



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Γεωφυσικής

*Εκτίμηση ταχυτήτων σεισμικών κυμάτων και μέτρων ελαστικότητας
σε υφιστάμενες γεωτρήσεις κατά μήκος του δυτικού τμήματος
της όδευσης του Μετρό Θεσσαλονίκης.*



Εκπόνηση Εργασίας : Αλέξανδρος Βαρέσης

Επιβλέπων Καθηγητής : Κωνσταντίνος Παπαζάχος

Θεσσαλονίκη

2013-2014



Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Γεωφυσικής του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και εκπονήθηκε κατά την διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2013-2014.

Επιθυμώ να ευχαριστήσω τον καθηγητή και επιβλέποντα της παρούσας εργασίας κ. Κωνσταντίνο Β. Παπαζάχο για την εμπιστοσύνη, τον πολύτιμο χρόνο, την κατανόηση και τη βοήθεια που μου προσέφερε.

Ευχαριστώ τον υποψήφιο διδάκτορα Ανθυμίδη Μάριο για τις συμβουλές και την βοήθεια κατά την εκπόνηση της εργασίας, καθώς και για την συναδελφικότητα αλλά και την υπομονή του κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο πεδίο .

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνάδελφο και συμφοιτητή μου Ιωάννη Τσιρογιάννη με τον οποίο μοιραστήκαμε και συμπορεύσαμε την έρευνα στο πεδίο.

Τέλος ευχαριστώ την κοινοπραξία κατασκευής του Μετρό Θεσσαλονίκης και την εταιρία Αττικό Μετρό για την παροχή των απαραίτητων δεδομένων που χρειάστηκαν για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

Περιεχόμενα

1] .Πρόλογος	Σελ. 3
2] .Γεωφυσικές διασκοπήσεις και εφαρμογή στη μελέτη τεχνικών έργων	Σελ. 4
2.1] . Γεωφυσικές Διασκοπήσεις.....	4
2.2] . Εφαρμογή στις μελέτες τεχνικών έργων.....	4
2.3] . Σεισμικές Μέθοδοι Γεωφυσικής Διασκόπησης.....	5
2.4] Ελαστικά κύματα	5
2.5] Χρήση ελαστικών κυμάτων σε γεωτεχνική μελέτη..	7
3] .Τεχνική Downhole	Σελ. 9
3.1] Εισαγωγικά.....	9
3.2] Όργανα-Εξοπλισμός	9
3.3] Διαδικασία εκτέλεσης δοκιμής Down-hole.....	13
3.4] Ανάκτηση δεδομένων και επεξεργασία.....	14
4] .Γεωλογία Θεσσαλονίκης – Πεδίου Έρευνας.....	Σελ.18
4.1] Γενικά περιοχή – Θεσσαλονίκης – Μετρό.....	18
4.2] Γεωλογία περιοχής, αστικού κέντρου Θεσ/νίκης...	19
5] .Εφαρμογή μεθόδου Downhole στο δυτικό τμήμα του μετρό Θεσ/νίκης.....	Σελ.25
5.1] Περιγραφή περιοχής εφαρμογής της μεθόδου.....	25
5.2] Γεωτρήσεις δυτικού τμήματος του έργου.....	26
5.3] Εξοπλισμός εκτέλεσης των μεθόδων.....	27
5.4] Πορεία εκτέλεσης της μεθόδου σε κάθε γεώτρηση..	27
5.5] Επεξεργασία των δεδομένων	28
5.6] Θέσεις – Γεωτρήσεις	29
5.7] Ομαδοποίηση δεδομένων-Στατιστική αποτύπωση...	47
6] . Συμπεράσματα- Σύνοψη.....	Σελ.50
6.1] Γενικά.....	50
6.2] Καταγραφές ελαστικών κυμάτων.....	50
6.3] Μέτρα Ελαστικότητας.....	52
6.4] Συγκρίσεις με υφιστάμενα αποτελέσματα – Σύνοψη..	53
Βιβλιογραφία.....	Σελ.52

1. Πρόλογος

Η παρούσα εργασία έχει ως θέμα την εκτίμηση των σεισμικών ταχυτήτων και των μέτρων ελαστικότητας σε υφιστάμενες γεωτρήσεις εξοπλισμένες με πιεζόμετρα και κλισιόμετρα κατά μήκος του δυτικού τμήματος όδευσης του Μετρό Θεσσαλονίκης, το οποίο ορίζεται από το παλιό στρατιωτικό νοσοκομείο “424” και τον σιδηροδρομικό σταθμό Θεσσαλονίκης (Ο.Σ.Ε.).

Η εργασία αποτελείται από 4 κεφάλαια. Αρχικά γίνεται αναφορά στις γεωφυσικές διασκοπήσεις, τη χρήση τους στη μελέτη τεχνικών έργων, καθώς και ειδικότερη αναφορά στις σεισμικές μεθόδους.

Ακολούθως περιγράφεται η τεχνική και ο τρόπος εκτέλεσης της μεθόδου *Down-hole*, η οποία εφαρμόστηκε σε κάθε θέση.

Εν συνεχεία γίνεται αναφορά στη γεωλογία της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης από την οποία διέρχεται ο βασικός άξονας της όδευσης του Μετρό και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στο υπό μελέτη τμήμα.

Παρουσιάζεται στη συνέχεια η εφαρμογή της μεθόδου *Down-hole* για κάθε θέση (σύνολο επτά) και δίνονται γραφήματα για τη μεταβολή των ταχυτήτων των ελαστικών κυμάτων με το βάθος, καθώς και των δυναμικών ελαστικών μέτρων. Επίσης δίνονται συγκεντρωτικοί πίνακες με ομαδοποιημένα όλα τα δεδομένα, καθώς και τους αντίστοιχους μέσους όρους για κάθε γεωλογικό σχηματισμό.

Τέλος περιγράφονται τα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν από την παρούσα εργασία .

2.Γεωφυσικές διασκοπήσεις και εφαρμογή στη μελέτη τεχνικών έργων

[2.1] Γεωφυσικές Διασκοπήσεις

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις έχουν ως βασικό στόχο τη μελέτη της δομής των απρόσιτων στην άμεση παρατήρηση επιφανειακών στρωμάτων του γήινου φλοιού. Αυτό επιτυγχάνεται με μετρήσεις οι οποίες επιτρέπουν τον καθορισμό των γεωφυσικών μεγεθών, καθώς και την μεταβολή αυτών (στο χώρο και το χρόνο) με την εφαρμογή θεμελιωδών νόμων της Φυσικής.

Οι γεωφυσικές τεχνικές μπορούν να χωριστούν γενικά σε δύο ομάδες, τις παθητικές και τις ενεργητικές. Οι παθητικές μέθοδοι περιλαμβάνουν την ανίχνευση και την ακριβή μέτρηση των διακυμάνσεων φυσικών μεγεθών και παραμέτρων της γής, όπως π.χ. αυτές του βαρυτικού και του μαγνητικού πεδίου.

Με τις ενεργητικές μεθόδους, γίνεται χρήση ορισμένης μορφής ενέργειας π.χ. ηλεκτρικής, η οποία διοχετεύεται μέσα στο έδαφος ώστε να ερευνηθεί η “αντίδραση” των εδαφικών σχηματισμών, καθώς και η μεταβολή των φυσικών ιδιοτήτων του κάθε γεωλογικού σχηματισμού όπως π.χ. η ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων ή η ηλεκτρική τους αντίσταση.

[2.2] Εφαρμογή στις μελέτες τεχνικών έργων

Η εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων στη μελέτη τεχνικών έργων προσφέρει πλεονεκτήματα καθώς επιταχύνει τη πρόοδο της μελέτης και παρέχει συνεχή (χωρικά και χρονικά) ροή πληροφοριών, που είναι αδύνατο να ληφθούν από την απευθείας δειγματοληψία. Παράλληλα δίνει τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων σε περιοχές όπου είναι δύσκολο έως αδύνατο να εκτελεστούν γεωτρήσεις, καθώς επίσης και την εκ των προτέρων συλλογή πληροφοριών σχετικά με το τί αναμένεται σε μια δεδομένη τοποθεσία πριν από μια πιο λεπτομερή και δαπανηρή γεωτρητική-δειγματοληπτική έρευνα.

Έτσι οι γεωφυσικές μέθοδοι δίνουν τη δυνατότητα να εντοπιστούν πιθανές προβληματικές ή άξιες ενδελεχούς έρευνας περιοχές πριν την έναρξη μιας λεπτομερούς γεωλογικής-γεωτεχνικής μελέτης. Επίσης επιτρέπει τη λήψη δεδομένων με χαμηλό κόστος, αναλογικά με την εκτέλεση επιπλέον γεωτρήσεων.

Οι γεωφυσικές μέθοδοι σε καμία περίπτωση δεν αποτελούν αντικαταστάτη ενός πυρινοληπτικού ερευνητικού προγράμματος αλλά περισσότερο καλούνται να συνεισφέρουν στην παροχή ουσιαστικών πληροφοριών σε μικρό χρονικό διάστημα και σε χαμηλά επίπεδα κόστους. Αν και εφαρμόζονται πολλά είδη γεωφυσικών μεθόδων όπως οι μαγνητικές, βαρυτικές ή οι ηλεκτρομαγνητικές, οι σεισμικές μέθοδοι αποτελούν μία πολύ καλή επιλογή μιας και έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως:

- 1) Έμμεσο προσδιορισμό γεωλογικών δομών του υπεδάφους (βάθος υπόβαθρου, ζώνες διάρρηξης, έγκοιλα, στρωματογραφία, λιθολογικό τύπο, κλπ).
- 2) Μελέτη των εδαφομηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφικών σχηματισμών (π.χ. μέτρα ελαστικότητας)

Μόλις ληφθούν τα δεδομένα από τη γεωφυσική έρευνα, είναι δυνατόν να παραχθεί ένα αρχικό μοντέλο της γεωλογικής δομής, το οποίο έχει μια ρεαλιστική συσχέτιση με τα διαθέσιμα γεωλογικά-γεωτεχνικά δεδομένα. Η καλύτερη συνολική εικόνα-μοντέλο επιτυγχάνεται με τη συνδυαστική χρήση όλων των διαθέσιμων γεωλογικών πληροφοριών από γεωτρήσεις ή και από τη τοπική χαρτογράφηση.

[2.3] Σεισμικές Μέθοδοι Γεωφυσικής Διασκόπησης

Οι σεισμικές μέθοδοι στοχεύουν στο καθορισμό των ταχυτήτων διάδοσης των ελαστικών κυμάτων στο εσωτερικό των υπό έρευνα στρωμάτων με τον υπολογισμό των χρόνων διαδρομής. Με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται κατασκευάζονται καμπύλες χρόνων διαδρομής, δηλαδή γραφικές παραστάσεις μεταβολής των χρόνων διαδρομής των κυμάτων σε συνάρτηση με την οριζόντια ή κατακόρυφη απόσταση, από τις οποίες υπολογίζεται και η ταχύτητα διάδοσης αυτών.

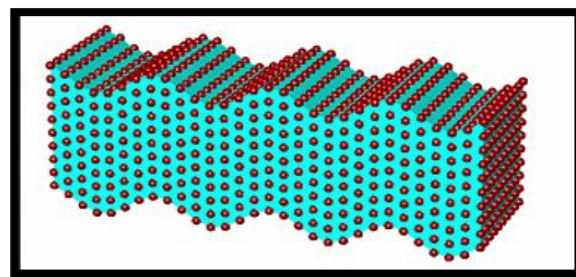
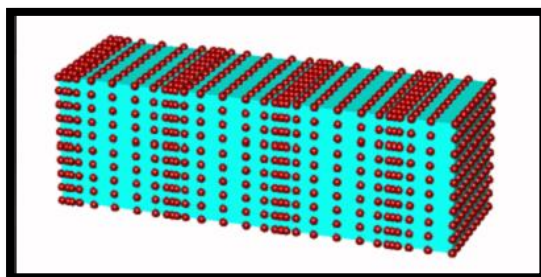
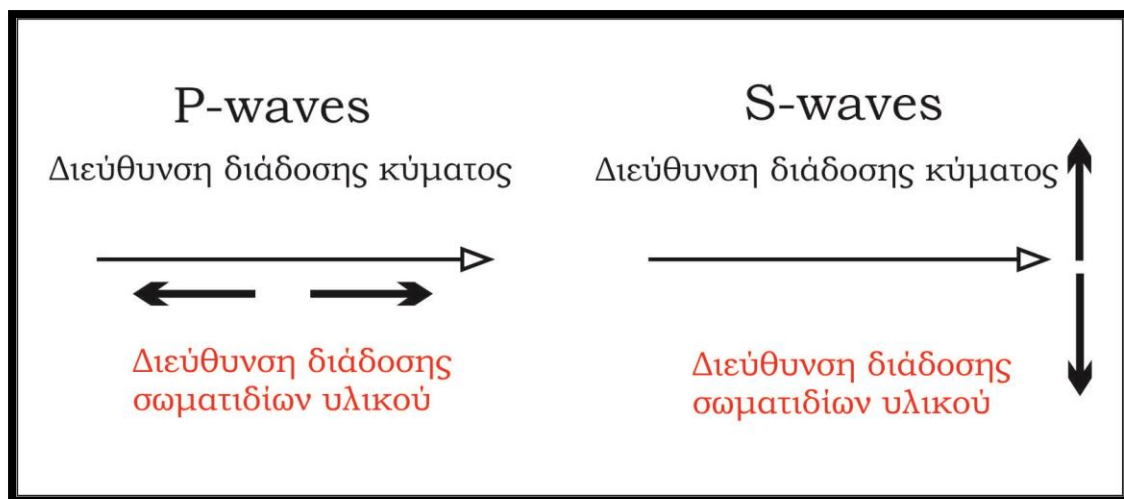
Οι σεισμικές μέθοδοι έχουν εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα ερευνών μιας και παρέχουν ιδιαίτερα σημαντικές και ακριβείς πληροφορίες, από την έρευνα υδρογονανθράκων και διαφόρων κοιτασμάτων, μέχρι τις γεωτεχνικές μελέτες.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι σχεδιασμού και εφαρμογής των σεισμικών διασκοπήσεων στη μελέτη του ηπειρωτικού αλλά και του ωκεάνιου φλοιού, όπως η οριζόντια έρευνα με τη δημιουργία δικτύων από εδαφικά τοποθετημένους αισθητήρες, η κατακόρυφη μελέτη γεωλογικών σχηματισμών με τις τεχνικές cross-hole και down-hole, καθώς και η έρευνα σε θαλάσσιο χώρο με ειδικά εξοπλισμένα σκάφη.

Το σεισμικό σήμα μειώνεται σε πλάτος με την απόσταση από την πηγή, τόσο λόγω της εξάπλωσης του σε μια μεγαλύτερο χώρο (γεωμετρική διασπορά), όσο και λόγω της εσωτερικής ανελαστικής απόσβεσης, μετατρεπόμενη κυρίως σε θερμική ενέργεια. Η μεταβολή στο σήμα με την απόσταση από τη πηγή εξαρτάται από τον τύπο του κύματος, τη γεωμετρία του, τις ανομοιογένειες που συναντά κατά την πορεία του και την ανελαστική απορρόφηση του μέσου διάδοσης.

[2.4] Ελαστικά κύματα.

Η διοχέτευση ελαστικής ενέργειας σημειικά στην επιφάνεια ενός ομογενούς μέσου δημιουργεί ελαστικά κύματα (επιμήκη P-, εγκάρσια S-). Στα επιμήκη κύματα (συμπίεσης) τα μόρια του υλικού διαδίδονται παράλληλα στην διεύθυνση που “ταξιδεύει το κύμα, ενώ τα εγκάρσια (διάτμησης), κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος (Εικ 2.1).



Εικόνα 2.1 Διάδοση ελαστικών κυμάτων και τρόπος ταλάντωσης υλικών σημείων

Από τις ταχύτητες διάδοσης των P- κυμάτων είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την γεωλογική δομή των υπό έρευνα σχηματισμών. Έτσι, ένας σχηματισμός ο οποίος δίνει ταχύτητες π.χ. 600 m/s πρόκειται πολύ πιθανόν να αποτελεί ένα στρώμα “σκληρού” εδάφους.

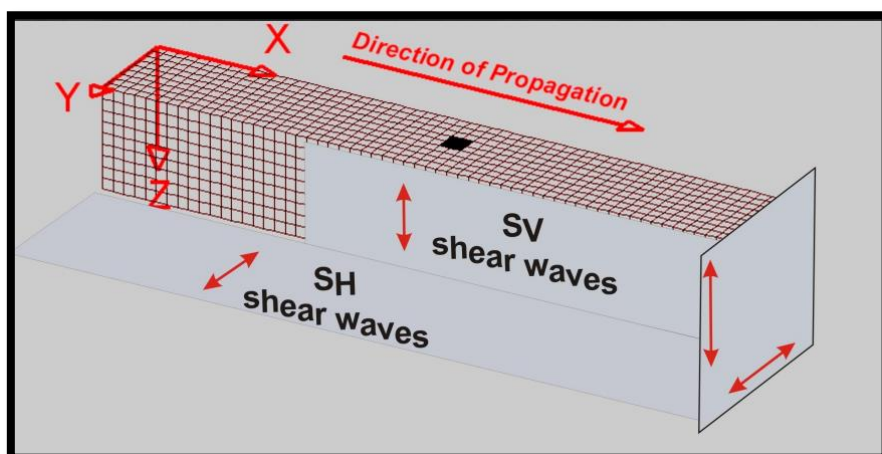
Όταν με το βάθος η ταχύτητα των P-κυμάτων αυξηθεί σε τιμές μεγαλύτερες των 1500 m/s μέσα σε εδαφικούς σχηματισμούς αυτό συνήθως υποδεικνύει την έναρξη του υδροφόρου ορίζοντα στο σχηματισμό αυτό. Τέλος εάν η ταχύτητα αυξάνεται σημαντικά π.χ. σε τιμές μεγαλύτερες των 2000-3000 m/s αυτό υποδεικνύει πιθανότητα βραχώδη μάζα-υπόβαθρο.

Μέση ταχύτητα ελαστικών κυμάτων σε διάφορα υλικά

<u>Υλικό</u>	<u>Ταχύτητα P- (m/s)</u>	<u>Ταχύτητα S- (m/s)</u>
Αέρας	330	-
Νερό	1450	-
Άμμος-άργιλος	300-1900	100-500
Χαλίκια	1000-2000	-
Γύψος	1700-3000	600-1500
Ασβεστόλιθος	3000-6500	1500-3500
Γρανίτης	3000-6000	1500-3000
Ψαμμίτης	1000	-

Τα εγκάρσια κύματα, S-, διαδίδονται με μικρότερες ταχύτητες στο υλικό από ότι τα επιμήκη και εντοπίζονται αργότερα από αυτά, εξού και ο σχετικός συμβολισμός S (second). Δεν διαδίδονται στα ρευστά και αυτό τα καθιστά ικανά για τη έρευνα των γεωλογικών σχηματισμών δίκως ένας πιθανός υδροφόρος ορίζοντας να αποτελεί πρόβλημα

Τα εγκάρσια κύματα περιέχουν δύο συνιστώσες, μια κατακόρυφα πολωμένη SV και μια οριζόντια SH. Σε ομογενές ισότροπη “γή” οι ταχύτητες των δύο αυτών συνιστωσών είναι ίσες.



Εικόνα 2.2 Διάδοση εγκάρσιων κυμάτων (SV/SH)

[2.5] Χρήση ελαστικών κυμάτων σε γεωτεχνική μελέτη

Όταν γνωρίζουμε τις ταχύτητες των ελαστικών κυμάτων σε ένα γεωλογικό μοντέλο, καθώς και την πυκνότητα των σχηματισμών, είναι δυνατόν να υπολογίσουμε τις ελαστικές ιδιότητες αυτών.

Τα κυριότερα ελαστικά μέτρα που υπολογίζονται είναι:

- ο λόγος Poisson “ ν ” ή “ ν ”
- το μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο Young “ E ”
- το μέτρο διάτμησης “ G ”
- το μέτρο ελαστικότητας όγκου ή μέτρο Bulk “ K ” ή “ B ”

Το μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο του Young (E) είναι μεταξύ των πιο βασικών μεγεθών όσον αφορά την αντοχή ενός υλικού. Σχετίζεται την μονοαξονική φόρτιση με την αντίστοιχη εφελκυστική τάση, εκφράζει δηλαδή το μέτρο αντίστασης του υλικού στον εφελκυσμό ή τη συμπίεση και δίνεται από τη σχέση:

$$E = 2G(1 + \nu) \quad (1)$$

Το μέτρο ελαστικότητας όγκου ή μέτρο συμπίεσεως Bulk (B) δίνει το μετρό της μεταβολής του όγκου ενός απειροελάχιστου στοιχείου το οποίο υπόκειται σε υδροστατική πίεση και εκφράζει την αντίσταση που προβάλλει το υλικό στη μεταβολή του όγκου του ενώ δίνεται από τη σχέση:

$$B = \frac{1}{3} \frac{E}{1 - 2\nu} \quad (2)$$

Λόγος Poisson καλείται ο λόγος της εγκάρσιας παραμόρφωσης προς την αξονική, όταν το υλικό υποβάλλεται σε απλή μονοαξονική φόρτιση. Ο λόγος αυτός μπορεί εύκολα να υπολογιστεί από τις ταχύτητες των κυμάτων χώρου με τη σχέση:

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2} \quad (3)$$

Το μέτρο διάτμησης (G) εκφράζει το λόγο της εφαρμοζόμενης διατμητικής τάσης προς την διατμητική παραμόρφωση ενός επιπέδου και μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$G = \rho V_s^2 \quad (4)$$

Οι παραπάνω τύποι αναφέρονται σε ελαστικά και ισοτροπικά μέσα, και εκφράζονται ως προς τις σεισμικές ταχύτητες των ελαστικών κυμάτων V_p και V_s , ή ως προς άλλα μέτρα ελαστικότητας.

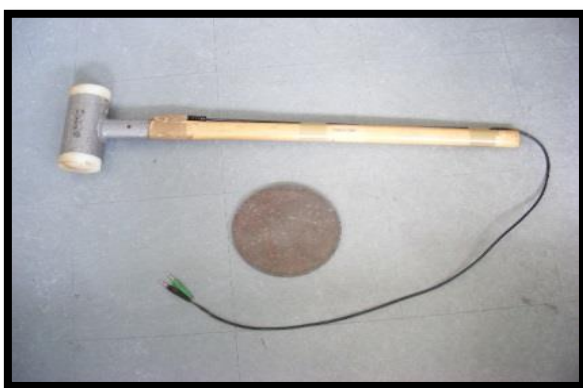
3. Τεχνική “Down-hole”

[3.1] Εισαγωγικά

Η τεχνική “Down-hole” έχει σκοπό τον προσδιορισμό των ταχυτήτων των ελαστικών κυμάτων (P,SV,SH) στους επιφανειακούς σχηματισμούς σε μία θέση δηλαδή σημειακά. Εκτελούνται διασκοπήσεις σε εγκιβωτισμένες γεωτρήσεις αρκετών μέτρων (συνήθως κυμαίνονται στα 20-40m) και στη συνέχεια με την επεξεργασία των δεδομένων υπολογίζονται οι χρόνοι αφίξεως και κατ’ επέκταση οι μεταβολές των ταχυτήτων των κυμάτων χώρου με το βάθος.

[3.2] Όργανα-Εξοπλισμός

[3.2.1] Πηγές



Η επιλογή της πηγής καθορίζεται σύμφωνα με τις ανάγκες της μελέτης. Το πρωταρχικό μέλημα της ερευνητικής ομάδας για την επιλογή του σωστού τύπου πηγής είναι το κατά πόσο τα P- και S- κύματα μπορούν να εντοπιστούν και να καταγραφούν σε συνάρτηση πάντα και με το χρησιμοποιούμενο δέκτη.

