάλης κλίμακας γεωφυσική έρευνα, με σκοπό την εκτίμηση της γεωμετρίας και των δυναμικών ιδιοτήτων των επιφανειακών σχηματισμών. Στα πλαίσια της έρευνας αυτής, έγιναν ισάριθμες μετρήσεις με τις δυο μεθόδους, σε τρεις περιοχές με διαφορετικά γεωτεχνικά χαρακτηριστικά (Σχ.1). Οι θέσεις αυτές, επιλέγησαν μεταξύ άλλων, με βασικό κριτήριο την δυνατότητα εφαρμογής στην ίδια τοποθεσία, και των δυο μεθόδων.

Για τις δοκιμές Cross-Hole χρησιμοποιήθηκε, ως πηγή, μηχανική σφύρα αμφίδρομης κρούσης, με επικρατέστερα στο σήμα, τα ανάστροφα κατακόρυφα πολωμένα κύματα διάτμησης (SV). Η ιδιότητά τους αυτή, κάνει σαφέστερες τις απευθείας αφίξεις τους (Σχ.2). Το αισθητήριο-χρονοδιακόπτης βρίσκεται πάνω στη σφύρα, γεγονός που αποτρέπει σφάλματα από τους έμμεσους υπολογισμούς στους χρόνους άφιξης των φάσεων που ενδιαφέρουν. Ένα, τριών συνιστωσών υδρόφωνο θ Hz, χρησιμοποιήθηκε ως δέκτης. Πηγή και δέκτης τοποθετούνται στο ίδιο σχετικό βάθος, για κάθε μέτρηση. Οι πυκνές μετρήσεις (κάθε 1-2 m βάθους) και στις τρεις περιπτώσεις, επέτρεψαν τον εντοπισμό των πλέον λεπτών ενστρώσεων. Οι αποστάσεις μεταξύ των γεωτρήσεων εκπομπής και λήψης, και στα τρία ζεύγη δεν ξεπέρασαν τα 5m περίπου, επιλογή η οποία βοήθησε στην απαλλαγή του σήματος από τις ανεπιθύμητες πρόδρομες αφίξεις. Τα βάθη των γεωτρήσεων όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κυμάνθηκαν από 20 μέχρι 40 m. Για κάθε μια περίπτωση, οι τιμές των V_s που υπολογίστηκαν από τις επιτόπιες δοκιμές, συσχετίστηκαν με γνωστές συμβατικές γεωτεχνικές παραμέτρους, όπως και με τις τιμές V_s που μετρήθηκαν σε αδιατάρακτα δείγματα, στο εργαστήριο, (Pitilakis, K.D., et al., 1992).

Οι θέσεις, όπου εφαρμόστηκε η μέθοδος Cross-Hole σαρώθηκαν από μεγάλο αριθμό σεισμικών γραμμών με μήκη, που κυμάνθηκαν από 60 μέχρι 85 μ. περίπου. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά δυο είδη πηγών, τουφέκι και σφύρα για αποστάσεις πηγής-δέκτη 50 και 30 m περίπου, αντίστοιχα. Ως δέκτες δε γέωφωνα ιδιοσυχνότητας 4.5Hz. Οι καμπύλες σκέδασης υπολογίστηκαν με τη χρήση λογισμικού Herrmann (Herrman, R.B., 1989). Ειδικότερα, οι σχηματισμοί και τα αποτελέσματα για κάθε μία θέση από τις τρεις περιγράφονται αναλυτικά ως εξής:

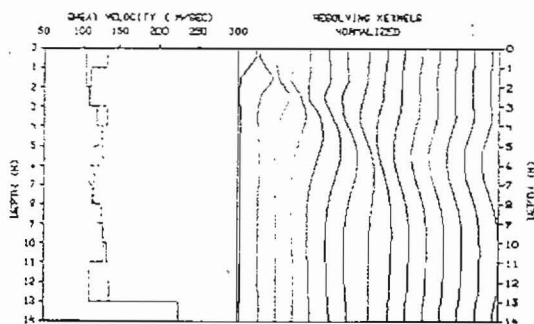
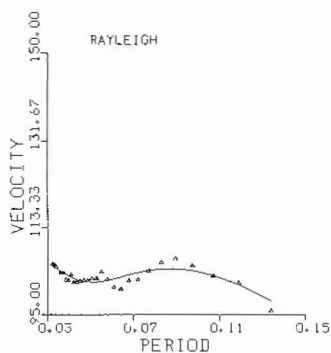
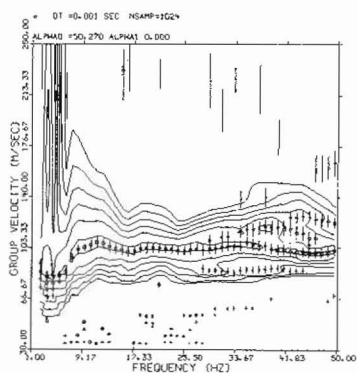
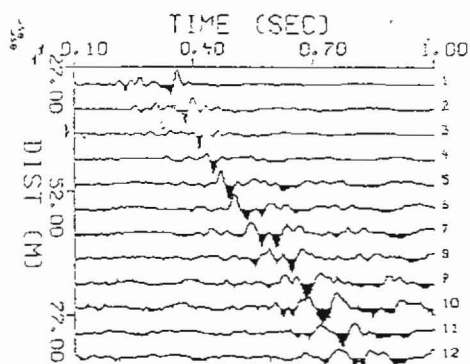
- Θέση Α (Γήπεδο Θερμαϊκού). Στην ευρύτερη περιοχή, συναντώνται επιφανειακά, χαλαροί αμμοιλυώδεις σχηματισμοί χαμηλών σχετικά ταχυτήτων V_s , 100-150 m/s, περίπου. Ακολουθεί στιφρή άργιλος που συνεχίζεται σε μεγάλο βάθος. Η σεισμική γραμμή που χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη του σήματος ήταν 85 m, (Σχ.5α). Ως πηγή χρησιμοποιήθηκε σφύρα. Η πειραματική καμπύλη σκέδασης, της ταχύτητας ομάδας (Σχ.5β), υπολογίσθηκε αθροίζοντας όλες τις κυματομορφές. Αναστράφηκε, υιοθετώντας ένα αρχικό προσομοίωμα 14 ισόπαχων στρωμάτων, του 1m, παίρνοντας υπόψη το μήκος της καμπύλης που αντιστοιχεί στη ζώνη των συχνοτήτων από 7.5 ως 33 Hz, περίπου. Στις μεγαλύτερες συχνότητες η καμπύλη γίνεται ασταθής. Η σύγκλιση θεωρητικής και πειραματικής καμπύλης σκέδασης που προέκυψε από την αναστροφή, είναι η ζητούμενη σ'όλο σχεδόν το μήκος τους, με μικρή σχετικά απόκλιση στο διάστημα των περιόδων 0.05-0.075 s, (Σχ.5γ). Στη τελική εδαφοδυναμική τομή (Σχ.5δ), η συσχέτιση των τιμών V_s , που προέκυψαν από τις δυο μεθόδους, είναι ικανοποιητική μέχρι το βάθος των 12-14 m, αφού η σχετική τους απόκλιση δεν ξεπερνάει το 20%. Ενδεικτικό, της ακρίβειας της μεθόδου της αναστροφής είναι ο εντοπισμός στα 13m βάθους ενός στρώματος αμμοχάλικου, πάχους 2m.

- Θέση Β (Γήπεδο Τούμπας). Το έδαφος χαρακτηρίζεται από μια επαλληλία στρώσεων κόνινης σκληρής αργίλου και αργιλωδους αμμοχάλικου με ταχύτητες V_s κυμαινόμενες από 350-700 m/s, περίπου. Το μήκος όλης της διάταξης είναι 58 m. Τα σειсмоγράμματα (Σχ.6α) που ελήφθησαν, επειδή περιείχαν ανακλώμενα κύματα (οι δεύτερες περιβάλλουσες ακολουθούν τις πρώτες με σταθερή χρονική υστέρηση), από παρακείμενη κατασκευή, φιλτραρίσθηκαν με χρονικό παράθυρο για να προκύψουν τα προς επεξεργασία (Σχ.6β) σήματα. Για την παραγωγή του σήματος χρησιμοποιήθηκε τουφέκι. Γεγονός που φαίνεται και από το υψίσυχο περιεχόμενο του σήματος, σε αντίθεση με αυτό στο γήπεδο του Θερμαϊκού. Η καμπύλη των ταχυτήτων ομάδας (Σχ.6γ) εμφανίζει ευστάθεια στο εύρος 40-70 Hz. Σε μικρότερες συχνότητες των 30 Hz, η καμπύλη γίνεται ασταθής, όπως άλλωστε δείχνουν και οι ισοενεργειακές καμπύλες. Η σύγκλιση θεωρητικής και πειραματικής καμπύλης είναι ικανοποιητική (Σχ.6δ).

