

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΚΟΚΚΑΛΑ ΑΛΙΚΗ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2015

ΚΟΚΚΑΛΑ ΑΛΙΚΗ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού
Προγράμματος Σπουδών «Γεωλογία και Γεωπεριβάλλον» με ειδίκευση στην
«Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία»
Τομέας Γεωλογίας
Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 21/12/2015

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Επίκ. Καθηγητής, Μαρίνος Βασίλειος, Επιβλέπων
Καθηγητής, Χρηστάρας Βασίλειος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
Αναπλ. Καθηγητής, Βουδούρης Κωνσταντίνος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής
Επιτροπής

© Κοκκαλά Αλίκη, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν την συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Στην ανηψιά μου, Νικολέτα

Πρόλογος

Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, με ειδίκευση στην «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία». Επιβλέπων της μεταπτυχιακής διατριβής ήταν ο Επίκουρος Καθηγητής κ. Μαρίνος Βασίλειος. Τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής ήταν ο Καθηγητής κ. Χρηστάρας Βασίλειος και ο Αναπληρωτής Καθηγητής κ. Βουδούρης Κωνσταντίνος.

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Μαρίνο Βασίλειο για την ανάθεση του παρόντος θέματος, την υποστήριξη, την εμπιστοσύνη και την παροχή χρήσιμων γνώσεων και πολύτιμων συμβουλών. Η συνεχής ενθάρρυνση και καθοδήγηση σε όλα τα επίπεδα της συνεργασίας μας, ήταν καθοριστικής σημασίας για τη διεκπεραίωση αυτής της διατριβής.

Τον καθηγητή κ. Χρηστάρα Βασίλειο και τον αναπληρωτή καθηγητή κ. Βουδούρη Κωνσταντίνο για το ενδιαφέρον τους σχετικά με την πρόοδο της εργασίας αλλά και τη συμμετοχή τους στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή.

Τον κ. Τσιαμπάο Γεώργιο, Καθηγητή Ε.Μ.Π. και το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (ΚΕΔΕ) για την παροχή σημαντικού αριθμού δεδομένων.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Μετρό Θεσσαλονίκης (Αττικό Μετρό Α.Ε.) καθώς και τους γεωλόγους Δήμητρα Παπούλη και Γεώργιο Στούμπο για την επεξήγηση πλήθους δεδομένων.

Τη Γεώγνωση Α.Ε. και ειδικότερα τον γεωλόγο κ. Δημαρά Κωνσταντίνο για την παροχή χρήσιμων στοιχείων από διάφορες μελέτες με σκοπό τη χρησιμοποίηση και αξιολόγησή τους στην παρούσα εργασία.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες επιθυμώ να εκφράσω στην οικογένεια μου και σε όλους εκείνους που ήταν δίπλα μου αυτό το διάστημα και με στήριξαν ηθικά, οικονομικά και προσωπικά.

Περίληψη

Κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή υπόγειων τεχνικών έργων σε αστικό περιβάλλον, συναντώνται διάφορες τεχνικογεωλογικές προκλήσεις. Ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση της γεωλογικής επικινδυνότητας και τεχνικογεωλογικής απόκρισης των σχηματισμών κατά μήκος της σήραγγας αποτελεί η δημιουργία μιας καλά δομημένης βάσης δεδομένων, ικανή να αποθηκεύει, διαχειρίζεται, αναλύει και συσχετίζει ένα σημαντικό αριθμό γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών δεδομένων. Στην παρούσα διατριβή κατασκευάζεται μια τέτοια δομή που βασίζεται πάνω στο «Σύστημα Ανάλυσης Πληροφοριών Σηράγγων» - TIAS και χρησιμοποιήθηκε κατά το σχεδιασμό υπόγειων έργων της Εγνατίας οδού. Τα δεδομένα που εισάγονται σ' αυτήν προέρχονται από ένα σύνολο γεωτρήσεων και αναφέρονται σε γεωλογικές και τεχνικογεωλογικές πληροφορίες, εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές που έχουν εκτελεστεί στους Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμούς που συναντώνται στην περιοχή έρευνας. Μέσω της επεξεργασίας και αξιολόγησης των πληροφοριών εξάγονται ενδεικτικά φάσματα φυσικών και μηχανικών παραμέτρων για τους διαφορετικούς σχηματισμούς που συναντώνται. Η μελέτη επικεντρώνεται σε συγκεκριμένες περιοχές εντός της λεκάνης της Θεσσαλονίκης, μία στα Ανατολικά και μία στο κέντρο, εστιάζοντας στις επί τόπου συνθήκες αυτών, με την κατασκευή ενδεικτικών τεχνικογεωλογικών διατομών και τον προσδιορισμό φασμάτων τεχνικογεωλογικών παραμέτρων. Σκοπός αυτής της διαδικασίας, εκτός από την ενσωμάτωση πλήθους δεδομένων, είναι να παρέχει ένα εργαλείο για την αξιολόγηση αυτών σε εστιασμένες πληροφορίες προκειμένου να εκτιμηθεί η γεωλογική κατάσταση και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών στα υπόγεια έργα και ιδιαίτερα της μηχανοποιημένης όρυξης στην περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Abstract

The design and construction of underground works in an urban environment, face several engineering geological challenges. The construction of a well structured database, able to store, manage, analyse and correlate a large amount of geological and geotechnical data, is a powerful tool towards the geological hazard assessment and the geotechnical characterisation of the formations along a tunnel. The structure of this database is based on Tunnel Information and Analysis System (TIAS) constructed for the Egnatia Highway tunnels in northern Greece. The data processed by the database are based on borehole geological information, laboratory testing, geotechnical characterisation and in situ field tests, mainly executed in the quaternary and neogene soil formations that are met in the studied area. The processing and assessment of the information, leads to the identification of useful value ranges for several physical and mechanical parameters, assigned for different formations. The study focuses in specific areas within the basin of Thessaloniki. One region is located in the eastern part of the city and the other in the central part, highlighting the in situ conditions, by the construction of typical geotechnical cross-sections and the determination of ranges which conclude geotechnical parameters. The purpose of that process, besides incorporating an amount of data, is to provide a tool for turning data into useful information in order to estimate the geological situation and geotechnical behavior of formations in underground works.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1	Γενικά.....	1
1.2	Αντικείμενο-Σκοπός.....	1
1.3	Διάρθρωση διατριβής.....	2
2	ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΡΑΠΕΖΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	3
2.1	Γενικά.....	3
2.2	Βάση δεδομένων TIAS	4
2.3	Πληροφορίες	4
2.4	Χρησιμότητα	8
3	ΓΕΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.....	10
3.1	Γενικά για την περιοχή έρευνας.....	10
3.2	Γεωλογικές-Τεχνικογεωλογικές συνθήκες ευρύτερης περιοχής έρευνας.....	13
3.3	Γεωλογικές συνθήκες στενής περιοχής έρευνας.....	32
3.4	Νεοτεκτονική ευρύτερης περιοχής έρευνας.....	32
3.5	Ρήγματα πολεοδομικού συγκροτήματος	34
3.6	Υδρογραφικό δίκτυο	36
4	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ	39
4.1	Γενικά.....	39
4.2	Τεχνητές επιχώσεις	40
4.2.1	Εργαστηριακές δοκιμές.....	42
4.2.2	Επιτόπου δοκιμές.....	44
4.3	Τεταρτογενείς αποθέσεις.....	46
4.3.1	Εργαστηριακές δοκιμές.....	48
4.3.2	Επί τόπου δοκιμές.....	55
4.4	Νεογενείς αποθέσεις	57
4.4.1	Εργαστηριακές δοκιμές.....	59

4.4.2	Επί τόπου δοκιμές.....	66
4.5	Ενότητα Χορτιάτη.....	68
4.5.1	Εργαστηριακές δοκιμές.....	70
4.5.2	Επί τόπου δοκιμές.....	71
5	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ	73
5.1	Γενικά.....	73
5.2	Κεντρικό τμήμα.....	74
5.2.1	Εργαστηριακές δοκιμές.....	85
5.2.2	Επί τόπου δοκιμές.....	95
5.3	Ανατολικό τμήμα	102
5.3.1	Εργαστηριακές δοκιμές.....	111
5.3.2	Επί τόπου δοκιμές.....	122
6	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΤΙΣ ΥΠΟ ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	129
6.1	Ενδεικτικές διατομές.....	129
6.1.1	Κεντρικό τμήμα	129
6.1.2	Ανατολικό τμήμα	133
7	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΟΡΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ.....	143
7.1	Γενικά.....	143
7.2	Μηχανήματα TBM.....	144
7.2.1	Μηχανήματα Εξισορρόπησης της Εδαφικής Πίεσης (Earth Pressure Balance Machines-EPB).....	145
7.2.2	Μηχανήματα Πολφού Μπεντονίτη με Ασπίδα (Slurry Shield Machines-SSM).....	146
7.3	Κοκκομετρικές καμπύλες.....	147
7.4	Επί τόπου δοκιμές περατότητας.....	151

7.5	Κολλώδης συμπεριφορά εδαφικών σχηματισμών	155
7.6	Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων	162
7.7	Επιλογή μηχανήματος	169
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		171
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		175

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Δομή βάσης δεδομένων.....	5
Πίνακας 3.1. Συγκεντρωτικός πίνακας με τιμές παραμέτρων για τους σχηματισμούς σύμφωνα με τον τεχνικογεωλογικό χάρτη.....	31
Πίνακας 4.1. Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά προς αξιολόγηση.	39
Πίνακας 4.2. Συγκεντρωτικός πίνακας με τιμές παραμέτρων για τους σχηματισμούς σύμφωνα με την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση, συνολικά για την περιοχή έρευνας	72
Πίνακας 5.1. Πίνακας με φάσματα τιμών για τις παραμέτρους q_u , SPT και k για το Κεντρικό τμήμα	101
Πίνακας 5.2. Πίνακας με φάσματα τιμών για τις παραμέτρους q_u , SPT και k για το Ανατολικό τμήμα	127
Πίνακας 6.1. Πίνακας με φάσματα τιμών για τις παραμέτρους q_u , SPT, γ , PI και k για το Κεντρικό τμήμα	132
Πίνακας 6.2. Πίνακας με φάσματα τιμών για τις παραμέτρους q_u , SPT, γ , PI και k για το Ανατολικό τμήμα	139
Πίνακας 6.3. Πίνακας με φάσματα τιμών για τις παραμέτρους q_u , SPT, γ , PI και k για το Ανατολικό τμήμα κοντά στην περιοχή του ρήγματος	142

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3.1. Ευρύτερη περιοχή λεκάνης Θεσσαλονίκης (Google Earth).	10
Εικόνα 3.2. Λεκάνες Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (ΥΠΕΚΑ, 2012).	11
Εικόνα 3.3. Μορφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης όπου φαίνονται τα υψόμετρα.	12
Εικόνα 3.4. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών στο οποίο παρουσιάζεται η ευρύτερη περιοχή έρευνας. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, (Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, PI: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπουλία, Au: Ενότητα «Πλακώδεις ασβεστόλιθοι- Ταλέα όρη» πιθανόν της Ιονίου ζώνης (Mountrakis et al. 1983).	13
Εικόνα 3.5. Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Θεσσαλονίκη, κλίμακα 1:50.000, ΙΓΜΕ, 1978.	14
Εικόνα 3.6. Τομή Α-Α' σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη.	14
Εικόνα 3.7. Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, κλίμακα 1:25.000, ΙΓΜΕ, 1998 (Ρόζος Δ. et al 1998).	15
Εικόνα 3.8. Χάρτης της Περιροδοπικής ζώνης με τις τρεις ενότητες και τις σημαντικότερες οφειολιθικές εμφανίσεις. 1) Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά, 2) Μελισσοχωρίου – Χολομώντα, 3) Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη, 4) Οφειόλιθοι, 5) Όριο της ζώνης με τη Σερβομακεδονική (κατά Kockel et al 1971, 1977, Μουντράκης 1985).	16
Εικόνα 3.9. Λιθοστρωματογραφικές στήλες ενοτήτων της Περιροδοπικής ζώνης. Υπόμνημα: 1.Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής μάζας, 2. Πράσινοι γενεύσιοι Θεσσαλονίκης, 3. Σχιστόλιθοι και φυλλίτες, 4. Πυροκλαστικά πετρώματα, 5. Μεταψαμμίτες και χαλαζίτες, 6. Μετακροκαλοπαγή, 7. Ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, 8. Αργιλικόι σχιστόλιθοι και μάργες, 9. Κερατόλιθοι, 10. Ολισθόλιθοι, 11. Ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 12. Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 13. Ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι, 14. Οφειολιθικά πετρώματα, 15. Ηφαιστειακά πετρώματα (ρυόλιθοι, πορφυροειδή), φ. Τεκτονική επαφή. (κατά F. Kockel et al 1971, 1972, Μουντράκης 1985).	17
Εικόνα 3.10 α,β. α) Χάρτης υποβάθρου Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και β) γεωτεχνική τομή κάθετη στην πόλη η οποία προήλθε από την καταγραφή μικροθορύβου και από δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, όπου φαίνεται το υπόβαθρο αλλά και η διαστρωμάτωση των νεότερων αποθέσεων (Αποστολίδης, 2002, Anastasiadis et al.2001).	20

Εικόνα 3.11. Χάραξη βασικής γραμμής και επεκτάσεων του μετρώ Θεσσαλονίκης (Αττικό Μετρό Α.Ε.).	23
Εικόνα 3.12. Τμήμα γεωλογικής-γεωτεχνικής μηκοτομής πρόβλεψης, σταθμός Αναλήψεως-σταθμός Πατρικίου (Χ.Θ. 5+700-Χ.Θ. 6+700), επικράτηση Τεταρτογενών αποθέσεων (από Μετρό Θεσσαλονίκης).	23
Εικόνα 3.13. Λεπτομερής εικόνα των Τεταρτογενών αποθέσεων, στην περιοχή της Μίκρας.	24
Εικόνα 3.14. Τμήμα γεωλογικής-γεωτεχνικής μηκοτομής πρόβλεψης, σταθμός Βούλγαρη-σταθμός Ν.Ελβετία (Χ.Θ. 7+150-Χ.Θ. 8+150), επικράτηση Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων (Αττικό Μετρό Α.Ε.).	25
Εικόνα 3.15. Διασταυρούμενες στρώσεις άμμων και αργίλου σε τομή Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων, στην περιοχή της Περαιάς. (Ζερβοπούλου, 2010).	26
Εικόνα 3.16. Τμήμα γεωλογικής-γεωτεχνικής μηκοτομής πρόβλεψης, σταθμός Αγ. Σοφία-σταθμός Συντριβάνι (Χ.Θ. 1+800-Χ.Θ. 2+700), επικράτηση Ερυθρών αργίλων Νεογενών αποθέσεων (Αττικό Μετρό Α.Ε.).	27
Εικόνα 3.17. Λεπτομερής εικόνα των Ερυθρών αργίλων των Νεογενών αποθέσεων, στην περιοχή του δάσους Σειχ Σου (πλησίον γέφυρας Περαιβού).	27
Εικόνα 3.18 α,β. Τεχνητά πρηνή στην περιοχή της Περιφερειακής οδού Θεσσαλονίκης, όπου φαίνεται ο σχηματισμός των Ερυθρών αργίλων. Αξιοσημείωτο είναι οι μεγάλες κλίσεις και το σημαντικό ύψος που διατηρούν αυτά τα πρηνή (λήψη από γέφυρα Περαιβού).	28
Εικόνα 3.19. Λεπτομερής γεωτεχνική ζωνοποίηση της Θεσσαλονίκης με βάση τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των κύριων σχηματισμών (Α, Β, C, D, E, F, G) με τη συμβολή τους σε κάθε στρώμα και για κάθε ζώνη. Δίπλα στον κάθε σχηματισμό και μέσα στις παρενθέσεις δίνονται τα διάφορα πάχη που παρατηρούνται όπως αυτά παρουσιάζονται για κάθε γεωτεχνική ζώνη. Η σκιασμένη περιοχή απεικονίζει τις επιφανειακές εμφανίσεις του υποβάθρου, ενώ με διακεκομμένες γραμμές οριοθετούνται τα ίχνη των παλαιών και πρόσφατων ρεμάτων και χειμάρρων. (Αποστολίδης, 2002, Anastasiadis et al.2001).	29
Εικόνα 3.20. Νεοτεκτονικός χάρτης (φύλλο Θεσσαλονίκη) 1:100.000, ΟΑΣΠ, 1996.	33
Εικόνα 3.21. Νέος Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας. Κατανομή των περιοχών της Ελλάδας στις Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας (ΦΕΚ 1154Β/12.8.2003).	34
Εικόνα 3.22. Ρήγματα της ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης (F-Th Θέρμης, F-An Ανθεμούντα, F-PP Πυλαίας-Πανοράματος, F-As Ασβεστοχωρίου, F-E Ευκαρπίας, F-A Αεροδρομίου, F-K Καλοχωρίου, FGNSP Γερακαρούς-Νοκιμιδηνού-Στίβου-Περιστερώνα F-	

Κα Καλαμαριάς). Με κόκκινο χρώμα σημειώνονται τα νεοτεκτονικά ρήγματα και με διακεκομμένες γραμμές τα πιθανά (Παυλίδης & Ζερβοπούλου 2004).	36
Εικόνα 3.23. Μορφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης όπου φαίνεται η υδρολογική λεκάνη του Πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης με τις επιμέρους λεκάνες των ρεμάτων. (Ζερβοπούλου, 2010).....	38
Εικόνα 4.1. Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης μαζί με τις γεωτρήσεις, κλίμακα 1:25.000, ΙΓΜΕ, 1998 (Ρόζος Δ. et al 1998).....	40
Εικόνα 4.2. Τεχνητές επιχώσεις, γεώτρηση TDSP25 στην περιοχή Αγ. Σοφίας. Περιγραφή: πολύ χαλαροί έως χαλαροί, μέτρια πυκνοί, καστανού έως σκούρου καστανού χρώματος, ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο, χωρίς πλαστικότητα, με θραύσματα και τούβλα (από Μετρό Θεσσαλονίκης).....	41
Εικόνα 4.3. Τεχνητές επιχώσεις, γεώτρηση TFCP22 στην περιοχή Συντριβάνι. Περιγραφή: ΑΜΜΟΣ με τούβλα, φυτικά και κροκάλες πρασινοσχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης (από Μετρό Θεσσαλονίκης).	41
Εικόνα 4.4. Τεχνητές επιχώσεις, γεώτρηση TKTP26 στην περιοχή Φλέμινγκ-Αναλήψεως. Περιγραφή: Σταθερή, καστανή, αμμώδης ΙΛΥΣ με λεπτόκοκκη άμμο, έως ιλυώδης ΑΜΜΟΣ, χωρίς πλαστικότητα (από Μετρό Θεσσαλονίκης).	41
Εικόνα 4.5. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεχνητές επιχώσεις.	42
Εικόνα 4.6. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Τεχνητές επιχώσεις.	43
Εικόνα 4.7. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Τεχνητές επιχώσεις.	44
Εικόνα 4.8. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεχνητές επιχώσεις.	45
Εικόνα 4.9. Τεταρτογενείς αποθέσεις, γεώτρηση ΤΑΕΡ24 στην περιοχή του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού. Περιγραφή: Σταθερή, έως στιφρή, καστανή, αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ με χάλικες, έως αργιλώδης ΑΜΜΟΣ με χάλικες (από Μετρό Θεσσαλονίκης). ...	47
Εικόνα 4.10. Τεταρτογενείς αποθέσεις, γεώτρηση TKSP21 στην περιοχή Αναλήψεως. Περιγραφή: Πυκνή, καστανοπράσινη, αργιλώδης ΑΜΜΟΣ με λεπτά μεσαία χαλίκια μικρής πλαστικότητας έως ΑΜΜΟΣ καλής διαβάθμισης με ιλύ και μεσαία χαλίκια γνευσιακής προέλευσης, χωρίς πλαστικότητα (από Μετρό Θεσσαλονίκης).	47
Εικόνα 4.11. Τεταρτογενείς αποθέσεις, γεώτρηση TMTP26 στην περιοχή Πατρικίου-Βούλγαρη. Περιγραφή: Στιφρή έως σταθερή, καστανή ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ με λεπτόκοκκη άμμο, μικρής έως μέσης πλαστικότητας (από Μετρό Θεσσαλονίκης).	47

Εικόνα 4.12 α,β. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις βάσει του ορίου υδαρότητας και του δείκτη πλαστικότητας.	48
Εικόνα 4.13. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών των Τεταρτογενών και Νεογενών αποθέσεων συνολικά για την περιοχή έρευνας σύμφωνα με το διάγραμμα Casagrande.	49
Εικόνα 4.14. Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις.	50
Εικόνα 4.15. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις.	51
Εικόνα 4.16. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις.	52
Εικόνα 4.17. Απεικόνιση ζευγών συνοχής και γωνίας τριβής από δοκιμές άμεσης διάτμησης για τα λεπτόκοκκα υλικά των Τεταρτογενών αποθέσεων.	53
Εικόνα 4.18. Απεικόνιση ζευγών συνοχής και γωνίας τριβής από δοκιμές τριαξονικής φόρτισης για τα λεπτόκοκκα υλικά των Τεταρτογενών αποθέσεων.	54
Εικόνα 4.19. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις.	55
Εικόνα 4.20. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις.	56
Εικόνα 4.21. Νεογενείς αποθέσεις (Ερυθρές άργιλοι), γεώτρηση TBCP21 στην περιοχή Δημοκρατίας. Περιγραφή: Σταθερή έως στιφρή, καστανέρυθη αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ με διάσπαρτους χάλικες κυρίως σχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης. (από Μετρό Θεσσαλονίκης).	58
Εικόνα 4.22. Νεογενείς αποθέσεις (Ερυθρές άργιλοι), γεώτρηση TGSP21 στην περιοχή Πανεπιστήμιο. Περιγραφή: Σκληρή κόκκινη αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ μέσης πλαστικότητας με οξειδώσεις (διαποτισμοί) κόκκινου χρώματος και ασβεστιτικά συγκρίματα (από Μετρό Θεσσαλονίκης).	58
Εικόνα 4.23. Νεογενείς αποθέσεις (Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά), γεώτρηση TMSP24 στην περιοχή Βούλγαρη. Περιγραφή: Πολύ στιφρή έως σκληρή, γκρι-μπλε, καστανή-πορτοκαλι, λεπτοστρωματώδης μάργα με ολισθηρές επιφάνειες στο βάθος των 29,60m. Κοκκομετρικά χαρακτηρίζεται σαν ΙΛΥΣ μέσης πλαστικότητας έως παχιά ΑΡΓΙΛΟΣ, μεγάλης πλαστικότητας (από Μετρό Θεσσαλονίκης).	58
Εικόνα 4.24 α,β. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις βάσει του ορίου υδαρότητας και δείκτη πλαστικότητας.	59