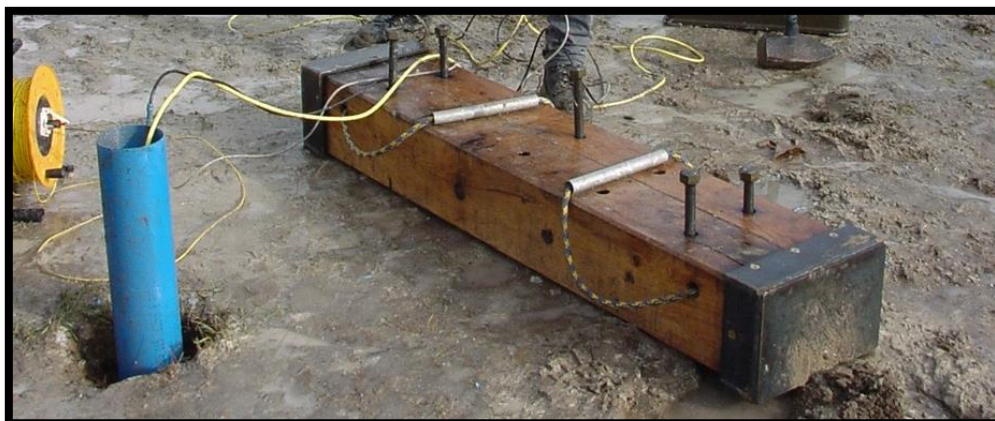
Εικόνα 3.1 Διαμορφωμένο σφυρί και μεταλλική πλάκα που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία P- κυμάτων, κυρίως σε ρηχού βάθους έρευνες.

Είναι απαραίτητο λοιπόν να επιλεγεί μια πηγή η οποία θα έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί P- κύματα σημαντικού πλάτους τα οποία θα διαδοθούν στο υπό μελέτη υλικό-σχηματισμό. Η χρήση εκρηκτικών, αεροβόλων, όπως και ειδικά διαμορφωμένων σφυριών καλύπτει την προαναφερθείσα ανάγκη και είναι πολύ συχνή. (Εικ.1)

Σε ότι αναφορά τη δημιουργία αναγνωρίσιμων από τα όργανα καταγραφής S- κυμάτων, η πηγή θα πρέπει να μεταδίδει ενέργεια στο έδαφος έτσι ώστε η κίνηση των σωματιδίων να είναι κάθετη-εγκάρσια στον άξονα της έρευνας.

Δονούμενες μηχανικές πηγές S- κυμάτων είναι αποδεκτές, αλλά απαιτείται να είναι επαναληπτικές και αναστρέψιμες. Μια καλή τεχνική για την δημιουργία των S- κυμάτων αποτελεί η κατασκευή μιας διαμορφωμένης ξύλινης ή και μεταλλικής δοκού (Εικ.2) τα άκρα της οποίας όπως και η βάση με την οποία έρχεται σε επαφή με το έδαφος να περιβάλλονται από χάλυβα. Επίσης τα άκρα της δοκού στα οποία ασκούνται και οι κρούσεις είναι χρήσιμο να ενισχύονται από μια παραπάνω μεταλλική πλάκα. Η βάση της δοκού πρέπει να διεισδύει

κάποια εκατοστά στο εσωτερικό του εδάφους με τη βοήθεια σφηνών προς πρόληψη πιθανής ολίσθησης κατά την εκτέλεση των κρούσεων.



Εικόνα 3.2 Παράδειγμα χαρακτηριστικής δοκού κρούσεων για την παραγωγή S-κυμάτων.

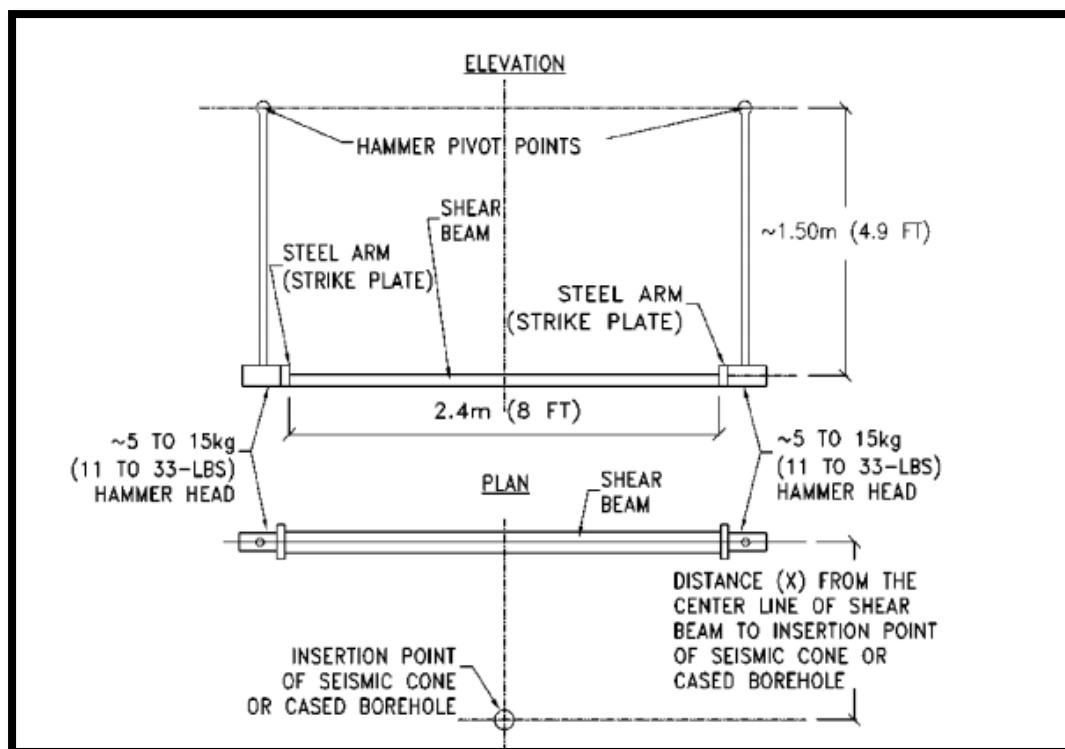
Οι διαστάσεις της δοκού συνήθως είναι περίπου 2,5 m μήκος και 0.15 m πλάτος. Το κέντρο της τοποθετείται επί του εδάφους σε μια απόσταση 1 έως 3 m από το σημείο της γεώτρησης και τα άκρα της υπολογίζεται να ισαπέχουν από αυτή. Επίσης απαραίτητο είναι η πλήρης επαφή της δοκού με το έδαφος, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται με την εξομάλυνση και την επιφανειακή οριζοντιοποίηση αυτού. Αν και οι παραπάνω διαστάσεις ορίζονται ως οι πιο κατάλληλες, ενδέχεται να επιλεχθεί δοκός μικρότερων διαστάσεων ώστε η πηγή να ανταποκρίνεται ρεαλιστικά σε "σημειακή πηγή" S- κυμάτων ειδικά για έρευνα σε γεώτρηση βάθους μικρότερου των 20 m.

Τα κύματα παράγονται όταν ασκηθούν κρούσεις στα άκρα της δοκού με ένα σφυρί κυμαινόμενου βάρους από 1 έως 15 kg, αρχικά στην μία άκρη της πλάκας και στη συνέχεια στην άλλη. Έτσι το παραγόμενο S εγκάρσιο σεισμικό κύμα το οποίο θα δημιουργηθεί αρχικά (πρώτο χτύπημα) θα έχει αντίθετη πολικότητα από το ακόλουθο δεύτερο κύμα (Εικ 3.6). Με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται η αναγνώριση των αφίξεων των S κυμάτων.

[3.2.2] Δέκτες

Κατά την εκτέλεση της τεχνικής "Down-hole" οι δέκτες τοποθετούνται κατακόρυφα μέσα στην γεώτρηση. Απαραίτητο είναι οι επιλεγόμενοι δέκτες να έχουν κατάλληλο συχνотικό εύρος ώστε να καταγράφουν κάθε παραγόμενη σεισμική δόνηση από την σεισμική πηγή. Τυπικά παραδείγματα αποτελούν τα γεώφωνα τα οποία ανιχνεύουν την ταχύτητα των σωματιδίων και τα επιταχυνσιόμετρα τα οποία αντιλαμβάνονται την σωματιδιακή επιτάχυνση.

Η συχνότητα απόκρισης του δέκτη δε θα πρέπει να διαφέρει περισσότερο από 5% πάνω από ένα εύρος συχνοτήτων 0,5 έως 2 φορές τη συχνότητα του κυρίαρχου συρμού των S- κυμάτων που παράγει η σεισμική πηγή.



Εικόνα 3.3 Τυπική διάταξη δοκού (*shear beam*) σε υπό έρευνα γεώτρηση (*borehole*) για τη δημιουργία S- κυμάτων. Παρουσιάζεται η δοκός σε τομή η οποία χρησιμοποιείται για τις πλευρικές κρούσεις από το σφυρί. . (ASTM International D7400-08)

Οι αισθητήρες τοποθετούνται σε κυλινδρικού συνήθως σχήμα προστατευτικό σώμα, το οποίο με τη βοήθεια ειδικού ελάσματος, η κίνηση του οποίου ελέγχεται από τον ερευνητή ηλεκτρονικά, σταθεροποιείται στο εσωτερικό της γεώτρησης.

Κάθε μονάδα γεωφώνων αποτελείται από τουλάχιστον τρεις αισθητήρες-δέκτες οι οποίοι συνδυάζονται κάθετα, ώστε να σχηματίζεται μια τριαξονική συστοιχία, δηλαδή ένας κατακόρυφος και δύο οριζόντιοι αισθητήρες, τοποθετημένοι σε ορθή γωνία. (Εικ 3.4)

[3.2.3] Όργανα Καταγραφής

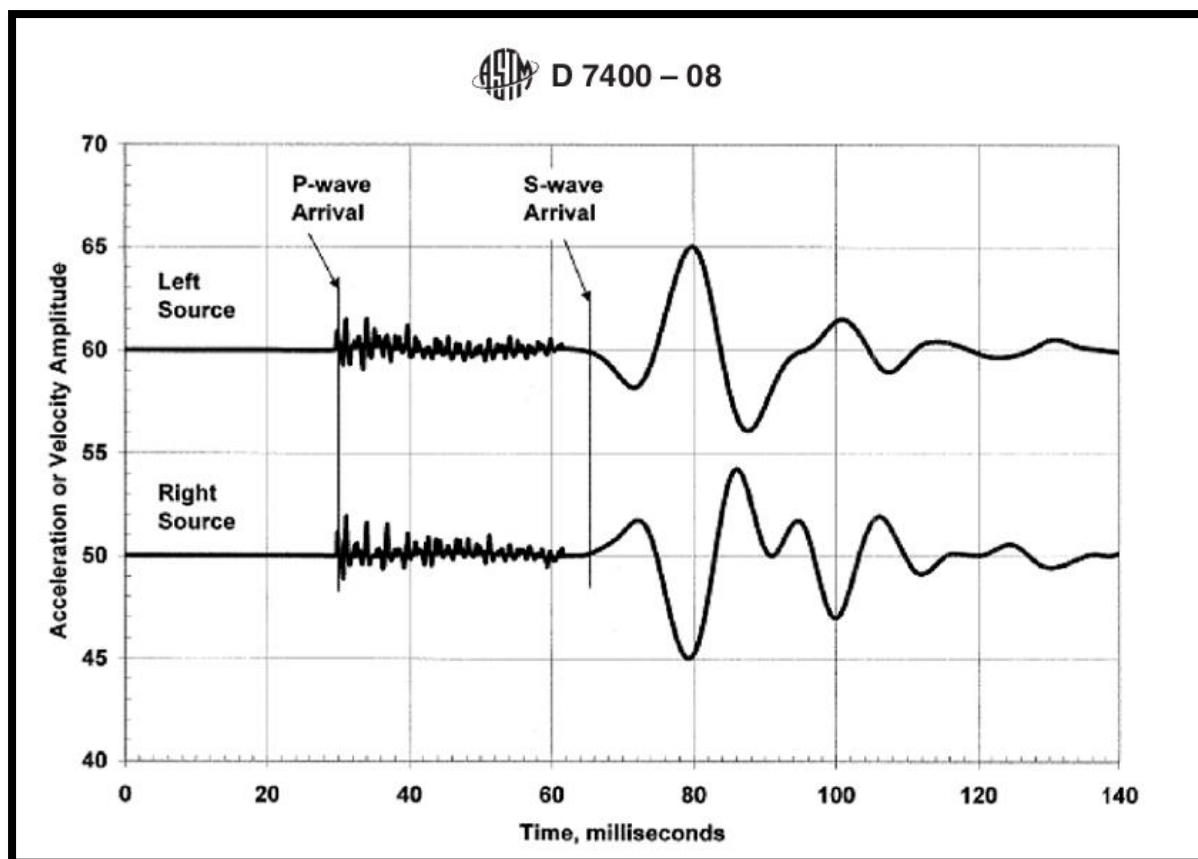
Η επιλογή των οργάνων καταγραφής που χρησιμοποιούνται καθορίζονται ανάλογα τον εξοπλισμό και τη μελέτη της ερευνητικής ομάδας ώστε να εξυπηρετούν την ομαλή και σωστή εκτέλεση της δοκιμής καθώς και την *in situ* συλλογή και έλεγχο των δεδομένων (π.χ. εκτύπωση των καταγραφών).



Εικόνα 3.4 Προστατευτικό σώμα –βολίδα γεωφώνων. Παρατηρείται το έλασμα σταθεροποίησης, καθώς και το καλώδιο σύνδεσης του δεκτη με τον καταγραφέα.



Εικόνα 3.5 Φορητό όργανο καταγραφής 24^{ων} καναλιών “Strata View”. Κατασκευαστής: Geometrics.



Εικόνα 3.6 Σχηματική καταγραφή των αφίξεων των P- και S- σεισμικών κυμάτων χώρου, σε μέτρηση down-hole. (ASTM International D7400-08)

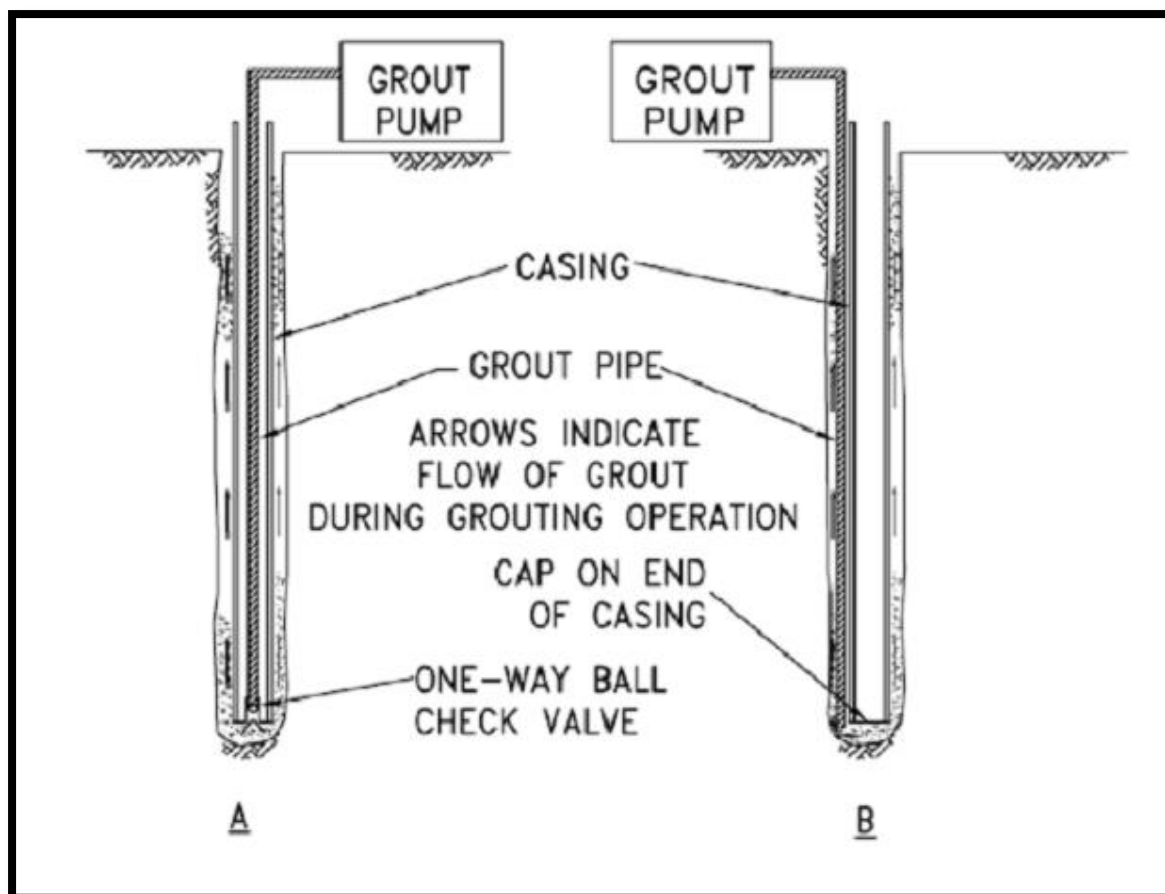
[3.3] Διαδικασία εκτέλεσης δοκιμής Down-hole

[3.3.1] Προετοιμασία της γεώτρησης

Μετά την εκτέλεση γεώτρησης διαμέτρου 175 mm (7.0 in), με την ελάχιστη δυνατή διατάραξη των εσωτερικών τοιχωμάτων, τοποθετείται εσωτερικά πλαστική (PVC) σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 50-100 mm (2.0-4.0in). Ο σωλήνας μπορεί να φέρει στη μία άκρη πώμα με ανεπίστροφη βαλβίδα ικανή να συνδεθεί με σωλήνα εξωτερικής διαμέτρου 38 mm (1.5 in) (Εικ3.7). Ο σκοπός της παραπάνω διάταξης είναι η δημιουργία εσωτερικών τοιχωμάτων από τη διοχέτευση ενέματος.

Χρησιμοποιείται συμβατική αντλία η οποία συνδέεται με τον εσωτερικό σωλήνα της βαλβίδας και διοχετεύεται το ένεμα πλευρικά ώστε με το πέρας της πήξης του και την αφαίρεση των σωλήνων η γεώτρηση να έχει οπλιστεί εσωτερικά από ένα τοίχωμα το οποίο θα την διατηρήσει από πιθανή κατάρρευση, αλλά και δεν θα επηρεάσει την αξιοπιστία της μεθόδου.

Εναλλακτικά ο σωλήνας διοχέτευσης μπορεί να τοποθετηθεί μεταξύ των εδαφικών σχηματισμών και του σωλήνα από PVC, για να γίνει η διαδικασία πλήρωσης .



Εικόνα 3.7 Σχηματικό διάγραμμα σωλήνωσης γεωτρήσεων για πραγματοποίηση μετρήσεων downhole. (ASTM International D7400-08)

Η φύση και τα υλικά παρασκευής του ενέματος που θα δημιουργηθεί είναι αναγκαίο να εμφανίζουν πυκνότητα παρόμοια με αυτή των σχηματισμών όπου εκτελέστηκε η γεώτρηση.

Πίνακας πιθανών πυκνοτήτων ανάλογα με τους εδαφικούς σχηματισμούς

Εδαφικοί σχηματισμοί	(1.80 to 1.90 mg/m ³ (110 to 120 lb/ft ³)
Βραχομάζα	2.20 mg/m ³ (140 lb/ft ³)

[3.3.2] Εκτέλεση δοκιμής “Down-hole”

1] Κατά την έναρξη της δοκιμής γίνεται προετοιμασία της σεισμικής πηγής. Τοποθετούνται οι δέκτες στο στόμιο της γεώτρησης και καθορίζεται το βήμα-στάσεις που θα καταγράφονται δεδομένα. Εάν είναι δυνατόν προσανατολίζεται το σώμα του δέκτη (βολίδα) ώστε ο ένας οριζόντιος του άξονας (ένα από τα δύο γεώφωνα) να είναι παράλληλος στη δοκό διάτμησης.

2] Ο δέκτης σταθεροποιείται αρχικά σε βάθος 2m (τυπικό βήμα δειγματολειτουργίας), ελέγχεται ο χρόνος στο σύστημα καταγραφής και

ενεργοποιείται ο δέκτης δίχως την σεισμική πηγή, ώστε να εκτιμηθεί ο πιθανός “θόρυβος” από το περιβάλλον. Αυτό έχει σκοπό το καθορισμό πιθανών φίλτρων που θα χρησιμοποιηθούν κατά την συλλογή ή επεξεργασία των δεδομένων.

3] Ενεργοποιείται η πηγή και ελέγχεται το σήμα των δεκτών στο σύστημα καταγραφής. Αν χρησιμοποιούνται δοκιμές για τα P- και S- κύματα, θα πρέπει να εκτελούνται ξεχωριστά για καλύτερα αποτελέσματα.

4] Ρυθμίζεται η ενίσχυση του πλάτους των καταγραφών, όπως και ο χρόνος καταγραφής έτσι ώστε οι κυματομορφές των P- και S- να συλλέγονται χωρίς προβλήματα (π.χ. κομμένα πλάτη, μικρή ή πολύ μεγάλη διάρκεια). Εάν το όργανο καταγραφής επιτρέπει τη δοκιμή να επαναληφθεί και να προστεθεί στην προηγούμενη καταγραφή (stacking), καλό είναι να επαναληφθεί η δοκιμή σε κάθε στάση στη γεώτρηση έως ότου βελτιωθεί η αναλογία του σήματος με το “θόρυβο”.

5] Αποθηκεύονται τα δεδομένα σε ψηφιακή μορφή και συχνά εκτυπώνονται για τον εύκολο έλεγχο στο πεδίο.

6] Εκτελείται η επόμενη δοκιμή με τη επανατοποθέτηση του δέκτη σε μεγαλύτερο συνήθως όχι μεγαλύτερο από 2 m (5,0 ft), και όχι μικρότερο από 0,5 m (2 ft) από τις προηγούμενες στάσεις δοκιμών στη γεώτρηση και επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία (Βήματα 1-5)

Για τις δοκιμές που εκτελούνται σε βραχώμαζα, κάτω από 30 m (100ft) βάθος από την επιφάνεια του εδάφους, το διάστημα δοκιμής μπορεί να αυξηθεί σε 3m (10ft). Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι το τέλος της γεώτρησης. Εναλλακτικά, οι δοκιμές μπορούν να διεξάγονται από τον πυθμένα της γεώτρησης.