Το προσομοίωμα εισαγωγής είναι 22 m, με πάχη στρώσεων από 2 και 4 m (Σχ.6ε). Η ανάλυση, όπως δείχνουν και οι καμπύλες K_{eff} nels, είναι αξιόπιστη μέχρι τα 16 m. περίπου. Η συσχέτιση των V_s κρίνεται πολύ καλή. Στην στρώση από 4 ως 8 m, υπάρχει μια αναμενόμενη μικρή απόκλιση, αφού η σύγκλιση των καμπυλών στο διάστημα 0.018-0.022 s, είναι ευρεία.

- Θέση Γ (Πλατεία Χημείου Α.Π.Θ.). Επιφανειακά, και μέχρι τα 8 m βάθους περίπου, συναντώνται τεχνητές αποθέσεις. Μέχρι το βραχώδες υπόβαθρο (περίπου 60 m βάθους), συναντάται η κόνινη σκληρή άργιλος, τυπικό έδαφος της Θεσσαλονίκης με υψηλές σχετικά ταχύτητες V_s . Το μήκος της συνολικής διάταξης δεν ξεπέρασε τα 60 m (Σχ.7α) και ως πηγή χρησιμοποιήθηκε τουφέκι. Οι συνθήκες λήψης του σήματος ήταν οι χειρότερες σε σχέση με τις άλλες δύο θέσεις. Τεχνητές αποθέσεις (μπάζα), ρίζες δένδρων και κατασκευές, επέδρασαν αρνητικά στο ενεργειακό περιεχόμενο των κυμάτων Rayleigh, γεγονός που φαίνεται και από τη συγκέντρωση των ισοενεργειακών καμπυλών (Σχ.7β). Η πειραματική καμπύλη σκέδασης σε συχνότητες χαμηλότερες των 42 Hz, παρουσιάζει μεγάλη ενεργειακή διασπορά, με επίπτωση σε τελική ανάλυση στο βάθος διεξόδου του κύματος και άρα στις πληροφορίες για τα βαθύτερα στρώματα. Η σύγκλιση θεωρητικής και πειραματικής καμπύλης

εκτιμάται σχετικά καλή, μέχρι τις περιόδους των 0.022 ms περίπου (Σχ.7γ). Το προτεινόμενο προσομοίωμα περιλάμβανε στρώσεις με πάχη του 1 και 2 m (Σχ.7δ).

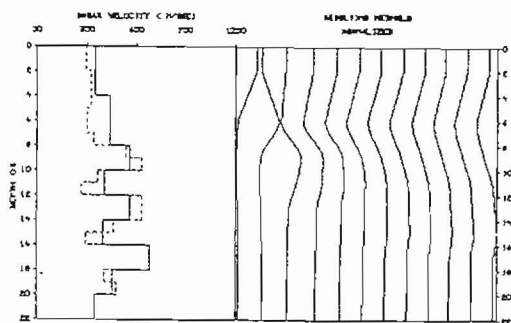
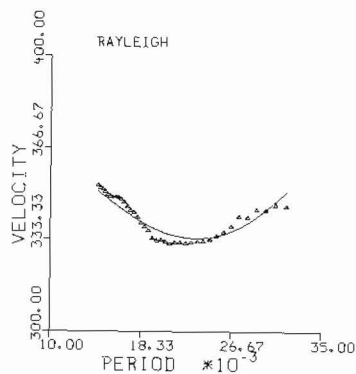
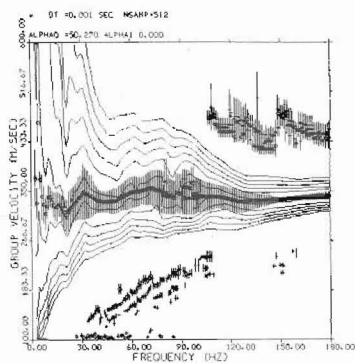
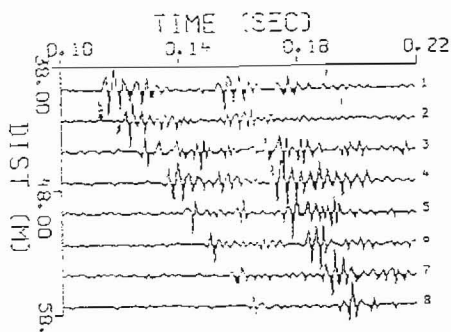
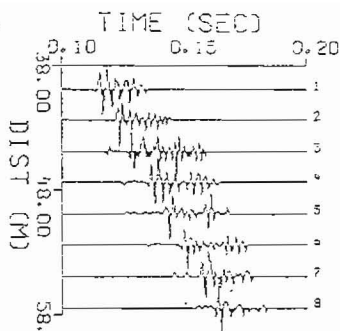