Εικόνα 4.25. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών των Τεταρτογενών και Νεογενών αποθέσεων συνολικά για την περιοχή έρευνας σύμφωνα με το διάγραμμα Casagrande.	60
Εικόνα 4.26. Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις.	61
Εικόνα 4.27. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Νεογενείς αποθέσεις.	62
Εικόνα 4.28. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Νεογενείς αποθέσεις.	63
Εικόνα 4.29. Απεικόνιση ζευγών συνοχής και γωνίας τριβής από δοκιμές άμεσης διάτμησης για τα λεπτόκοκκα υλικά των Νεογενών αποθέσεων.	64
Εικόνα 4.30. Απεικόνιση ζευγών συνοχής και γωνίας τριβής από δοκιμές τριαξονικής φόρτισης για τα λεπτόκοκκα υλικά των Νεογενών αποθέσεων.	65
Εικόνα 4.31. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Νεογενείς αποθέσεις.	66
Εικόνα 4.32. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις.	67
Εικόνα 4.33. Ενότητα Χορτιάτη, γεώτρηση TDSP22 στην περιοχή Αγ. Σοφία. Περιγραφή: Πρασινωπού χρώματος γνεύσιος, κερματισμένος, οξειδωμένος με παρουσία χαλαζιακών φλεβών. (από Μετρό Θεσσαλονίκης).	69
Εικόνα 4.34. Ενότητα Χορτιάτη, γεώτρηση TDSP25 στην περιοχή Αγ. Σοφία. Περιγραφή: Ασθενής έως ισχυρός, γκριζοπράσινος γνεύσιος ελαφρά αποσαθρωμένος, μέτρια κερματισμένος, οξειδωμένος στις επιφάνειες ασυνέχειας (από Μετρό Θεσσαλονίκης).	69
Εικόνα 4.35. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για την ενότητα Χορτιάτη.	70
Εικόνα 4.36. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για την ενότητα Χορτιάτη.	71
Εικόνα 5.1. Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης όπου φαίνονται οι δυο περιοχές, κλίμακα 1:25.000, ΙΓΜΕ, 1998 (Ρόζος Δ. et al 1998).	73
Εικόνα 5.2. Τομή Β-Β' κατά μήκος της οδού Εγνατίας για το Κεντρικό τμήμα.	74
Εικόνα 5.3. Παράδειγμα γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής (Β-Β', ΒΔ-ΝΑ) όπου φαίνονται οι γεωλογικές ενότητες κατά μήκος της χάραξης για το Κεντρικό τμήμα.	75
Εικόνα 5.4. Παράδειγμα γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής (Β-Β', ΒΔ-ΝΑ) όπου φαίνεται η επικράτηση κοκκομετρίας γεωυλικών κατά μήκος της χάραξης για το Κεντρικό τμήμα.	76

Εικόνα 5.5. Παράδειγμα γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής (B-B', BΔ-NA) όπου παρουσιάζονται αναλυτικά οι γεωλογικές περιγραφές κατά μήκος της χάραξης για το Κεντρικό τμήμα.	77
Εικόνα 5.6. Παράδειγμα λεπτομερούς γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής (B-B', BΔ-NA) για το Κεντρικό τμήμα.....	78
Εικόνα 5.7. Κατανομή τιμών SPT με το βάθος κατά μήκος της χάραξης, για το Κεντρικό τμήμα.	81
Εικόνα 5.8. Κατανομή περατότητας (τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας) με το βάθος κατά μήκος της χάραξης, για το Κεντρικό τμήμα.	83
Εικόνα 5.9 α, β. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος βάσει του ορίου υδαρότητας.....	85
Εικόνα 5.10 α, β. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος βάσει του δείκτη πλαστικότητας.....	86
Εικόνα 5.11. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών των Τεταρτογενών και Νεογενών αποθέσεων για το Κεντρικό τμήμα σύμφωνα με το διάγραμμα Casagrande.	86
Εικόνα 5.12. Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.	87
Εικόνα 5.13. Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.	88
Εικόνα 5.14. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεχνητές επιχώσεις του Κεντρικού τμήματος.	89
Εικόνα 5.15. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.	90
Εικόνα 5.16. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.	91
Εικόνα 5.17. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Τεχνητές επιχώσεις του Κεντρικού τμήματος.	92
Εικόνα 5.18. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.	93
Εικόνα 5.19. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.	94

Εικόνα 5.20. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Τεχνητές επιχώσεις του Κεντρικού τμήματος.	95
Εικόνα 5.21. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.	96
Εικόνα 5.22. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.	97
Εικόνα 5.23. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεχνητές επιχώσεις του Κεντρικού τμήματος.	98
Εικόνα 5.24. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.....	99
Εικόνα 5.25. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.	100
Εικόνα 5.26. Τομή Α-Α΄ κατά μήκος της οδού Δελφών για το Ανατολικό τμήμα.	102
Εικόνα 5.27. Παράδειγμα γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής (Α-Α΄, ΒΒΔ-ΝΝΑ) όπου φαίνονται οι γεωλογικές ενότητες κατά μήκος της χάραξης για το Ανατολικό τμήμα.	103
Εικόνα 5.28. Παράδειγμα γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής (Α-Α΄, ΒΒΔ-ΝΝΑ) όπου φαίνεται η επικράτηση κοκκομετρίας γεωυλικών κατά μήκος της χάραξης για το Ανατολικό τμήμα.	104
Εικόνα 5.29. Παράδειγμα γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής (Α-Α΄, ΒΒΔ-ΝΝΑ) όπου παρουσιάζονται αναλυτικά οι γεωλογικές περιγραφές κατά μήκος της χάραξης για το Ανατολικό τμήμα.	105
Εικόνα 5.30. Παράδειγμα λεπτομερούς γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής (Α-Α΄, ΒΒΔ-ΝΝΑ) για το Ανατολικό τμήμα.	106
Εικόνα 5.31. Κατανομή τιμών SPT με το βάθος κατά μήκος της χάραξης, για το Ανατολικό τμήμα.	108
Εικόνα 5.32. Κατανομή περατότητας (τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας) με το βάθος κατά μήκος της χάραξης, για το Ανατολικό τμήμα.	110
Εικόνα 5.33 α, β. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος βάσει του ορίου υδαρότητας.	112
Εικόνα 5.34 α, β. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος βάσει του δείκτη πλαστικότητας.	112

Εικόνα 5.35. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών των Τεταρτογενών και Νεογενών αποθέσεων για το Ανατολικό τμήμα σύμφωνα με το διάγραμμα Casagrande.	113
Εικόνα 5.36. Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.	114
Εικόνα 5.37. Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.	115
Εικόνα 5.38. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεχνητές επιχώσεις του Ανατολικού τμήματος.	116
Εικόνα 5.39. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.	117
Εικόνα 5.40. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.	118
Εικόνα 5.41. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Τεχνητές επιχώσεις του Ανατολικού τμήματος.	119
Εικόνα 5.42. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.	120
Εικόνα 5.43. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.	121
Εικόνα 5.44. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Τεχνητές επιχώσεις του Ανατολικού τμήματος.	122
Εικόνα 5.45. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.	123
Εικόνα 5.46. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.	124
Εικόνα 5.47. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.	125
Εικόνα 5.48. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.	126
Εικόνα 5.49. Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, κλίμακα 1:25.000, ΙΓΜΕ, 1998 (Ρόζος Δ. et al 1998).	128

Εικόνα 5.50. Τροποποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, κλίμακα 1:25.000, ΙΓΜΕ, 1998.	128
Εικόνα 6.1. Ενδεικτική διατομή 1, για το Κεντρικό τμήμα (XΘ 0+600).	130
Εικόνα 6.2. Μηχανισμός αστοχίας για την ενδεικτική διατομή 1, για το Κεντρικό τμήμα (XΘ 0+600).	131
Εικόνα 6.3. Ενδεικτική διατομή 2, για το Κεντρικό τμήμα (XΘ 0+750).	132
Εικόνα 6.4. Ενδεικτική διατομή 1Α, για το Ανατολικό τμήμα (XΘ 0+150).	134
Εικόνα 6.5. Μηχανισμός αστοχίας για την ενδεικτική διατομή 1Α, για το Ανατολικό τμήμα (XΘ 0+150).	135
Εικόνα 6.6. Ενδεικτική διατομή 1Β, για το Ανατολικό τμήμα (XΘ 0+150).	136
Εικόνα 6.7. Μηχανισμός αστοχίας για την ενδεικτική διατομή 1Β, για το Ανατολικό τμήμα (XΘ 0+150).	137
Εικόνα 6.8. Ενδεικτική διατομή 2, για το Ανατολικό τμήμα (XΘ 0+600).	138
Εικόνα 6.9. Μηχανισμός αστοχίας για την ενδεικτική διατομή 2, για το Ανατολικό τμήμα (XΘ 0+600).	139
Εικόνα 6.10. Ενδεικτική διατομή 3, για το Ανατολικό τμήμα (XΘ 1+600).	140
Εικόνα 6.11. Μηχανισμός αστοχίας για την ενδεικτική διατομή 3, για το Ανατολικό τμήμα (XΘ 1+600).	141
Εικόνα 7.1. Πεδίο εφαρμογής μηχανημάτων EPB και Slurry.	147
Εικόνα 7.2. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις συνολικά για την περιοχή έρευνας στο οποίο προβάλλονται τα πεδία εφαρμογής μηχανημάτων EPB και Slurry.	148
Εικόνα 7.3. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Νεογενείς αποθέσεις συνολικά για την περιοχή έρευνας στο οποίο προβάλλονται τα πεδία εφαρμογής μηχανημάτων EPB και Slurry.	149
Εικόνα 7.4. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος στο οποίο προβάλλονται τα πεδία εφαρμογής μηχανημάτων EPB και Slurry.	149

Εικόνα 7.5. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος στο οποίο προβάλλονται τα πεδία εφαρμογής μηχανημάτων EPB και Slurry.....	150
Εικόνα 7.6. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος στο οποίο προβάλλονται τα πεδία εφαρμογής μηχανημάτων EPB και Slurry.....	150
Εικόνα 7.7. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος στο οποίο προβάλλονται τα πεδία εφαρμογής μηχανημάτων EPB και Slurry.....	151
Εικόνα 7.8. Διάγραμμα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις συνολικά για την περιοχή έρευνας.....	152
Εικόνα 7.9. Διάγραμμα κατανομής τιμών περατότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις συνολικά για την περιοχή έρευνας.....	152
Εικόνα 7.10. Διάγραμμα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.	153
Εικόνα 7.11 Διάγραμμα κατανομής τιμών περατότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.	153
Εικόνα 7.12. Διάγραμμα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.....	154
Εικόνα 7.13. Διάγραμμα κατανομής τιμών περατότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.....	154
Εικόνα 7.14. Κολλώδης συμπεριφορά εδαφικών σχηματισμών, συνολικά για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής έρευνας.	156
Εικόνα 7.15. Κολλώδης συμπεριφορά εδαφικών σχηματισμών, συνολικά για τις Νεογενείς αποθέσεις της περιοχής έρευνας.	157
Εικόνα 7.16. Κολλώδης συμπεριφορά εδαφικών σχηματισμών, για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.	158
Εικόνα 7.17. Κολλώδης συμπεριφορά εδαφικών σχηματισμών, για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.....	159
Εικόνα 7.18. Κολλώδης συμπεριφορά εδαφικών σχηματισμών, για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.	160

Εικόνα 7.19. Κολλώδης συμπεριφορά εδαφικών σχηματισμών, για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.	161
Εικόνα 7.20. Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων, συνολικά για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής έρευνας.	163
Εικόνα 7.21. Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων, συνολικά για τις Νεογενείς αποθέσεις της περιοχής έρευνας.	164
Εικόνα 7.22. Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων, για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.	165
Εικόνα 7.23. Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων, για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.	166
Εικόνα 7.24. Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων, για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.	167
Εικόνα 7.25. Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων, για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.	168
Εικόνα 7.26. Μηχανήματα EPB στον υπόγειο σταθμό Συντριβάνι του Μετρό Θεσσαλονίκης.	170

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών Εφαρμοσμένης και Περιβαλλοντικής Γεωλογίας, στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

1.2 Αντικείμενο-Σκοπός

Αντικείμενο της διατριβής ειδίκευσης είναι η δημιουργία τράπεζας δεδομένων που αφορά στις τεχνικογεωλογικές συνθήκες και ιδιότητες και στη συνέχεια η εξαγωγή συμπερασμάτων για την συμπεριφορά των γεωυλικών κατά την κατασκευή των υπόγειων έργων στο αστικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης.

Πρόκειται για ένα αντικείμενο σημαντικού ενδιαφέροντος, αν ληφθεί υπόψη το γεγονός, ότι όλο και περισσότερες σήραγγες διανοίγονται σε ποικίλλες γεωλογικές-τεχνικογεωλογικές συνθήκες και μάλιστα σε αστικά περιβάλλοντα, όπως αυτό της περιοχής που μελετάται.

Σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι η δημιουργία μιας μεθοδικά συγκροτημένης πλατφόρμας, μέσω της οποίας είναι ικανή η συστηματική μεταφορά, η οργανωμένη αποθήκευση και η αποδοτική διαχείριση, ανάλυση και συσχέτιση αυτού του μεγάλου όγκου δεδομένων. Τα δεδομένα που εισάγονται στην τράπεζα δεδομένων προέρχονται από διάφορες τεχνικές μελέτες, έρευνες και αφορούν κυρίως γεωτρήσεις, αποτελέσματα εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών. Η επεξεργασία και αξιολόγηση όλων αυτών των πληροφοριών οδηγούν, μέσα από ένα σύνολο διαδικασιών, στην εκτίμηση της γεωλογικής κατάστασης και στον προσδιορισμό της τεχνικογεωλογικής απόκρισης και συμπεριφοράς των σχηματισμών στα υπόγεια έργα.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την επίτευξη των στόχων αυτής της διαδικασίας και συγκεκριμένα για την κατασκευή της τράπεζας δεδομένων είναι τα ακόλουθα:

- Συγκέντρωση των απαραίτητων στοιχείων από μελέτες, έρευνες και εργασίες
- Διάκριση και διαλογή των δεδομένων ως προς τη χρησιμότητα και την αξιοπιστία
- Αξιολόγηση και εισαγωγή αυτών των στοιχείων στη βάση δεδομένων
- Έλεγχος της ορθής λειτουργίας της τράπεζας με επεξεργασία επιλεγμένων δεδομένων
- Αναλύσεις και συσχετίσεις των επεξεργασμένων δεδομένων

- Πρόταση ενδεικτικών φασμάτων παραμέτρων για διαφορετικούς σχηματισμούς
- Δημιουργία τυπικών διατομών για συγκεκριμένες περιοχές
- Πρόβλεψη συμπεριφοράς των σχηματισμών στα υπόγεια έργα
- Επιλογή κατάλληλου μηχανήματος διάνοιξης

Το κύριο πλεονέκτημα της τράπεζας δεδομένων είναι ότι αυτή είναι διαμορφωμένη με τέτοιο τρόπο, ώστε να συνεχίζει να δέχεται δεδομένα και μετά την περάτωσή της, ενσωματώνοντάς τα στα ήδη υπάρχοντα στοιχεία. Έτσι, παρέχεται η δυνατότητα για μελλοντική εξέλιξη, με την εισαγωγή και επεξεργασία νέων στοιχείων γεωερευνητικών προγραμμάτων που έχουν εκτελεστεί στην ευρύτερη περιοχή της πόλης Θεσσαλονίκης.

1.3 Διάρθρωση διατριβής

Η δομή της παρούσας διατριβής περιγράφεται ακολούθως:

Αμέσως μετά την εισαγωγή, όπου παρουσιάζεται το αντικείμενο και ο σκοπός της διατριβής, στο δεύτερο κεφάλαιο (2^ο) δίνονται διάφορες γενικές πληροφορίες σχετικά με τη βάση δεδομένων. Γίνεται αναφορά στο πληροφοριακό σύστημα TIAS πάνω στο οποίο βασίστηκε η εκπόνηση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης. Επίσης, αναλύονται όλες οι πληροφορίες που αφορούν στη συγκέντρωση και επεξεργασία των πληροφοριών που εισάγονται στη βάση, καθώς και στη χρησιμότητα και δυνατότητα μελλοντικής εξέλιξης της τράπεζας δεδομένων.

Στο τρίτο κεφάλαιο (3^ο) αναλύονται οι γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης. Παρουσιάζονται γενικές πληροφορίες σχετικά με την τεκτονική, το υδρογραφικό δίκτυο και τα ρήγματα του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο (4^ο) αναπτύσσονται οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες της λεκάνης Θεσσαλονίκης ανά σχηματισμό. Δίνονται φάσματα τιμών για τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες όπως προέκυψαν έπειτα από την αξιολόγηση των εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο (5^ο) αναπτύσσονται οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες της λεκάνης Θεσσαλονίκης ανά περιοχή. Εξάγονται χρήσιμα διαγράμματα και στατιστικές κατανομές φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών. Επιπλέον, κατασκευάζονται γεωλογικές-τεχνικογεωλογικές τομές για δύο επιλεγθείσες περιοχές. Δημιουργούνται ενδεικτικές διατομές σε συγκεκριμένες θέσεις για αυτές τις περιοχές. Με αυτό τον τρόπο περιγράφονται γεωμετρικά οι ιδιαιτερότητες και οι ετερογένειες που εμφανίζονται στις υπό έρευνα περιοχές.

Στο έκτο κεφάλαιο (6^ο) επιδιώκεται η εκτίμηση της απόκρισης των συγκεκριμένων σχηματισμών στα υπόγεια έργα και με βάση αυτή γίνεται επιλογή κατάλληλου μηχανήματος διάνοιξης.

2 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΡΑΠΕΖΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

2.1 Γενικά

Η εμπειρία που αποκτάται σε βάθος χρόνου από το σχεδιασμό και την κατασκευή των υπόγειων έργων είναι πρωταρχικής σημασίας για τη βελτίωση των μεθόδων κατασκευής αυτών, ιδίως όταν οι γεωλογικές και τεχνικογεωλογικές συνθήκες είναι πολύπλοκες ή παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις. Αυτή η εμπειρία μπορεί να έχει μεγάλη αξία τόσο για τους γεωτεχνικούς μηχανικούς, όσο και για τους γεωλόγους, αν αυτά τα στοιχεία που αποκτώνται από τις έρευνες, μελέτες κ.λπ. κατηγοριοποιούνται και αποθηκεύονται σε μια σωστά δομημένη βάση δεδομένων που επιτρέπει στο χρήστη να διεξάγει αναλύσεις και συσχετισμούς μεταξύ των εισαχθέντων παραμέτρων.

Μια τέτοια βάση δεδομένων θα πρέπει να σχεδιαστεί προσεκτικά ούτως ώστε να συνδέει όλα τα διαθέσιμα δεδομένα σε όλες τις φάσεις του έργου από τη γεωλογική και τεχνικογεωλογική έρευνα έως τον τελικό σχεδιασμό και την κατασκευή της σήραγγας. Για την αξιολόγηση της τεχνικογεωλογικής απόκρισης των σχηματισμών που μελετώνται θα πρέπει πρώτα να επιλεγούν εκείνες οι παράμετροι, με βάση τη χρησιμότητα τους και να εισαχθούν έπειτα στη βάση δεδομένων. Η επιλογή των συγκεκριμένων παραμέτρων προέκυψε από τη βιβλιογραφική επισκόπηση.

Η τράπεζα δεδομένων είναι μια συλλογή από μοιραζόμενα δεδομένα σε ιεραρχική μορφή τα οποία αποθηκεύονται με συγκεκριμένο τρόπο σε πίνακες, τους λεγόμενους πίνακες καταγραφής. Κάθε βάση δεδομένων χρησιμοποιεί συγκεκριμένο διαγραμματικό μοντέλο το οποίο περιγράφει την δομή και τις σχέσεις των πινάκων της. Η επιλογή των πολυάριθμων δεδομένων είναι το βασικό μέλημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την εισαγωγή τους μιας και αυτά θα καθορίσουν τη μετέπειτα χρήση και αξιοπιστία της βάσης. Όλα τα δεδομένα που εισάγονται σ' αυτήν έχουν τη δική τους ταυτότητα στο εσωτερικό της βάσης δεδομένων και μπορούν ανά πάσα στιγμή να διακριθούν σύμφωνα με το πεδίο στο οποίο έχουν καταχωρηθεί. Παράλληλα η δομή της τράπεζας δεδομένων είναι προσανατολισμένη στη σαφή και συνεχή αμφίδρομη σύνδεση των επιμέρους γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών στοιχείων.

Η κατασκευή της συγκεκριμένης τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων αποσκοπεί πρωτίστως στη δημιουργία τράπεζας πληροφοριών που αφορούν στην αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης με τη συγκέντρωση, κατόπιν επεξεργασίας και αξιολόγησης, των πληροφοριών που υπάρχουν από διάφορες έρευνες και μελέτες που έχουν εκπονηθεί.

2.2 Βάση δεδομένων TIAS

Η δημιουργία της ομάδας λογισμικών εργαλείων του «Συστήματος Ανάλυσης Πληροφοριών Σηράγγων» - TIAS (Tunnel Information Analysis System) ήταν απαραίτητη ώστε να γίνει δυνατή η διαχείριση, επεξεργασία και ανάλυση του μεγάλου όγκου και της πολυμορφίας των στοιχείων που αφορούν στο σχεδιασμό και την κατασκευή των υπόγειων έργων της Εγνατίας Οδού (Marinos et al., 2012). Το «Σύστημα Ανάλυσης Πληροφοριών Σηράγγων» - TIAS είναι ένα ολοκληρωμένο πληροφοριακό σύστημα που αποτελείται από τη βάση δεδομένων και το λογισμικό διαχείρισης με το οποίο ο χρήστης μπορεί να αναλύσει και επεξεργαστεί τα δεδομένα.

Γενικότερα η χρήση του συστήματος TIAS, εξασφαλίζει την άμεση πρόσβαση στα δεδομένα που έχουν ήδη καταχωρηθεί και αφορούν στη μελέτη και κατασκευή των σηράγγων, ώστε να μπορεί ο χρήστης, εκτός από την αρχειακή χρήση, να τα επεξεργαστεί στο μέλλον στοχεύοντας στη βέλτιστη απόδοση της βάσης. Η αποθηκευμένη πληροφορία μπορεί να μετασχηματισθεί με την χρήση της γλώσσας προγραμματισμού SQL (Structured Query Language). Το σύστημα TIAS έχει κατασκευασθεί με την πρόνοια της αναλυτικής και πλήρους περιγραφής όλων των πινάκων και των πεδίων τους, ώστε να επιτρέπει στο χρήστη να έχει σαφή και ακριβή πληροφορία για την περιγραφή των στοιχείων που κάθε φορά συναντά μέσα στη βάση δεδομένων.

Για όλους τους προαναφερθέντες λόγους, έχει επιλεγεί το συγκεκριμένο πληροφοριακό σύστημα στην εκπόνηση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης.

2.3 Πληροφορίες

Οι παράμετροι που αναφέρονται είναι προσανατολισμένες μόνο για το σχεδιασμό και την κατασκευή υπόγειων έργων. Ωστόσο, αυτή η τράπεζα μπορεί να δέχεται δεδομένα και για άλλα τεχνικά έργα.

Η τράπεζα δεδομένων αποτελεί τον κεντρικό πυρήνα ολόκληρου του συστήματος, καθώς εκεί εισάγονται και στη συνέχεια αναλύονται και συσχετίζονται όλα τα δεδομένα που αφορούν στα υπόγεια έργα της περιοχής έρευνας. Τα δεδομένα που εισάγονται στην τράπεζα δεδομένων προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως τεχνικές μελέτες, έρευνες και κυρίως γεωτρήσεις. Τα στοιχεία που επιλέγονται για να εισαχθούν είναι τα γενικά χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων, οι περιγραφές των γεωλογικών σχηματισμών, όπως αυτές δίνονται στις γεωτρήσεις, οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες εδαφών και βράχου από τις εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές.