[3.4] Ανάκτηση δεδομένων και επεξεργασία

[3.4.1] Υπολογισμός μέσων ταχυτήτων

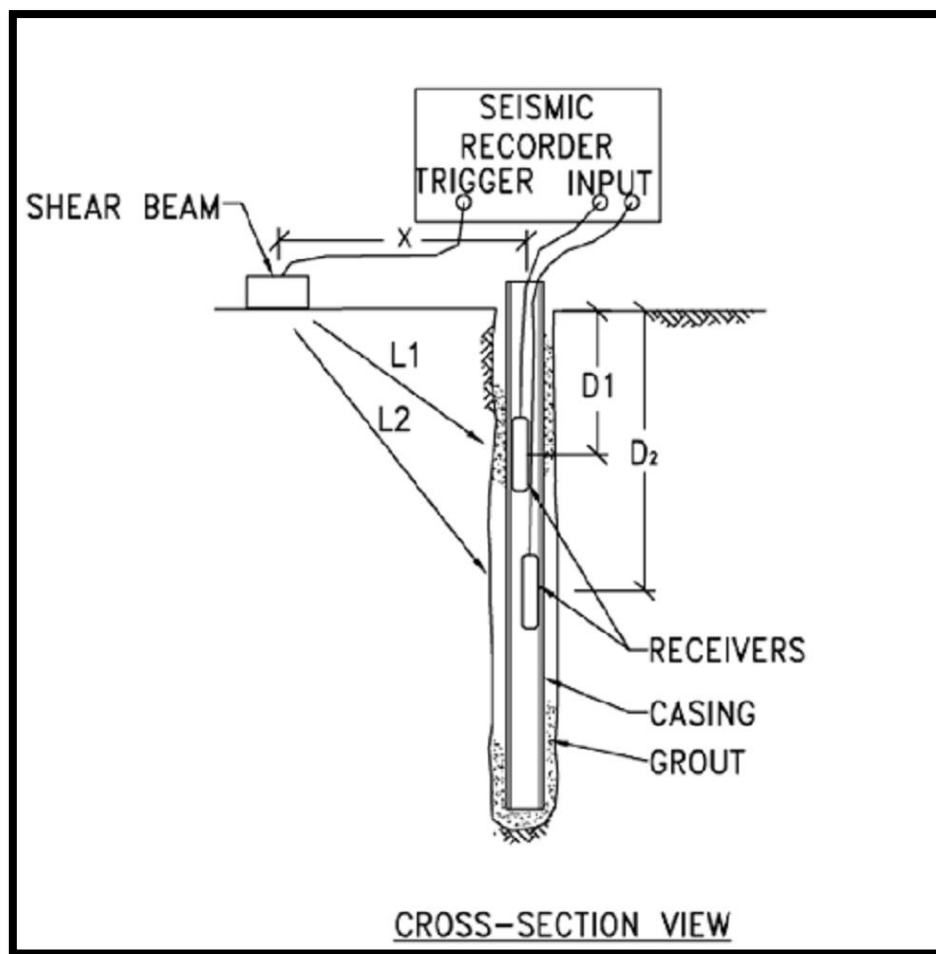
Οι μέσες ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων υπολογίζονται εύκολα από το προσδιορισμό της ευθείας απόστασης “**L**” ανάμεσα στην πηγή και το δέκτη (γεώφωνα) (Εικ.3.8).

Ο υπολογισμός της απόστασης πραγματοποιείται ως εξής :

- *Es: απόλυτο υπόμετρο θέσης της πηγής*
- *Eg: απόλυτο υπόμετρο της κορυφής της σωλήνας της γεώτρησης*
- *Dg: εκάστοτε βάθος του γεωφώνου στο εσωτερικό της γεώτρησης*
- *X: απόσταση θέσης πηγής – θέση γεώτρησης*

$$L_R = \left[(E_s - E_g + D_g)^2 + X^2 \right]^{0.5} \quad (5)$$

Οι εκάστοτε ταχύτητες υπολογίζονται από το λόγο L_R/t της απόστασης L_R και του χρόνου διαδρομής “t”, ο οποίος υπολογίζεται από τις πρώτες αφίξεις των κυμάτων χώρου.

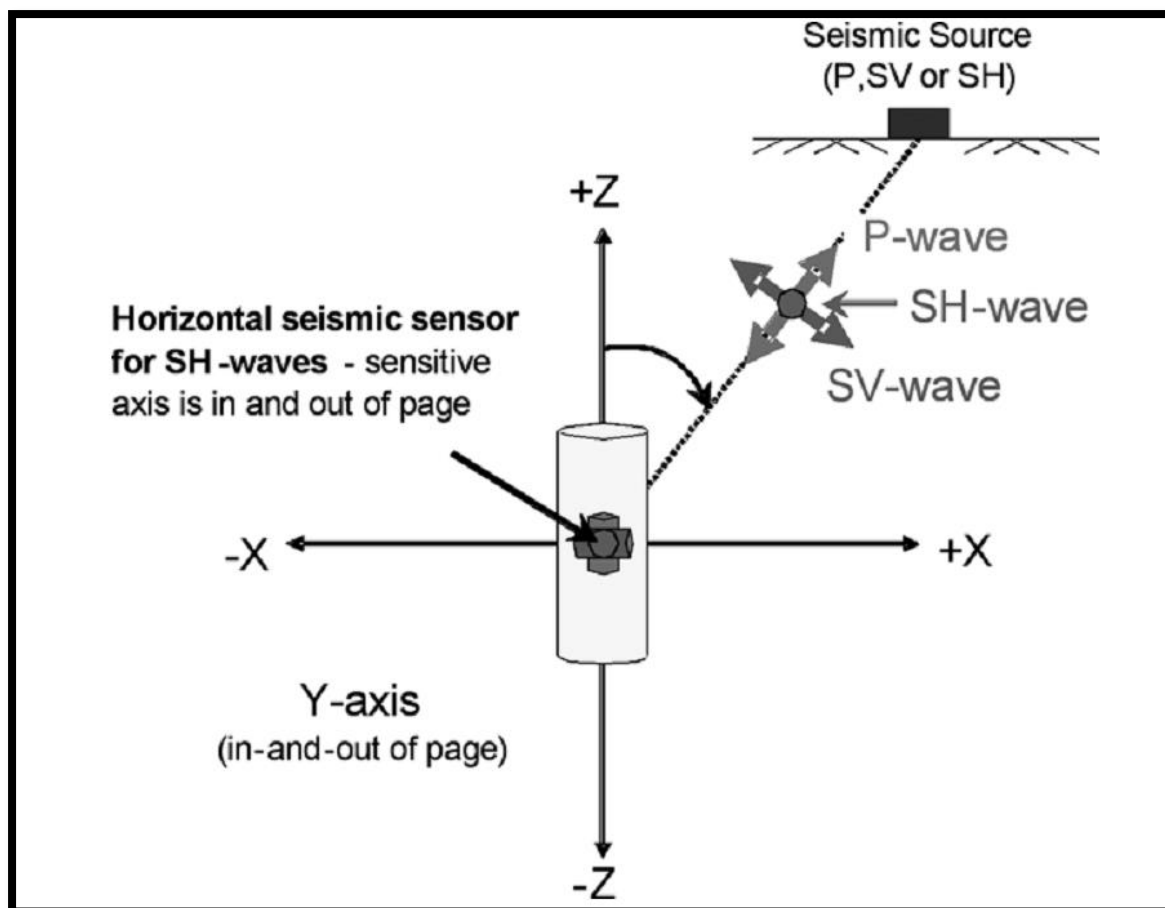


Εικόνα 3.8 Ενδεικτικό σχήμα μετρήσεων downhole μέσα σε γεώτρηση, όπου σημειώνονται οι θέσεις πηγής-δέκτη. (ASTM International D7400-08)

[3.4.2] Αναγνώριση αύξησης κυμάτων

Η αναγνώριση της άφιξης της κυματομορφής των P- κυμάτων προσδιορίζεται ως η πρώτη άφιξη μετά το χρόνο " $t=0$ ". Κατά την εκτίμηση των πρώτων αφίξεων είναι απαραίτητο να αποφευχθούν πιθανά λάθη που οφείλονται στην καταγραφή του θορύβου. Σε γενικές γραμμές, το πλάτος των P-και S-κυμάτων εξαρτάται από την γεωμετρία του συστήματος πηγή-δέκτης και το είδος της πηγής. (Εικ.3.9)

Ο χρόνος άφιξης καθορίζεται από την καταγεγραμμένη κυματομορφή ως το χρονικό διάστημα μεταξύ του χρόνου " $t=0$ " και την πρώτη άφιξη. Ενδέχεται σε κάποιους σχηματισμούς να εντοπίζονται απότομες μεταβολές στη πυκνότητα και ελαστικότητα και η ακτίνα διαδρομής των κυμάτων να μην είναι ευθείες. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο νόμος του Snell.



Εικόνα 3.9 Γεωμετρία του συστήματος πηγή-δέκτης και τρόπος διάδοσης κυμάτων χώρου (P,S) σε πείραμα downhole. (ASTM International D7400-08)

Αν οι κυματομορφές και των P- και S- εμφανίζονται ταυτόχρονα στο όργανο καταγραφής, ο εντοπισμός της άφιξης των S- κυμάτων θα εκτιμάται είτε από την απότομη αύξηση του πλάτους και της περιόδου, είτε εάν χρησιμοποιείται η τεχνική της αντίστροφης πολικότητας η άφιξη των S-κυμάτων θα προσδιορίζεται ως το σημείο συνάντησης όπου παρατηρείται αλλαγή πολικότητας (Εικ 3.6).

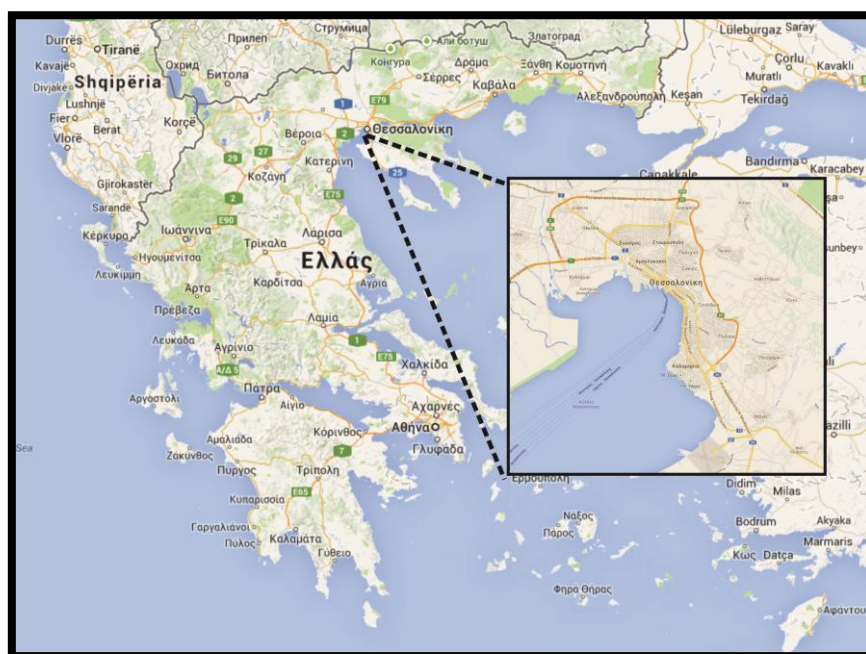
[3.4.3] Τελικές ενέργειες μετά τη συλλογή και ερμηνεία των δεδομένων

Επιθυμητό είναι να γίνουν συγκρίσεις με δεδομένα διαθέσιμα από άλλες έρευνες, ώστε να υπάρχει συνδιαστική άποψη και επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων σε ότι αφορά ερμηνεία του γεωλογικού αλλά και του γεωφυσικού μοντέλου της υπό έρευνα περιοχής. Στη συνέχεια η χρήση των δεδομένων ποικίλει ανάλογα με το λόγο για τον οποίο έγινε η δοκιμή down-hole.

4. Γεωλογία Θεσσαλονίκης – Πεδίου έρευνας

[4.1] Γενικά περιοχή – Θεσσαλονίκης - Μετρό

Περιοχή εκτέλεσης μετρήσεων και μελέτης της παρούσας πτυχιακής αποτελεί η ευρύτερη περιοχή του κέντρου του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Πιο συγκεκριμένα οι δοκιμές “Down-Hole” έγιναν σε καθορισμένες θέσεις – στάσεις κατά μήκος του κατασκευασμένου τμήματος του κεντρικού άξονα του επικείμενου μητροπολιτικού σιδηρόδρομου (“Μετρό”) Θεσσαλονίκης, οι οποίες παρουσιάζονται πιο αναλυτικά στη συνέχεια.



Εικόνα 4.1 Χάρτης Ελλάδας – Θεσσαλονίκη

Τον Σεπτέμβριο του 2003 αποφασίστηκε να κατασκευαστεί το Μετρό ως δημόσιο έργο, σύμφωνα με την “**Αττικό Μετρό Α.Ε.**”. Αναμένεται να έχει αναπτυχθεί στη Θεσσαλονίκη, μετά το 2024, δίκτυο 35 χλμ με 35 σταθμούς με εκτιμώμενο κόστος κατασκευής τα 3,4 δισ. ευρώ. Προβλέπεται μία βασική γραμμή με κλάδους προς διάφορες περιοχές του πολεοδομικού συγκροτήματος και αμαξοστάσιο στην περιοχή της Πυλαίας. Θα ξεκινάει από το Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό και, ακολουθώντας τις οδούς Μοναστηρίου, Εγνατίας και Δελφών, θα καταλήγει στην περιοχή της Νέας Ελβετίας, όπου και θα συνδέεται με το αμαξοστάσιο.



Εικόνα 4.2 Άξονας ανάπτυξης του μετρό Θεσσαλονίκης
(<http://www.ametro.gr/>)

Καθημερινά με βάση τις εκτιμήσεις των ανθρώπων της “Αττικό Μετρό Α.Ε.” θα κινούνται 18 αυτόματοι συρμοί με 30 χλμ/ώρα και θα διανύουν την απόσταση σε 20 λεπτά, εξυπηρετώντας 18.000 επιβάτες ανά κατεύθυνση.

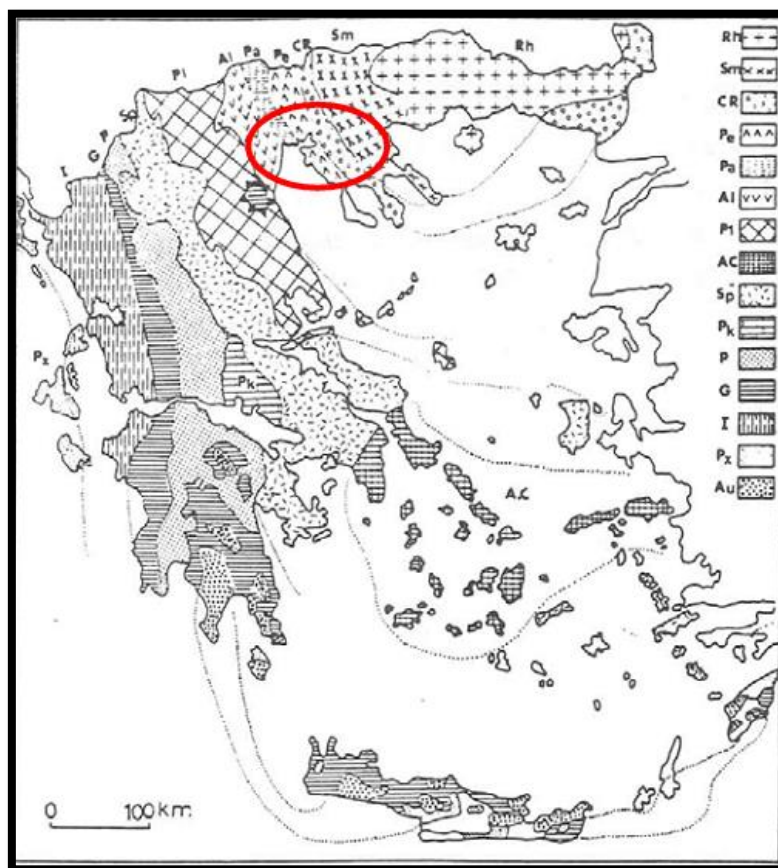
[4.2] Γεωλογία περιοχής - αστικού κέντρου Θεσσαλονίκης

Η πόλη της Θεσσαλονίκης, ανήκει γεωλογικά στις γεωτεκτονικές ζώνες Πέρι-ροδοπική κατά κύριο λόγο και Σερβομακεδονική (Εικ4.3). Πιο συγκεκριμένα για την Περι-ροδοπική εμφανίζονται οι ενότητες Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη με την μαγματική σειρά Χορτιάτη, και Μελισσοχωρίου- Χολομώντα.

Από τη Σερβομακεδονική ζώνη εμφανίζεται η σειρά Βερτίσκου. Το υπόβαθρο καλύπτουν Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Η διάταξη των ζωνών και των πετρωμάτων υποβάθρου ακολουθεί την ΒΔ- ΝΑ διεύθυνση.

Το αλπικό υπόβαθρο είναι κατά κύριο λόγο γνεύσιος, Μεσοζωικός σχηματισμός της Σειράς του Βερτίσκου, που εμφανίζεται Βόρεια-Βορειοανατολικά της πόλης της και επικαλύπτεται από τα Ανωμειοκαινικά - Πλειοκαινικά ιζήματα.

Ο γνεύσιος βυθίζεται αρκετά κάτω από το επίπεδο των σιδηρόδρομων του Μετρό πιθανότατα λόγω της εμφάνισης κανονικών ρηγμάτων κάθετα στο βορειότερο τμήμα της πόλης. Συνεπώς, ο κύριος σχηματισμός της κεντρικής περιοχής του έργου του μετρό είναι κυρίως μια σειρά πολύ σιφωνών έως σκληρών ερυθρών αργίλων Ανωμειοκαινικής - Πλειοκαινικής ηλικίας, γνωστών και ως κόκκινων αργίλων την Θεσσαλονίκη .



Εικόνα 4.3: Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Σημειώνεται η περιοχή της πόλης της Θεσσαλονίκης. (Mountrakis et al. 1983).

Σχηματισμοί του Τεταρτογενούς που έχουν αποτεθεί πάνω σε αυτές τις αργίλους συνιστώνται από αργιλώδεις – ιλυώδεις άμμους ή/και χάλικες. Ωστόσο, λόγω της μακράς ιστορίας της πόλης, ένα στρώμα αρχαιολογικών ευρημάτων σημαντικού πάχους (σ.σ. στη περιοχή της πλατείας Αριστοτέλους εντοπίζονται ανθρωπογενείς αποθέσεις πάχους μεγαλύτερου των 15 μέτρων) έχει αποτεθεί πάνω από αυτούς τους σχηματισμούς, το οποίο συναντάται κυρίως στο κέντρο της πόλης. (Εικ 4.4)



Εικόνα 4.4 Φωτογραφίες από αρχαιολογικά ευρήματα κατά την εκτέλεση εκσκαφών –κατασκευής του Μετρό Θεσσαλονίκης
[4.2.1] Αλπικό υπόβαθρο περιοχής

Γνεύσιος (Gn)

Απαντώνται γνεύσιοι διμαρμαρυγικοί, γκριζοπράσινοι έως καστανοπράσινοι, κερματισμένοι έως κατακερματισμένοι οι οποίοι χαρακτηρίζονται από μέση αντοχή. Οι εν λόγω σχηματισμοί σε πρωτογενή (υγρή) κατάσταση, είναι πρακτικώς αδιαπέρατοι. Παρά ταύτα, η έντονη τεκτονική καταπόνηση δύναται να προκαλέσει κατά τόπους μικρού βαθμού δευτερογενές πορώδες(Εικ.4.5).



Εικόνα 4.5 Αλπικό υπόβαθρο σε γεωτρήσεις του Μετρό Θεσσαλονίκης στην περιοχή του κέντρου (Αγίας Σοφίας) (Αττικό Μετρό).

[4.2.2] Μεταλπικά ιζήματα

Α. Νεογενές (Πλειόκαινο-Μειόκαινο) Σειρά Ερυθρών Αργίλων (RC)

Η σειρά αποτελείται από καστανέρυθρες, ερυθρές και τοπικά πολύχρωμες, πολύ στιφρές έως σκληρές αργίλους με άμμο και τοπικά με χαλίκια ή ψηφίδες, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητα, με σποραδικές ενστρώσεις, πυκνών έως πολύ πυκνών αργιλωδών άμμων με χαλίκια και ψηφίδες, αμμωδών ιλύων και πυκνών έως πολύ πυκνών αμμοαργιλωδών χαλίκων.

Τοπικά έχει συντελεστεί διαγένεση των σχηματισμών με την επακόλουθη εμφάνιση πολύ ασθενών έως ασθενών αργιλόλιθων, ιλυόλιθων, ψηφιδοκροκαλοπαγών και λατυποπαγών. Ομοίως, αυτοί διατρέχονται από ρωγμές, ρηγματώσεις και ενσωματώνουν τεκτονικές μικροδομές όπως επιφάνειες με γραμμές ολίσθησης.

Το πάχος της Σειράς Ερυθρών Αργίλων στην περιοχή του έργου κατά τόπους υπερβαίνει τα 48m.

Οι σχηματισμοί της σειράς χαρακτηρίζονται από χαμηλή έως πολύ χαμηλή υδροπερατότητα.



Εικόνα 4.6 Φωτογραφία όπου φαίνεται η ομαλή επαφή Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς και σειράς Ερυθρών Αργίλων από γεώτρηση του Μετρώ Θεσσαλονίκης στην περιοχή Παπάφειου (Αττικό Μετρώ).

Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά (Sd-M)

Η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά συντίθεται από καστανοκίτρινες και υπόλευκες στιφρές έως σκληρές, ασβεστιτικές αμμώδεις αργίλους και ιλύες, (τοπικά καστανέρυθρες αργίλους) μέσης έως υψηλής πλαστικότητας, καθώς και ανοιχτές καστανές, πυκνές έως πολύ πυκνές, ασβεστιτικές ιλυώδεις ή ιλυώδεις άμμους, τοπικά με χάλικες.

Τοπικά, τα παραπάνω υλικά εμφανίζονται λόγω διαγένεσης ως πολύ ασθενείς έως ασθενείς μάργες, αργιλομάργες, ιλυόλιθοι και ψαμμίτες, ενίοτε δε, σε εναλλαγές με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Οι σχηματισμοί οι οποίοι συνθέτουν την Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά θεωρούνται χαμηλής έως πολύ χαμηλής υδροπερατότητας, η οποία θεωρείται υπερκείμενη της Σειράς Αργίλων (Εικ 4.7,4.8)

Στην περιοχή του έργου το πάχος της σειράς τοπικά υπερβαίνει τα 37m.

[4.2.3] Τεταρτογενές (Ολόκαινο-Πλειστόκαινο)

Ερυθρές Άργιλοι (Q2)

Το στρώμα συνίσταται από καστανές έως καστανέρυθρες, σταθερές έως στιφρές αμμώδεις αργίλους οι οποίες κατά τόπους εμφανίζονται, με ενστρώσεις χαλαρών έως πυκνών, αργιλωδών ή ιλυωδών άμμων τοπικά με ψηφίδες, χάλικες και τοπικές εμφανίσεις αμμοδών ιλύων. Το πάχος των ερυθρών αργίλων στην περιοχή έρευνας υπερβαίνει τα 14m. Οι σχηματισμοί χαρακτηρίζονται ως χαμηλής υδροπερατότητας.

Τεχνητές επικωματώσεις-Αρχαιολογικό στρώμα (F)

Πρόσφατα υλικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως πλίνθοι, τμήματα τοίχων, αγγεία, οστά, υλικά πυρίκαυστης ζώνης, ξύλα κ.λ.π, μέσα σε ιλυώδεις-χαλικώδεις-αργιλωδείς άμμους και προϊόντα αποσάθρωσης.

Τοπικά στις αποθέσεις αυτές εμφανίζονται κενά. Το πάχος των τεχνητών επικωματώσεων-αρχαιολογικού στρώματος στην περιοχή του έργου φθάνει τα 12.5m. Πρόκειται για χαλαρά και ανομοιογενή υλικά χαμηλής συμπίκνωσης, με ύπαρξη κενών, που χαρακτηρίζονται από υψηλή έως μέση υδροπερατότητα.