Σχ.5α. Τα σειсмоγράμματα όπως ελήφθησαν για την μέθοδο της Αναστροφής.

Σχ.5β. Η πειραματική καμπύλη σκέδασης των ταχυτήτων των κυμάτων Rayleigh, σε συνάρτηση με την συχνότητα f .

Σχ.5γ. Σύγκριση πειραματικής (τριγωνικά σύμβολα) καμπύλης και θεωρητικής (συνεχής γραμμή) των ταχυτήτων Rayleigh, σε σχέση με την περίοδο.

Σχ.5δ. Η τελική κατανομή των Vs (αριστερά), με το βάθος, με τη μέθοδο της Αναστροφής (συνεχής γραμμή) και με τη μέθοδο Cross-hole (διακεκομμένη γραμμή), σε αμοιβαία σύγκριση, στα ίδια βάθη. Οι αιχμές Kernels (δεξιά), δείχνουν τη σταθερότητα της επίλυσης, σε κάθε εδαφική στρώση, της μεθόδου της Αναστροφής.



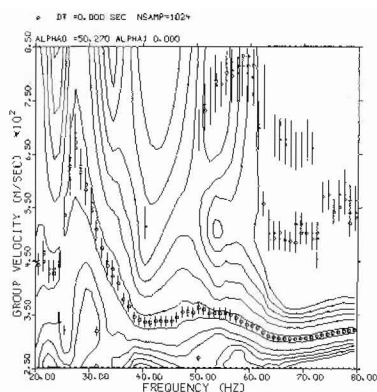
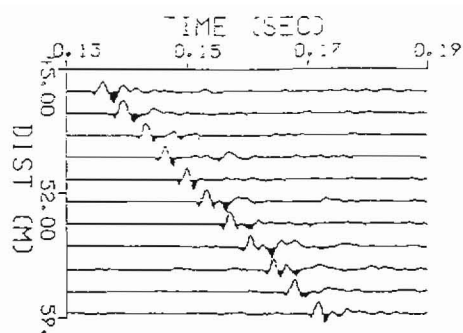
Σχ.6α. Οι καταγραφές, χωρίς φίλτρο στο πεδίο του χρόνου.

Σχ.6β. Τα σειсмоγράμματα του σχ.6α φιλτραρισμένα με φίλτρο-παράθυρο στο πεδίο του χρόνου.

Σχ.6γ. Η καμπύλη σκέδασης των ταχυτήτων ομάδας, όπως υπολογίσθηκε με βάση τα σειсмоγράμματα του σχ.6β

Σχ.6δ. Η αντίστοιχη σύγκλιση, πειραματικής και θεωρητικής καμπύλης σκέδασης.