Η επεξεργασία και αξιολόγηση όλων αυτών των πληροφοριών, οδηγούν στο επόμενο στάδιο, που αναφέρεται στην εκτίμηση της γεωλογικής κατάστασης και τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των σχηματισμών στα υπόγεια έργα, καθώς και στη προσέγγιση τυπικών τεχνικογεωλογικών διατομών σχεδιασμού σε συγκεκριμένες θέσεις για την περιοχή έρευνας.

Παρακάτω αναφέρεται η δομή της τράπεζας δεδομένων, το σύστημα διαχείρισης των εισηγμένων στοιχείων, οι πηγές και το είδος των πληροφοριών που συνελέγησαν, η διαδικασία εισαγωγής των πρωτογενών στοιχείων και τέλος η χρήση του συστήματος και οι δυνατότητες για μελλοντική εξέλιξή του.

Η βάση δεδομένων έχει τη δυνατότητα παροχής πληροφοριών με τη μορφή αρχειακού χαρακτήρα και περιλαμβάνει συνολικά δεκατρείς πίνακες εισαγωγής δεδομένων. Για την παρουσίαση αυτών, δημιουργήθηκε ο Πίνακας 2.1, με σκοπό να παρουσιαστεί συνοπτικά η δομή της βάσης δεδομένων.

Πίνακας 2.1. Δομή βάσης δεδομένων

<u>Ονομασία πίνακα</u>	<u>Περιεχόμενα</u>
ABBR	Συντομογραφίες
HOLE	Στοιχεία γεωτρήσεων
GEOL	Γενική γεωλογική περιγραφή
DETL	Λεπτομερής γεωλογική περιγραφή
IPRM	Επί τόπου δοκιμές περατότητας
PTIM	Μετρήσεις στάθμης υπόγειου νερού
ISPT	Πρότυπη δοκιμή διείσδυσης
GRAD	Κοκκομετρική διαβάθμιση
CLSS	Φυσικές ιδιότητες εδαφών
ROCK	Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες βράχου
SHBG	Δοκιμές άμεσης διάτμησης
TRIG	Δοκιμές τριαξονικής φόρτισης
SAMP	Αριθμός δειγμάτων εργαστηριακών δοκιμών

Ολόκληρη η δομή της τράπεζας δεδομένων διακλαδίζεται σε πέντε κύριες κατηγορίες, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

1. Γεωτρήσεις

Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται τα γενικά στοιχεία των γεωτρήσεων και συγκεκριμένα οι συντεταγμένες (x, y) και το υψόμετρο του εδάφους αυτών (z), όπου αυτό δίνεται. Για την εισαγωγή αυτών των στοιχείων χρησιμοποιείται ο πίνακας με κωδικό όνομα HOLE. Συγκεκριμένα συμπληρώνονται τα εξής πεδία: HOLE_LOCX, HOLE_LOCY, HOLE_LOCZ.

2. Περιγραφή γεωλογικών σχηματισμών

Χρησιμοποιούνται δύο πίνακες για την εισαγωγή των πληροφοριών που σχετίζονται με τα γεωλογικά στοιχεία. Στον πίνακα GEOL εισάγεται μια γενική γεωλογική περιγραφή του κάθε στρώματος της γεώτρησης, που αναλύεται χωρίς να γίνεται η υποδιαίρεση σε επί μέρους τμήματα με ιδιαίτερες λεπτομέρειες, όπως συμβαίνει με τον πίνακα DETL. Εισάγεται το βάθος της αρχής και του τέλους του στρώματος του οποίου θα δοθεί στη συνέχεια η γεωλογική περιγραφή από τα φύλλα των μητρώων γεωτρήσεων. Τα πεδία που συμπληρώνονται στον πίνακα GEOL είναι τα εξής: GEOL_TOP, GEOL_BASE, GEOL_DESC. Ενώ τα αντίστοιχα για τον πίνακα DETL: DETL_TOP, DETL_BASE, DETL_DESC.

Ως ξεχωριστή ενότητα αντιμετωπίζονται οι εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές, παρ' όλο που συνήθως αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των γεωτρήσεων, κι αυτό γιατί αποτελούν ποσοτικό και όχι ποιοτικό στοιχείο της κατάστασης των υπό εξέταση σχηματισμών. Αυτές περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

3. Δοκιμές κατάταξης για τον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών

Κοκκομετρική ανάλυση

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής διαβάθμισης με κόσκινα εισάγονται στον πίνακα με κωδικό όνομα GRAD. Τα πεδία GRAD_SIZE που συμπληρώνεται, αναφέρεται στη διάμετρο των κόκκων σε mm, ενώ το GRAD_PERP στο ποσοστό των διερχόμενων.

Όρια Atterberg

Στον πίνακα με κωδικό όνομα CLSS και συγκεκριμένα στα πεδία CLSS_LL, CLSS_PL και CLSS_PI εισάγονται οι τιμές του ορίου υδαρότητας, ορίου πλαστικότητας και δείκτη πλαστικότητας, αντίστοιχα.

Φυσική υγρασία

Στον πίνακα με κωδικό όνομα CLSS και συγκεκριμένα στα πεδία CLSS_NMC εισάγονται οι τιμές της φυσικής υγρασίας όπως αυτές προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές.

Δείκτης συνεκτικότητας

Στον πίνακα με κωδικό όνομα CLSS και συγκεκριμένα στο πεδίο CLSS_Ic εισάγονται οι τιμές του δείκτη συνεκτικότητας, όπως αυτές προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές.

4. Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών χαρακτηριστικών

Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης

Τα αποτελέσματα αυτής της δοκιμής καταχωρούνται στον πίνακα με κωδικό όνομα ROCK. Συμπληρώνεται το πεδίο ROCK_UCS, όπου δίνεται η τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής.

Δοκιμές άμεσης διάτμησης

Για την εισαγωγή των τιμών της συνοχής (c) και της γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) χρησιμοποιούνται τα πεδία SHBG_PCOH και SHBG_PHI του πίνακα SHBG.

Δοκιμές τριαξονικής φόρτισης

Στο πεδίο TRIG_TYPE του πίνακα TRIG εισάγεται το είδος της τριαξονικής δοκιμής, ενώ στα πεδία TRIG_COH και TRIG_PHI εισάγονται οι τιμές της συνοχής (c) και της γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ).

Τέλος, στον πίνακα με κωδικό αναφοράς SAMP εισάγονται όλα τα στοιχεία και οι πληροφορίες των εργαστηριακών δειγμάτων, τα οποία είναι απαραίτητα για τη σύνδεση τους με τους υπόλοιπους πίνακες που αναφέρονται στα εργαστηριακά και έχουν περιγραφεί παραπάνω. Οι πληροφορίες αυτές σχετίζονται με το βάθος οροφής και βάσης του δείγματος, τον κωδικό αναφοράς και το είδος του δείγματος για την κάθε περίπτωση.

5. Επί τόπου δοκιμές

Πρότυπη δοκιμή διείσδυσης (SPT)

Ο πίνακας ISPT χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των αποτελεσμάτων, όπως αυτά προκύπτουν από την εκτέλεση της πρότυπης δοκιμής διείσδυσης SPT. Οι πληροφορίες που εισάγονται είναι το βάθος της οροφής της εκτελεσθείσας δοκιμής στο πεδίο ISPT_TOP και ο αριθμός των κρούσεων (N_{SPT}) που μετρήθηκαν κατά την διείσδυση του πρότυπου δειγματολήπτη στο πεδίο ISPT_NVAL.

Δοκιμές περατότητας

Οι δοκιμές περατότητας κατατάσσονται στον πίνακα με κωδικό όνομα IPRM. Εισάγεται το βάθος αρχής και τέλους της ζώνης στην οποία πραγματοποιήθηκε η δοκιμή περατότητας, η τιμή της περατότητας του σχηματισμού καθώς και ο τύπος της δοκιμής (Maag, Lefranc, Lugeon). Η εισαγωγή γίνεται από τα μητρώα των δοκιμών ή των γεωτρήσεων. Στον πίνακα με όνομα PTIM εισάγονται οι μετρηθείσες στάθμες του νερού στις γεωτρήσεις για τις διάφορες διαθέσιμες ημερομηνίες.

Στον πίνακα με κωδικό όνομα ABBR εισάγονται οι συντομογραφίες, που χρησιμοποιούνται σε διάφορα πεδία των υπολοίπων πινάκων. Εκεί, γίνεται η περιγραφή όλων αυτών τόσο στην αγγλική, όσο και στην ελληνική γλώσσα.

2.4 Χρησιμότητα

Οι τράπεζες δεδομένων παρουσιάζουν μια διαρκώς αυξανόμενη εφαρμογή και χρησιμότητα, κυρίως, λόγω της απλής, γρήγορης και εύκολης ανάκλησης στοιχείων από αυτές. Παρακάτω αναφέρονται οι σημαντικότερες χρήσεις και εφαρμογές της συγκεκριμένης τράπεζας δεδομένων.

- Η τράπεζα δεδομένων είναι διαμορφωμένη με τέτοιο τρόπο, ώστε να προσφέρει πληροφορίες σε σχέση με την επίδραση των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών στους σχηματισμούς.
- Σε σήραγγες που κατασκευάζονται ή πρόκειται να κατασκευαστούν, μπορούν να αναζητηθούν περιπτώσεις με παρόμοιες γεωλογικές και τεχνικογεωλογικές συνθήκες, που σχετίζονται τόσο με τη συμπεριφορά του γεωυλικού, όσο και με τις μεθόδους κατασκευής, σε επόμενα στάδια. Η χρησιμότητα της, ωστόσο, επεκτείνεται και σε άλλου είδους έργα υποδομής, όπως θεμελιώσεις, ρηχές και βαθιές εκσκαφές, εργασίες οδοποιίας κ.λπ.
- Μια βασική χρήση της τράπεζας δεδομένων είναι ότι ακόμα και μετά την περάτωση της, είναι εφικτή η εισαγωγή νέων δεδομένων και η ενσωμάτωση τους στα προϋπάρχοντα στοιχεία. Παρέχεται έτσι δυνατότητα για μελλοντική εξέλιξη και βελτίωση των αποτελεσμάτων της. Με αυτόν τον τρόπο επιδέχεται διαμόρφωση, ώστε να μπορεί να ανταποκρίνεται σε νέα δεδομένα που τυχόν προκύπτουν, αλλά και σε διορθώσεις που πρέπει να γίνουν για την ορθότερη λειτουργία της βάσης δεδομένων.
- Η ανάληψη δεδομένων από την τράπεζα δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να έχουν άμεση πρόσβαση στην πληροφορία που τους ενδιαφέρει. Η πληροφορία μπορεί να αφορά σε συγκεκριμένα στοιχεία, σε ομαδοποιημένα δεδομένα ή ακόμη και σε συσχετισμό διαφόρων στοιχείων.
- Παράλληλα, ο χρήστης μπορεί να αναζητήσει περιπτώσεις, όπου έχουν χρησιμοποιηθεί αντίστοιχες παράμετροι. Έτσι, μπορεί να αξιολογήσει-συγκρίνει ποια δομή και συμπεριφορά είχαν παρόμοιοι, αν όχι ίδιοι, σχηματισμοί και να δει την κατανομή συγκεκριμένων παραμέτρων, που ο ίδιος επιλέγει σε διάφορα τμήματα υπογείων έργων. Αυτού του τύπου τα πληροφοριακά συστήματα δίνουν τη δυνατότητα στους ερευνητές να συγκρίνουν τις ιδιότητες παρόμοιων σχηματισμών σε ανάλογα περιβάλλοντα απόθεσης, αλλά διαφορετικές περιοχές.

- Παρέχεται επίσης η δυνατότητα αξιολόγησης και συσχέτισης των πληροφοριών που έχουν αποθηκευτεί ή πρόκειται να αποθηκευτούν στο μέλλον. Πιο συγκεκριμένα, οι συσχετίσεις αναφέρονται σε θέματα συμπεριφοράς του γεωυλικού στην κατασκευή σηράγγων ανάλογα με το γεωλογικό περιβάλλον της περιοχής, στις επικρατούσες τεχνικογεωλογικές συνθήκες αλλά και τις ιδιότητες των σχηματισμών.
- Οι αναλύσεις που προκύπτουν από τη βάση δεδομένων προσφέρουν στο χρήστη τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά αποτελέσματα.
- Τελικός σκοπός της τράπεζας δεδομένων, είναι να αποτελέσει ένα εργαλείο για τη μετατροπή των δεδομένων σε χρήσιμες πληροφορίες οι οποίες αφορούν στη σύγκριση των αναμενόμενων και των παρατηρηθέντων γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών στην κατασκευή των εκάστοτε υπογείων έργων.

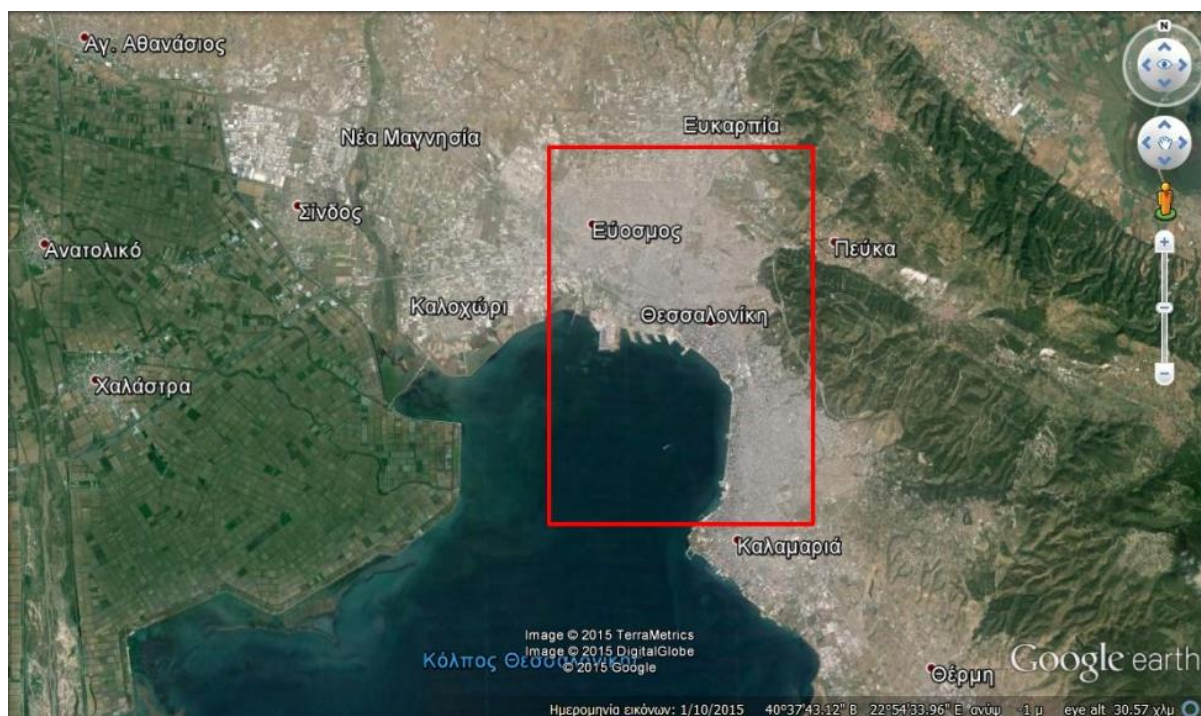
Η χρησιμότητα των ηλεκτρονικών βάσεων δεδομένων αυξάνει με την πρόοδο της τεχνολογίας, καθώς αυτή σχετίζεται με την καλύτερη ποιότητα και αυξανόμενη ποσότητα των δεδομένων, όπως και με την ερμηνεία και αξιολόγηση αυτών.

Συμπερασματικά, γίνεται εύκολα αντιληπτή η χρησιμότητα της δημιουργίας μιας τεχνικογεωλογικής βάσης δεδομένων. Αυτή είναι ότι μέσω του επιλεγόμενου πληροφοριακού συστήματος επιτυγχάνεται η δημιουργία μιας οργανωμένης πλατφόρμας στην οποία πραγματοποιείται η συστηματική μεταφορά, η οργανωμένη αποθήκευση και η αποδοτική διαχείριση των δεδομένων, στοιχεία τα οποία αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για την ασφαλή κατασκευή των υπογείων έργων.

3 ΓΕΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

3.1 Γενικά για την περιοχή έρευνας

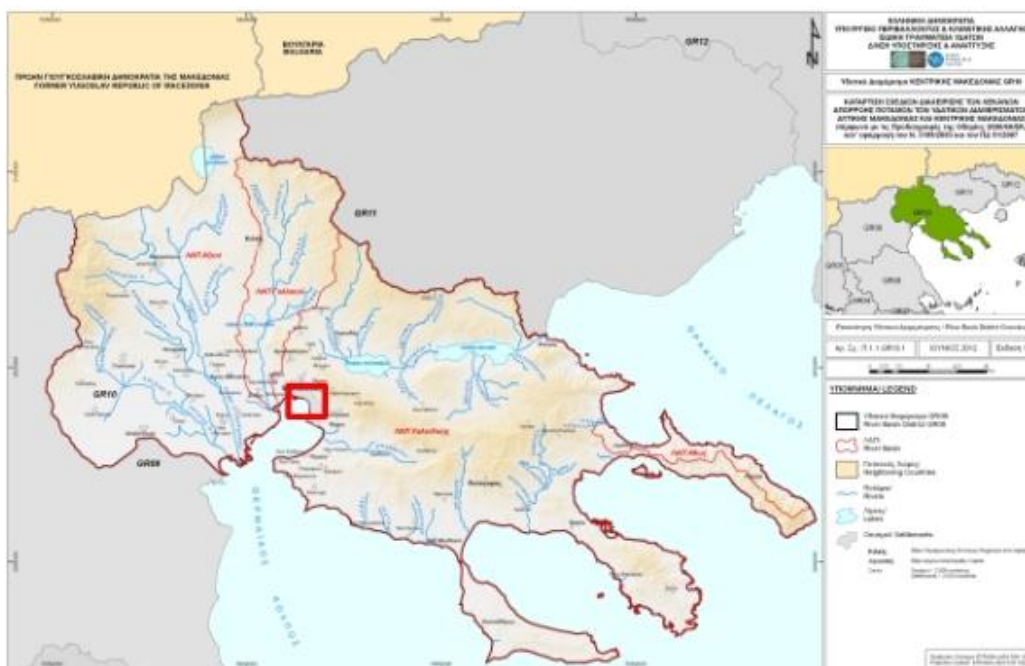
Η ευρύτερη περιοχή του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης, αποτελεί την περιοχή έρευνας. Αυτή οριοθετείται βορειανατολικά από τις Συκιές και την Πολίχνη, νότια και νοτιοανατολικά από την Πυλαία και την Καλαμαριά, δυτικά από την περιοχή Καλοχωρίου και την Ν. Μαγνησία, ενώ προς βόρεια από την Ευκαρπία (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1. Ευρύτερη περιοχή λεκάνης Θεσσαλονίκης (Google Earth).

Η Θεσσαλονίκη με τα περίχωρά της εκτείνεται γύρω από τον Θερμαϊκό κόλπο και ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας (ΥΔ.10). Αυτό έχει έκταση 10165 km² και συνορεύει βόρεια με τη ΠΓΔΜ, ενώ οι απορροές του καταλήγουν Νότια-Νοτιοανατολικά στο Θερμαϊκό και τους κόλπους μεταξύ των ακρωτηρίων της Χαλκιδικής.

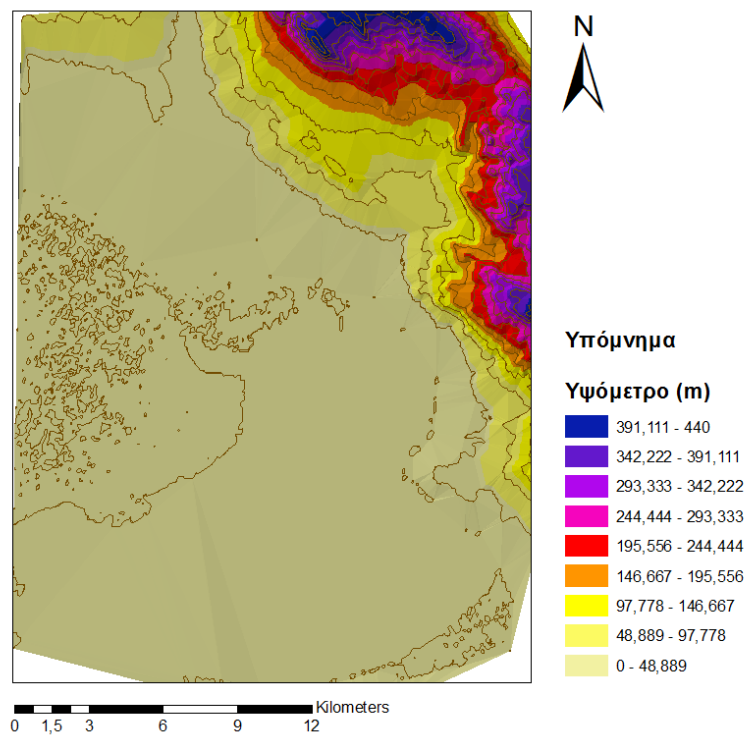
Το Υ.Δ. Κεντρικής Μακεδονίας αποτελείται από τέσσερις (4) Λεκάνες Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ): Αξιού (GR03), Γαλλικού (GR04), Χαλκιδικής (GR05) και Άθω (GR43). Η περιοχή της Θεσσαλονίκης ανήκει κατά κύριο λόγο στη ΛΑΠ Χαλκιδικής και οριακά στη ΛΑΠ Γαλλικού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2. Λεκάνες Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (ΥΠΕΚΑ, 2012).

Το υδατικό διαμέρισμα χαρακτηρίζεται από ποικιλία κλιμάτων, όπως το μεσογειακό στις παράκτιες περιοχές, το ηπειρωτικό στο εσωτερικό και το ορεινό στις περιοχές με μεγάλο υψόμετρο. Η πόλη της Θεσσαλονίκης χαρακτηρίζεται από μεσογειακό κλίμα. Σύμφωνα με δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό της Μίκρας στο αεροδρόμιο (ΕΜΥ), οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες παρατηρούνται το μήνα Ιούλιο ενώ οι ελάχιστες σημειώνονται το μήνα Ιανουάριο. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 15°C και η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 475 mm.