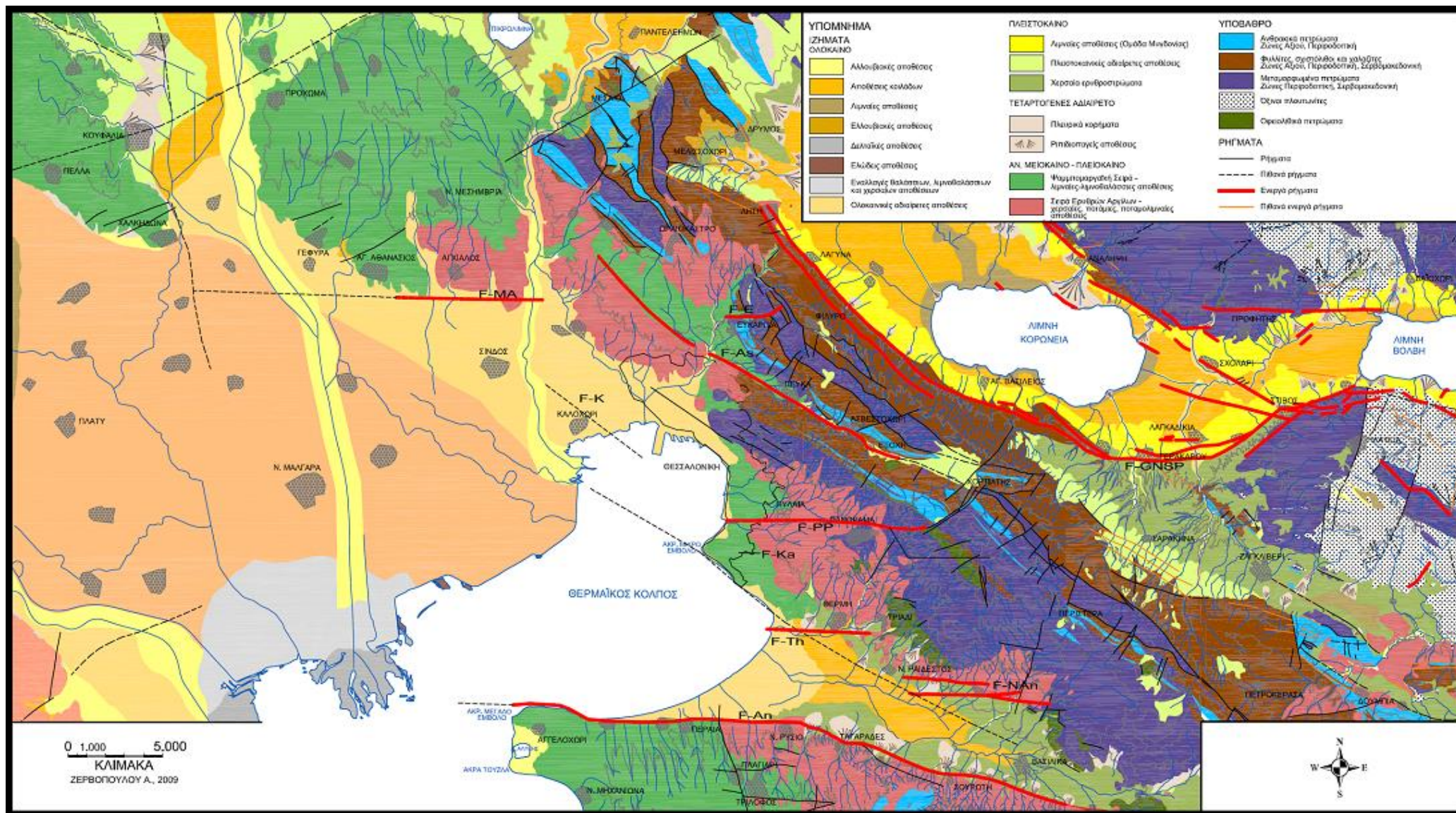
ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

FORESTATION
NEW R.R. STATION
CROSSOVER
DIMOKRATIAS TRUMPET
DIMOKRATIAS STATION
VENIZELOU STATION
AGIAS SOFIAS STATION
SINTRIVANI STATION
SINTRIVANI CROSSOVER
UNIVERSITY STATION
PAPAFI STATION
EFKLIDI STATION

ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ
ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ
ΨΑΜΜΙΤΟΜΑΡΓΑΙΚΗ
ΘΕΣΗ I
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ
ΘΕΣΗ II
ΚΑΤΣΙΜΙΔΗ
ΘΕΣΗ III
ΠΑΤΡΙΚΙΟΥ

ANALIPSEOS STATION
FLEMING STATION
PATRIKIOU STATION
VOULGAR STATION
N. ELVETIA STATION
DEPOT

ΨΑΜΜΙΤΟΜΑΡΓΑΙΚΗ
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗ



Εικόνα 4.8 Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης (Ζερβοπούλου Α.2009) .

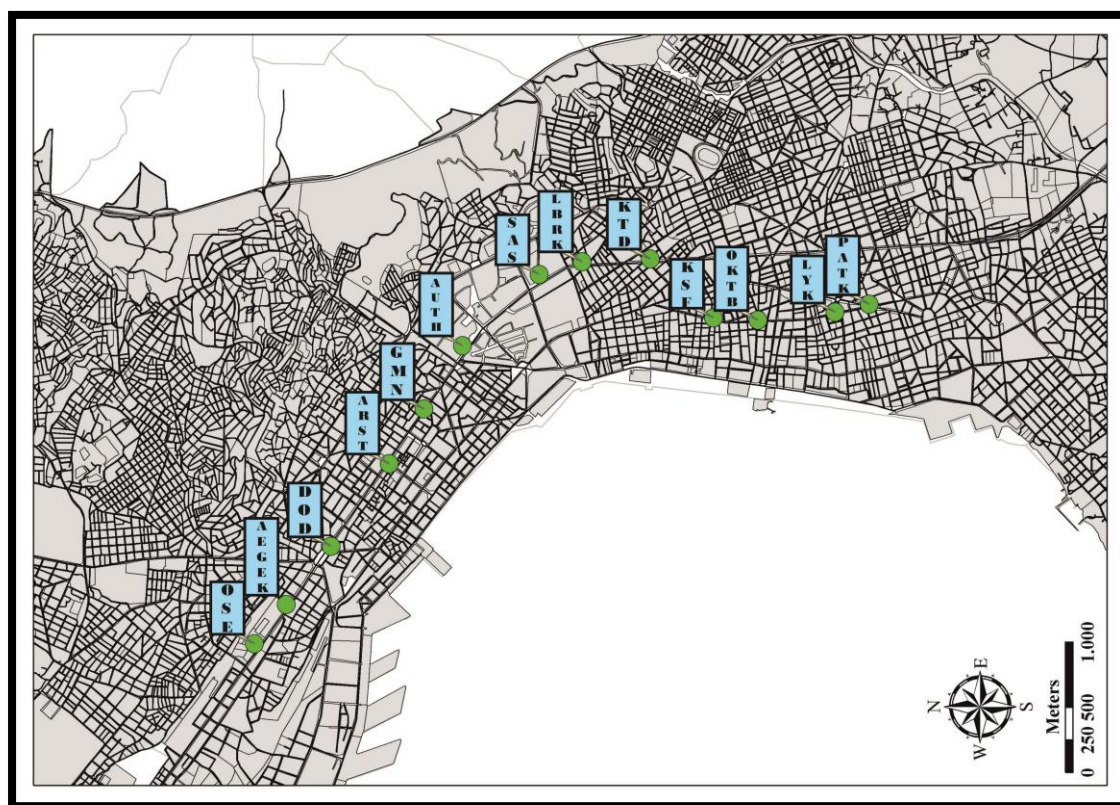
5. Εφαρμογή μεθόδου Downhole στο δυτικό τμήμα του Μετρό Θεσσαλονίκης

[5.1] Περιγραφή περιοχής εφαρμογής της μεθόδου

Ο μητροπολιτικός σταθμός Θεσσαλονίκης βρίσκεται υπό κατασκευή και αναμένεται να ολοκληρωθεί όπως δηλώνει η ανάδοχος εταιρία Αττικό Μετρό στις αρχές του 2024. Αυτή τη στιγμή έχει κατασκευαστεί το μεγαλύτερο κομμάτι και είδη ετοιμάζεται η επικείμενη επέκταση στην περιοχή της Καλαμαριάς.

Τα κατασκευασμένα τμήματα αλλά και συνολικά το έργο παρακολουθούνται ηλεκτρονικά καθημερινώς. Έχει εγκατασταθεί δίκτυο γεωτρήσεων στα οποία έχουν τοποθετηθεί πιεζόμετρα για τον έλεγχο της στάθμης του υπόγειου νερού, καθώς και κλισιόμετρα τα οποία παρακολουθούν πιθανές μεταβολές στη στατική και ισορροπία των γεωλογικών σχηματισμών. Πιθανές μεταβολές στη στάθμη του νερού ή πιθανές κινήσεις ακόμα και μικρής κλίμακας είναι ικανές να δημιουργήσουν ιδιαίτερα προβλήματα στην αστική πολυπληθή περιοχή του κέντρου της Θεσσαλονίκης και για αυτό η παρακολούθησή τους αποτελεί αναγκαιότητα.

Χρησιμοποιώντας το παραπάνω δίκτυο γεωτρήσεων εντοπίστηκαν και διαχωρίστηκαν μετά από σχετική άδεια της Αττικό Μετρό, δεκατρείς θέσεις (Εικ 5.1) κατά μήκος της χάραξης του έργου όπου εκτελέστηκαν σεισμικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης με την μέθοδο Down-hole.



Εικόνα 5.1 Θέσεις γεωτρήσεων κατά μήκος του κύριου άξονα. (Α Μετρό)

Η επιλογή των γεωτρήσεων έγινε με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους (οπλισμός, εξωτερική διάμετρος) , την στρωματογραφία αλλά και την πολεοδομική θέση τους. Η εξωτερική διάμετρος της σωλήνωσης καθόρισε σημαντικά την επιλογή των θέσεων μιας και αποκλειστικά σε σωληνώσεις Φ75 και μόνο μπορούσαν να εκτελεσθούν οι δοκιμές λόγω δομικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού(διάμετρος βολίδας γεωφώνων). Όλες οι γεωτρήσεις αφορούσαν κλισιόμετρα και πιεζόμετρα παρακολούθησης του έργου.

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζεται η έρευνα επτά γεωτρήσεων από τις συνολικά δεκατρείς.

[5.2] Γεωτρήσεις δυτικού τμήματος του έργου

Οι γεωτρήσεις που επιλέχθηκαν είναι οι πρώτες επτά από δυτικά προς ανατολικά (Εικ 6.1)

- OSE *Περιοχή Νέο Σιδηροδρομικού Σταθμού Ο.Σ.Ε.*
- AEGEK *Περιοχή Εργοταξίου Μετρό Αγίας Σοφίας*
- DOD *Περιοχή Πλατείας Ελευθερίας*
- ARST *Περιοχή Πλατείας Αριστοτέλους*
- GMN *Περιοχή 13^{ου} Γυμνασίου Θεσσαλονίκης*
- AUTH *Περιοχή Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης*
- SAS *Περιοχή “παλιό” Στρατιωτικό Νοσοκομείο 424*

[5.3] Εξοπλισμός εκτέλεσης των μεθόδων

Ο παρακάτω εξοπλισμός χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των δοκιμών Down-hole και στις επτά γεωτρήσεις κατά μήκος του άξονα του μετρώ :

Πηγή

Ένα σφυρί βάρους 1,5-2 kg το οποίο προσέπιπτε σε μεταλλική πλάκα, καθώς και σε ξύλινη δοκό για τη δημιουργία των P και S σεισμικών, κυμάτων σηματοδοτώντας τη χρονική στιγμή κάθε κρούσης με τη χρήση κατάλληλου πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου.

Δέκτες

Ένα τριαξονικό γεώφωνο (παρασκευαστής Geostuff) το οποίο είχε τη δυνατότητα τοποθέτησης \ μέσω αριθμημένου καλωδίου σε βάθος μέχρι και 100 m.

Όργανο καταγραφής

Φορητός σειсмоγράφος 24^{ων} καναλιών Strata View (κατασκευαστής Geometrics) .

Ο εξοπλισμός συνοδεύονταν από ηλεκτρική πηγή για τη φόρτιση μπαταρίας αυτοκινήτου (12Vlt) για την εργασία στο πεδίο και εργαλεία για την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων.

[5.4] Πορεία εκτέλεσης της μεθόδου σε κάθε γεώτρηση

Μετά τον καθορισμό της καταλληλότερης θέσης σε κάθε περιοχή με βάση την τοποθεσία, την ευκολία εφαρμογής των διασκοπήσεων , τον προβλεπόμενο θόρυβο (επαφή με πολυσύχναστους δρόμους στο κέντρο της πόλης) και τα χαρακτηριστικά της γεώτρησης ακολουθούνταν τα εξής βήματα :

- I. Προετοιμασία επιφανειακά της γεώτρησης .
- II. Σύνδεση των γεωφώνων και της πηγής (σφυρι) με το όργανο καταγραφής.
- III. Χώροθέτηση της τοποθεσίας της μεταλλικής πλάκας για την δημιουργία των P- κυμάτων και αντίστοιχα της ξύλινης δοκού για τη δημιουργία των S κυμάτων.
- IV. Σύνδεση του συστήματος πηγή-δέκτες-όργανο καταγραφής με την ηλεκτρική πηγή (μπαταρία 12 Volt).
- V. Προετοιμασία του συστήματος και εκτίμηση του φυσικού εδαφικού θορύβου από τις ενδείξεις στο όργανο καταγραφής .

[5.4.1] P-κύματα

Για τα επιμήκη κύματα το γεώφωνο τοποθετούνταν στο εσωτερικό της γεώτρησης και με βήμα καταγραφής δύο μέτρων, κατάγραφε τα ελαστικά κύματα τα οποία δημιουργούνταν από τις κρούσεις του σφυριού στη μεταλλική πλάκα μέχρι τον πυθμένα της γεώτρησης.

Για κάθε στάση (2m) εκτελούνταν συνήθως 3 κρούσεις, οι αφίξεις των οποίων προσθέτονταν (stacking) με τη βοήθεια του οργάνου καταγραφής (“Strata View”) για καλύτερα αποτελέσματα και σε καλύτερη ψηφιακή μορφή. Σε κάθε στάση γινόταν κωδικοποιημένη αποθήκευση, για περισσότερη ευκολία κατά την επεξεργασία των δεδομένων αργότερα, στη φορητή μνήμη του Strata.

[5.4.2] S-κύματα

Για τα εγκάρσια κύματα αφού σταθεροποιούνταν η ξύλινη δοκός με την εφαρμογή βάρους σε κάθε άκρο της ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή επαφή με το έδαφος , ασκούνταν συνήθως τρεις κρούσεις σε κάθε ένα από τα άκρα της ώστε να επιτευχθεί αντίστροφη πολικότητα στις αφίξεις. Όπως και για τα επιμήκη κύματα η παραπάνω διαδικασία εφαρμόζονταν σε στάσεις δύο μέτρων μέχρι το τέλος κάθε γεώτρησης. Στην περίπτωση αυτή οι καταγραφές αποθηκεύονταν με κωδικοποιημένο όνομα

Συνολικά σε κάθε γεώτρηση εκτελούνταν τυπικά εννέα κρούσεις για κάθε βήμα δύο μέτρων.

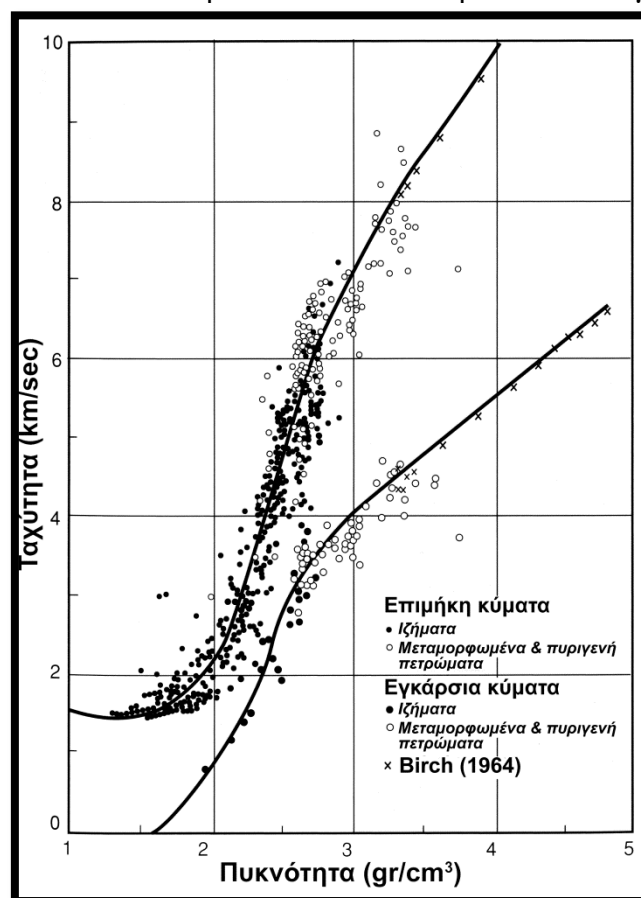
[5.5] Επεξεργασία των δεδομένων

Μετά το πέρας των διασκοπήσεων στην ευρύτερη περιοχή του μετρώ τα δεδομένα που αποθηκευτήκαν στο όργανο καταγραφής “*Strata View*” μεταφέρθηκαν σε προσωπικό Η/Υ και ακολούθησε η επεξεργασία τους .

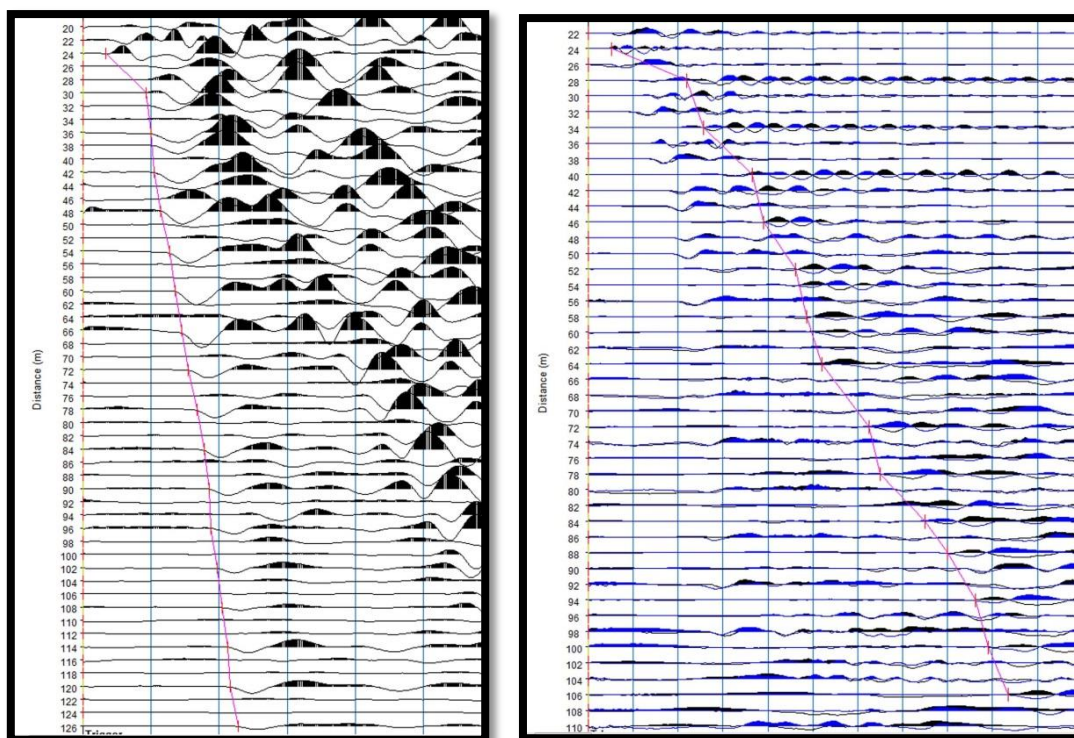
Για την προβολή των κυματομορφών καθώς και για τον εντοπισμό των πρώτων αφίξεων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό της εταιρίας *Geometrics SeisImager/PickWin*. Η κατασκευή των διαγραμμάτων της διπλωματικής έγινε με το πρόγραμμα *Grapher 9* της εταιρίας *Golden Software*. Η γραφιστική αποτύπωση της στρωματογραφίας έγινε με το πρόγραμμα *Corel X6* και η γραφική αποτύπωση των αποτελεσμάτων αλλά και τις εργασίας με τα προγράμματα από τη “*κασετίνα*” του *Office 2010* της *Microsoft*.

Σε κάθε θέση έγινε πρώτα επεξεργασία των δεδομένων των Ρ-κυμάτων (Εικ5.2) και στη συνέχεια των S-(Εικ 6.3). Τα αποτελέσματα προβάλλονται σε ένα διάγραμμα στο οποίο προβάλλεται και η τοπική στρωματογραφία περιληπτικά. Τέλος δημιουργήθηκε πίνακας όπου υπολογίζονται η πυκνότητα και οι ελαστικές ιδιότητες των σχηματισμών κάθε θέσης.

Η πυκνότητα των σχηματισμών υπολογίστηκε γραφικά με βάση τις ταχύτητες των ελαστικών κυμάτων από το παρακάτω διάγραμμα .



Εικόνα 6.2 Διάγραμμα υπολογισμού πυκνότητας γεωλογικών σχηματισμών με βάση τις ταχύτητες των ελαστικών κυμάτων (από Παπαζάχο και Παπαζάχο, 2013).

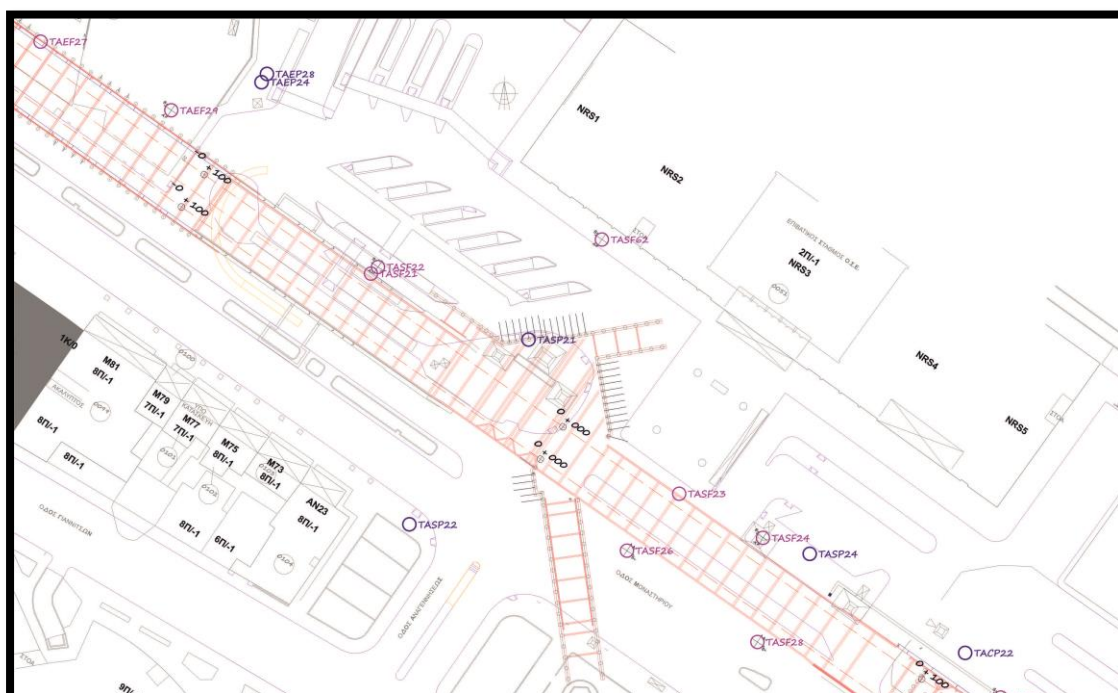


Εικόνα 5.3 Προβολή ενδεικτικών κυματομορφών (αριστερά P, δεξιά S) και προσδιορισμός των πρώτων αφίξεων στις θέσεις OSE-GMN (SeisImager, PickWin, Geometrics)

[5.6] Θέσεις – Γεωτρήσεις

Σε κάθε θέση παρουσιάζονται με την ίδια σειρά ο χάρτης – οριζοντιογραφία της περιοχής με το δίκτυο των γεωτρήσεων, δύο πίνακες με τα επεξεργασμένα δεδομένα (ένας για το επιμήκη και ένας για τα εγκάρσια), ένα γράφημα με παραμέτρους το βάθος γεώτρησης και την ταχύτητα των κυμάτων χώρου, όπου σημειώνεται και η περιληπτική στρωματογραφία της θέσης, καθώς και ένα πρόσθετο γράφημα με την μεταβολή των ελαστικών μέτρων με το βάθος. Επίσης παρουσιάζεται ένας πίνακας με τον υπολογισμό των ελαστικών μέτρων των υπό έρευνα σχηματισμών.