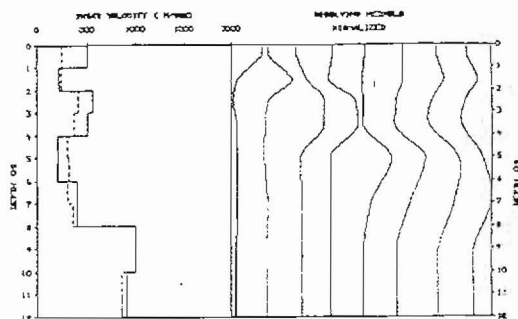
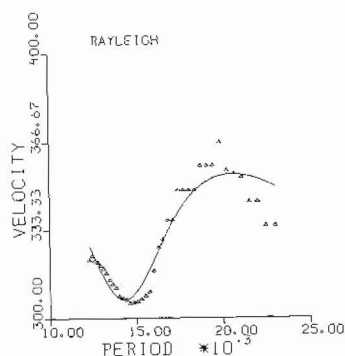
Σχ.6ε. Η τελική εδαφοδυναμική τομή και συσχέτιση των τιμών Vs, στα ίδια βάθη, όπως υπολογίσθηκαν με τις δυο μεθόδους. (η διάκριση όπως στο σχ.5δ).



Σχ.7α. Τα σειсмоγράμματα της σεισμικής γραμμής Α-Δ.

Σχ.7β. Η καμπύλη σκέδασης των ταχυτήτων ομάδας, με βάση πέντε σειсмоγράμματα του σχ.7α.

Η τελική εδαφοδυναμική τομή μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστη τουλάχιστον μέχρι τα 8 m περίπου, για τους λόγους που εκτέθηκαν παραπάνω. Η προσέγγιση των V_s , με εξαίρεση το πρώτο μέτρο, θεωρείται σχετικά καλή, δεδομένης και της ετερογενούς φύσης του υλικού, αυτού του επιφανειακού σχηματισμού.



Σχ.7γ. Η αντίστοιχη σύγκριση, πειραματικής και θεωρητικής καμπύλης σκέδασης.

Σχ.7δ. Η τελική εδαφοδυναμική τομή και συσχέτιση των τιμών V_s .

Τα αποτελέσματα και για τις τρεις περιπτώσεις κρίνονται ως ιδιαίτερα θετικά, αν παρθούν υπόψη διάφοροι αρνητικοί παράγοντες που αφορούν περιορισμούς της ίδιας της μεθόδου της αναστροφής, καθώς και τις επιτόπου συνθήκες εφαρμογής της. Περιορισμοί, είναι

η προϋπόθεση της σχετικά επίπεδης στρωματογραφίας καθώς η αδυναμία των υπάρχουσών πηγών να παράγουν ικανή ποσότητα ενέργειας σε χαμηλές συχνότητες, αφού το βάθος διείσδυσης του κύματος, είναι συνάρτηση του μέγιστου μήκους κύματος λ , $(1/3-1\lambda)$, (Heppmann, R.B. 1989). Όσον αφορά, τις συνθήκες της πόλης, χαρακτηριστικό παράδειγμα η περίπτωση του Χημείου, θεωρούνται από τις πλέον αντίξοες, για την εφαρμογή σύγχρονων γεωφυσικών μεθόδων. Εκτός από τους εγγενείς θορύβους της πόλης, μια περιοριστική παράμετρος είναι οι μικρές οριζόντιες διαστάσεις κατάλληλων χώρων για την ανάπτυξη των σεισμικών γραμμών. Το βάθος διείσδυσης είναι συνάρτηση του μήκους της όλης διάταξης. Θόρυβοι που επιδρούν στο συχνοτικό περιεχόμενο του σήματος οφείλονται σε δευτερογενείς "πηγές" όπως:

- η ύπαρξη ποικιλόμορφων κατασκευών και επιφανειακών δικτύων Κοινής Ωφέλειας, στο κοντινό πεδίο, που προκαλούν ανακλώμενα και περιθλώμενα κύματα, (Raptakis, D., 1991).
- ο εγγενής θόρυβος, σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων των παροχών των δικτύων αυτών όπως αγωγοί, καλώδια υψηλής τάσης,
- πολύβοοι δρόμοι, άλλοι εργοστασιακοί θόρυβοι μεγάλων περιόδων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι δυο αυτές επιτόπου μέθοδοι προσδιορισμού των Vs, θεωρούνται ως οι πλέον ακριβείς και αξιόπιστες σε σχέση με άλλες επιτόπου δοκιμές (διάθλαση S-κυμάτων), καθώς και εργαστηριακές δοκιμές (αδυναμία αναπαραγωγής των συνθηκών πεδίου στο εργαστήριο). Η αξιοπιστία καθώς και η σχετική προσέγγιση των αποτελεσμάτων τους, με δεδομένη τη διαφορετική φιλοσοφία και πρακτική των δύο μεθόδων, κρίνεται εξ'όσου ικανοποιητική και για τις δύο, τουλάχιστον για τους επιφανειακούς σχηματισμούς.