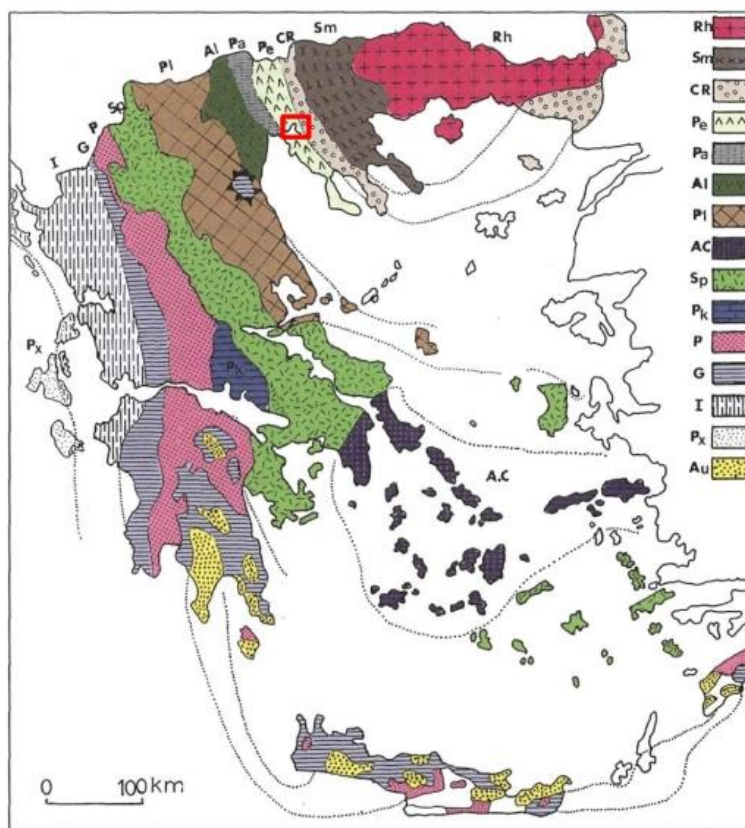
Το υδατικό διαμέρισμα περιλαμβάνει εκτεταμένες πεδιάδες, κυρίως στο δυτικό τμήμα, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι αυτή της Θεσσαλονίκης, των Γιαννιτσών και του Λαγκαδά. Η Θεσσαλονίκη παρουσιάζει τοπογραφικό ανάγλυφο που αρχίζει στη παραλιακή ζώνη από το επίπεδο της θάλασσας και καταλήγει στις ΒΑ παρυφές της, με ομαλούς λόφους, το ύψος των οποίων κυμαίνεται από 100 έως 150m (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3. Μορφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης όπου φαίνονται τα υψόμετρα.

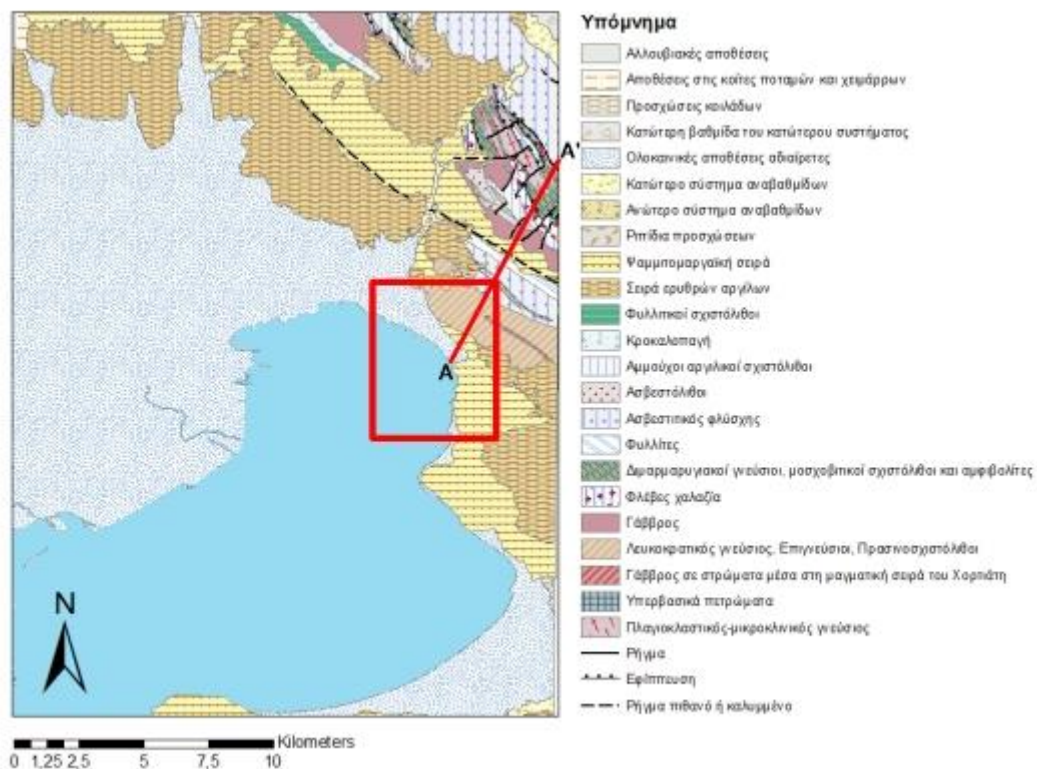
3.2 Γεωλογικές-Τεχνικογεωλογικές συνθήκες ευρύτερης περιοχής έρευνας

Γεωτεκτονικά, η πόλη της Θεσσαλονίκης, εντάσσεται στις ζώνες Αξιού και Περιοδοπικής (Εικόνα 3.4).

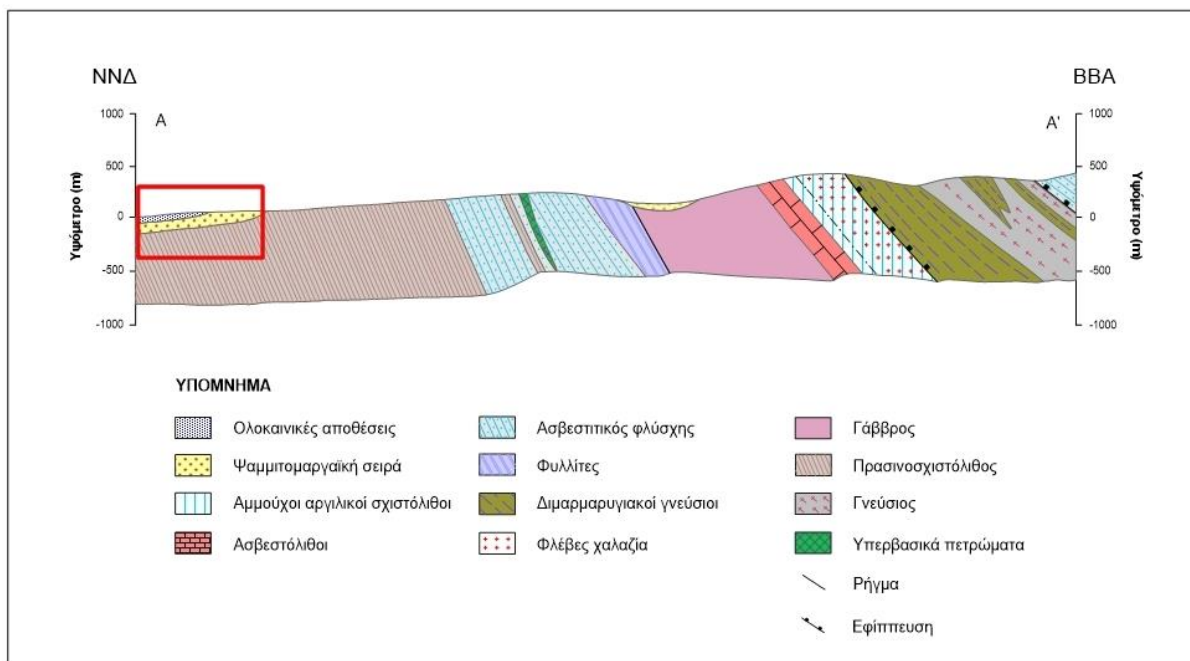


Εικόνα 3.4. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών στο οποίο παρουσιάζεται η ευρύτερη περιοχή έρευνας. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική ζώνη, (Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, PI: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπουλία, Au: Ενότητα «Πλακώδεις ασβεστόλιθοι- Ταλέα όρη» πιθανόν της Ιονίου ζώνης (Mountrakis et al. 1983).

Τα διάφορα γεωλογικά και στρωματογραφικά δεδομένα, που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία, προέρχονται τόσο από τη βιβλιογραφία, όσο και από το γεωλογικό χάρτη της ευρύτερης υπό μελέτη περιοχής (Εικόνα 3.5) και την τομή A-A' (Εικόνα 3.6).

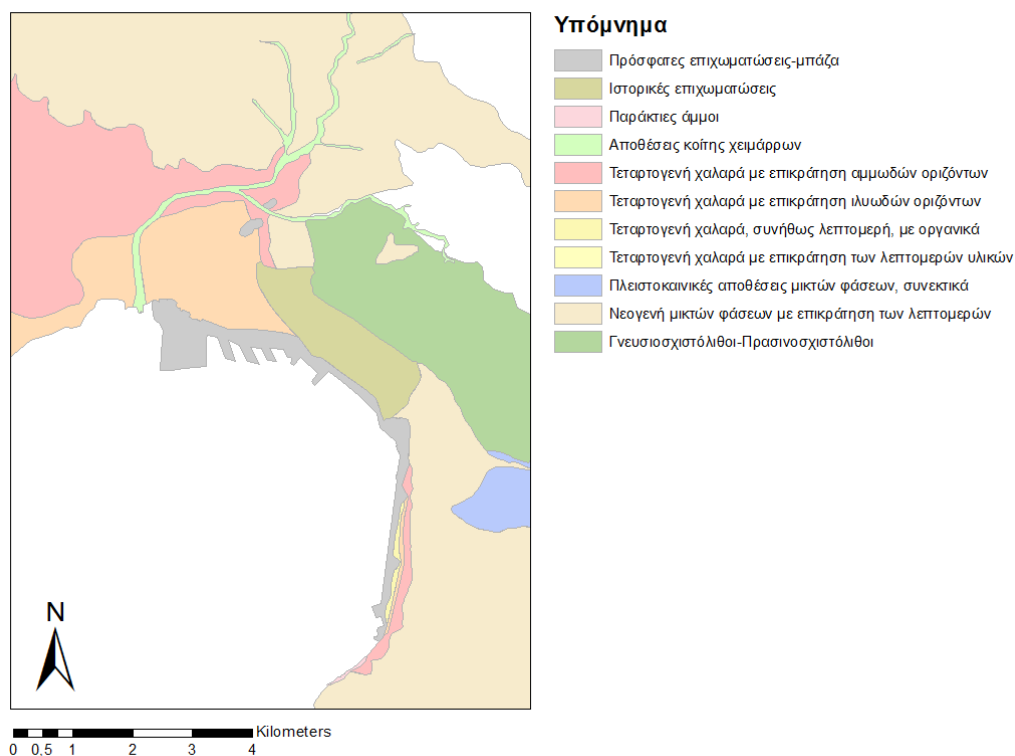


Εικόνα 3.5. Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Θεσσαλονίκη, κλίμακα 1:50.000, ΙΓΜΕ, 1978.



Εικόνα 3.6. Τομή Α-Α' σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη.

Αντίστοιχα, τα διάφορα τεχνικογεωλογικά δεδομένα προέρχονται από τον Τεχνικογεωλογικό χάρτη της ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης (Εικόνα 3.7).



Εικόνα 3.7. Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, κλίμακα 1:25.000, ΙΓΜΕ, 1998 (Ρόζος Δ. et al 1998).

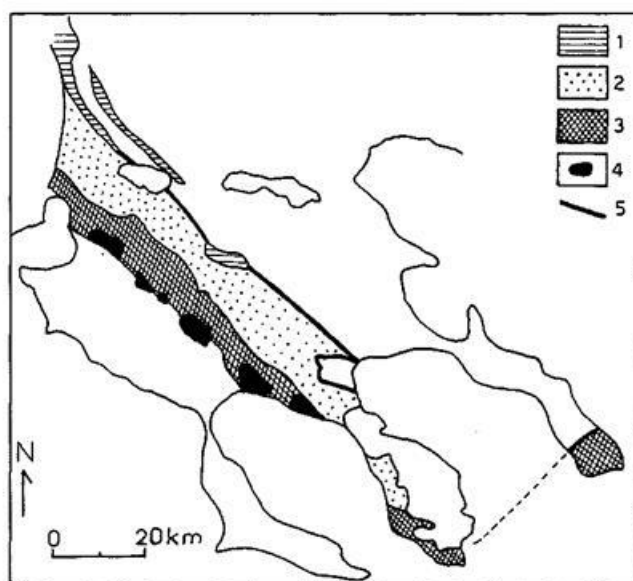
Εν συνεχεία, αναλύονται οι δύο γεωτεκτονικές ζώνες, στις οποίες εντάσσεται η ευρύτερη περιοχή έρευνας.

Ζώνη Αξιού

Η ζώνη Αξιού ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες. Βασικό χαρακτηριστικό της ζώνης είναι οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες που έχουν εξάπλωση σε όλο το χώρο της. Εξακολουθεί να θεωρείται ως μία ενιαία ζώνη, που έχει χαρακτήρα παλιάς ωκεάνιας περιοχής. Χαρακτηρίζεται επίσης, από την παρουσία πολλών συνεχόμενων τεκτονικών λεπίων, καθώς και από ετερογενή σύσταση. Γι' αυτό το λόγο κρίθηκε απαραίτητο να διαιρεθεί στις υποζώνες Παιονίας, Πάϊκου και Αλμωπίας (από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά). Η πεδινή περιοχή γύρω από τον κόλπο της Θεσσαλονίκης ανήκει στην υποζώνη της Παιονίας. Κύρια χαρακτηριστικά πετρώματα της Παιονίας είναι οι οφειόλιθοι, που καθορίζουν και τον ωκεάνιο χαρακτήρα της. Αυτά τα οφειολιθικά πετρώματα συνοδεύονται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας.

Περιοδοπική Ζώνη

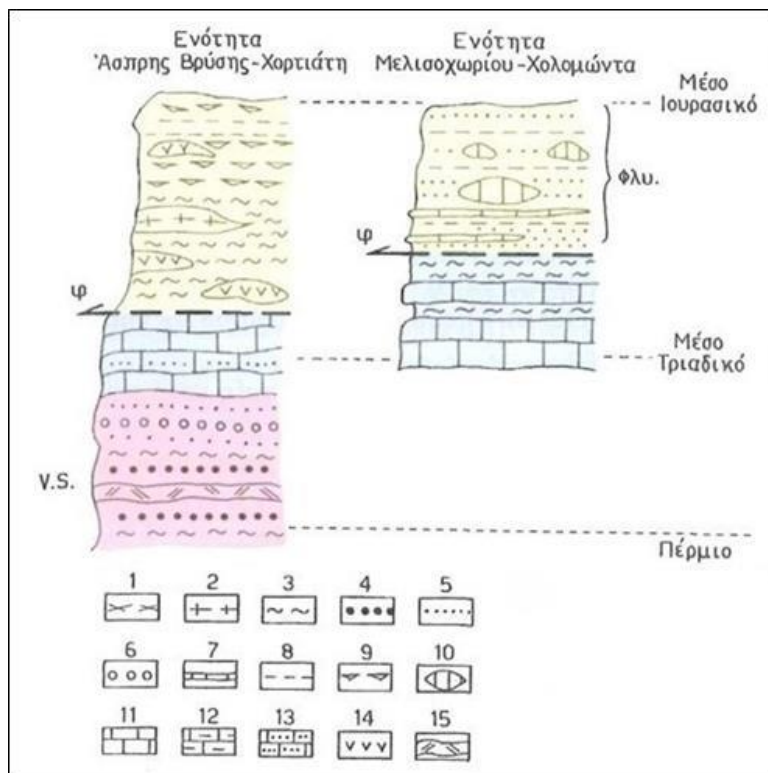
Η Περιοδοπική ζώνη ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες και αποτελούσε την ηπειρωτική κατώφλεια της Ελληνικής Ενδοχώρας και ειδικότερα της Σερβομακεδονικής μάζας προς την ωκεάνια περιοχή της ζώνης του Αξιού. Η ανάδυση της ζώνης έγινε στη διάρκεια του Ιουρασικού. Οι τρεις βασικές ενότητες που συγκροτούν την Περιοδοπική, από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά, είναι: η ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά, η ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα και η ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη. Αυτές που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή έρευνας, είναι κυρίως η ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη και σε μικρότερη έκταση η ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3.8. Χάρτης της Περιοδοπικής ζώνης με τις τρεις ενότητες και τις σημαντικότερες οφειολιθικές εμφανίσεις. 1) Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά, 2) Μελισσοχωρίου – Χολομώντα, 3) Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη, 4) Οφειόλιθοι, 5) Όριο της ζώνης με τη Σερβομακεδονική (κατά Kockel et al 1971, 1977, Μουντράκης 1985).

Ο ανώτερος ορίζοντας της ενότητας Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας (κερατόλιθοι, αργίλιοι και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι, μάργες), παρόμοια με αυτά της Παιονίας. Μέσα σε αυτά τα ιζήματα παρεμβάλλονται συχνά διάφορα οφειολιθικά σώματα με βασικά και υπερβασικά πετρώματα. Εκτός από αυτά, παρεμβάλλονται και μεταμορφωμένα πετρώματα, όξινης μαγματικής προέλευσης. Πρόκειται για γρανίτες, γρανοδιορίτες και διορίτες που μεταμορφώθηκαν στην πρασινοσχιστολιθική φάση, δημιουργώντας τα μετα-πυριγενή πετρώματα που αποτελούν τη λεγόμενη «Μαγματική σειρά Χορτιάτη» και αποτελούνται από ακτινολιθικούς, χλωριτικούς, επιδοτιτικούς, αμφιβολιτικούς, βιοτιτικούς γνευσίους και πρασινίτες.

Σε αυτό το σημείο, και λόγω του ερωτήματος που υπάρχει από πολλούς σχετικά με το που βρίσκεται ακριβώς το όριο μεταξύ των δύο ζωνών, είναι χρήσιμο να αναφερθεί και αποσαφηνιστεί η προέλευση των πετρωμάτων της «μαγματικής σειράς Χορτιάτη». Πρόκειται για παλιά πλουτωνικά και ηφαιστειακά πετρώματα, τα οποία διείσδυσαν μέσα στους οφειολίθους του ωκεάνιου πυθμένα και έπειτα, με την τεκτονική επώθηση βρέθηκαν στην ηπειρωτική κατωφέρεια της Περιοδοπικής. Προέρχονται, επομένως, από τη ζώνη Αξιού και θεωρείται ότι ανήκουν στην Περιοδοπική ζώνη (Εικόνα 3.9).



Εικόνα 3.9. Λιθοστρωματογραφικές στήλες ενοτήτων της Περιοδοπικής ζώνης.

Υπόμνημα: 1.Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής μάζας, 2. Πράσινοι γενεύσιοι Θεσσαλονίκης, 3. Σχιστόλιθοι και φυλλίτες, 4. Πυροκλαστικά πετρώματα, 5. Μεταγαμμίτες και χαλαζίτες, 6. Μετακροκαλοπαγή, 7. Ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, 8. Αργιλικό σχιστόλιθοι και μάρμαρα, 9. Κερατόλιθοι, 10. Ολισθόλιθοι, 11. Ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 12. Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 13. Ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι, 14. Οφειολιθικά πετρώματα, 15. Ηφαιστειακά πετρώματα (ρυόλιθοι, πορφυροειδή), φ. Τεκτονική επαφή. (κατά F. Kockel et al 1971, 1972, Μουντράκης 1985).

Έτσι, στην ευρύτερη περιοχή έρευνας εμφανίζονται:

- οι αμμούχοι αργιλικό σχιστόλιθοι (Συμβολισμός βάσει του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: J_{i-m}?ag) στην περιοχή της Ευκαρπίας.

Από τεχνικογεωλογικής πλευράς (Συμβολισμός βάσει του τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: Sh) πρόκειται για βραχώδεις σχηματισμούς, μελανότεφρου έως τεφρομέλανος χρώματος και μέτρια κερματισμένους. Αυτοί, χαρακτηρίζονται από ικανοποιητική

γεωτεχνική συμπεριφορά, είναι όμως πιθανό, σε πρηνή με ομόρροπη κλίση λόγω σχιστότητας, να δώσουν αστοχίες μικρής έκτασης. Είναι πρακτικά στεγανοί σχηματισμοί, αλλά μπορούν να παρουσιάσουν μικροπηγές, εποχιακής συνήθως παροχής, στην επαφή του μανδύα αποσάθρωσης ή και της ζώνης κερματισμού, με το υγιές πέτρωμα.

- Μέσα στα προηγούμενα μεταϊζημάτα υπάρχουν *φλέβες χαλαζία* (Συμβολισμός βάσει του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: q)

Από τεχνικογεωλογικής πλευράς (Συμβολισμός βάσει του τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: Qsh) πρόκειται για βραχώδεις σχηματισμούς, τεφρόλευκου χρώματος μέτρια έως ισχυρά κερματισμένους που διατρέχονται από αραιό γενικά δίκτυο διαρρήξεων. Χαρακτηρίζονται από ικανοποιητική γεωμηχανική συμπεριφορά με εξαίρεση τις θέσεις ισχυρού κερματισμού και έντονης μορφολογίας, όπου σημειώνονται καταπτώσεις βραχωδών μαζών.

- *οι ασβεστόλιθοι* (Συμβολισμός βάσει του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: T_{m-s}.k) ηλικίας Μέσου–Ανώτερου Τριαδικού που εμφανίζονται στην ίδια περιοχή με τον προηγούμενο σχηματισμό, αλλά νοτιότερα. Είναι τεφρογάλανοι ή λευκοί, συμπαγείς ή παχυστρωματώδεις, σχηματίζουν τεκτονικούς φακούς ή ενστρώσεις μέσα στην μαγματική σειρά Χορτιάτη και στους φυλλιτικούς αργιλικούς σχιστόλιθους.

Από τεχνικογεωλογικής πλευράς (Συμβολισμός βάσει του τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: Mr) αποτελούν ανθρακικούς βραχώδεις σχηματισμούς με χαρακτηριστική ομοιογένεια και μάλλον μεγάλο δευτερογενές πορώδες. Εμφανίζουν υψηλές μηχανικές αντοχές και διατηρούν σχεδόν κατακόρυφα πρηνή σημαντικού ύψους.

Εξαίρεση αποτελούν οι περιπτώσεις, όπου η ισχυρή τοπικά διάρρηξη σε συνδυασμό με το δυσμενή προσανατολισμό των ασυνεχειών ή και τις υποσκαφές προκαλούν αποκολλήσεις και καταπτώσεις βραχωδών μαζών.

Ο ανώτερος σχηματισμός της ενότητας Μελισσοχωρίου-Χολομώντα που εμφανίζεται στην ευρύτερη περιοχή είναι ένας σχηματισμός φλύσχη (φλύσχης της Σβούλας) με τουρβιδιτικές εναλλαγές μετά-ιζημάτων (μετα-ψαμμίτες, ασβεστολιθικές ενστρώσεις, φυλλίτες κ.λπ.). Συγκεκριμένα συναντώνται οι εξής σχηματισμοί:

- ο ασβεστιτικός φλύσξης (Συμβολισμός βάσει του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: T-Jm.st) που εμφανίζονται νότια των φυλλιτών και βορειότερα του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης.

- οι φυλλίτες (συμβολισμός χάρτη ΙΓΜΕ: T-Jm.ph) που εμφανίζονται νότια των κοινοτήτων Πεύκων, Ασβεστοχωρίου και Εξοχής.

Από τεχνικογεωλογικής πλευράς (Συμβολισμός βάσει του τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: Ph) πρόκειται για πολυπτυχωμένους και έντονα σχιστοποιημένους σχηματισμούς με φλεβίδια χαλαζία. Χαρακτηρίζονται από μέτρια γεωμηχανική συμπεριφορά ενώ είναι δυνατόν σε πρηνή μεγάλων κλίσεων να παρατηρηθούν αστοχίες μικρής έκτασης κυρίως κατά μήκος της σχιστότητας. Τοπικά καλύπτονται από μανδύα αποσάθρωσης μικρού πάχους, το οποίο δεν υπερβαίνει το 1m.