[5.6.1.] Θέση Ο.Σ.Ε (OSE)

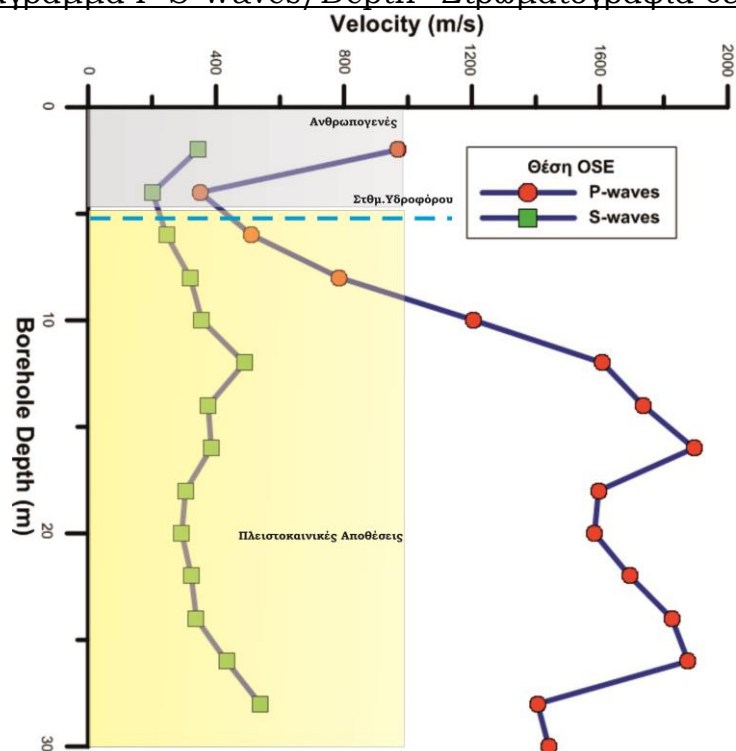


Εικόνα 5.4 Οριζοντιογραφία θέσης ΟΣΕ (OSE) – δίκτυο γεωτρήσεων περιοχής (Αττικό Μετρό)

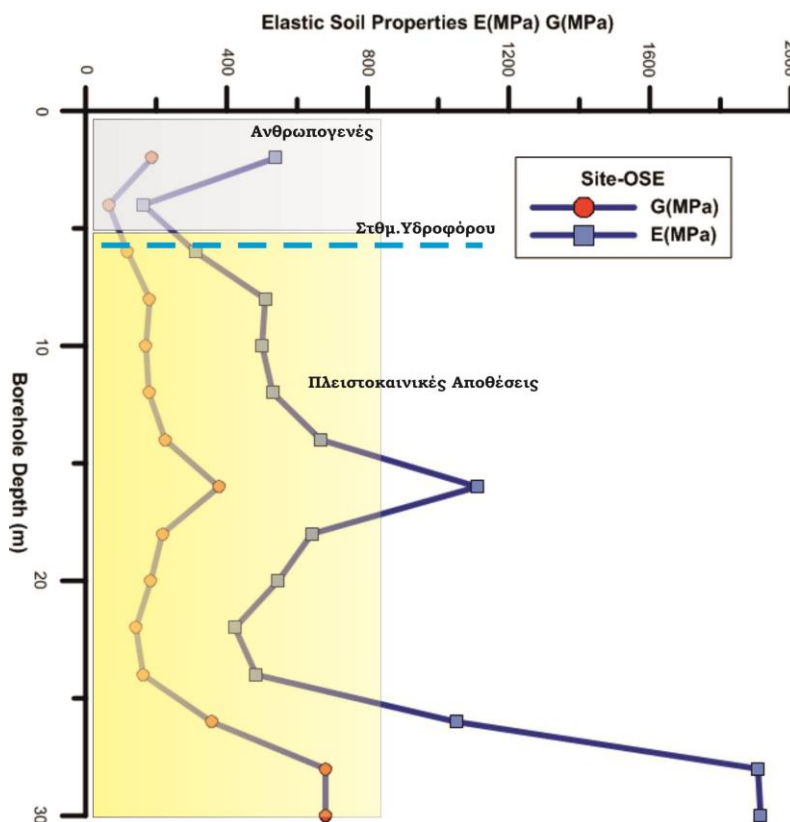
Πίνακες αφίξεων P και S κυμάτων Θέση ΟΣΕ

Θέση Ο.Σ.Ε. (OSE)				Θέση Ο.Σ.Ε. (OSE)			
h(m)	Dist(m)	P(ms)	Vp(m/s)	h(m)	Dist(m)	S(ms)	Vs(m/s)
2,00	2,33	2,41	967,60	2,00	2,33	6,79	343,54
4,00	4,18	9,00	349,91	4,00	4,18	21,89	201,37
6,00	6,12	13,23	512,02	6,00	6,12	25,59	245,07
8,00	8,09	16,53	785,89	8,00	8,09	36,52	319,16
10,00	10,07	17,58	1206,55	10,00	10,07	39,04	355,83
12,00	12,06	19,37	1608,67	12,00	12,06	46,06	488,99
14,00	14,05	20,03	1735,31	14,00	14,05	48,70	375,69
16,00	16,04	21,49	1894,38	16,00	16,04	52,03	384,98
18,00	18,04	22,27	1595,89	18,00	18,04	62,57	304,40
20,00	20,04	23,52	1583,44	20,00	20,04	65,02	293,03
22,00	22,03	25,27	1693,44	22,00	22,03	74,97	322,49
24,00	24,03	26,29	1825,40	24,00	24,03	79,89	338,57
26,00	26,03	26,78	1876,31	26,00	26,03	86,09	432,63
28,00	28,03	28,23	1405,18	28,00	28,03	88,96	537,64
30,00	30,02	29,62	1440,42	30,00	30,02	93,53	

Διάγραμμα P-S-Waves/Depth –Στρωματογραφία θέσης



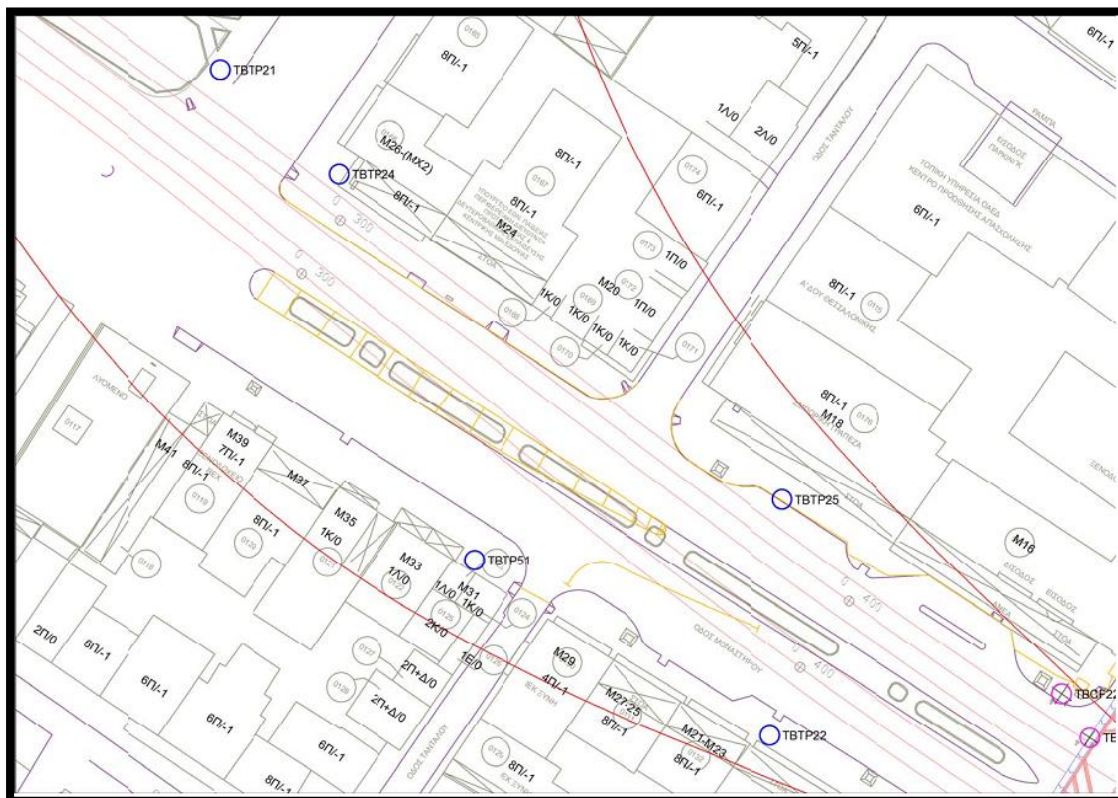
Διάγραμμα G(MPa),E(MPa)/Depth –Στρωματογραφία θέσης



Συγκεντρωτικός Πίνακας θέσης ΟΣΕ

Θέση Ο.Σ.Ε. ΟΣΕ								
Στρωματογραφία	Βάθος (m)	$\rho(\text{gr/cm}^3)$	$V_p(\text{m/s})$	$V_s(\text{m/s})$	V_p/V_s	$G(\text{Mpa})$	$E(\text{Mpa})$	F_p
ΑΝΘΡΠ	2,00	1,60	967,60	343,54	2,82	188,83	539,27	0,43
ΑΝΘΡΠ	4,00	1,60	349,91	202,17	1,73	65,40	163,42	0,25
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	6,00	1,65	512,02	268,36	1,91	118,83	311,47	0,31
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	8,00	1,75	785,89	322,47	2,44	181,97	509,08	0,40
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	10,00	1,73	1206,55	314,25	3,84	170,85	500,11	0,46
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	12,00	1,73	1608,67	322,03	5,00	179,40	530,73	0,48
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	14,00	1,75	1735,31	359,09	4,83	225,66	666,87	0,48
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	16,00	1,85	1894,38	451,97	4,19	377,91	1110,91	0,47
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	18,00	1,75	1595,89	352,50	4,53	217,45	641,20	0,47
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	20,00	1,75	1583,44	325,00	4,87	184,84	546,39	0,48
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	22,00	1,60	1693,44	298,51	5,67	142,57	423,15	0,48
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	24,00	1,70	1825,40	309,60	5,90	162,95	484,02	0,49
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	26,00	1,80	1876,31	445,53	4,21	357,29	1050,52	0,47
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	28,00	2,10	1405,18	569,01	2,47	679,92	1906,39	0,40
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	30,00	2,10	1440,42	569,04	2,53	680,00	1914,25	0,41
Μέσος Όρος	-	-	1365,36	363,54	3,80	262,26	753,19	0,43

[5.6.2.] Θέση Α.Ε.Γ.Ε.Κ. (ΑΕΓΕΚ)



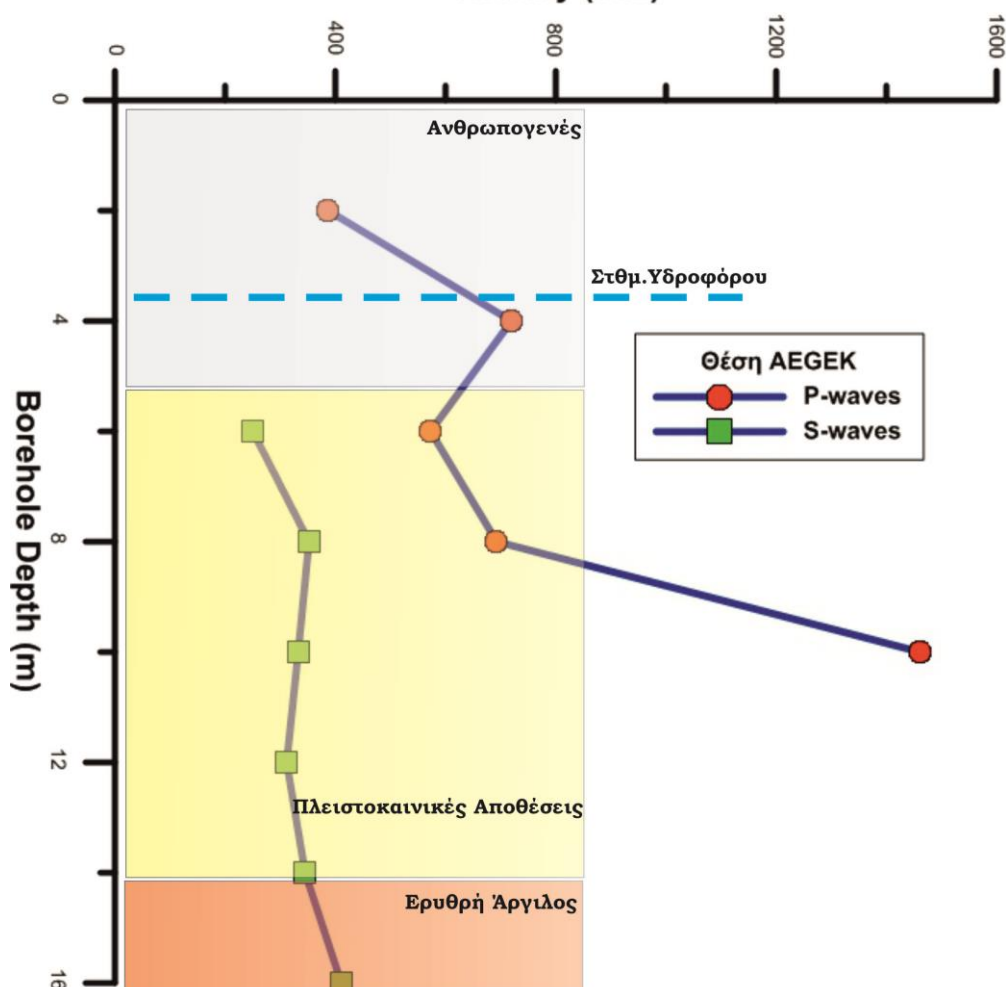
Εικόνα 5.5 Οριζοντιογραφία θέσης Α.Ε.Γ.Ε.Κ (ΑΕΓΕΚ) – δίκτυο γεωτρήσεων περιοχής (Αττικό Μετρό)

Πίνακες αφίξεων P και S κυμάτων Θέση ΑΕΓΕΚ

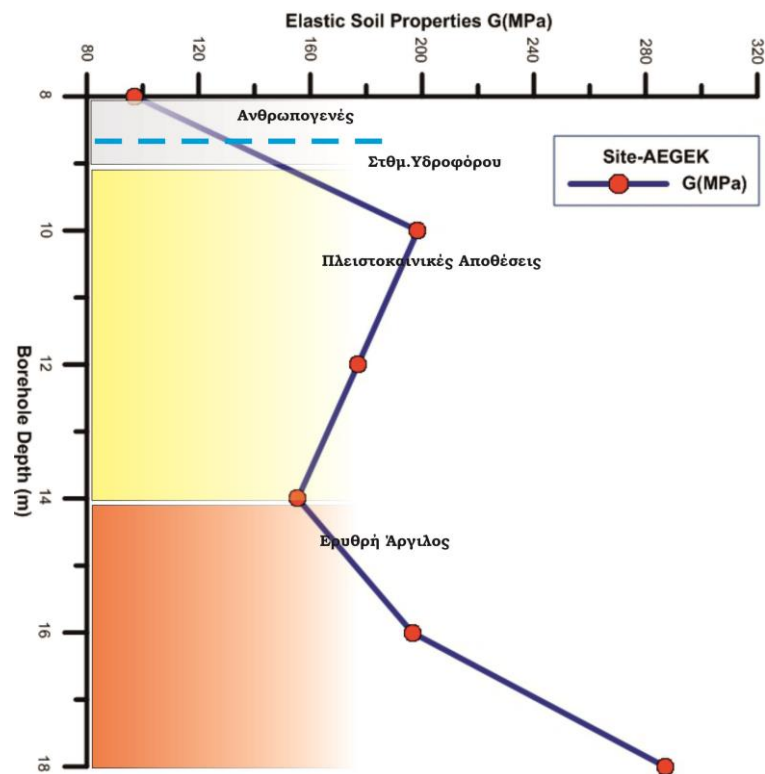
Θέση Α.Ε.Γ.Ε.Κ. (ΑΕΓΕΚ)			
h(m)	Dist(m)	P(ms)	Vp(m/s)
2,00	2,24	7,23	386,85
4,00	4,12	10,66	719,55
6,00	6,08	12,57	572,79
8,00	8,06	18,26	692,96
10,00	10,05	20,51	1461,16
12,00	12,04	20,98	
14,00	14,04		
16,00	16,03		
18,00	18,03		

Θέση Α.Ε.Γ.Ε.Κ. (ΑΕΓΕΚ)			
h(m)	Dist(m)	S(ms)	Vs(m/s)
6,00	6,08	24,31	250,23
8,00	8,06	30,26	352,21
10,00	10,05	35,57	332,64
12,00	12,04	42,57	311,72
14,00	14,04	48,05	345,10
16,00	16,03	55,98	410,84
18,00	18,03	57,76	

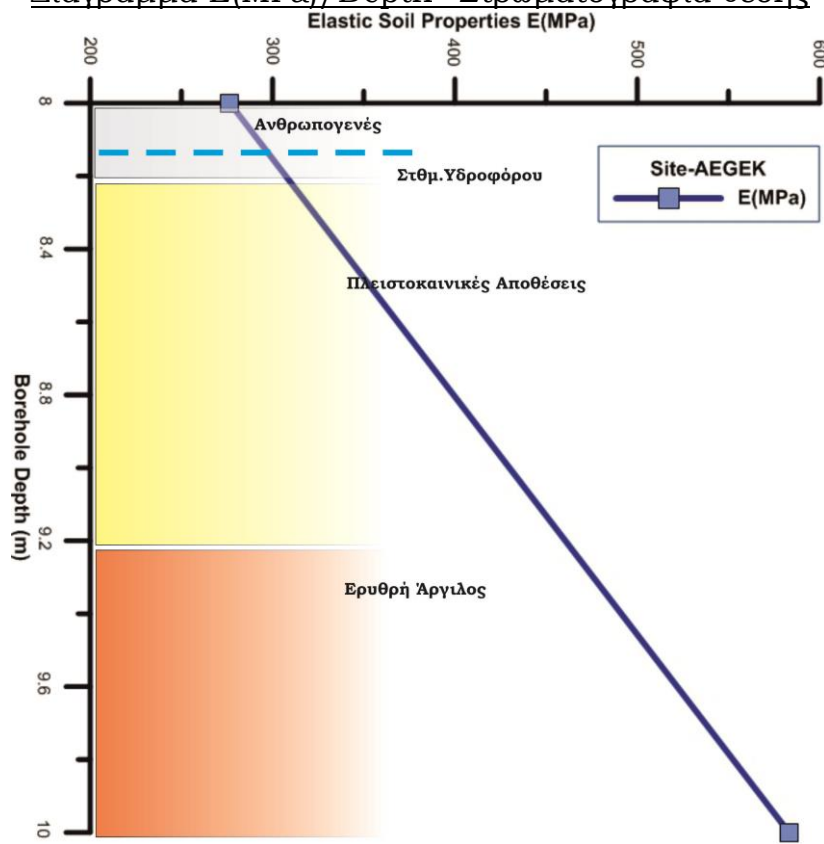
Διάγραμμα P-S-Waves/Depth –Στρωματογραφία θέσης
Velocity (m/s)



Διάγραμμα G(MPa)/Depth –Στρωματογραφία θέσης



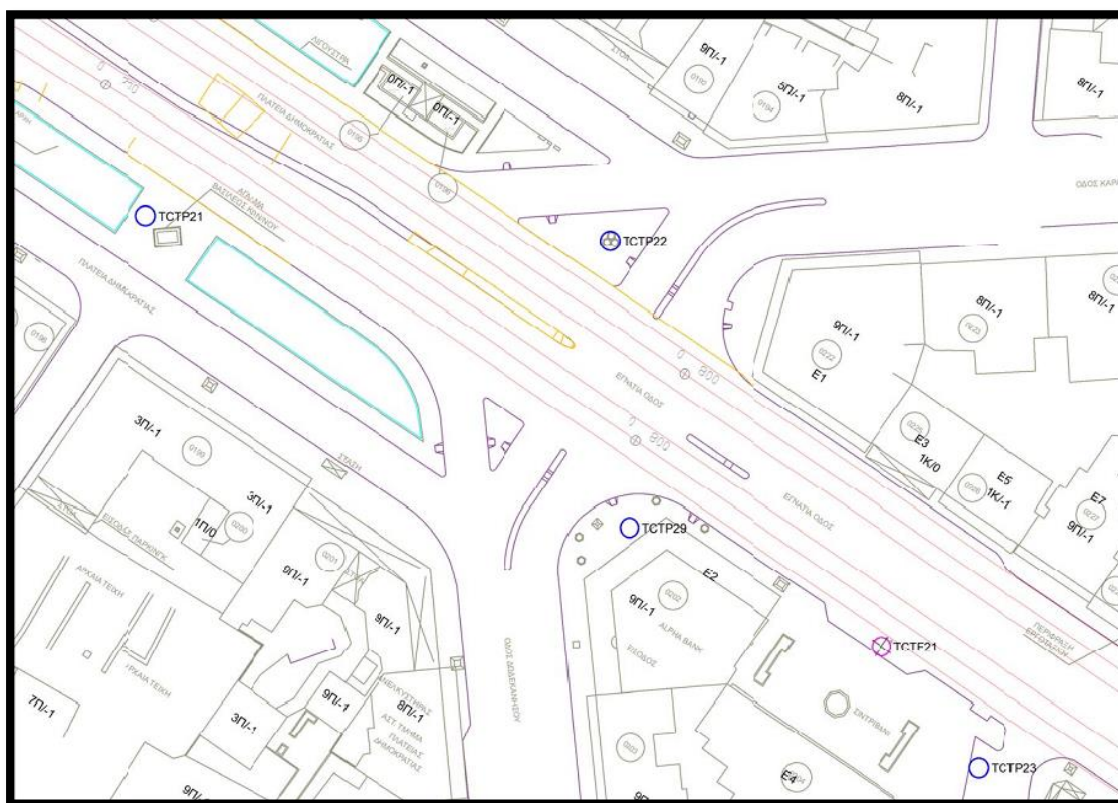
Διάγραμμα E(MPa)/Depth –Στρωματογραφία θέσης



Συγκεντρωτικός Πίνακας Θέσης ΑΕΓΕΚ

Θέση Α.Ε.Γ.Ε.Κ. (ΑΕΓΕΚ)								
Στρωματογραφία	Βάθος (m)	$\rho(\text{gr/cm}^3)$	$V_p(\text{m/s})$	$V_s(\text{m/s})$	V_p/V_s	G(Mpa)	E(Mpa)	Fp
ΑΝΘΡΠ	2,00	1,45	386,85	-	-	-	-	-
ΑΝΘΡΠ	4,00	1,60	719,55	-	-	-	-	-
ΑΝΘΡΠ	6,00	1,50	572,79	-	-	-	-	-
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	8,00	1,55	692,96	250,23	2,77	97,05	276,60	0,43
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	10,00	1,60	1461,16	352,21	4,15	198,48	583,21	0,47
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	12,00	1,60	-	332,64	-	177,04	-	-
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	14,00	1,60	-	311,72	-	155,47	-	-
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	16,00	1,65	-	345,10	-	196,50	-	-
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	18,00	1,70	-	410,84	-	286,95	-	-
Μέσος Όρος	-	-	766,66	333,79	3,46	185,25	429,90	0,45

[5.6.3.] Θέση Πλτ.Ελευθερίας (D.O.D.)