Η μέθοδος Cross-Hole είναι μεγάλης ακρίβειας με σχετικά απλή και σύντομη επεξεργασία των δεδομένων, απαιτεί όμως γεωτρήσεις, γεγονός που τη καθιστά από τις πλέον δαπανηρές μεθόδους. Η ανάλυση των κυμάτων επιφάνειας συνιστά μια νέα ελκυστική μέθοδο επιφανειακής διασκόπησης, χαμηλού κόστους, ικανοποιητικής επίλυσης, καθώς τα αποτελέσματα της συγκρινόμενα με αυτά άλλων μεθόδων παρουσιάζουν μια καλή ποιοτική και ποσοτική συμφωνία. Η χρήση της προϋποθέτει, τη σημαντική εμπειρία στη λήψη των δεδομένων, καθώς και τη μακρά και επίπονη επεξεργασία τους.

Γενικά, η σύγκλιση των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων κρίνεται ικανοποιητική και ενθαρρυντική για τη χρήση ιδιαίτερα της μεθόδου της Αναστροφής, ακόμη και στις δύσκολες συνθήκες της πόλης, στα πλαίσια εκπόνησης μικροζωνικών μελετών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Dziewonski, A.M., Hales, A.L., (1972). Numerical Analysis of Dispersion Seismic Waves, Methods in Computational Physics, vol. 11 pp 39-85.
- Ewing, W.M., Jardetzky, W.S., Press, F., (1957). Elastic waves in layered media, McGraw Hill, Inc., New York.

- Jongmans,D., (1991). L'influence des structures geologiques sur l'amplification des ondes sismiques, These de doctorat, Universite de Liege.
- Jongmans,D., Campillo,M., Demanet,D., (1990). The use of surface waves inversion and seismic reflection methods for engineering applications, Proc. 64th Congress I.A.E.G.
- Herrmann,R.B., (1989). Computer Programs in Seismology, Saint Luis University.
- McLamore,V.R., Anderson,D.G., Espana,C. Cross-hole testing using explosive and mechanical energy sources. A.S.T.M 1978, "Dynamic Geotechnical Testing" pp. 30-55.
- Pitilakis,K.D., Anastasiadis,A., Raptakis,D.G., (1992). Field and laboratory determination of dynamic properties of natural soil deposits. Proc. 10th Word Conference on Earthquake Engineering, Madrid, pp. 1275-1280.
- Raptakis,D., (1991). Une etude breve experimentale et theorique sur la diffraction des ondes de Rayleigh par les topographies irregulieres de petites dimensions, Rapport de Stage, Univ.Joseph-Fourier, L.G.I.T-I.R.I.G.M, Grenoble, France.
- Ραπτάνης,Δ., (1991). Εισαγωγή στις μεθόδους σεισμικών διασκοπήσεων: Σεισμική διάθλαση, Cross-Hole. Σημειώσεις μαθ. Εδαφοδυναμικής και Τεχνικής Σεισμολογίας Κ. Πιτιλάκης Τμ. Πολ. Μηχ. Α.Π.Θ.
- Ραπτάνης,Δ., Πιτιλάκης,Κ., Campillo,M., (1992). Η αξιοποίηση της αναστροφής των επιφανειακών κυμάτων στην γεωτεχνική αντισεισμική μηχανική. Πρακτ. 1ου Συνέδριου Αντισεισμικής Μηχανικής, Ιαν. 1992, τομ.Ι, σελ.163-171.
- Statton,C.T., Auld,B., Fritz,A., (1978). In situ seismic shear wave velocity measurements and proposed procedures. A.S.T.M. 1978, "Dynamic Geotechnical Testing" pp. 56-65.
- Waters,K., (1985). Reflection Seismology, John Wiley and Sons.