Στα πυριγενή πετρώματα ανήκει ο γάββρος (Συμβολισμός βάσει του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: 92) ηλικίας Άνω Ιουρασικού. Εμφανίζεται στην περιοχή της Ευκαρπίας. Στα νότια είναι σε επαφή με την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά του Νεογενούς, ενώ στα βόρεια με την ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη.

Από τεχνικογεωλογικής πλευράς (Συμβολισμός βάσει του τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: Gb) πρόκειται για βραχώδη σχηματισμό, μελανότεφρου έως τεφρομέλανος χρώματος, ισχυρά κατακερματισμένο από πυκνό δίκτυο διαρρήξεων. Καλύπτεται από μανδύα αποσάθρωσης, το πάχος του οποίου δεν υπερβαίνει το 1m. Χαρακτηρίζεται από μέτρια γεωμηχανική συμπεριφορά, ενώ σε πρηνή με σημαντικές κλίσεις είναι δυνατόν να δώσει μικρής έκτασης αστοχίες όπως καταπτώσεις μικρού όγκου βραχωδών μαζών και ολισθήσεις.

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα έχουν Μεσοζωική ηλικία και αποτελούν τη «μαγματική σειρά Χορτιάτη». Από τα νεότερα προς τα παλαιότερα συναντώνται:

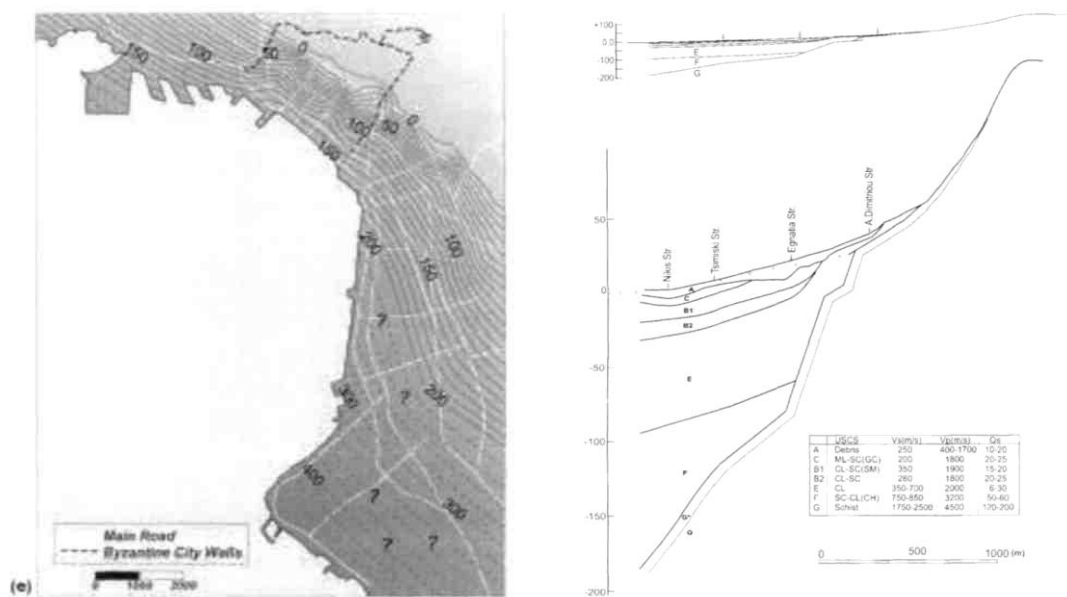
- οι γενεύσιοι–επιγνεύσιοι–πρασινοσχιστόλιθοι (Συμβολισμός βάσει του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: sch.gn). Εμφανίζονται στη βόρεια Θεσσαλονίκη (Συκιές, όρια Νεάπολης, Αγ. Παύλος, Ευαγγελίστρια, Σαράντα Εκκλησιές) υπό μορφή λωρίδας και με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση. Το μέγιστο πλάτος αυτής συναντάται στις βόρειες και βορειοανατολικές περιοχές της Θεσσαλονίκης (Επταπύργιο, Σαράντα Εκκλησιές, Τριανδρία, Τούμπα) (Σαπουντζής, 1969). Πιο αναλυτικά:

- ο γενεύσιος είναι λευκοκρατικός, αλβιτικός-σερικιτικός-μικροκλινικός με γενευσιακό ή οφθαλμοειδή ιστό και εμφανίζεται σε ενστρώσεις μέσα στα μεταίχνηματα παράλληλα προς το επίπεδο σχιστότητας.

- οι επιγνεύσιοι είναι ανοιχτοκάστανοι ή πρασινωποί με καλή στρώση, ομοιογενείς με γενευσιακό ή οφθαλμοειδή ιστό και πράσινα, στρεβλωμένα χλωριτικά στρώματα. Εμφανίζονται ως ακτινολιθικοί-επιδοτιτικοί-χλωριτικοί-σερικιτικοί-κεροστιλβικοί-βιοτιτικοί και μοσχοβιτικοί.

- οι πρασινοσχιστόλιθοι είναι λεπτόκοκκοι, σκοτεινοπράσινοι και καστανωποί. Εμφανίζονται ως σερικιτικοί-χλωριτικοί-βιοτιτικοί-μοσχοβιτικοί-επιδοτιτικοί-ακτινολιθικοί-αλμανδινικοί.

Το πάχος αυτών των σχηματισμών ποικίλλει. Είναι, όμως, αισθητά μεγαλύτερο στο Β-ΒΑ τμήμα του Πολεοδομικού Συγκροτήματος, όπου και εμφανίζεται επιφανειακά. Βυθίζεται από 150 έως 400 m, περίπου, στη Δ-ΝΔ ακτογραμμή (Εικόνα 3.10 α,β), ενώ σύμφωνα με τον Σαπουντζή (1969), νοτιοανατολικά το πάχος αυτών γίνεται μικρότερο και η σύσταση τους παρουσιάζεται περισσότερο αδρομερής.



Εικόνα 3.10 α,β. α) Χάρτης υποβάθρου Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και β) γεωτεχνική τομή κάθετη στην πόλη η οποία προήλθε από την καταγραφή μικροθορύβου και από δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, όπου φαίνεται το υπόβαθρο αλλά και η διαστρωμάτωση των νεότερων αποθέσεων (Αποστολίδης, 2002, Anastasiadis et al.2001).

Από τεχνικογεωλογικής πλευράς (Συμβολισμός βάσει του τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: Grs/Gns) εμφανίζονται ως μεταμορφωμένοι βραχώδεις σχηματισμοί, ισχυρά κερματισμένοι και ασθενώς αποσαθρωμένοι, έχουν ικανοποιητική γεωτεχνική συμπεριφορά, ενώ διατηρούν υψηλά σχεδόν κατακόρυφα τεχνητά πρηνή με τοπικές μόνο και μικρής έκτασης αστοχίες συνήθως με τη μορφή σφήνας. Η φυλλώδης δομή σε συνδυασμό με την τεκτονική είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε επίπεδες ολισθήσεις.

- ο γάββρος που εμφανίζεται μερικώς εξαλλοιωμένος σε ταλκικό σχιστόλιθο και σε στρώματα μέσα στη μαγματική σειρά Χορτιάτη (Συμβολισμός βάσει του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: 91-sch.gn). Εμφανίζεται βόρεια και ανατολικά των περιοχών Αγ. Παύλου, Ευαγγελίστριας, Σαράντα Εκκλησιών και Τριανδρίας.

Από τεχνικογεωλογικής πλευράς (Συμβολισμός βάσει του τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: Gb) εμφανίζει τις ίδιες ιδιότητες όπως ο γάββρος προηγουμένως.

- τα υπερβασικά πετρώματα (Συμβολισμός βάσει του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: π.ο) που εμφανίζονται μέσα στον ασβεστίτικο φλύσχη βόρεια του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Είναι πλήρως σερπεντινιωμένα με ενστρώσεις τάλκη και εμφανίζουν παλαιότερη ηλικία από αυτή της μαγματικής σειράς Χορτιάτη.

Από τεχνικογεωλογικής πλευράς (Συμβολισμός βάσει του τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: ο) έχουν μέτρια γεωμηχανική συμπεριφορά, χωρίς την εμφάνιση αστοχιών πρανών.

Συνεχίζοντας, συναντώνται τα ιζήματα της περιοχής έρευνας, τα οποία και καλύπτουν το υπόβαθρο. Έτσι, από τα νεότερα προς τα παλαιότερα συναντώνται:

I. Τεταρτογενές (Ολόκαινο)

- οι αποθέσεις στις κοίτες χειμάρρων και ποταμών (Συμβολισμός βάσει του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: H.l.s), που αποτελούνται από αμμούχες αργίλους, άμμους και ψηφίδες. Συναντώνται στις περιοχές Ευκαρπία και Σταυρούπολη κατά μήκος του ρέματος Δενδροποτάμου.

Από τεχνικογεωλογικής πλευράς (Συμβολισμός τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: Rd) αποτελούνται από αδρομερή χαλαρά έως ημισυνεκτικά υλικά ποικίλης προέλευσης από τους σχηματισμούς του υποβάθρου. Εμφανίζουν αυξημένη περατότητα με μεγάλες παροχές και μικρή επιφανειακή ανάπτυξη (καλύπτουν τις κοίτες ποταμών και χειμάρρων). Το πάχος τους κυμαίνεται ανάλογα με το τμήμα του υδρογραφικού δικτύου που καλύπτουν, αλλά δεν υπερβαίνει τα 10m. Στην περιοχή Επταπυργίου και Νεάπολης οι κροκάλες και λατύπες εξελίσσονται σε ερυθρώπες άμμους, χαμηλής διαγένεσης και ποικίλης προέλευσης από γνεύσιους, σχιστόλιθους, φυλλίτες κ.λπ.

- οι ολοκαινικές αποθέσεις (Συμβολισμός βάσει του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: H), που εμφανίζονται στο μεγαλύτερο μέρος του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης (Ιστορικό κέντρο, Ελευθέριο, Μενεμένη, Αμπελόκηποι, Καλοχώρι, Ν. Μαγνησία) σε επαφή με την θάλασσα. Πρόκειται για παράκτιες αποθέσεις, προσχώσεις πεδιάδων και ερυθρές αργίλους με ασβεστίτικά συγκρίματα. Στη βάση τους επικρατούν τα κροκαλοπαγή.

Από τεχνικογεωλογικής πλευράς ο σχηματισμός αναφέρεται ως ιλυώδης ορίζοντας δελταϊκών αποθέσεων (Συμβολισμός βάσει του τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: sl-l). Άμμος και άργιλος συμμετέχουν επίσης στη σύσταση του. Πρόκειται για ένα χαλαρό έως συνεκτικό σχηματισμό με χαμηλή έως μέτρια περατότητα. Τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά κυμαίνονται σε στενά σχετικά όρια.

Στις ολοκαινικές αποθέσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως ανήκουν και οι ιστορικές επιχωματώσεις ή αρχαιολογικό στρώμα (Συμβολισμός βάσει του τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: Hf) που εκτείνονται κυρίως στο τμήμα της πόλης κατάντη της οδού Αγ. Δημητρίου μέχρι και την παραλία, όπου καλύπτουν διάφορους σχηματισμούς, κυρίως όμως αυτούς του Νογενούς. Πρόκειται για υλικά που προέρχονται από φυσικές ή τεχνητές καταστροφές οικιστικών τμημάτων της Ρωμαϊκής και Βυζαντινής εποχής καθώς και της Τουρκοκρατίας. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από θραύσματα δομικών λίθων, κεραμίδια, επιχρίσματα τοίχων και λοιπά κατασκευαστικά υλικά, ανάμεικτα με εδαφικούς σχηματισμούς ιλυοαμμώδους κυρίως σύστασης. Πρόκειται για έναν εξαιρετικά ετερογενή σχηματισμό το πάχος του οποίου κυμαίνεται από 3 έως 20 μέτρα κατά θέσεις και μεταβάλλεται χωρίς να ακολουθεί συγκεκριμένο στρωματογραφικό κανόνα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ανομοιογένεια των υλικών που το αποτελούν καθιστά εξαιρετικά δυσχερή τον προσδιορισμό των μηχανικών του παραμέτρων.

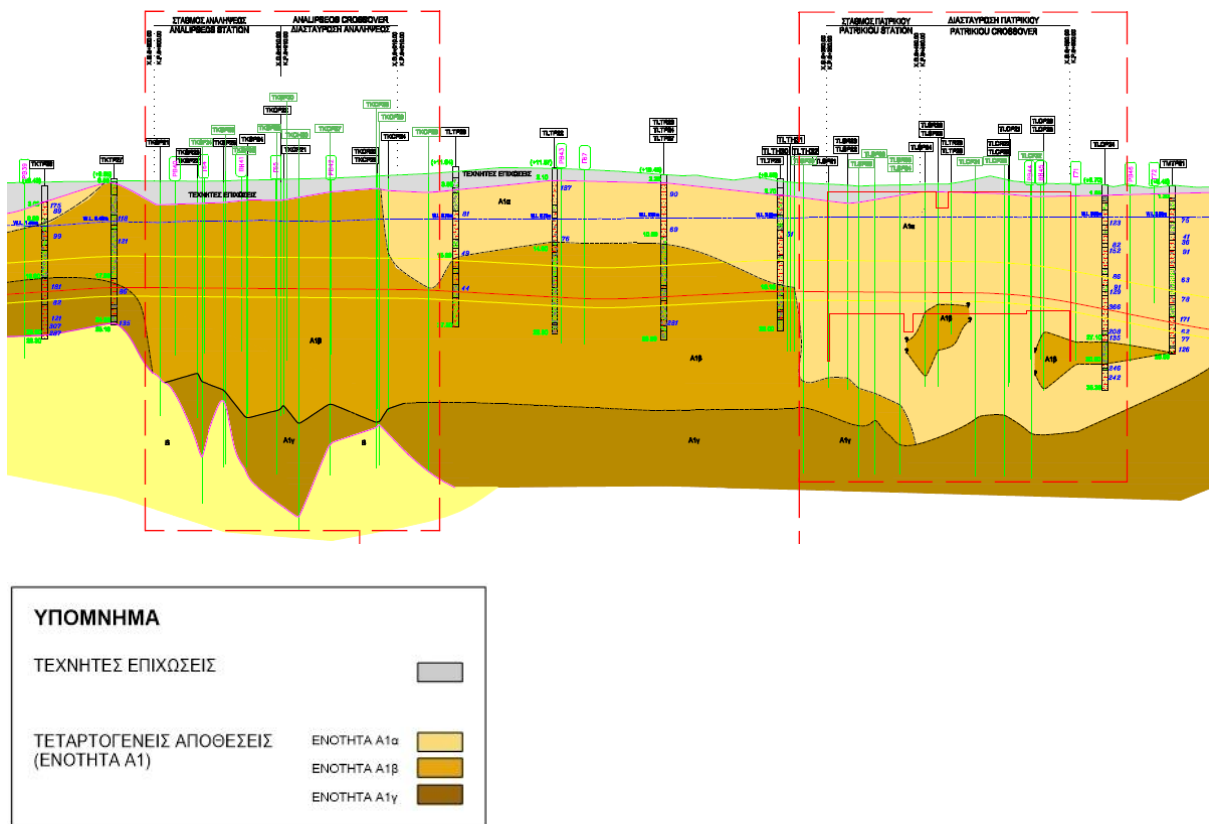
Κοντά στην ακτογραμμή και παράλληλα σε αυτήν, στις περιοχές Καλαμαριά και Αρετσού εμφανίζονται οι παράκτιες άμμοι (Συμβολισμός βάσει του τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: Sd). Αυτές έχουν περιορισμένη έκταση και εύρος ανάπτυξης. Πρόκειται για χαλαρό σχηματισμό, συνήθως πτωχά διαβαθμισμένο με μεγάλο πορώδες και μηδενική έως πολύ χαμηλή συνοχή. Χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές φέρουσας ικανότητας και πολύ υψηλές τιμές περατότητας. Στις θέσεις των λιμενικών εγκαταστάσεων και της παραλίας, οι παράκτιοι αυτοί σχηματισμοί καλύπτονται από πρόσφατες επιχωματώσεις.

Επίσης στην περιοχή της Νέας Παραλίας εμφανίζεται στρώμα λεπτομερών χαλαρών Τεταρτογενών ιζημάτων με οργανικά (Συμβολισμός βάσει του τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: fp-1). Πρόκειται για χαλαρό σχηματισμό αποτελούμενο κυρίως από ιλύ και άργιλο (Εικόνα 3.13) με περιορισμένη επιφανειακή έκταση που όμως αναπτύσσεται σημαντικά σε βάθος (πάχος έως 30m). Διατηρεί υψηλά ποσοστά υγρασίας και δημιουργεί τοπικά υδροφόρους ορίζοντες περιορισμένης δυναμικότητας. Σε μεγαλύτερα βάθη τα μηχανικά χαρακτηριστικά αυτού του σχηματισμού εμφανίζονται βελτιωμένα. Οι τιμές των φυσικών και μηχανικών τους χαρακτηριστικών ποικίλουν ανάλογα με την σύσταση των ενστρώσεων.

Σύμφωνα με μελέτες που εκπονήθηκαν για το μετρό της Θεσσαλονίκης, κατά μήκος της κύριας γραμμής (Εικόνα 3.11), οι Τεταρτογενείς αποθέσεις εμφανίζουν έντονη εξάπλωση από την περιοχή του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού έως το σταθμό Δημοκρατίας, καθώς και από το σταθμό Ευκλείδη μέχρι το σταθμό Βούλγαρη. Παρακάτω δίνεται ένα τμήμα όπου παρατηρείται η επικράτηση αυτού του σχηματισμού (Εικόνα 3.12).



Εικόνα 3.11. Χάραξη βασικής γραμμής και επεκτάσεων του μετρό Θεσσαλονίκης (Αττικό Μετρό Α.Ε.).



Εικόνα 3.12. Τμήμα γεωλογικής-γεωτεχνικής μηκτομής πρόβλεψης, σταθμός Αναλήψεως-σταθμός Πατρικού (Χ.Θ. 5+700-Χ.Θ. 6+700), επικράτηση Τεταρτογενών αποθέσεων (από Μετρό Θεσσαλονίκης).



Εικόνα 3.13. Λεπτομερής εικόνα των Τεταρτογενών αποθέσεων, στην περιοχή της Μίκρας.

II. Νεογενές (Ανώτερο Μειόκαινο – Κατώτερο Πλειόκαινο)

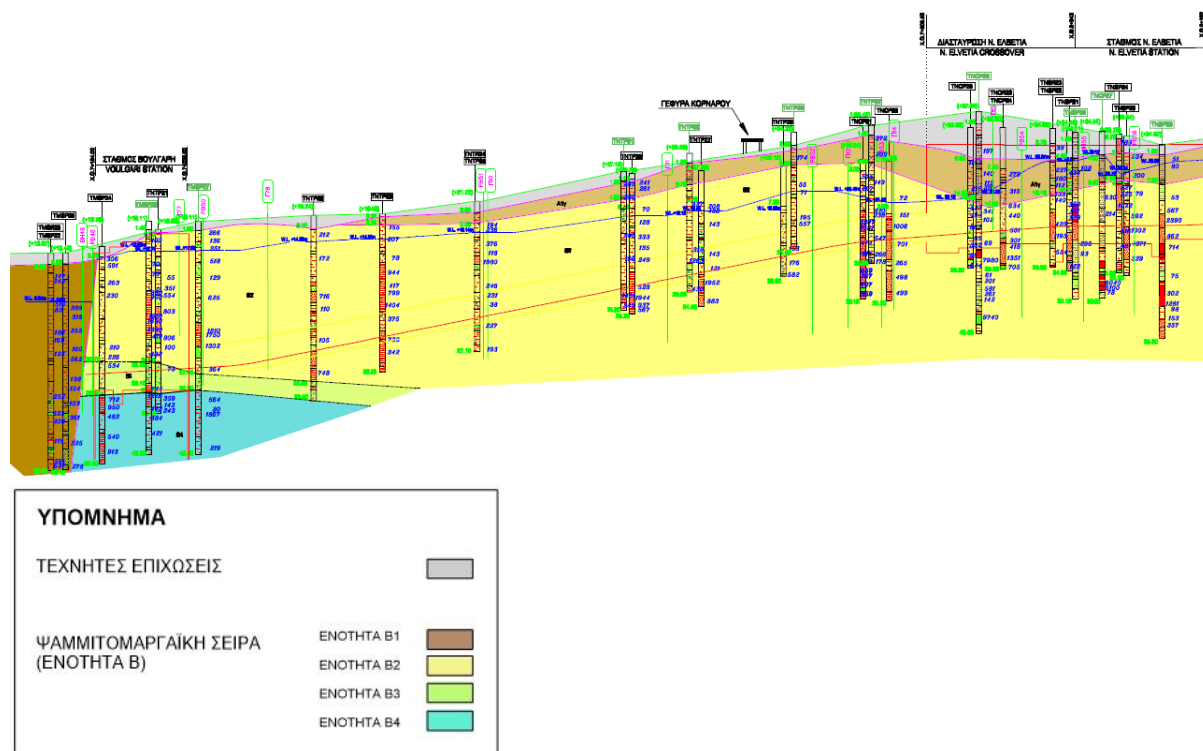
• η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά (Συμβολισμός βάσει του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: M4-Pli.st.m), που αποτελείται από εύθρυπτους έως πολύ συμπαγείς ψαμμίτες και τοπικά μικροκροκαλοπαγή με διασταυρωμένη στρώση (Εικόνα 3.15). Πρόκειται για άμμους και υποκίτρινες ή υπόλευκες μάργες που εναλλάσσονται με κροκαλοπαγή και αμμούχες μάργες. Η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά συναντάται στην περιοχή της Ευκαρπίας αλλά και σε άλλες περιοχές όπως Νεάπολη, Συκιές, Τούμπα, Χαριλάου, Δελφών και Καλαμαριά. Η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά αντιπροσωπεύει ένα αβαθές ποταμολιμναίο περιβάλλον απόθεσης με εναλλαγές, με μορφή στρωμάτων και φακών, συνεκτικών άμμων έως ψαμμιτών ανοικτού καστανού χρώματος, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως ημιβραχώδη πετρώματα. Παρατηρούνται επίσης σκληρές έως πολύ στιφρές ασβεστιτικές αργίλοι-μάργες, οι οποίες μπορούν να χαρακτηριστούν ως «μαλακός βράχος».

Από τεχνικογεωλογικής πλευράς (Συμβολισμός βάσει του τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: f,c-cm) πρόκειται για αργιλοϊλυώδη υλικά με ψηφίδες και χάλικες χαλαζιακής, γνευσιακής και σχιστολιθικής σύστασης. Οι ανώτεροι ορίζοντες αποτελούνται από συνεκτικά έως ημισυνεκτικά αργιλομαργαϊκά υλικά ανοικτοκάστανου χρώματος με άμμο, ψηφίδες και αραιούς χάλικες που επιφανειακά καλύπτονται από μανδύα αποσάθρωσης. Στους ενδιάμεσους ορίζοντες επικρατούν τα λεπτομερή αργιλομαργαϊκά υλικά ερυθροκάστανου χρώματος με ασβεστιτικά συγκρίματα, ψηφίδες και λίγους χάλικες. Τέλος,

τους βαθύτερους αραιούς ορίζοντες αποτελούν κροκαλοπαγή, πάχους 4-5m, που διαμορφώνονται σε πάγκους.