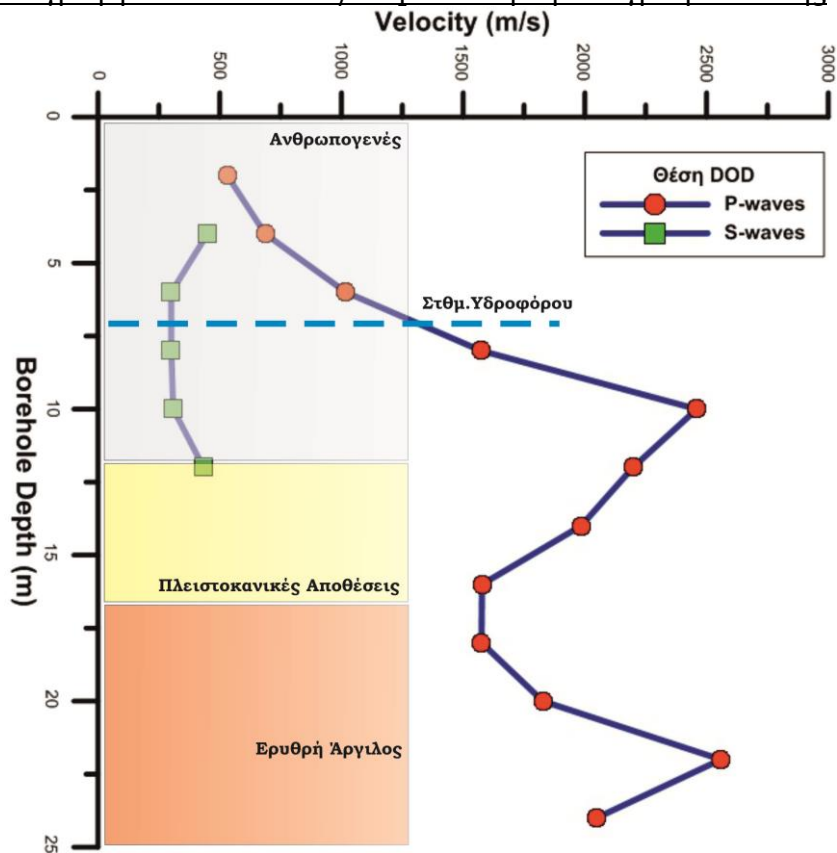


Εικόνα 5.6 Οριζοντιογραφία θέσης Πλ.Ελευθερίας (D.O.D.) – δίκτυο γεωτρήσεων περιοχής (Αττικό Μετρό)

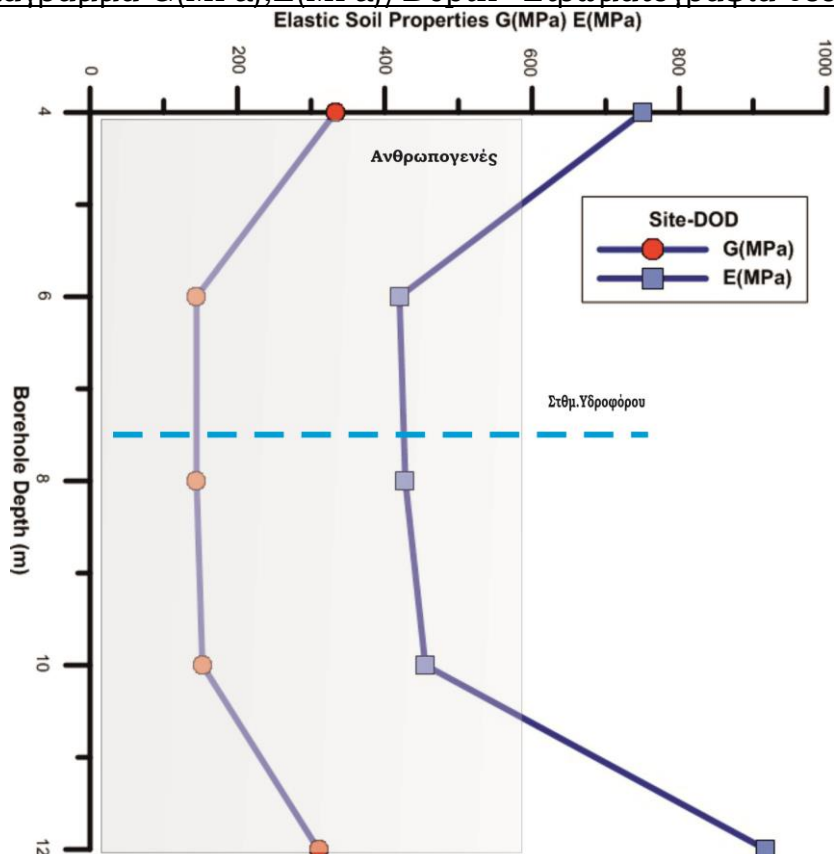
Πίνακες αφίξεων P και S κυμάτων Θέση DOD

Θέση Πλ.Ελευθερίας (D.O.D.)				Θέση Πλ.Ελευθερίας (D.O.D.)			
h(m)	Dist(m)	P(ms)	Vp(m/s)	h(m)	Dist(m)	S(ms)	Vs(m/s)
2,00	2,33	4,40	530,56	2,00	2,33	4,318041	
4,00	4,18	6,87	686,62	4,00	4,18	7,335467	449,27
6,00	6,12	9,91	1018,44	6,00	6,12	12,74602	300,60
8,00	8,09	10,82	1572,86	8,00	8,09	20,28959	300,48
10,00	10,07	11,94	2459,80	10,00	10,07	30,09623	308,72
12,00	12,06	12,12	2197,29	12,00	12,06	31,47488	433,40
14,00	14,05	13,29	1984,07	14,00	14,05	39,27856	
16,00	16,04	14,67	1577,35	16,00	16,04		
18,00	18,04	15,69	1575,13	18,00	18,04		
20,00	20,04	17,25	1827,23	20,00	20,04		
22,00	22,03	18,34	2559,05	22,00	22,03		
24,00	24,03	18,81	2047,74	24,00	24,03		
26,00	26,03	20,29					

Διάγραμμα P-S-Waves/Depth –Στρωματογραφία θέσης



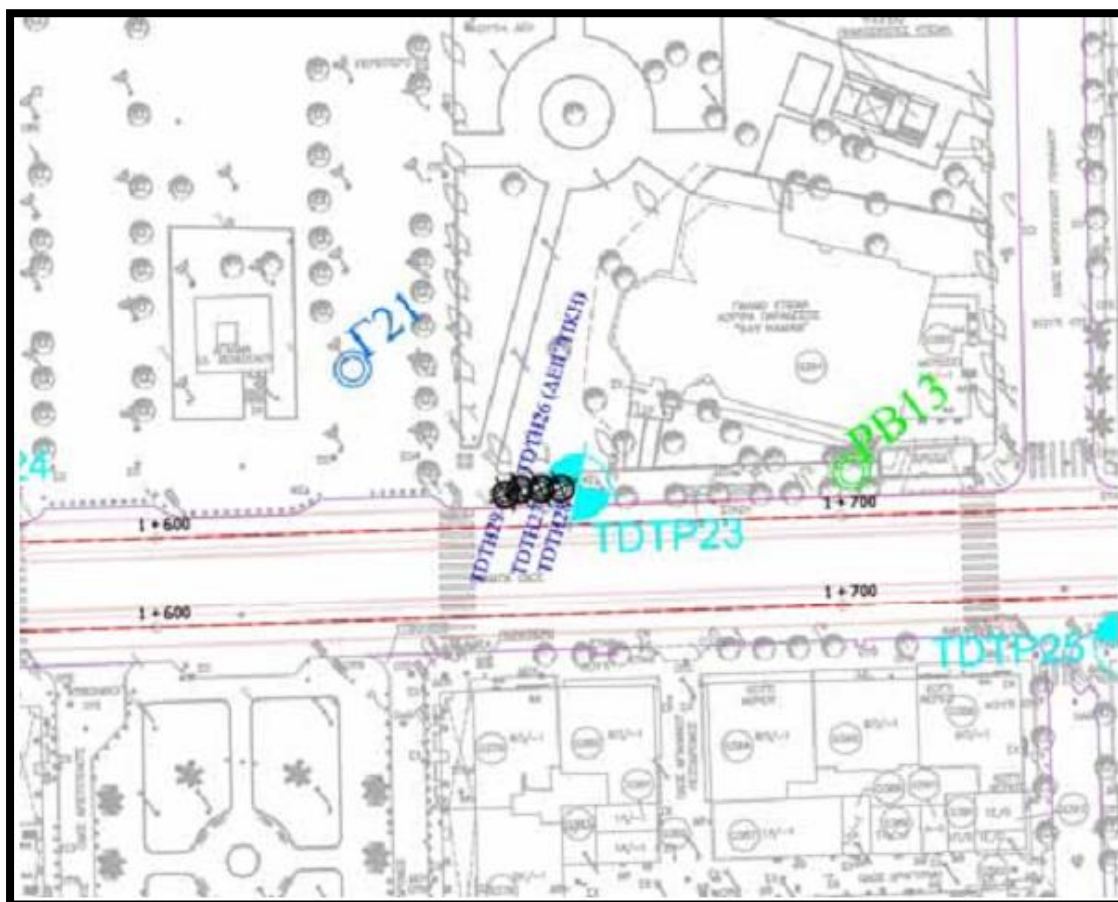
Διάγραμμα G(MPa),E(MPa)/Depth –Στρωματογραφία θέσης



Συγκεντρωτικός Πίνακας Θέσης DOD

Θέση Πλ.Ελυθερίας (D.O.D.)								
Στρωματογραφία	Βάθος (m)	$\rho(\text{gr/cm}^3)$	$V_p(\text{m/s})$	$V_s(\text{m/s})$	V_p/V_s	G(Mpa)	E(Mpa)	Fp
ΑΝΘΡΠ	2,00	1,45	530,56	-	-	-	-	-
ΑΝΘΡΠ	4,00	1,65	686,62	449,27	1,528302	333,04	749,79	0,13
ΑΝΘΡΠ	6,00	1,60	1018,44	300,60	3,387978	144,58	419,94	0,45
ΑΝΘΡΠ	8,00	1,60	1572,86	300,48	5,23444	144,46	427,92	0,48
ΑΝΘΡΠ	10,00	1,60	2459,80	308,72	7,967742	152,49	455,04	0,49
ΑΝΘΡΠ	12,00	1,65	2197,29	433,40	5,069927	309,92	917,22	0,48
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	14,00	1,00	1984,07	-	-	-	-	-
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	16,00	1,90	1577,35	-	-	-	-	-
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	18,00	1,90	1575,13	-	-	-	-	-
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	20,00	1,95	1827,23	-	-	-	-	-
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	22,00	2,25	2559,05	-	-	-	-	-
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	24,00	2,10	2047,74	-	-	-	-	-
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ								
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ								
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ								
Μέσος Όρος	-	-	1669,68	358,49	4,64	216,90	593,98	0,41

[5.6.4.] Θέση Πλτ. Αριστοτέλους (ARST)

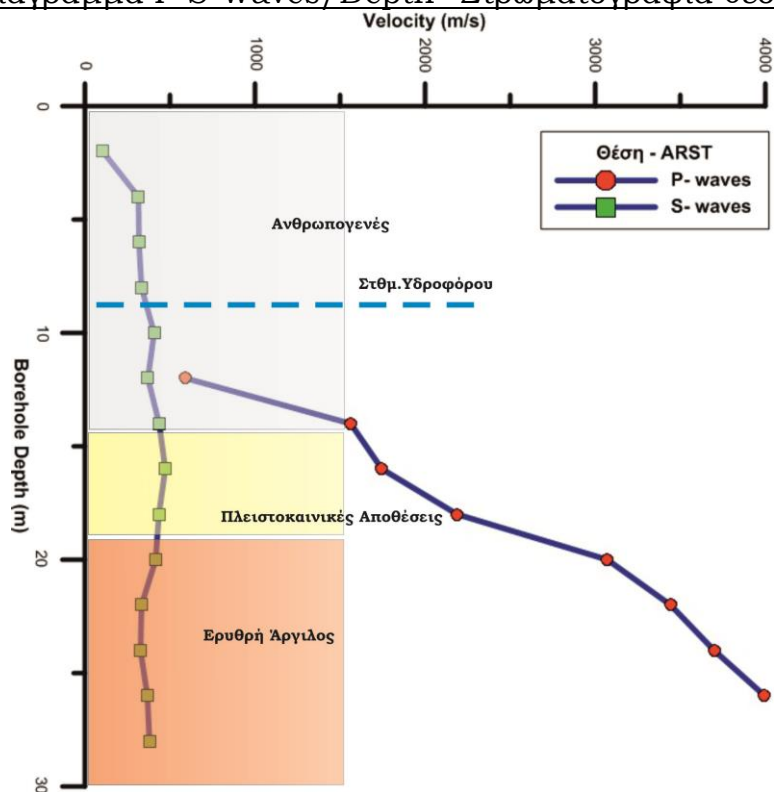


Εικόνα 5.7 Οριζοντιογραφία θέσης Πλ.Αριστοτέλους (ARST) – δίκτυο γεωτρήσεων περιοχής (Αττικό Μειρό)

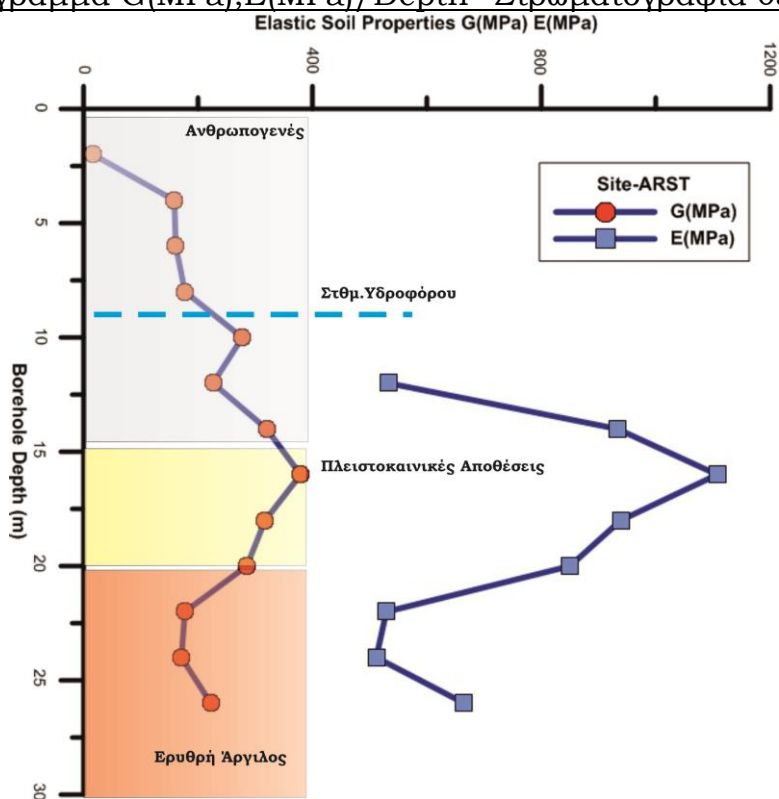
Πίνακες αφίξεων P και S κυμάτων Θέση ARST

Θέση Πλ. Αριστοτέλους (ARST)				Θέση Πλ.Αριστοτέλους (ARST)			
h(m)	Dist(m)	P(ms)	Vp(m/s)	h(m)	Dist(m)	S(m)	Vs(m)
2,00	2,33	-	-	2,00	2,33	22,30	104,60
4,00	4,18	-	-	4,00	4,18	25,37	314,82
6,00	6,12	-	-	6,00	6,12	34,33	317,37
8,00	8,09	-	-	8,00	8,09	38,72	332,75
10,00	10,07	-	-	10,00	10,07	46,18	406,34
12,00	12,06	20,37	592,11	12,00	12,06	49,08	370,20
14,00	14,05	21,64	1562,43	14,00	14,05	53,55	436,41
16,00	16,04	23,40	1745,75	16,00	16,04	61,89	472,28
18,00	18,04	24,20	2188,98	18,00	18,04	62,60	434,58
20,00	20,04	24,80	3071,21	20,00	20,04	65,67	415,70
22,00	22,03	25,50	3443,01	22,00	22,03	74,62	332,55
24,00	24,03	26,00	3698,97	24,00	24,03	79,89	326,90
26,00	26,03	26,50	3995,72	26,00	26,03	85,51	367,05
28,00	28,03	27,00	-	28,00	28,03	90,78	379,31

Διάγραμμα P-S-Waves/Depth –Στρωματογραφία θέσης



Διάγραμμα G(MPa),E(MPa)/Depth –Στρωματογραφία θέσης



Συγκεντρωτικός Πίνακας Θέση ARST

Θέση Πλατεία Αριστοτέλους (ARST)								
Στρωματογραφία	Βάθος (m)	$\rho(\text{gr/cm}^3)$	Vp(m/s)	Vs(m/s)	Vp/Vs	G(Mpa)	E(Mpa)	Fp
ΑΝΘΡΠ	2,00	1,55	-	104,60	-	16,96	-	-
ΑΝΘΡΠ	4,00	1,60	-	314,82	-	158,58	-	-
ΑΝΘΡΠ	6,00	1,60	-	317,37	-	161,16	-	-
ΑΝΘΡΠ	8,00	1,60	-	332,75	-	177,16	-	-
ΑΝΘΡΠ	10,00	1,68	-	406,34	-	277,39	-	-
ΑΝΘΡΠ	12,00	1,65	592,11	370,20	1,59941	226,13	533,27	0,18
ΑΝΘΡΠ	14,00	1,68	1562,43	436,41	3,58021	319,96	932,80	0,46
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	16,00	1,70	1745,75	472,28	3,6964	379,19	1107,62	0,46
ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	18,00	1,68	2188,98	434,58	5,037	317,29	938,84	0,48
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	20,00	1,65	3071,21	415,70	7,38799	285,13	850,08	0,49
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	22,00	1,60	3443,01	332,55	10,3533	176,94	529,17	0,50
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	24,00	1,60	3698,97	326,90	11,3153	170,98	511,59	0,50
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	26,00	1,65	3995,72	367,05	10,8861	222,29	664,99	0,50
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ								
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ								
Μέσος Όρος	-	-	2537,27	356,27	6,73	222,24	758,55	0,44

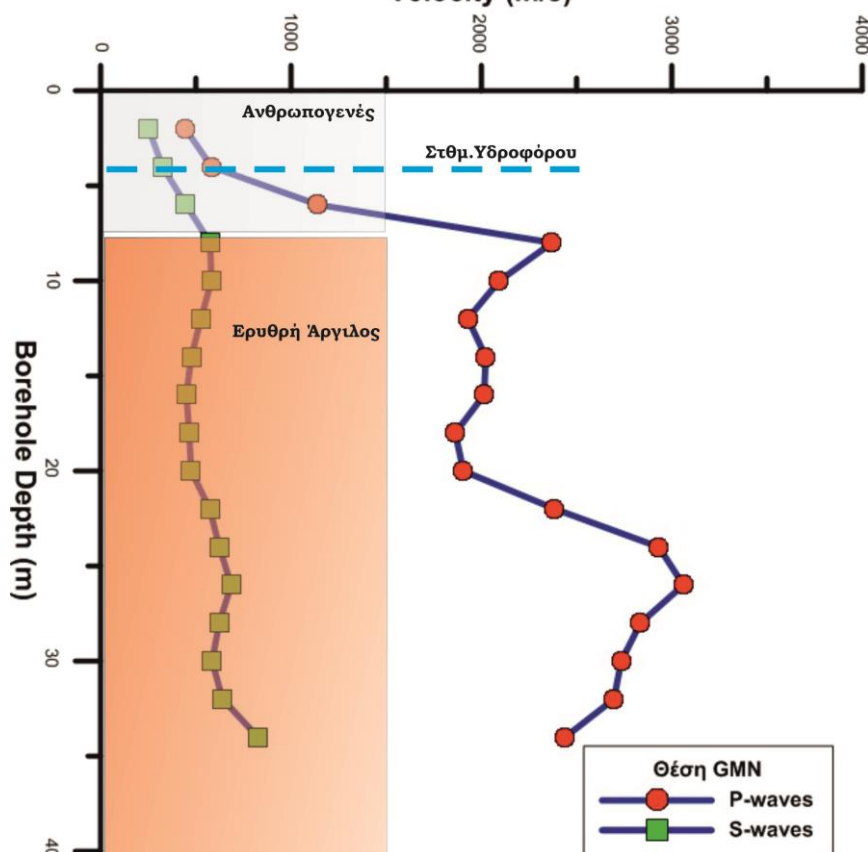
[5.6.5.] Θέση 13^ο Γυμνάσιο Θεσ/νίκης (GMN)



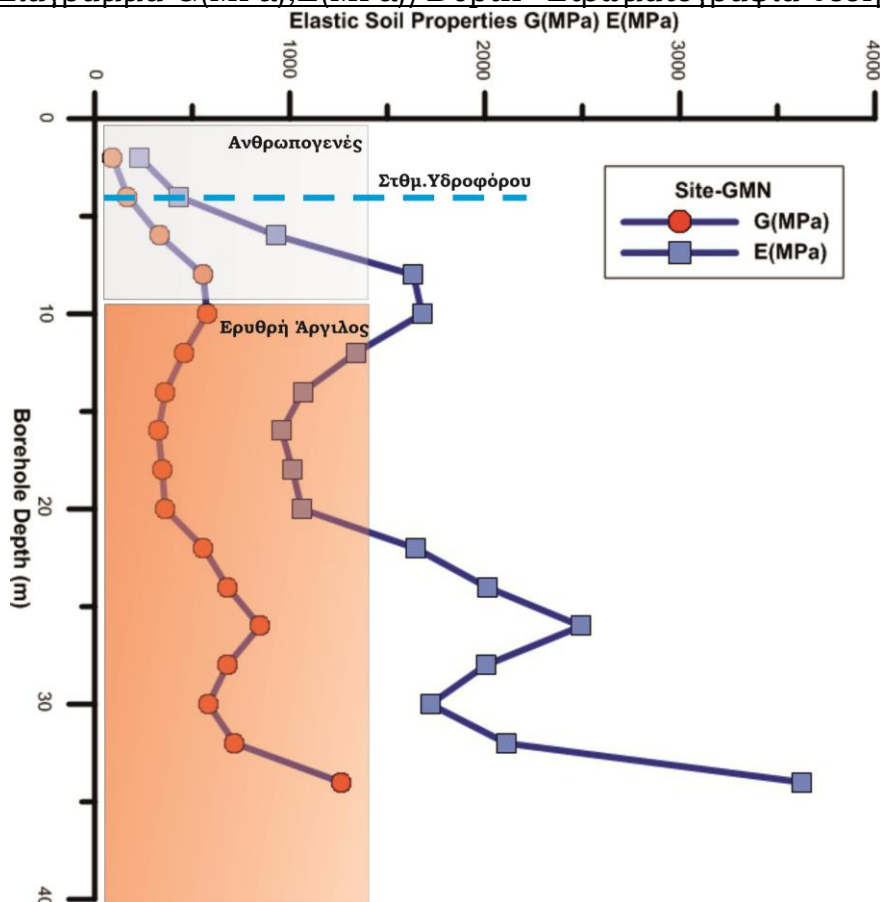
Πίνακες αφίξεων P και S κυμάτων Θέση GMN