Εμφανίζουν αυξημένη περατότητα, γενικά καλή γεωμηχανική συμπεριφορά και χαρακτηρίζονται ως ημισυνεκτικοί και στιφροί έως πολύ συνεκτικοί ή σκληροί, στις θέσεις όπου η αργιλοψαμμιτική συνδετική ύλη γίνεται ψαμμιτομαργαϊκή έως ψαμμιτική. Στις θέσεις αυτές διατηρούν κατακόρυφα πρηνή ύψους μεγαλύτερα των 5m. Πρόκειται για ένα σχηματισμό στον οποίο δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση και μελετήθηκε ενδελεχώς για την κατασκευή του Μετρό Θεσσαλονίκης (Εικόνα 3.14).

Σύμφωνα με μελέτες που εκπονήθηκαν για το μετρό της Θεσσαλονίκης, κατά μήκος της κύριας γραμμής, η Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά των Νεογενών αποθέσεων εμφανίζει έντονη εξάπλωση από το σταθμό Βούλγαρη έως το αμαξοστάσιο της Πυλαίας. Παρακάτω δίνεται ένα τμήμα όπου παρατηρείται η επικράτηση αυτού του σχηματισμού.



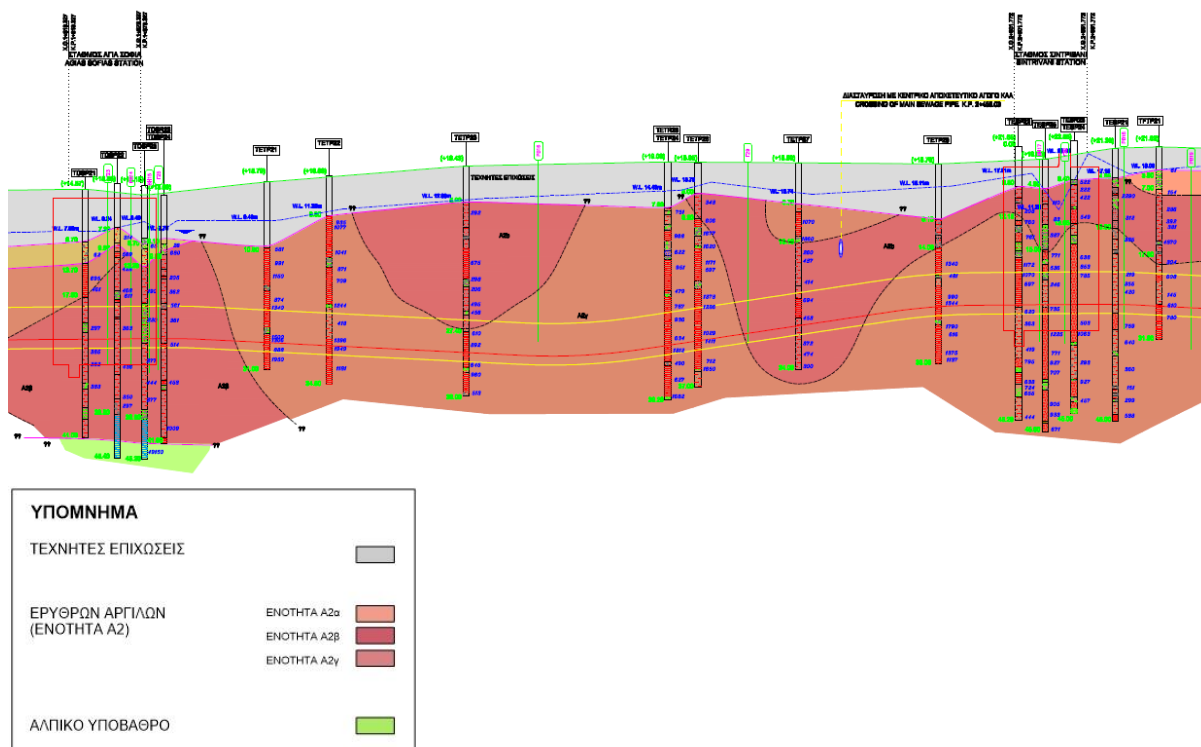
Εικόνα 3.14. Τμήμα γεωλογικής-γεωτεχνικής μηκτομής πρόβλεψης, σταθμός Βούλγαρη-σταθμός Ν.Ελβετία (Χ.Θ. 7+150-Χ.Θ. 8+150), επικράτηση Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων (Αττικό Μετρό Α.Ε.).



Εικόνα 3.15. Διασταυρούμενες στρώσεις άμμων και αργίλου σε τομή Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς Νεογενών αποθέσεων, στην περιοχή της Περαίας. (Ζερβοπούλου, 2010)

• η σειρά ερυθρών αργίλων (Συμβολισμός βάσει του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: M4-Pli.1), που αποτελείται από ερυθρές έως κεραμόχρωμες ιλυώδεις αργίλους με μαρμαρυγία, ασβεστιτικά συγκρίματα και οξειδώσεις μαγγανίου (Εικόνα 3.17). Αυτή συναντάται βόρεια του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης στις περιοχές Ευόσμου, Σταυρούπολης, Πολίχνης, Άνω Τούμπας, Τριανδρίας και Πυλαίας και στην περιοχή του κέντρου κάτω από το αρχαιολογικό στρώμα). Ο σχηματισμός αυτός βρίσκεται σε επαφή με το υπόβαθρο σε πολλές περιοχές, όπως με τους γνεύσιους-πρασινοσχιστόλιθους. Πρόκειται για ένα σχηματισμό που αποτελείται από καστανέρυθρες αργίλους, στιφρές έως σκληρές, με παρεμβολές φακών, κροκάλων και άμμων έως κροκαλοπαγών και λατυποπαγών. Αντιπροσωπεύει ένα χερσαίο περιβάλλον έντονα οξειδωτικό και η δομή που εμφανίζει είναι μαζώδης. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στην περιοχή της Περιφερειακής οδού, τα τεχνητά πρανή που παρατηρούνται και αποτελούνται από αυτούς τους σχηματισμούς, είναι οι μεγάλες κλίσεις και το σημαντικό ύψος που διατηρούν (Εικόνα 3.18 α,β).

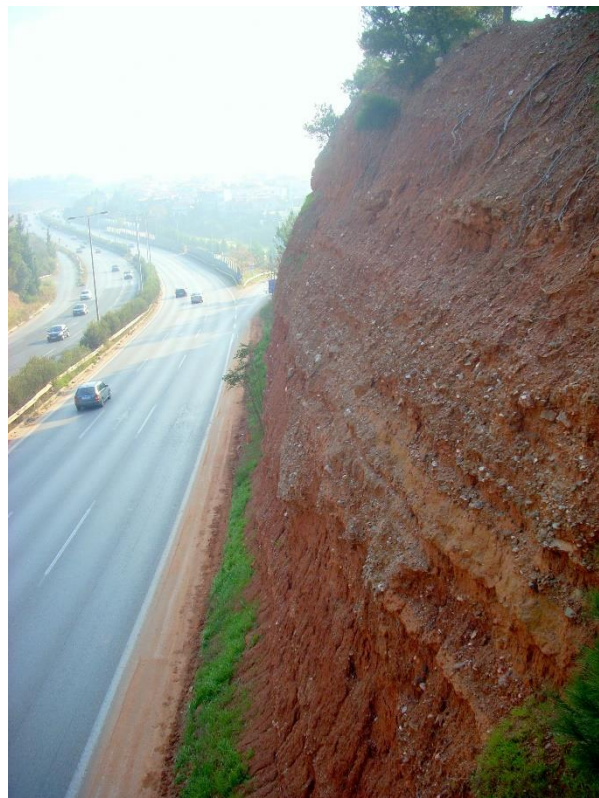
Από τεχνικογεωλογικής πλευράς (Συμβολισμός βάσει του τεχνικογεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ: pl,f-c) αναφέρονται και ως νεογενή μεικτών φάσεων με επικράτηση των λεπτομερών. Χαρακτηρίζονται από μέτρια έως υψηλή συνεκτικότητα που εξαρτάται από την λιθολογική σύσταση. Είναι πρακτικά στεγανός σχηματισμός, εκτός από την παρουσία υδροφόρων οριζόντων σε μορφή φακών ή στρώσεων στα περισσότερα αδρομερή τμήματα του σχηματισμού. Αποτελεί επίσης σχηματισμό που μελετήθηκε ιδιαίτερα για την κατασκευή του Μετρό Θεσσαλονίκης διότι μεγάλο μέρος του εκσκάπτεται μέσα στις ερυθρές αργίλους (Εικόνα 3.16).



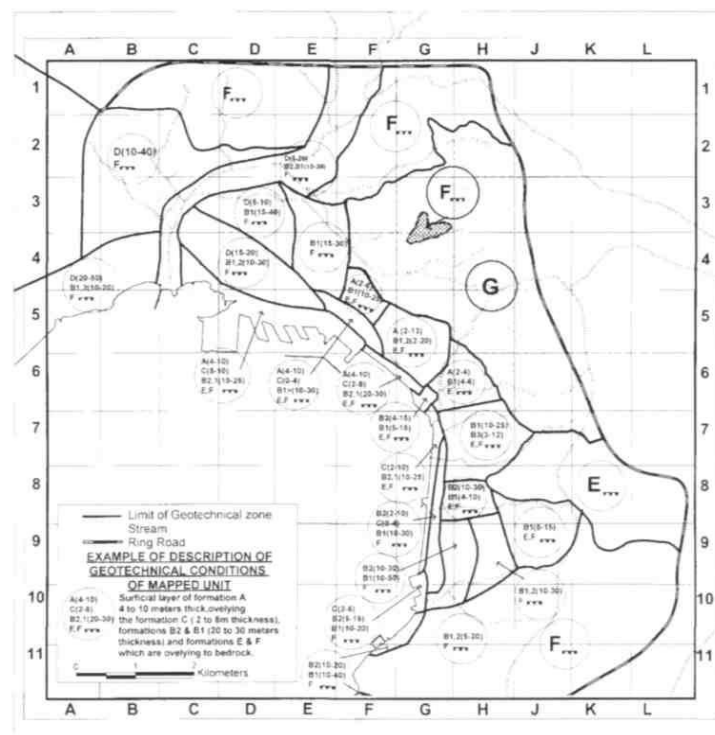
Εικόνα 3.16. Τμήμα γεωλογικής-γεωτεχνικής μηκτομής πρόβλεψης, σταθμός Αγ. Σοφία-σταθμός Συντριβάνι (Χ.Θ. 1+800-Χ.Θ. 2+700), επικράτηση Ερυθρών αργίλων Νεογενών αποθέσεων (Αττικό Μετρό Α.Ε.).



Εικόνα 3.17. Λεπτομερής εικόνα των Ερυθρών αργίλων των Νεογενών αποθέσεων, στην περιοχή του δάσους Σειχ Σου (πλησίον γέφυρας Περαιβού).



Εικόνα 3.18 α,β. Τεχνητά πρανή στην περιοχή της Περιφερειακής οδού Θεσσαλονίκης, όπου φαίνεται ο σχηματισμός των Ερυθρών αργίλων. Αξιοσημείωτο είναι οι μεγάλες κλίσεις και το σημαντικό ύψος που διατηρούν αυτά τα πρανή (λήψη από γέφυρα Περαιβού).



Εικόνα 3.19. Λεπτομερής γεωτεχνική ζωνοποίηση της Θεσσαλονίκης με βάση τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των κύριων σχηματισμών (Α, Β, Γ, Δ, Ε, ΣΤ, Ζ) με τη συμβολή τους σε κάθε στρώμα και για κάθε ζώνη. Δίπλα στον κάθε σχηματισμό και μέσα στις παρενθέσεις δίνονται τα διάφορα πάχη που παρατηρούνται όπως αυτά παρουσιάζονται για κάθε γεωτεχνική ζώνη. Η σκιασμένη περιοχή απεικονίζει τις επιφανειακές εμφανίσεις του υποβάθρου, ενώ με διακεκομμένες γραμμές οριοθετούνται τα ίχνη των παλαιών και πρόσφατων ρεμάτων και χειμάρρων. (Αποστολίδης, 2002, Anastasiadis et al.2001).

Συνοπτικά, με βάση τις προηγούμενες αναλυτικές περιγραφές των σχηματισμών γίνεται αντιληπτό ότι η πόλη της Θεσσαλονίκης είναι θεμελιωμένη εν μέρει σε πετρώματα του υποβάθρου και εν μέρει σε μετα-αλπικά ιζήματα.

Συγκεκριμένα, η ΒΑ πλευρά της πόλης, το τμήμα που περιλαμβάνει την Άνω Πόλη και τις γύρω περιοχές, βρίσκεται στο Μεσοζωικό πρασινοσχιστολιθικό-γενευσιακό σύμπλεγμα (sch.gn) που αναπτύσσεται με γενική παράταξη ΒΔ-ΝΑ. Επάνω σε αυτό το σύμπλεγμα, που αποτελεί ουσιαστικά το γεωλογικό υπόβαθρο της Θεσσαλονίκης, αναπτύσσεται ασύμφωνα μία ιζηματογενής ακολουθία ηλικίας Α. Μειόκαινου-Πλειόκαινου. Αυτή αποτελείται στη βάση της από τη σειρά ερυθρών αργίλων που μεταπίπτει στην ανώτερη Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά, η οποία είναι κατά θέσεις πολύ συμπαγής και περιλαμβάνει διάσπαρτους φακούς κροκαλοπαγών.

Το μεγαλύτερο μέρος της πόλης και σχεδόν ολόκληρο το ιστορικό κέντρο της θεμελιώνεται σε χαλαρές Ολοκαινικές αποθέσεις. Αυτές αποτελούνται κυρίως από αναμοχλευμένες ερυθρές αργίλους και παράκτια ιζήματα. Παρατηρούνται επίσης αλλουβιακής προέλευσης φακοί και κοίτες κροκαλοπαγών σε θέσεις όπου κυλούσαν με

ελεύθερη ροή χείμαρροι και εποχικά ρέματα. Ένα μεγάλο μέρος από τα προαναφερθέντα ιζήματα καλύπτονται από ανθρωπογενείς αποθέσεις, οι οποίες δημιουργήθηκαν σε διάφορες φάσεις κατά την ιστορική εξέλιξη της πόλης. Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στο νέο και παλιό παραλιακό μέτωπο, η σύγχρονη διαμόρφωση των οποίων οφείλεται εξ ολοκλήρου σε επιχωματώσεις.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η μεταβολή του πάχους που παρατηρείται στα διάφορα στρώματα, η εμφάνιση ή η απουσία ορισμένων σχηματισμών, καθώς και η ύπαρξη πολλών ρεμάτων, υποδηλώνουν τη μεγάλη ποικιλία των εδαφικών συνθηκών που παρατηρείται στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα εύρη τιμών για τις φυσικές και μηχανικές παραμέτρους των σχηματισμών που περιγράφηκαν παραπάνω, σύμφωνα με τον τεχνικογεωλογικό χάρτη του Ρόζου.

Πίνακας 3.1. Συγκεντρωτικός πίνακας με τιμές παραμέτρων για τους σχηματισμούς σύμφωνα με τον τεχνικογεωλογικό χάρτη.

Σχηματισμός (Συμβολισμός βάσει τεχνικογεωλογικού χάρτη)	γ_0 (KN/m ³)	q_u (MPa)	c(MPa)	ϕ (°)	E (GPa)	W(%)	W _L (%)	W _p (%)	γ_s (KN/m ³)	Cc
Sh	18-24	7-100	1-3	26-30	-	-	-	-	-	-
Qsh	11-25	10-130	1-4	28-34	-	-	-	-	-	-
Mr	25-29	60-200	10-30	35-45	70-100	-	-	-	-	-
Ph	-	-	0,05-0,16	12-40	0,08-0,1	-	-	-	-	-
Gb	20-26	25-180	10-45	30-48	4-25	-	-	-	-	-
Grs/Gns	20-26	20-180	10-40	30-46	4-25	-	-	-	-	-
O	17-34	20-180	25-55	40-50	3,5-25	-	-	-	-	-
Rd	20-25	30-190	0-85	24-49	-	8-15	13-35	17,5-32,2	12,3-15,2	0,1-0,47
Sl-I	16,5-19,9	17-25	5-80	7-28	-	23,2-53	21-49	-	-	-
Sd	19-23	-	0-1	28-32	0,01-0,05	-	-	-	-	-
fp-I	14,8-23	4-120	3-170	0-37	-	4-69,4	17,8-94,8	10-38	8,7-18,2	0,08-1,01
f,c-cm	20,1-22,4	-	45-135	8-29	-	9,5-15,7	30,7-53,4	15,4-20,6	17,4-20,3	-
pl,f-c	10,6-13,8	44-1340	43-170	4-58	0,07-0,1	8-44,6	20-75,1	8-26,6	6,3-21,1	0,03-0,38

3.3 Γεωλογικές συνθήκες στενής περιοχής έρευνας

Παρόλο που οι σχηματισμοί της στενής περιοχής, με τα διαθέσιμα στοιχεία που είναι γνωστά, διαφοροποιούνται έντονα και συστηματικά, τόσο από θέση σε θέση όσο και με το βάθος, γενικά συμπεραίνεται ότι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στη στενή περιοχή έρευνας είναι οι ακόλουθοι (από τους νεότερους προς τους παλαιότερους):

Τεχνητές Επιχώσεις - Αρχαιολογικό Στρώμα: Ιλυώδεις-χαλικώδεις-αργιλώδεις άμμοι, προϊόντα αποσάθρωσης, με παρουσία τεχνητών και πρόσφατων υλικών, όπως πλίνθοι, οστά, ξύλα κ.λπ. Ενδέχεται να υπάρχουν χαλαρά υλικά και κενά, τα οποία συνήθως περιλαμβάνουν υλικά ανάμικτα με αποτεφρωμένες οργανικές ύλες, κατάλοιπα προϊόντα παλαιών πυρκαγιών που έλαβαν χώρα στη Θεσσαλονίκη. Το πάχος τους δεν είναι σταθερό και ανέρχεται σε αρκετά μέτρα.

Πρόσφατα Τεταρτογενή: Διλουβιακές αποθέσεις και χαλαρές κλαστικές αποθέσεις, ως επί το πλείστον ιλυοαργιλώδη υλικά, συμπεριλαμβανομένων αμμοχαλικωδών αποθέσεων από τους χειμάρρους.

Παλαιά Τεταρτογενή: Κλαστικά ετερογενή μίγματα αργίλων με υλικά μεγέθους χάλικα έως κροκάλας που εμφανίζουν ασβεστιτικούς σκληρούς φλοιούς και αποθέσεις φάσεων οξειδίου του μαγγανίου.

Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά: Θαλάσσιες και λιμνοθαλάσσιες φάσεις λεπτόκοκκης άμμου με τοπικά ασβεστιτικούς σκληρούς φλοιούς, που προκαλούν κυμαινόμενη ανάπτυξη συγκόλλησης.

Ερυθρές Αργίλοι: Λιμνοθαλάσσιες έως λιμναίου τύπου αποθέσεις με ακολουθία πρασινωπών, ερυθρών έως ερυθροκάστανων, στιφρών, πολύ στιφρών έως σκληρών ιλυωδών αργίλων έως αργιλωδών ιλύων με τοπικές ενδιαστρώσεις άμμων.

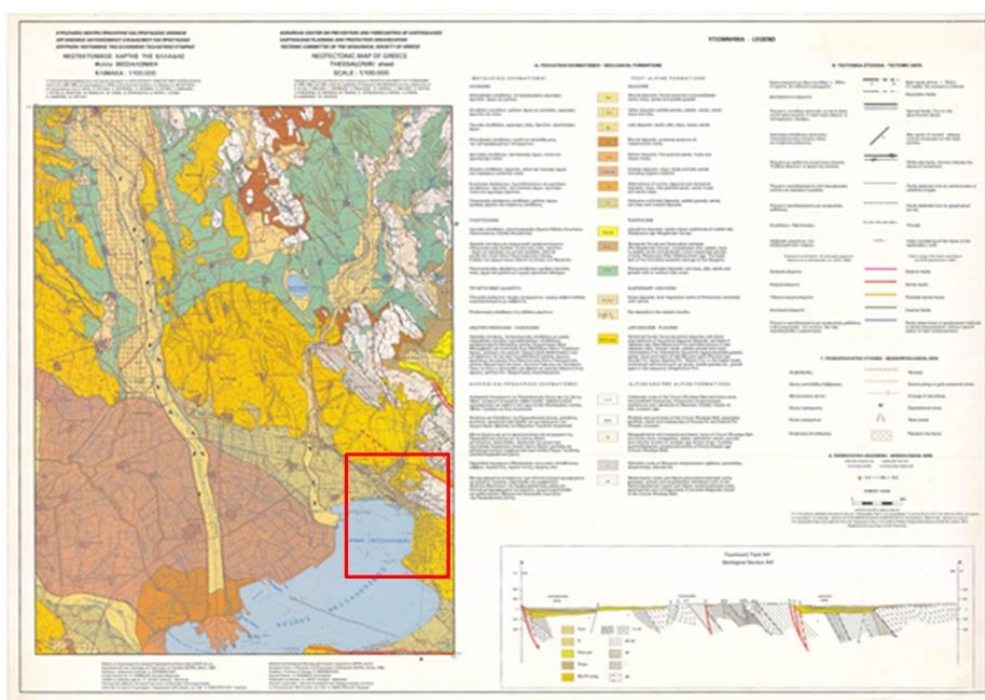
Αλπικό υπόβαθρο: Περιλαμβάνονται τα μεταμορφωμένα πετρώματα της μαγματικής σειράς Χορτιάτη. Πρόκειται για γνευσίους, γνευσιοσχιστόλιθους, πρασινοσχιστόλιθους και σχιστοψαμμίτες.

3.4 Νεοτεκτονική ευρύτερης περιοχής έρευνας

Η περιοχή είναι τεκτονικά ενεργή, με παρουσία κάποιων ενεργών ρηγμάτων, τα επιφανειακά ίχνη των οποίων δεν μπορούν να χαρτογραφηθούν σε όλο το μήκος τους, λόγω της έλλειψης ελεύθερων χώρων για γεωλογική παρατήρηση (Hatzidimitriou et al., 1991). Κατά το νεοτεκτονικό στάδιο (Ανώτερο Νεογενές και κυρίως Τεταρτογενές) δημιουργήθηκαν μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα και λεκάνες (Αξιού, Ανθεμούντα, Μυγδονίας) αποτέλεσμα του εφελκυστικού πεδίου από το Μέσο-Ανώτερο Μειόκαινο έως σήμερα.