Θέση 13ου Γυμνασίου Θεσ/νίκης (GMN)				Θέση 13ου Γυμνασίου Θεσ/νίκης (GMN)			
h(m)	Dist(m)	P(ms)	Vp(m/s)	h(m)	Dist(m)	S(ms)	Vs(m/s)
2,00	2,24	3,38	445,24	2,00	2,24	9,91	251,60
4,00	4,12	9,26	582,20	4,00	4,12	16,39	325,37
6,00	6,08	9,99	1141,57	6,00	6,08	21,73	448,15
8,00	8,06	10,43	2371,76	8,00	8,06	24,23	575,46
10,00	10,05	11,37	2093,98	10,00	10,05	27,82	581,77
12,00	12,04	12,75	1928,61	12,00	12,04	30,55	526,96
14,00	14,04	13,58	2023,13	14,00	14,04	35,66	475,96
16,00	16,03	14,49	2013,87	16,00	16,03	39,21	450,68
18,00	18,03	15,43	1863,18	18,00	18,03	44,44	464,81
20,00	20,02	16,78	1905,40	20,00	20,02	48,30	475,32
22,00	22,02	17,79	2385,25	22,00	22,02	52,60	573,39
24,00	24,02	18,55	2932,00	24,00	24,02	56,15	623,78
26,00	26,02	18,73	3060,91	26,00	26,02	57,94	685,66
28,00	28,02	19,72	2835,31	28,00	28,02	61,65	623,17
30,00	30,02	20,47	2734,64	30,00	30,02	64,42	585,47
32,00	32,02	21,20	2696,45	32,00	32,02	68,95	640,41
34,00	34,01	21,64	2439,79	34,00	34,01	71,36	826,38
36,00	36,01	22,84		36,00	36,01	73,78	

Διάγραμμα P-S-Waves/Depth –Στρωματογραφία θέσης



Διάγραμμα G(MPa),E(MPa)/Depth –Στρωματογραφία θέσης

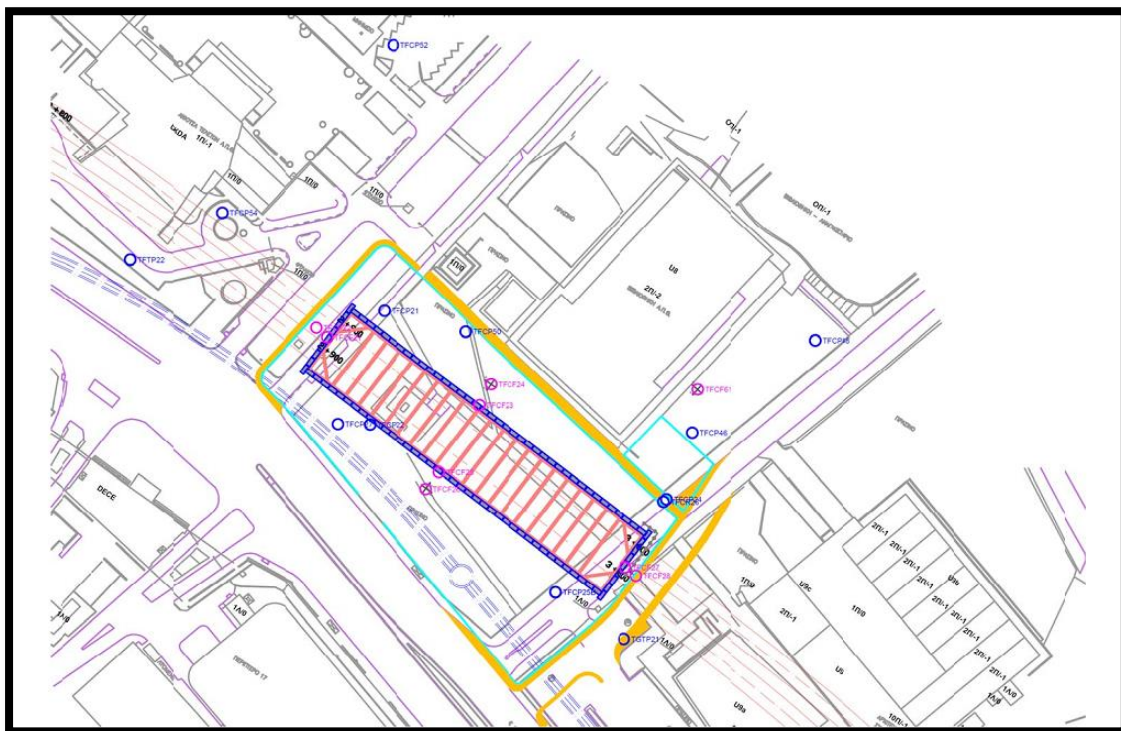


Συγκεντρωτικός Πίνακας Θέση GMN

Θέση Περιοχή 13ου Γυμνασίου Θεσσαλονίκης (GMN)

Στρωματογραφία	Βάθος (m)	$\rho(\text{gr/cm}^3)$	$V_p(\text{m/s})$	$V_s(\text{m/s})$	V_p/V_s	G(Mpa)	E(Mpa)	F_p
ΑΝΘΡΠ	2,00	1,45	445,24	251,60	1,769663	91,79	232,30	0,27
ΑΝΘΡΠ	4,00	1,60	582,20	325,37	1,78937	169,38	431,22	0,27
ΑΝΘΡΠ	6,00	1,65	1141,57	448,15	2,547317	331,38	933,76	0,41
ΑΝΘΡΠ	8,00	1,68	2371,76	575,46	4,121496	556,34	1634,23	0,47
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	10,00	1,70	2093,98	581,77	3,599295	575,39	1678,03	0,46
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	12,00	1,65	1928,61	526,96	3,659891	458,18	1337,58	0,46
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	14,00	1,60	2023,13	475,96	4,250659	362,46	1066,13	0,47
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	16,00	1,60	2013,87	450,68	4,468504	324,98	957,81	0,47
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	18,00	1,60	1863,18	464,81	4,008495	345,68	1014,09	0,47
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	20,00	1,60	1905,40	475,32	4,008685	361,48	1060,46	0,47
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	22,00	1,70	2385,25	573,39	4,159937	558,91	1642,46	0,47
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	24,00	1,75	2932,00	623,78	4,700381	680,93	2010,50	0,48
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	26,00	1,80	3060,91	685,66	4,464145	846,24	2494,03	0,47
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	28,00	1,75	2835,31	623,17	4,549816	679,60	2004,29	0,47
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	30,00	1,70	2734,64	585,47	4,67082	582,72	1720,18	0,48
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	32,00	1,75	2696,445	640,4058	4,210526	717,71	2110,22	0,47
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	34,00	1,85	2439,789	826,3801	2,952381	1263,37	3626,40	0,44
Μέσος Όρος	-	-	2295,06	570,49	4,02	576,36	1686,01	0,46

[5.6.6.] Θέση Α.Π.Θ. (ΑΥΤΗ)

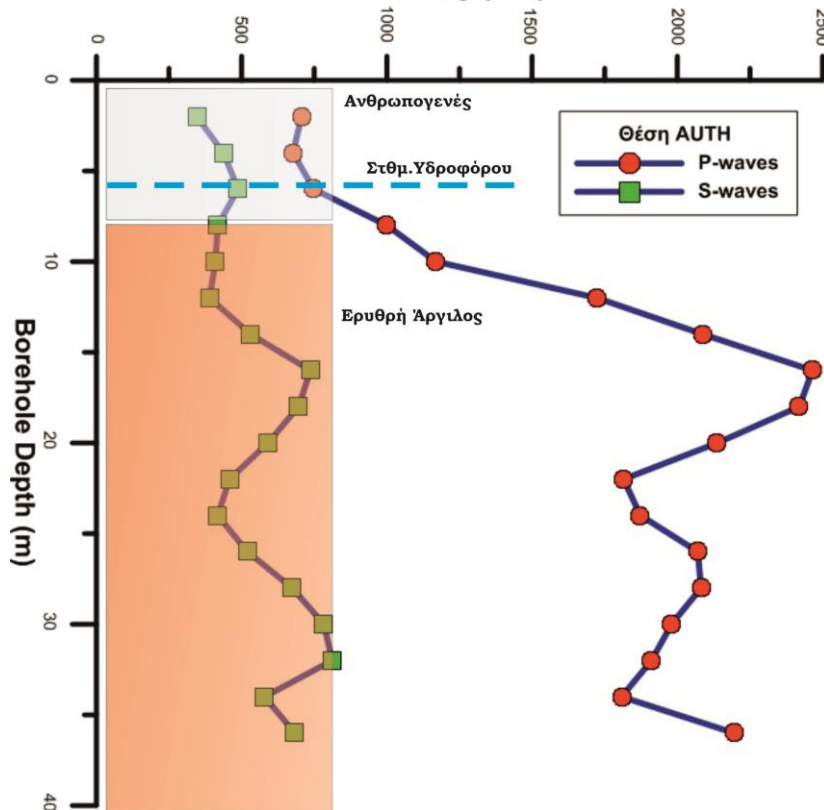


Εικόνα 5.9 Οριζοντιογραφία θέσης Α.Π.Θ. (AUTH) – δίκτυο γεωτρήσεων περιοχής (Αττικό Μετρό)

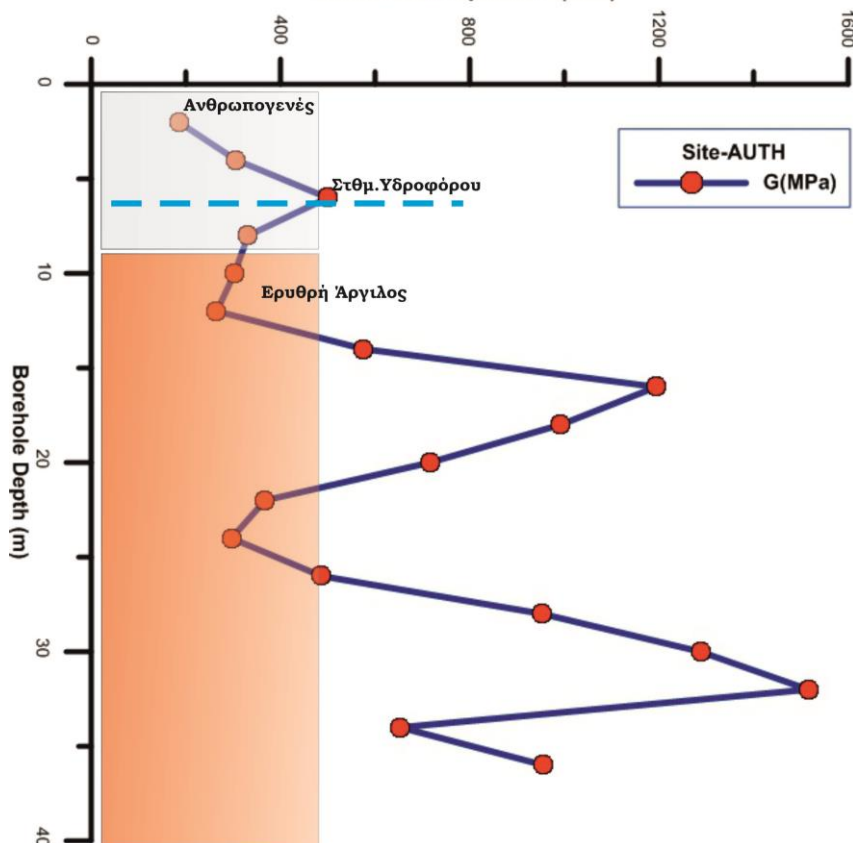
Πίνακες αφίξεων P και S κυμάτων Θέση ΑΥΤΗ

Θέση Α.Π.Θ. (ATUH)				Θέση Α.Π.Θ. (AUTH)			
h(m)	Dist(m)	P(ms)	Vp(m/s)	h(m)	Dist(m)	S(ms)	Vs(m/s)
2,00	2,33	3,30	706,02	2,00	2,33	6,75	345,53
4,00	4,18	7,49	677,04	4,00	4,18	9,91	437,13
6,00	6,12	8,90	747,62	6,00	6,12	15,41	487,73
8,00	8,09	12,67	999,71	8,00	8,09	17,21	417,70
10,00	10,07	13,68	1169,54	10,00	10,07	22,98	410,01
12,00	12,06	14,96	1722,20	12,00	12,06	29,73	389,31
14,00	14,05	16,23	2086,78	14,00	14,05	33,34	530,18
16,00	16,04	17,17	2464,93	16,00	16,04	37,57	736,86
18,00	18,04	17,35	2419,84	18,00	18,04	37,85	695,64
20,00	20,04	18,44	2137,71	20,00	20,04	41,01	590,79
22,00	22,03	19,72	1814,88	22,00	22,03	45,96	458,19
24,00	24,03	20,65	1872,89	24,00	24,03	50,41	417,56
26,00	26,03	21,75	2070,17	26,00	26,03	54,94	519,82
28,00	28,03	22,76	2081,71	28,00	28,03	60,44	673,82
30,00	30,02	23,49	1980,01	30,00	30,02	60,17	783,12
32,00	32,02	24,58	1911,24	32,00	32,02	62,62	811,75
34,00	34,02	25,88	1807,97	34,00	34,02	66,60	578,82
36,00	36,02	26,79	2195,47	36,00	36,02	69,53	683,04

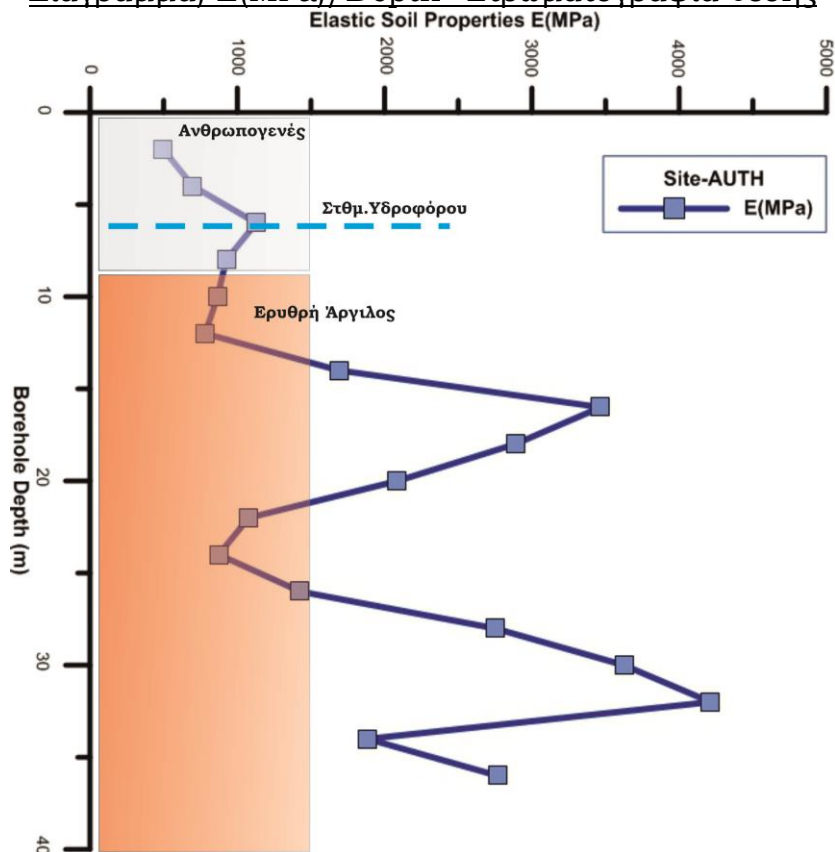
Διάγραμμα P-S-Waves/Depth –Στρωματογραφία θέσης
Velocity (m/s)



Διάγραμμα G(MPa)/Depth –Στρωματογραφία θέσης
Elastic Soil Properties G(MPa)



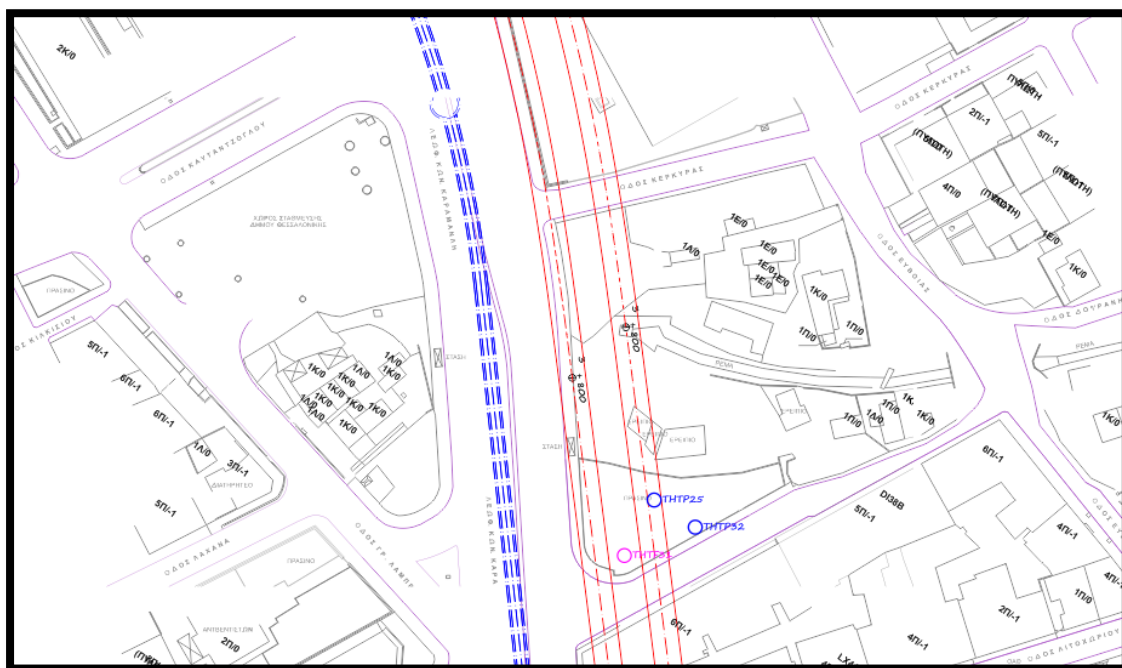
Διάγραμμα E(MPa)/Depth –Στρωματογραφία θέσης



Συγκεντρωτικός Πίνακας Θέση AUTH

Θέση Α.Π.Θ. (AUTH)								
Στρωματογραφία	Βάθος (m)	$\rho(\text{gr/cm}^3)$	$V_p(\text{m/s})$	$V_s(\text{m/s})$	V_p/V_s	G(Mpa)	E(Mpa)	Fp
ΑΝΘΡΠ	2,00	1,55	706,02	345,53	2,043308	185,05	496,88	0,34
ΑΝΘΡΠ	4,00	1,60	677,04	437,13	1,548837	305,73	698,64	0,14
ΑΝΘΡΠ	6,00	2,10	747,62	487,73	1,532842	499,55	1128,51	0,13
ΑΝΘΡΠ	8,00	1,90	999,71	417,70	2,393402	331,49	924,37	0,39
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	10,00	1,80	1169,54	410,01	2,852432	302,60	865,40	0,43
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	12,00	1,75	1722,20	389,31	4,423746	265,23	781,41	0,47
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	14,00	2,05	2086,78	530,18	3,935967	576,24	1688,97	0,47
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	16,00	2,20	2464,93	736,86	3,3452	1194,50	3466,29	0,45
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	18,00	2,05	2419,84	695,64	3,478595	992,02	2886,69	0,45
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	20,00	2,05	2137,71	590,79	3,618384	715,52	2087,39	0,46
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	22,00	1,75	1814,88	458,19	3,960992	367,39	1077,15	0,47
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	24,00	1,70	1872,89	417,56	4,485366	296,40	873,70	0,47
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	26,00	1,80	2070,17	519,82	3,982481	486,38	1426,41	0,47
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	28,00	2,10	2081,71	673,82	3,089431	953,46	2748,79	0,44
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	30,00	2,10	1980,01	783,12	2,528352	1287,89	3624,84	0,41
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	32,00	2,30	1911,243	811,7486	2,354476	1515,55	4213,10	0,39
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	34,00	1,95	1807,97	578,8229	3,123528	653,32	1885,35	0,44
ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ	36,00	2,05	2195,471	683,0375	3,214275	956,41	2766,73	0,45
Μέσος Όρος	-	-	1915,67	579,77	3,39	726,29	2087,77	0,44

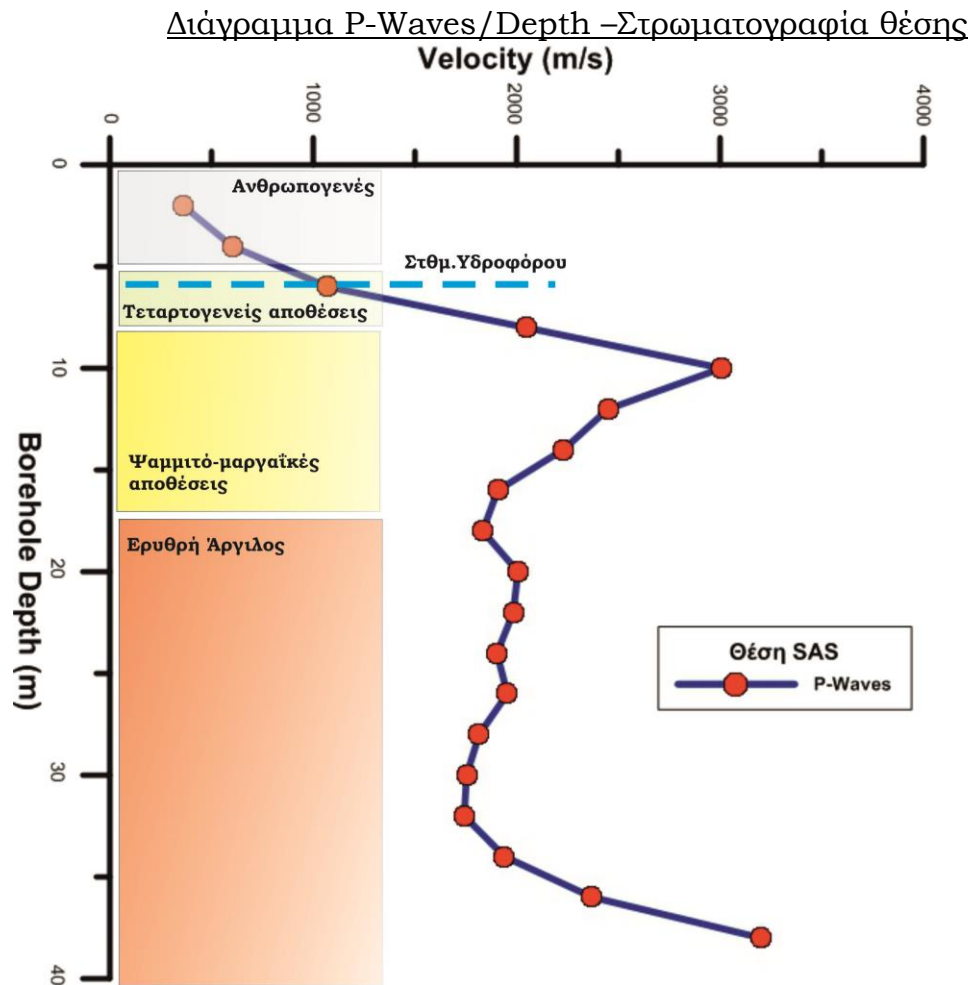
[5.6.7.] Θέση Στρατιωτικό Νοσοκομείο Παλιό 424. (SAS)



Εικόνα 5.9 Οριζοντιογραφία θέσης “παλιό” Στρατιωτικό Νοσοκομείο 424 (SAS) – δίκτυο γεωτρήσεων περιοχής (Αττικό Μειρό)

Πίνακες αφίξεων P και S κυμάτων Θέση SAS

Θέση "παλιό" 424 (SAS)			
h(m)	Dist(m)	P(ms)	Vp(m/s)
2,00	2,33	6,50	358,83
4,00	4,18	10,30	601,21
6,00	6,12	12,80	1071,52
8,00	8,09	13,07	2046,20
10,00	10,07	14,16	3008,04
12,00	12,06	14,44	2450,82
14,00	14,05	15,41	2229,55
16,00	16,04	16,50	1906,95
18,00	18,04	17,60	1832,95
20,00	20,04	18,57	2006,38
22,00	22,03	19,82	1983,70
24,00	24,03	20,37	1903,06
26,00	26,03	21,73	1954,28
28,00	28,03	22,86	1815,96
30,00	30,02	23,68	1753,98
32,00	32,02	24,89	1742,22
34,00	34,02	26,42	1940,36
36,00	36,02	27,23	2371,72
38,00	38,02	27,66	3202,01
40,00	40,02	28,48	



Στις θέσεις ARST και SAS αντιμετωπίστηκαν προβλήματα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, και στις δύο θέσεις υπήρχαν προβληματικές μετρήσεις. Στη ARST εξαιτίας του μεγάλου πάχους που παρουσιάζουν οι ανθρωπογενείς αποθέσεις τα επιμήκη κύματα παρουσίαζαν εξαιρετικά μεγάλες τιμές ενώ αντίστοιχα στη θέση SAS οι μετρήσεις των εγκάρσιων κυμάτων ήταν πολύ κακής ποιότητας ώστε να καθίσταται αδύνατη η αξιόπιστη επεξεργασία και παρουσίαση τους.

[5.7] Ομαδοποίηση δεδομένων-Στατιστική αποτύπωση

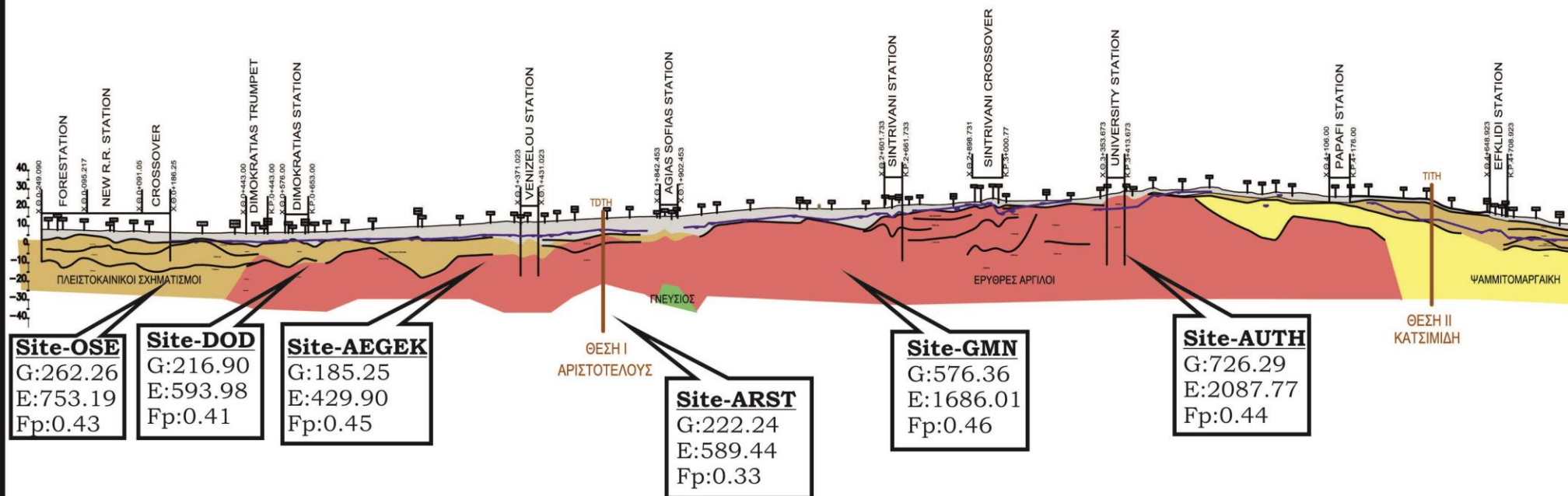
Στον παρακάτω πίνακα ομαδοποιήθηκαν τα αποτελέσματα και υπολογίστηκε ο μέσος όρος για κάθε θέση σε ότι αναφορά τα ελαστικά μέτρα και τις ταχύτητες των ελαστικών κυμάτων. Επίσης υπολογίστηκε ο συνολικός μέσος όρος για κάθε σχηματισμό για την ευρύτερη περιοχή μελέτης, όπου έγιναν οι μετρήσεις Down-hole.

Πινάκας Μέσων Όρων για κάθε θέση και γεωλ.σχηματισμό

Θέσεις	Γεωλογικός Σχηματισμός	ΑΝΘΡΠ	ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ
	Μέσος Όρος			
OSE	Vp(m/s)	658,76	1474,07	-
	Vs(m/s)	272,86	377,49	-
	G(Mpa)	127,12	283,05	-
	E(Mpa)	351,34	815,01	-
AEGEK	Vp(m/s)	559,73	1077,06	-
	Vs(m/s)	-	311,69	355,89
	G(Mpa)	-	157,52	-
	E(Mpa)	-	429,90	-
DOD	Vp(m/s)	1410,93	1780,71	2002,29
	Vs(m/s)	358,49	-	-
	G(Mpa)	216,90	-	-
	E(Mpa)	593,98	-	-
GMN	Vp(m/s)	1135,19	-	2377,89
	Vs(m/s)	400,14	-	579,52
	G(Mpa)	287,22	-	596,74
	E(Mpa)	807,88	-	1747,86
ARST	Vp(m/s)	1077,27	1967,37	3552,23
	Vs(m/s)	326,07	453,43	360,55
	G(Mpa)	191,05	348,24	213,84
	E(Mpa)	733,04	1023,23	638,96
AUTH	Vp(m/s)	782,60	-	1981,10
	Vs(m/s)	422,02	-	591,35
	G(Mpa)	330,46	-	754,49
	E(Mpa)	812,10	-	2170,87
Συνολικός Μέσος Όρος	Vp(m/s)	937,41	1574,80	2478,37
	Vs(m/s)	355,92	380,87	471,83
	G(Mpa)	230,55	262,94	521,69
	E(Mpa)	659,67	756,05	1519,23

Στην εικόνα (5.9) παρουσιάζεται μορφοποιημένη η γεωλογική μηκοτομή στην οποία αναφέρονται συγκεντρωτικά οι μέσοι όροι των τιμών για της ταχύτητες των ελαστικών κυμάτων αλλά και των ελαστικών μέτρων (για κάθε θέση αλλά και συνολικά για την περιοχή).

Μηκοτομή Δυτικού Τμήματος βασικού άξονα (Μετρό Θεσσαλονίκης)



	Γεωλογικός Σχηματισμός	ΑΝΘΡΠ	ΠΛΣΤ/ΑΠΘΣ	ΕΡΘΡ/ΑΡΓΛΣ
Συνολικός Μέσος Όρος	Vp(m/s)	937,41	1574,80	2478,37
	Vs(m/s)	355,92	380,87	471,83
	G(Mpa)	230,55	262,94	521,69
	E(Mpa)	659,67	756,05	1519,23

Εικόνα 5.9 Μηκοτομή περιοχής εφαρμογής των μεθόδων Down-hole και συγκεντρωτική παρουσίαση των μέσων όρων ελαστικών παραμέτρων και ταχυτήτων ελαστικών κυμάτων σε κάθε θέση καθώς και για κάθε σχηματισμό (Τροποποιημένη από Αττικό Μετρό).

6. Συμπεράσματα- Σύνοψη

[6.1] Γενικά

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε ένα δίκτυο επτά γεωτρήσεων, οι οποίες είναι χωροθετημένες στο δυτικό τμήμα του άξονα όδευσης του Μετρό Θεσσαλονίκης. Το γεωλογικό περιβάλλον που βρίσκονται αυτές οι γεωτρήσεις κυριαρχεί από 3 κύριους γεωλογικούς σχηματισμούς:

1. Τεχνητές επιχώσεις-Ανθρωπογενές στρώμα, τοπικά έως και περίπου 15 μέτρα.
2. Πλειστοκαινικές αποθέσεις
3. Ερυθρές Άργιλοι

[6.2] Καταγραφές ελαστικών κυμάτων

[6.2.1] Επιμήκη κύματα (P-waves)

Οι μετρήσεις που έγιναν για το καθορισμό των ταχυτήτων των P-κυμάτων ελέγχονται κατά κύριο λόγο από τη θέση του υδροφόρου ορίζοντα σε κάθε θέση. Έτσι, οι ταχύτητες παρουσιάζουν γενικά ομαλή αύξηση με το βάθος και απότομη αύξηση σε βάθη σε τιμές $\geq 1500\text{m/s}$, μεταξύ των 5 και 7 μέτρων, όπου συνήθως εντοπίζεται και η παρουσία του επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα. Λόγω της φύσης και συμπεριφοράς των P ελαστικών κυμάτων (διαδίδονται και σε ρευστά) οι μετρούμενες ταχύτητες ελέγχονται κυρίως από την παρουσία του υδροφόρου και πολύ λιγότερο από τη φύση των γεωλογικών υλικών. Κατά συνέπεια, οι προσδιορισμένες ταχύτητες των P κυμάτων δεν δίνουν ιδιαίτερες πληροφορίες και είναι απαραίτητος ο συνδυασμός τους με τα δεδομένα που εξάγονται από τη μελέτη των εγκάρσιων κυμάτων.

Στην περιοχή της πλατείας Αριστοτέλους, όπως αναφέρεται και παραπάνω στο κείμενο, έχει καθοριστεί ότι το πάχος των ανθρωπογενών αποθέσεων υπερβαίνει τα 15 m, παρουσιάζοντας εξαιρετικά πολύπλοκη τρισδιάστατη δομή. Το γεγονός αυτό επηρεάζει σημαντικά τον καθορισμό των ταχυτήτων των ελαστικών κυμάτων, παραβιάζοντας την υπόθεση της μονοδιάστατης (μόνο με το βάθος) μεταβολής των ταχυτήτων, κάτι το οποίο αποδεικνύεται και κατά την επεξεργασία των δεδομένων της θέσης (βλέπε [5.6.4] σελ -38-).

[6.2.2] Ελαστικά κύματα (S-waves)

Οι μετρήσεις των εγκάρσιων κυμάτων παρουσιάζουν αρκετά καλά αποτελέσματα. Οι ταχύτητες των S κυμάτων αυξάνονται γενικά ομαλά με το βάθος, και παρουσιάζουν σε ορισμένες περιπτώσεις μικρή μείωση κατά την έναρξη του επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα.

Στις περιοχές DOD, AEGEK και SAS ο εντοπισμός των πρώτων αφίξεων των S-κυμάτων ήταν εξαιρετικά δύσκολος σε ορισμένα τμήματα των

δεδομένων, πιθανότατα λόγω του περιβάλλοντα εδαφικού θορύβου ή του γεγονότος ότι οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μέσα σε πιεζόμετρα και κλισιόμετρα που δεν έχουν κατασκευαστεί ειδικά για μετρήσεις Downhole, και για αυτό παραλείπονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα (όλα για τη θέση SAS, μερικώς για τις θέσεις DOD και AEGEK) στους συγκεντρωτικούς πίνακες και τα αντίστοιχα σχήματα.

[6.2.3] Μέσα αποτελέσματα ταχυτήτων ελαστικών κυμάτων

Συνολικά για τους γεωλογικούς σχηματισμούς της υπό μελέτης περιοχής, μπορεί να προσδιοριστούν οι παρακάτω μέσες ταχύτητες. Είναι εμφανής:

A) Η σταδιακή αύξηση των ταχυτήτων με το βάθος, με μεγαλύτερες ταχύτητες στους υποκείμενους σχηματισμούς
B) Η παρουσία υψηλών P ταχυτήτων, ενδεικτικών της παρουσίας υδροφόρου ορίζοντα, στις Πλειστοκαινικές αποθέσεις και ερυθρές αργίλους.

1. Ανθρωπογενής αποθέσεις M.O. $V_p(m/s)$ 937,41
 $V_s(m/s)$ 355

2. Πλειστοκαινικές αποθέσεις M.O. $V_p(m/s)$ 1574
 $V_s(m/s)$ 380

3. Ερυθρή Αργίλος M.O. $V_p(m/s)$ 2478
 $V_s(m/s)$ 471

[6.3] Μέτρα Ελαστικότητας

Μετά καθορισμό των πρώτων αφίξεων και τον υπολογισμό των ταχυτήτων των ελαστικών κυμάτων για κάθε θέση, έγινε χρήση τριών σχέσεων (σχέση 1,3,4, σελ -7-) για τον υπολογισμό της μεταβολής των ελαστικών μέτρων με το βάθος για κάθε θέση.

Οι τιμές για το μέτρο ελαστικότητας (E) και το μέτρο διάτμησης (G) αυξάνονται γενικά με το βάθος ομαλά (βλέπε αντίστοιχα διαγράμματα Κεφ.5).

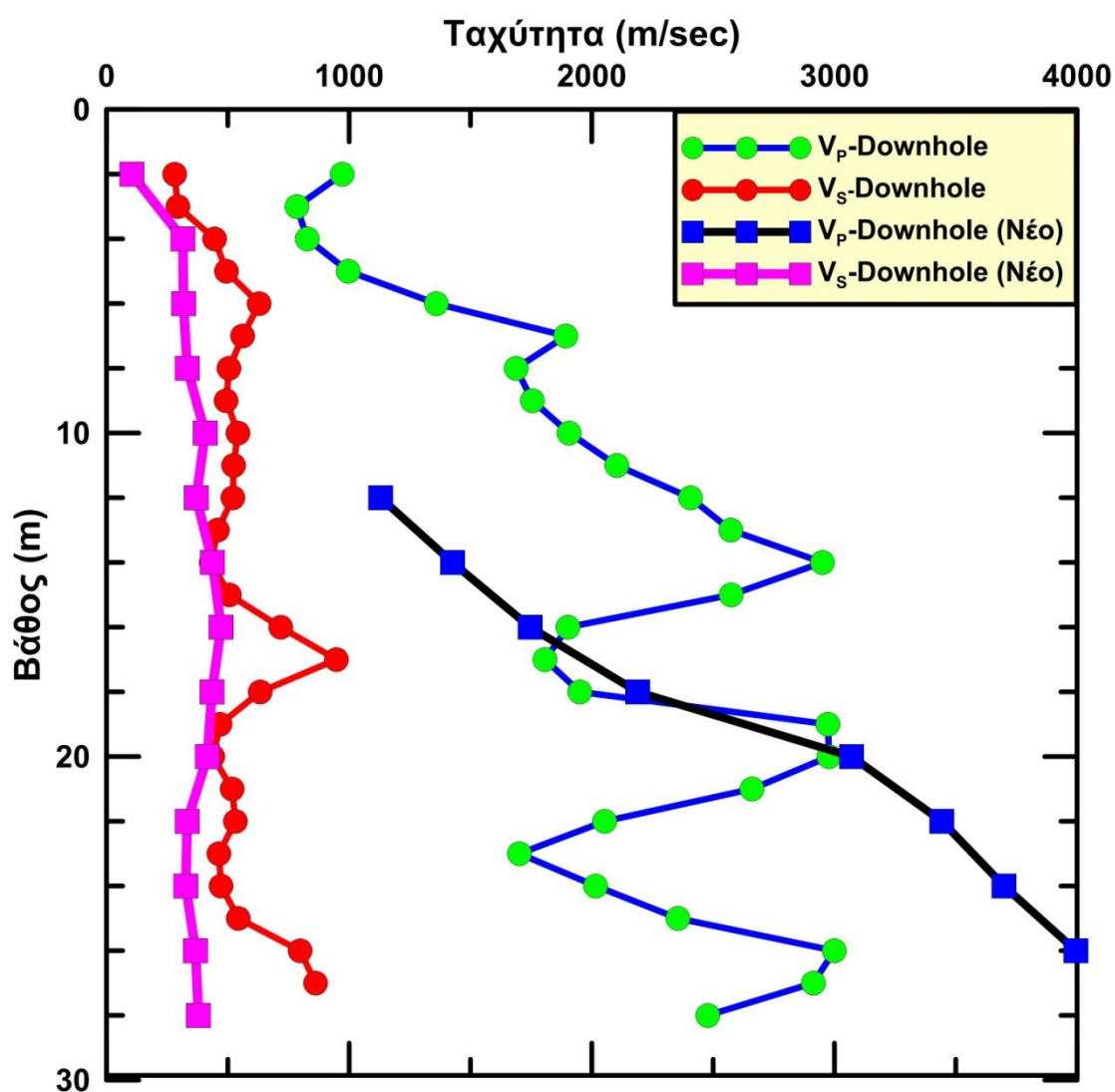
Ο λόγος Poisson παρουσιάζει γενικά μικρές μεταβολές και για το λόγο αυτό δεν παρουσιάζεται στα συγκεντρωτικά διαγράμματα, αλλά δίνεται στους συγκεντρωτικούς πίνακες κάθε θέσης μέτρησης.

[6.3.1] Μέσα αποτελέσματα μέτρων ελαστικότητας

Συνολικά για τους γεωλογικούς σχηματισμούς της υπό μελέτης περιοχής, μπορεί να προσδιοριστούν οι παρακάτω μέσες τιμές των

μέτρων ελαστικότητας. Είναι και στην περίπτωση αυτή η σημαντική αύξηση των μέτρων ελαστικότητας με το βάθος

1. Ανθρωπογενής αποθέσεις $M.O. G(Mpa)$ 230,55
 $E(Mpa)$ 659,67
2. Πλειστοκαινικές αποθέσεις $M.O. G(Mpa)$ 262,94
 $E(Mpa)$ 756,05
3. Ερυθρή Άργιλος $M.O. G(Mpa)$ 521,69
 $E(Mpa)$ 1519,23



Εικόνα 6.1 Σύγκριση των ταχυτήτων των P και S κυμάτων στην περιοχή της Αριστοτέλους. Με τετράγωνα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής και με κύκλους παλαιότερα αποτελέσματα από την περιοχή έρευνας.

[6.4] Συγκρίσεις με υφιστάμενα αποτελέσματα - Σύνοψη

Η γενική εικόνα που διαμορφώνεται μετά την επεξεργασία των δεδομένων στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

Α) Το γεωλογικό περιβάλλον στην περιοχή μελέτης αποτελείται από 3 κύριους σχηματισμούς, οι οποίοι διαδέχονται στρωματογραφικά ο ένας τον άλλο από τον υπερκείμενο στον υποκείμενο, με την ακόλουθη σειρά: Ανθρωπογενείς αποθέσεις – Πλειστοκαινικές αποθέσεις – Ερυθρή Άργιλος.

Β) Οι ταχύτητες και μέτρα ελαστικότητας ακολουθούν μία σχετικά παρόμοια μεταβολή στις διάφορες θέσεις μέτρησης, με τις ταχύτητες των ελαστικών κυμάτων και τα αντίστοιχα μέτρα ελαστικότητας να αυξάνονται ομαλά με το βάθος. Εξαιρέση αποτελούν οι ταχύτητες των P κυμάτων, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντική αύξηση σε τιμές $\geq 1500 \text{m/s}$, κατά των εντοπισμό του επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα.

Γ) Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής πτυχιακής εργασίας, παρουσιάζεται στο σχήμα (6.1) μία σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας διατριβής με παλαιότερα αποτελέσματα από την περιοχή της Αριστοτέλους που πραγματοποιήθηκαν για τις ανάγκες του έργου του Μετρό Θεσ/νίκης (Παπαζάχος, προσ. επικοινωνία). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι:

1) Τα παλαιότερα αποτελέσματα πραγματοποιήθηκαν σε ειδικές γεωτρήσεις, που κατασκευάστηκαν αποκλειστικά για τη διενέργεια μετρήσεων Downhole, για τους σκοπούς του έργου του μετρό Θεσσαλονίκης. Αντίθετα οι νέες μετρήσεις (παρούσα εργασία) πραγματοποιήθηκαν σε υφιστάμενα πιεζόμετρα και κλισιόμετρα παρακολούθησης του έργου.

2) Οι μετρήσεις έχουν γίνει σε διαφορετικές θέσεις της ευρύτερης περιοχής της πλατείας Αριστοτέλους, και η γεωλογία τους παρουσιάζει κάποιες διαφορές. Έτσι στη θέση των παλαιότερων μετρήσεων δεν εντοπίζονται Πλειστοκαινικές αποθέσεις, έστω και μικρού πάχους.

Παρ' όλες τις παραπάνω διαφορές, τόσο στη γεωλογία, όσο και στις γεωτρήσεις μέτρησης, η σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων δείχνει ικανοποιητική συμφωνία της μεταβολής των P και κυρίως των S ταχυτήτων με το βάθος.

Δ) Η λογική και ομαλή μεταβολή των ταχυτήτων και των αντίστοιχων μέτρων ελαστικότητας με το βάθος, η αναμενόμενη απότομη αύξηση των P ταχυτήτων σε βάθη που αντιστοιχούν στον επιφανειακό υδροφόρο σε τιμές $\geq 1500 \text{m/s}$, και η ικανοποιητική σύγκριση των αποτελεσμάτων με υφιστάμενα αποτελέσματα (Εικ. 6.1) δείχνουν ότι είναι εφικτή και χρήσιμη η αξιοποίηση κλισιομέτρων και πιεζομέτρων για την πραγματοποίηση μετρήσεων downhole, ακόμα και αν ο τρόπος κατασκευής των κλισιομέτρων και πιεζομέτρων διαφέρει ριζικά από τον προτεινόμενο τρόπο κατασκευής των γεωτρήσεων για μετρήσεις Downhole.

Κατά συνέπεια, τα κλισιόμετρα και πιεζόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν, μετά από έλεγχο, για την πύκνωση των εκτιμήσεων των κυμάτων χώρου και των αντίστοιχων μέτρων ελαστικότητας, ιδίως

όταν οι εκτιμήσεις από κανονικές μετρήσεις Downhole-Crosshole είναι περιορισμένες ή με όχι ικανοποιητική χωρική κάλυψη.

Βιβλιογραφία

ASTM International Designation: D 7400 – 08. Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing

Ronaldo Luna and Houda Jad (2000). Determination of dynamic soil properties using geophysical methods.

G.N.Tsokas et al (2007). P and S waves velocity measurements in three sites along the tunnel of metro of Thessaloniki.

Doug Crice Geostuff (2002) Borehole Shear-Wave Surveys for Engineering Site Investigations

Άννα Σ. Ζερβοπούλου (2010). Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης .

Μουντράκης, Δ.Μ (1985). Γεωλογία της Ελλάδας. University studio press .

Βασίλης Κ. Παπαζάχος (1996) Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη γεωφυσική.