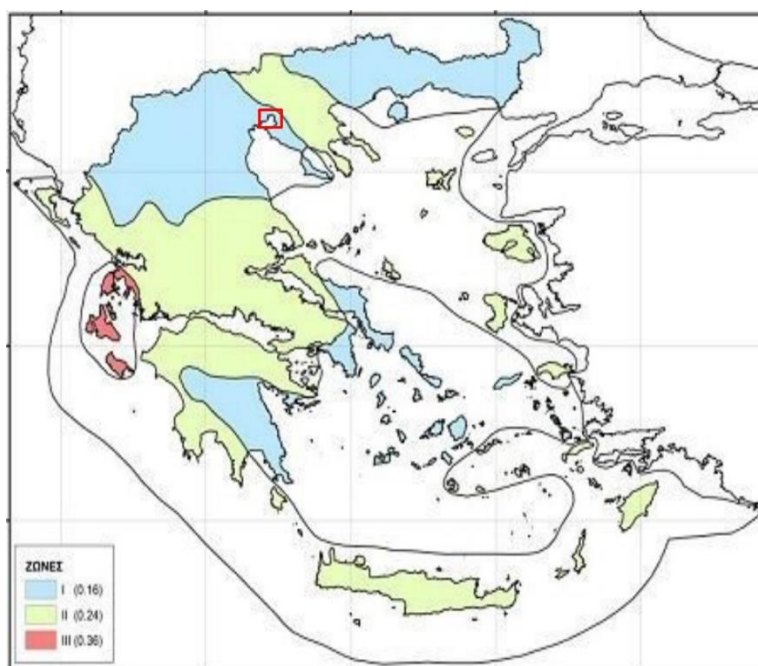
Σύμφωνα με τους (Μουντράκης et al. 1997, Mercier et al. 1989) ο εφελκυσμός είχε διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ κατά το Ανώτερο Μειόκαινο (κανονικά ρήγματα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ με αριστερόστροφη συνιστώσα). Από διάφορες νεοτεκτονικές μελέτες της ευρύτερης υπό μελέτη περιοχής (Μουντράκης et al 1997, Mercier et al 1989, Tranos et al 2003) προκύπτει ότι, οι βασικές ρηξιγενείς δομές με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ δραστηριοποιήθηκαν κυρίως κατά το Πλειόκαινο-Κ. Πλειστόκαινο (ρήγματα ΒΔ-ΝΑ κανονικά). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το κανονικό, επιφανειακό ρήγμα της Αγίου Δημητρίου.

Τα κανονικά ρήγματα με διεύθυνση Β-Ν που παρατηρούνται δεν θεωρούνται ενεργά (Pavlidis et al. 1988), ενώ τα νεότερα νεοτεκτονικά κανονικά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης με διευθύνσεις Α-Δ δραστηριοποιούνται από το Μέσο Πλειστόκαινο έως σήμερα. Ο νεοτεκτονικός χάρτης του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) που παρατίθεται παρακάτω, παρουσιάζει όλες εκείνες τις τεκτονικές δομές που δραστηριοποιούνται ή είχαν δραστηριοποιηθεί κατά το παρελθόν στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (Εικόνα 3.19).



Εικόνα 3.20. Νεοτεκτονικός χάρτης (φύλλο Θεσσαλονίκη) 1:100.000, ΟΑΣΠ, 1996.

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) και το νέο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας (Εικόνα 3.20) , ο ελληνικός χώρος κατανέμεται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας. Οι τιμές εδαφικών επιταχύνσεων σχεδιασμού είναι 0.16g (ποσοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας g) για την πρώτη ζώνη με σχετικά χαμηλές τιμές, 0.24g για τη δεύτερη ζώνη με υψηλές τιμές και 0.36g για την τρίτη ζώνη με πολύ υψηλές τιμές.



Εικόνα 3.21. Νέος Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας. Κατανομή των περιοχών της Ελλάδας στις Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας (ΦΕΚ 1154B/12.8.2003).

Η περιοχή μελέτης, ανήκει οριακά στην πρώτη ζώνη. Το γεγονός αυτό δε σημαίνει πως δεν απειλείται από σεισμικούς κινδύνους καθώς βρίσκεται σε άμεση γειτνίαση με την περιοχή υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας από τα Ανατολικά.

3.5 Ρήγματα πολεοδομικού συγκροτήματος

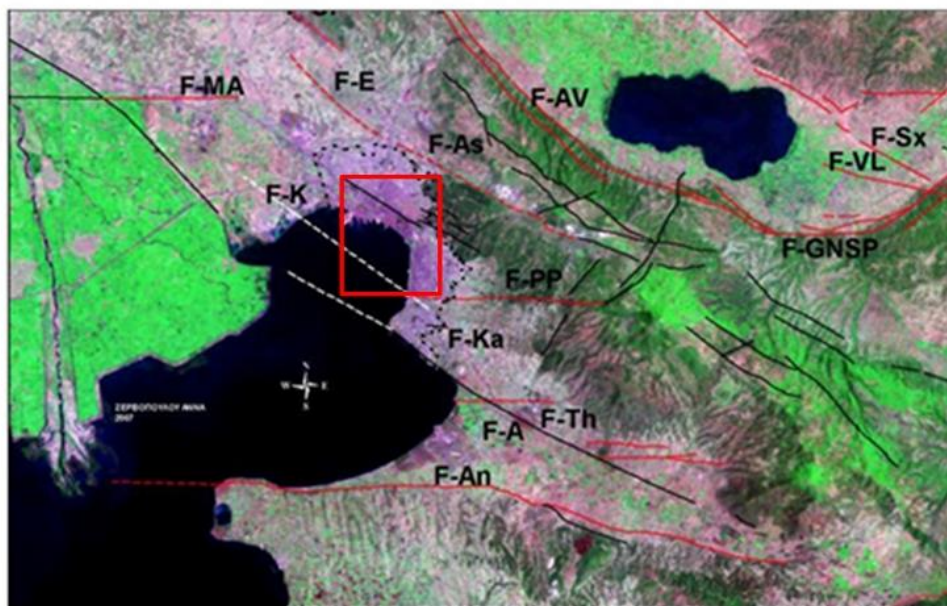
Ο προσδιορισμός και ο χαρακτηρισμός των ενεργών ρηγμάτων είναι γνωστό ότι παρουσιάζει δυσκολίες, κυρίως σε αστικές περιοχές, όπου δεν είναι δυνατή η χαρτογράφηση τους, λόγω της έλλειψης ελεύθερων χώρων και της απουσίας διαθέσιμων σεισμολογικών δεδομένων, δηλαδή «ιστορικών» και ενόργανων παρατηρήσεων. Η διερεύνηση και εκτίμηση των σεισμικά ενεργών ρηγμάτων, όπως αυτά παρουσιάζονται στις διάφορες εργασίες που έχουν μελετηθεί για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής, στηρίζονται σε στοιχεία που προέρχονται κυρίως από βιβλιογραφικές αναφορές και σχετίζονται με τον εντοπισμό των

ρεμάτων στην περιοχή της πόλης της Θεσσαλονίκης, τη χαρτογράφηση του υδρογραφικού δικτύου, την ερμηνεία των διάφορων μορφοτεκτονικών κριτηρίων κ.λπ.

Τα βασικότερα ρήγματα, νεοτεκτονικά ή και παλαιότερα, που εντοπίζονται στην περιοχή του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης, περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω και είναι από Βορρά προς Νότο:

- η τεκτονική δομή της οδού Αγ. Δημητρίου. Αυτή εμφανίζεται ως ένα απότομο πρηνές στο όριο του βραχώδους υποβάθρου και των ιζηματογενών αποθέσεων. Νοτιότερα εκτείνεται το ρήγμα της Εγνατίας. Πρόκειται για κανονικά ρήγματα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και κλίση προς ΝΔ, τα οποία ανήκουν στην ομάδα των παλαιών μη ενεργών ρηγμάτων. Στα ρήγματα αυτά, οφείλεται η χαρακτηριστική αμφιθεατρική όψη της πόλης της Θεσσαλονίκης.
- το ρήγμα που βρίσκεται παράλληλα στο ρέμα του Πεδίου Άρεως. Νοτιότερα αυτού εμφανίζεται επιφανειακά η Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά πάνω από την σειρά Ερυθρών αργίλων. Το ρήγμα αυτό εντοπίστηκε από τις γεωτρήσεις του Μετρό (Σήραγγα Πανεπιστήμιο-Παπάφη) στους Νεογενείς σχηματισμούς και αποτελεί το όριο μεταξύ Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς και Ερυθρών Αργίλων. Η κλίση του είναι προς Β και η διεύθυνση του είναι περίπου ΒΑ-ΝΔ.
- το ρήγμα που βρίσκεται παράλληλα στο ρέμα Κυβερνείου. Αυτό εντοπίζεται στο όριο της Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς με τις Τεταρτογενείς αποθέσεις, στην ανατολική περιοχή της Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα στην περιοχή των οδών Ορέστου και Δελφών. Η κλίση του είναι προς το Νότο και η διεύθυνση του είναι περίπου Α-Δ.
- το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος, παράλληλα στο Ξηρόρεμα (Ζερβοπούλου, Παυλίδης 2005), που αποτελεί τμήμα του Μεγάλου Ρέματος της Θεσσαλονίκης. Το ρήγμα αυτό είναι κανονικό με διεύθυνση Α-Δ και κλίση προς Βορρά σύμφωνα με τους Μουντράκης et al 1997 (Νεοτεκτονικός Χάρτης ΟΑΣΠ, Φύλλο Λαγκαδάς) και Tranos et al. 2003. Εκτείνεται ανατολικά του Πανοράματος μέχρι τον Δήμο της Πυλαίας και προεκτείνεται πιθανώς και μέσα στην πόλη, στην περιοχή της Βούλγαρη. Η προέκταση αυτή εντοπίστηκε από τις γεωτρήσεις του Μετρό Θεσσαλονίκης στο όριο των Τεταρτογενών αποθέσεων και της Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς των Νεογενών αποθέσεων, με κατακόρυφο άλμα μεγαλύτερο από 40m. (Ζερβοπούλου, 2010)
- το ρήγμα στην περιοχή της Νέας Ελβετίας. Αυτό εντοπίστηκε από γεωτρήσεις του Μετρό Θεσσαλονίκης και φαίνεται να εμφανίζεται μέσα στην Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά των Νεογενών αποθέσεων. Έχει κλίση προς Β και διεύθυνση περίπου Α-Δ.
- το ρήγμα Καλαμαριάς το οποίο έχει διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και κλίση προς Βορρά.

Από τα ρήγματα αυτά, οι δομές της Αγ. Δημητρίου και Εγνατίας εντοπίζονται στα όρια του υποβάθρου και φαίνεται ότι αποτελούν παλιά μη ενεργά ρήγματα, όπως και το ρήγμα Πεδίου Άρεως και Νέας Ελβετίας, ενώ τα υπόλοιπα εμφανίζονται στα όρια Νεογενών και Τεταρτογενών αποθέσεων και αυτό αποτελεί ένα κριτήριο για τον χαρακτηρισμό τους ως νεοτεκτονικά ρήγματα (Παυλίδης 2003). Τα ρήγματα αυτά επιβεβαιώθηκαν από τη (Ζερβοπούλου, 2010) από τη μελέτη των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών, των τεκτονικών παραμέτρων αλλά και των διαθέσιμων γεωτρητικών δεδομένων (Εικόνα 3.21).



Εικόνα 3.22. Ρήγματα της ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης (F-Th Θέρμης, F-An Ανθεμούντα, F-PP Πυλαίας-Πανοράματος, F-As Ασβεστοχωρίου, F-E Ευκαρπίας, F-A Αεροδρομίου, F-K Καλοχωρίου, FGNSP Γερακαρούς-Νοκιμιδηνού-Στίβου-Περιστερώνα F-Ka Καλαμαριάς). Με κόκκινο χρώμα σημειώνονται τα νεοτεκτονικά ρήγματα και με διακεκομμένες γραμμές τα πιθανά (Παυλίδης & Ζερβοπούλου 2004).

3.6 Υδρογραφικό δίκτυο

Εκτός από την κατανόηση των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών της υπό μελέτη περιοχής, είναι απαραίτητη η γνώση τόσο της αρχικής γεωμορφολογίας της περιοχής, όσο και η εξέλιξή της μέσα στον χρόνο. Βασικός παράγοντας είναι η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου, μέσω του οποίου επιτυγχάνεται η κίνηση του υπόγειου νερού και η μεταφορά των ιζημάτων μιας υδρολογικής λεκάνης. Το υδρογραφικό δίκτυο της Θεσσαλονίκης έχει δενδριτική μορφή και αποτελεί τον πλέον καθοριστικό παράγοντα διαμόρφωσης του αναγλύφου. Η υδρολογική λεκάνη του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης έχει συνολική έκταση 66 km² και αποτελείται από υπολεκάνες μικρότερης έκτασης, που αντιπροσωπεύουν τα ρέματα ή τους χείμαρρους της Θεσσαλονίκης. Οι

διευθύνσεις αυτών των υπολεκανών είναι ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ (Εικόνα 3.22) (Ζερβοπούλου και Παυλίδης, 2005).

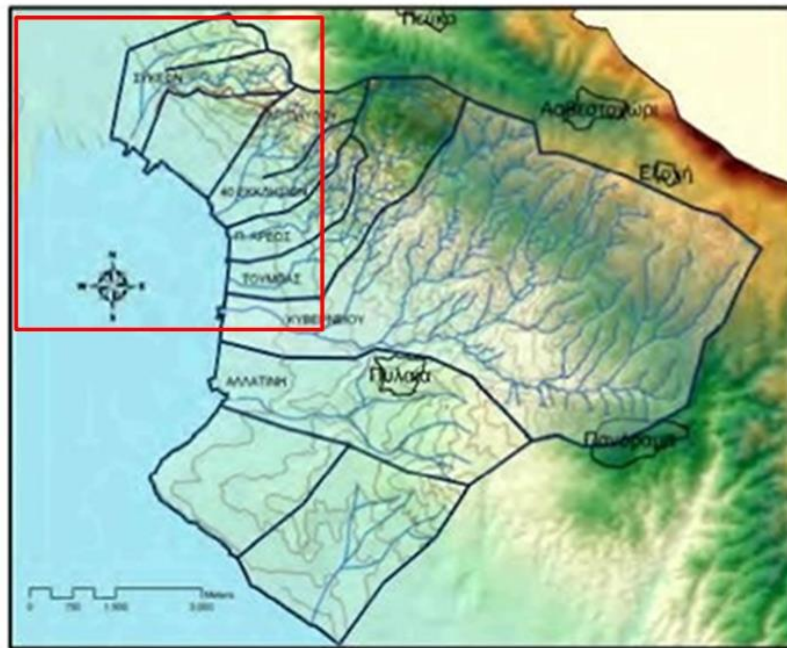
Αρχικά, εντοπίζονται τα ρέματα περιφερειακά των Τειχών της πόλης της Θεσσαλονίκης. Προς τα Δυτικά συναντάται το ρέμα Συκεών, το οποίο έχει γενική διεύθυνση Α-Δ έως ΒΑ-ΝΔ και παρουσιάζει πρηνή με έντονη κλίση. Στο παρελθόν, το ρέμα κατέληγε στο σημερινό Λιμάνι της Θεσσαλονίκης. Στη μεγαλύτερη του έκταση ρέει πάνω στο βραχώδες υπόβαθρο, ενώ καθορίζει το φυσικό όριο μεταξύ των Νεογενών ερυθρών αργίλων και των Τεταρτογενών ιζημάτων στα δυτικά και συγκεκριμένα στην περιοχή της Πλατείας Δημοκρατίας, όπως παρατηρήθηκε από τις γεωτρήσεις του Μετρό Θεσσαλονίκης.

Το ρέμα Αγ. Παύλου - Ευαγγελίστριας με πρηνή που έχουν πιο ήπια κλίση και διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ βρίσκεται ανατολικά των Τειχών. Στο ύψος της Διεθνούς Εκθέσεως ενώνεται με το ρέμα των Σαράντα Εκκλησιών. Στη μεγαλύτερη έκταση του ρέει πάνω στο γεωλογικό υπόβαθρο.

Ρέματα εντός των Τειχών ήταν δύσκολο να εντοπιστούν, εξαιτίας της συνεχούς δόμησης της πόλης. Το ρέμα στην οδό Αντιγονιδών εντοπίστηκε από γεωτρήσεις του Μετρό Θεσσαλονίκης, ως τμήμα μέσα στις ερυθρές Νεογενείς αργίλους με μαλακές αργίλους και ποταμοχειμάρρια ιζήματα.

Ανατολικά των Τειχών και καθώς πηγαίνουμε προς νότο παρουσιάζεται μια ακολουθία από έξι παράλληλα ρέματα με διεύθυνση από ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ καταλήγοντας στην περιοχή της Καλαμαριάς. Κάποια από αυτά παρουσιάζουν μέχρι και σήμερα υδάτινη ροή. Με κατεύθυνση από βορά προς νότο, τα ρέματα αυτά είναι:

1. το ρέμα των Συκεών με διεύθυνση Α-Δ, που βρίσκεται εκτός των Τειχών, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.
2. το ρέμα των Σαράντα Εκκλησιών, το οποίο ενώνεται με το ρέμα Αγ. Παύλου με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ όπως αναφέρθηκε παραπάνω.
3. το ρέμα του Πεδίου Άρεως ή αλλιώς Λύτρα, το οποίο έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και εκβάλλει στην οδό Λύτρα, στο ύψος της οδού Ευζώνων.
4. της Τούμπας ή Κωνσταντινίδη, το οποίο έχει διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ και εκβάλλει στην περιοχή της Σχολής Τυφλών.
5. του Κυβερνείου ή αλλιώς Μεγάλο Ρέμα, που εκτείνεται με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ στα κατάντη και αποτελεί το μεγαλύτερο ρέμα του Πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης.
6. και τέλος του Αλλατίνη ή Ντεπώ, το οποίο έχει διεύθυνση Α-Δ και εκβάλλει στην περιοχή του αλευρόμυλου Αλλατίνη, στο ύψος της Σοφούλη.



Εικόνα 3.23. Μορφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης όπου φαίνεται η υδρολογική λεκάνη του Πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης με τις επιμέρους λεκάνες των ρεμάτων. (Ζερβοπούλου, 2010).

4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ

4.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται η αξιολόγηση των τεχνικογεωλογικών συνθήκών και η ταξινόμηση των ιδιοτήτων ανά σχηματισμό. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά δεδομένα 200 γεωτρήσεων από δημοσιευμένα στοιχεία της κύριας γραμμής του Μετρό, το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (ΚΕΔΕ) και τη Γεώγνωση Α.Ε.

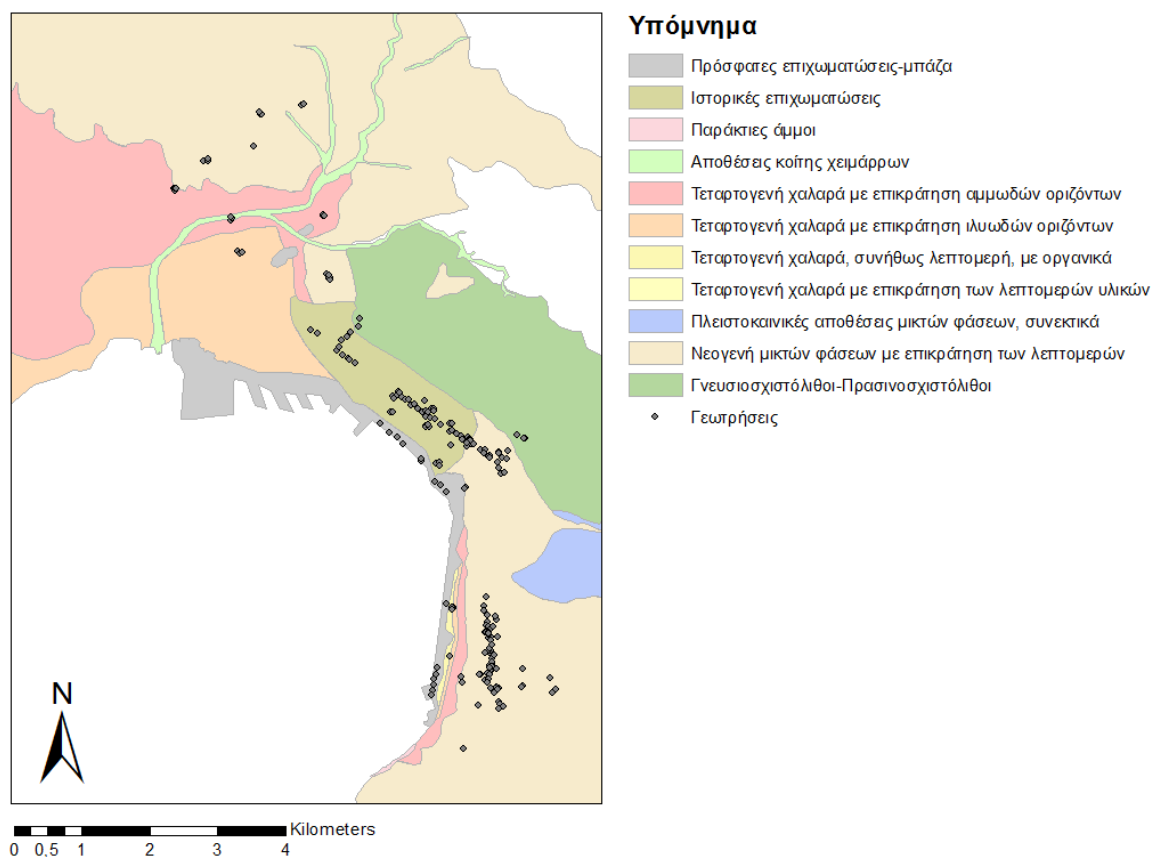
Από το σύνολο των στοιχείων και για τους σκοπούς του συγκεκριμένου κεφαλαίου επιλέχθηκαν να αξιολογηθούν τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1. Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά προς αξιολόγηση.

Εργαστηριακές δοκιμές	<u>Φυσικά χαρακτηριστικά</u>
	Όρια Atterberg
	Κοκκομετρική διαβάθμιση
	<u>Μηχανικά χαρακτηριστικά</u>
	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη
	Δοκιμές άμεσης διάτμησης
	Δοκιμές τριαξονικής φόρτισης
Επί τόπου δοκιμές	Πρότυπη δοκιμή διεύδυσης
	Επί τόπου δοκιμές περατότητας

Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν παρουσιάζονται οι ταξινομήσεις που έγιναν για τους σχηματισμούς που συναντώνται στο λεκανοπέδιο Θεσσαλονίκης. Η παρουσίαση αυτών των αποτελεσμάτων γίνεται ανά σχηματισμό και όχι ανά περιοχή. Επομένως αξιολογούνται συνολικά όλες οι γεωτρήσεις και εξάγονται χρήσιμα διαγράμματα ιδιοτήτων και στατιστικές κατανομές, από τα οποία προκύπτουν γενικά συμπεράσματα για κάθε σχηματισμό.

Στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 4.1) φαίνονται οι περιοχές στις οποίες συναντώνται επιφανειακά οι σχηματισμοί της υπό μελέτη περιοχής. Ακόμη προβάλλονται όλες οι γεωτρήσεις που επιλέχθηκαν να αξιολογηθούν.



Εικόνα 4.1. Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης μαζί με τις γεωτρήσεις, κλίμακα 1:25.000, ΙΓΜΕ, 1998 (Ρόζος Δ. et al 1998).

4.2 Τεχνητές επιχώσεις

Στις τεχνητές επιχώσεις περιλαμβάνονται τόσο οι ιστορικές επιχωματώσεις, δηλαδή το αρχαιολογικό στρώμα της πόλης όσο και οι πρόσφατες επιχωματώσεις, δηλαδή τα μπάζα που προέρχονται από ανθρωπογενείς επεμβάσεις και παρατηρούνται κατά κύριο λόγο σε περιοχές που βρίσκονται κοντά στην ακτογραμμή.

Οι τεχνητές επιχώσεις σύμφωνα με τις περιγραφές των γεωτρήσεων αποτελούνται από ιλύδεις-χαλικώδεις-αργιλώδεις ΑΜΜΟΥΣ με μικρή έως καθόλου πλαστικότητα. Το χρώμα αυτών ποικίλει από ανοικτό καστανό, καστανό, καστανοπράσινο, έως καστανέρυθρο και ερυθρό που παρατηρείται συνήθως στις περιπτώσεις όπου ακολουθεί ο σχηματισμός των ερυθρών αργίλων. Σε ανάμειξη με αυτά τα υλικά βρίσκονται άλλοτε σε μεγαλύτερες και άλλοτε σε μικρότερες ποσότητες θραύσματα από δομικά υλικά, όπως τούβλα και κεραμίδια, τεμάχια από κεραμικά, πλίνθους, οστά, γυαλί, ίχνη καύσης, φυτικών ριζιδίων και οργανικών. Σε κάποιες περιπτώσεις, εντός αυτών, παρατηρούνται κενά. Σε γενικές γραμμές το πάχος των τεχνητών επιχώσεων δεν είναι σταθερό και κυμαίνεται από 0,5 έως 22 μέτρα.

Μερικές τυπικές εικόνες των τεχνητών επιχώσεων από τους πυρήνες δειγματοληψίας των γεωτρήσεων παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 4.2, 4.3, 4.4).



Εικόνα 4.2. Τεχνητές επιχώσεις, γεώτρηση TDS25 στην περιοχή Αγ. Σοφίας. Περιγραφή: πολύ χαλαροί έως χαλαροί, μέτρια πυκνοί, καστανού έως σκούρου καστανού χρώματος, ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο, χωρίς πλαστικότητα, με θραύσματα και τούβλα (από Μετρό Θεσσαλονίκης).



Εικόνα 4.3. Τεχνητές επιχώσεις, γεώτρηση TF22 στην περιοχή Συντριβάνι. Περιγραφή: ΑΜΜΟΣ με τούβλα, φυτικά και κροκάλες πρασινοσχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης (από Μετρό Θεσσαλονίκης).



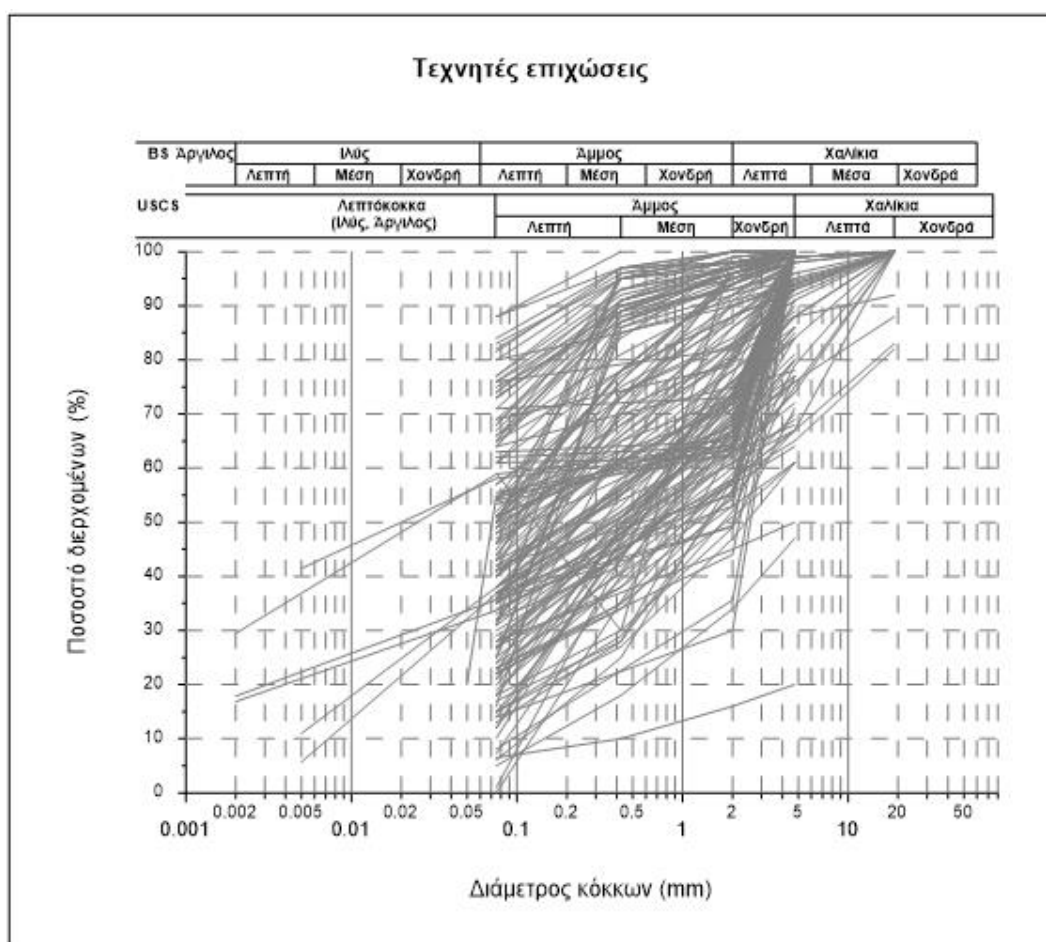
Εικόνα 4.4. Τεχνητές επιχώσεις, γεώτρηση TK26 στην περιοχή Φλέμινγκ-Αναλήψεως. Περιγραφή: Σταθερή, καστανή, αμμώδης ΙΛΥΣ με λεπτόκοκκη άμμο, έως ιλυώδης ΑΜΜΟΣ, χωρίς πλαστικότητα (από Μετρό Θεσσαλονίκης).

4.2.1 Εργαστηριακές δοκιμές

4.2.1.1 Φυσικά χαρακτηριστικά

4.2.1.1.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση

Στην Εικόνα 4.8 παρουσιάζεται η κοκκομετρική διαβάθμιση των Τεχνητών επιχώσεων συνολικά για την περιοχή έρευνας. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι επικρατούν τα αδρόκοκκα υλικά (άμμος, χάλικες). Συγκεκριμένα ο σχηματισμός αυτός αποτελείται κατά κύριο λόγο από ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο, χαλαρή ιλυώδη ΑΜΜΟ με κυμαινόμενο ποσοστό χαλίκων έως κατά θέσεις ιλυώδες αμμοχάλικο.

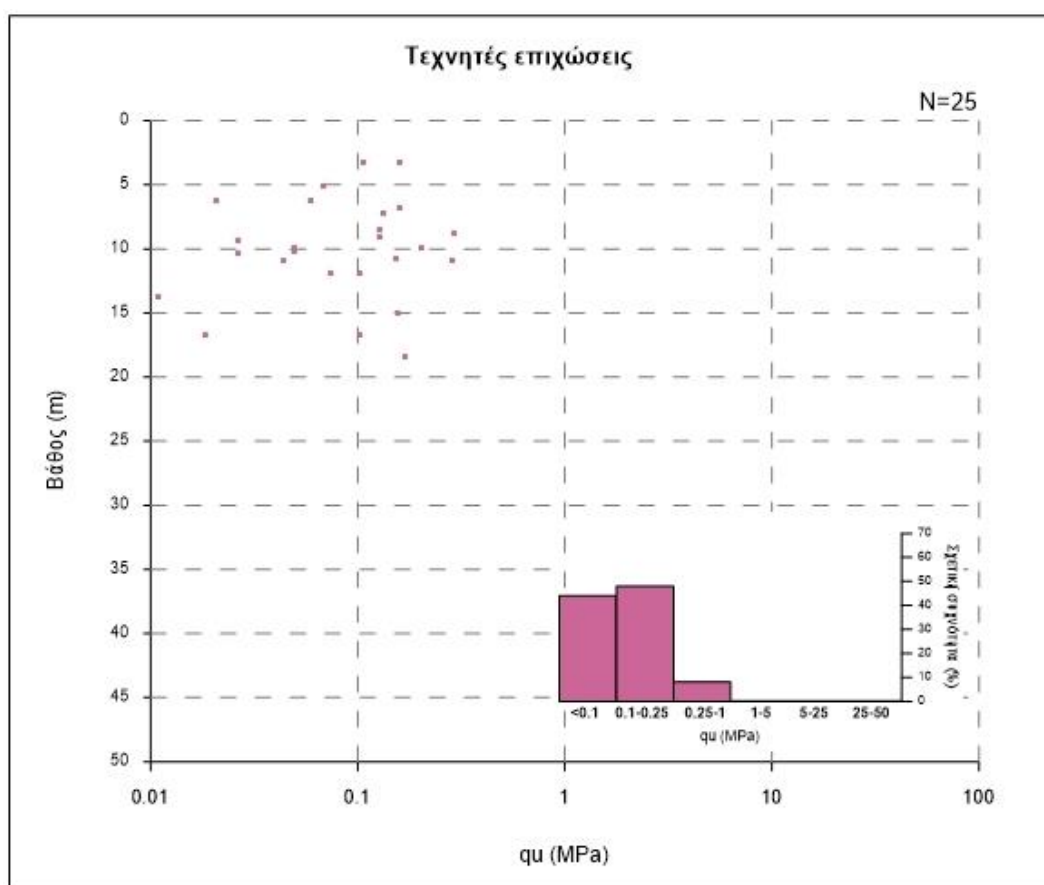


Εικόνα 4.5. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεχνητές επιχώσεις.

4.2.1.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά

4.2.1.2.1 Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη

Από την Εικόνα 4.7 και την αξιολόγηση των τιμών της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη προκύπτει ότι οι Τεχνητές επιχώσεις είναι στην πλειονότητά τους (90%) μικρές έως πολύ μικρές ($q_u < 0,25$ MPa) προσδίδοντας στα υλικά αυτά πολύ μικρές αντοχές. Πιο συγκεκριμένα, το 47% περιορίζεται σε τιμές $q_u = 0,1-0,25$ MPa, ενώ το υπόλοιπο 43% σε ακόμη μικρότερες τιμές $q_u < 0,1$ MPa.

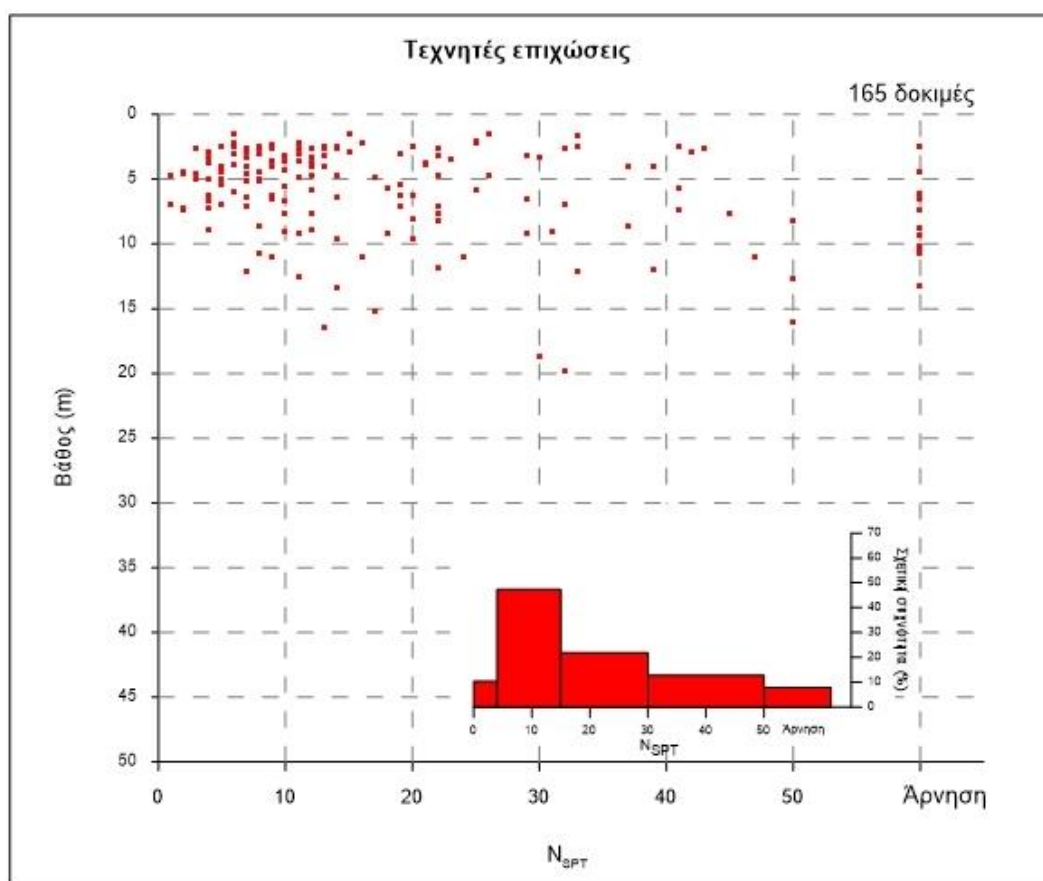


Εικόνα 4.6. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Τεχνητές επιχώσεις.

4.2.2 Επιτόπου δοκιμές

4.2.2.1 Πρότυπη δοκιμή διείδυσης

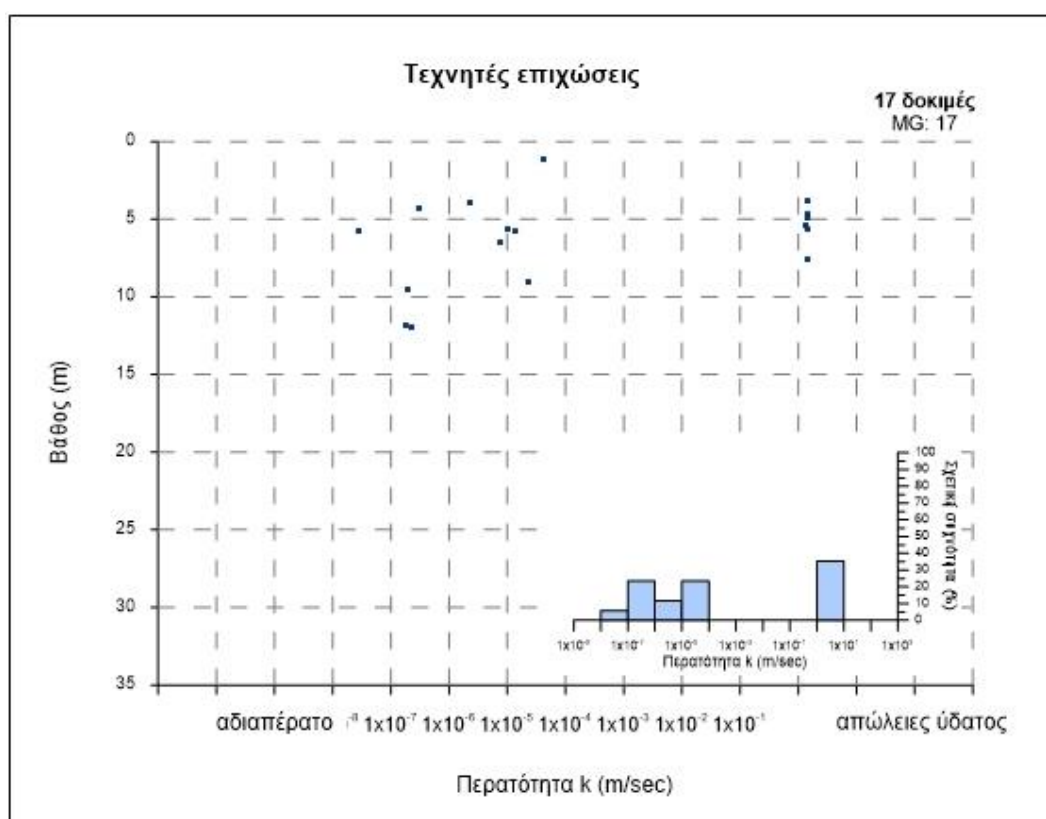
Στην Εικόνα 4.6 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών SPT με το βάθος για τις Τεχνητές επιχώσεις. Όλες οι παρατηρούμενες τιμές περιορίζονται μέχρι το μέγιστο βάθος των 20 μέτρων, όπου απαντάται και το μεγαλύτερο πάχος των Τεχνητών επιχώσεων. Η πλειονότητα των μετρήσεων (~70%) παίρνει ένα εύρος τιμών $N_{SPT} = 4-30$. Συγκεκριμένα, το 50% περιορίζεται σε τιμές $N_{SPT} = 4-15$ χαρακτηρίζοντας έτσι το σχηματισμό ως πολύ χαλαρό έως χαλαρό. Το υπόλοιπο 20% παρουσιάζει τιμές $N_{SPT} = 15-30$ οι οποίες χαρακτηρίζουν το σχηματισμό ως χαλαρό έως μέτρια πυκνό. Παρατηρούνται επίσης ποσοστά της τάξης του 10% όπου οι τιμές είναι μικρότερες από $N_{SPT} = 5$ καθώς και αντίστοιχα ποσοστά με αρνήσεις ($N_{SPT} > 50$) οι οποίες οφείλονται κατά πάσα πιθανότητα στην ύπαρξη κάποιου τεμάχους ή ακόμη και στην παρουσία θραυσμάτων από δομικά υλικά.



Εικόνα 4.7. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Τεχνητές επιχώσεις.

4.2.2.2 Επί τόπου δοκιμές περατότητας

Στην Εικόνα 4.5 παρουσιάζονται οι τιμές περατότητας των Τεχνητών αποθέσεων. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι πρόκειται για σχηματισμούς με μέση περατότητα και τιμές που κυμαίνονται από 10^{-7} έως 10^{-4} m/sec. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρούνται κάποιες μεγαλύτερες τιμές περατότητας, σε ποσοστό 35%, με τιμές που κυμαίνονται από 10^0 έως 10^1 m/sec. Αυτό πιθανώς συμβαίνει διότι στην περιοχή όπου εκτελέστηκαν αυτές οι δοκιμές επικρατούν περισσότερο αδρομερή υλικά και συγκεκριμένα λεπτόκοκκοι και αδρόκοκκοι χάλικες με άμμο έως χάλικες κακής διαβάθμισης με κατά τόπους παρουσία λατύπων.



Εικόνα 4.8. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεχνητές επιχώσεις.

Από την αξιολόγηση των παραπάνω διαγραμμάτων ιδιοτήτων και στατιστικών κατανομών προκύπτει ότι ο σχηματισμός των Τεχνητών επιχώσεων στο σύνολο του είναι χαλαρός, μέσης έως κατά θέσεις μεγαλύτερης περατότητας με τιμές που κυμαίνονται από 10^{-7} έως 10^{-4} m/sec, με πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά και τιμές SPT που κυμαίνονται από 4 έως 15 και q_u που ανέρχονται μέχρι την τιμή 0,15.

4.3 Τεταρτογενείς αποθέσεις

Στις Τεταρτογενείς αποθέσεις περιλαμβάνονται τόσο τα πρόσφατα όσο και τα παλαιά Τεταρτογενή. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι χαλαρές κλαστικές αποθέσεις με τα ιλυοαργιλώδη υλικά και τις αμμοχαλικώδεις αποθέσεις από τους χειμάρρους, ενώ στη δεύτερη ανήκουν κλαστικά ετερογενή μίγματα αργίλων με υλικά μεγέθους χάλικα έως κροκάλας.

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις σύμφωνα με τις περιγραφές των γεωτρήσεων αποτελούνται κυρίως από αμμώδη/χαλικώδη ΙΛΥ/ΑΡΓΙΛΟ έως ιλυώδη/αργιλώδη ΑΜΜΟ με λεπτά έως μεσαία χάλικα, αργιλώδεις χάλικες με άμμο μικρής έως μέσης πλαστικότητας, πρασινοσχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης. Το χρώμα αυτών ποικίλει από ανοικτό καστανό, καστανό, καστανοπράσινο, έως καστανέρυθρο. Το πάχος τους δεν είναι σταθερό και κυμαίνεται από 0,3 έως 48,5 μέτρα.

Μερικές τυπικές εικόνες των Τεταρτογενών αποθέσεων από τους πυρήνες δειγματοληψίας των γεωτρήσεων παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 4.9, 4.10, 4.11).



Εικόνα 4.9. Τεταρτογενείς αποθέσεις, γεώτρηση ΤΑΕΡ24 στην περιοχή του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού. Περιγραφή: Σταθερή, έως στιφρή, καστανή, αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ με χάλικες, έως αργιλώδης ΑΜΜΟΣ με χάλικες (από Μετρό Θεσσαλονίκης).



Εικόνα 4.10. Τεταρτογενείς αποθέσεις, γεώτρηση ΤΚΣΡ21 στην περιοχή Αναλήψεως. Περιγραφή: Πυκνή, καστανοπράσινη, αργιλώδης ΑΜΜΟΣ με λεπτά μεσαία χαλίκια μικρής πλαστικότητας έως ΑΜΜΟΣ καλής διαβάθμισης με ιλύ και μεσαία χαλίκια γενεσιακής προέλευσης, χωρίς πλαστικότητα (από Μετρό Θεσσαλονίκης).



Εικόνα 4.11. Τεταρτογενείς αποθέσεις, γεώτρηση ΤΜΤΡ26 στην περιοχή Πατρικίου-Βούλγαρη. Περιγραφή: Στιφρή έως σταθερή, καστανή ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ με λεπτόκοκκη άμμο, μικρής έως μέσης πλαστικότητας (από Μετρό Θεσσαλονίκης).

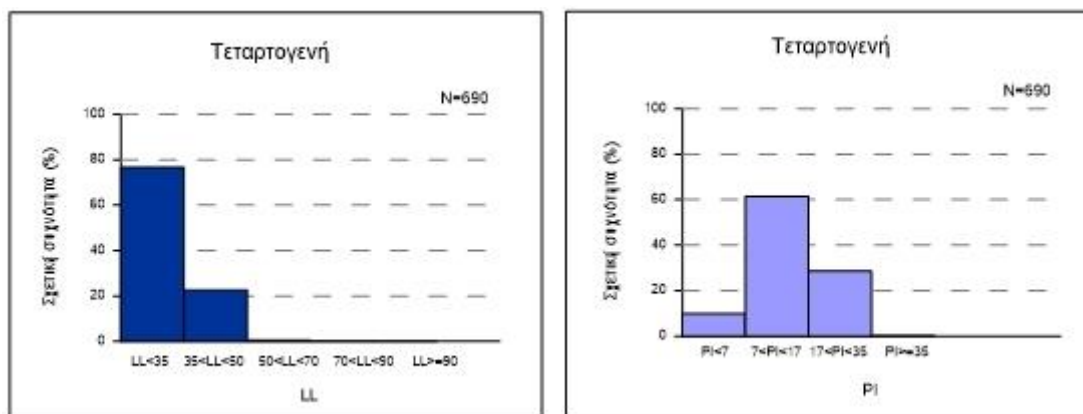
4.3.1 Εργαστηριακές δοκιμές

4.3.1.1 Φυσικά χαρακτηριστικά

4.3.1.1.1 Όρια Atterberg

Από τη δοκιμή προσδιορισμού των ορίων Atterberg εξάγονται τα παρακάτω διαγράμματα κατανομής του ορίου υδαρότητας και δείκτη πλαστικότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις, συνολικά για την περιοχή έρευνας.

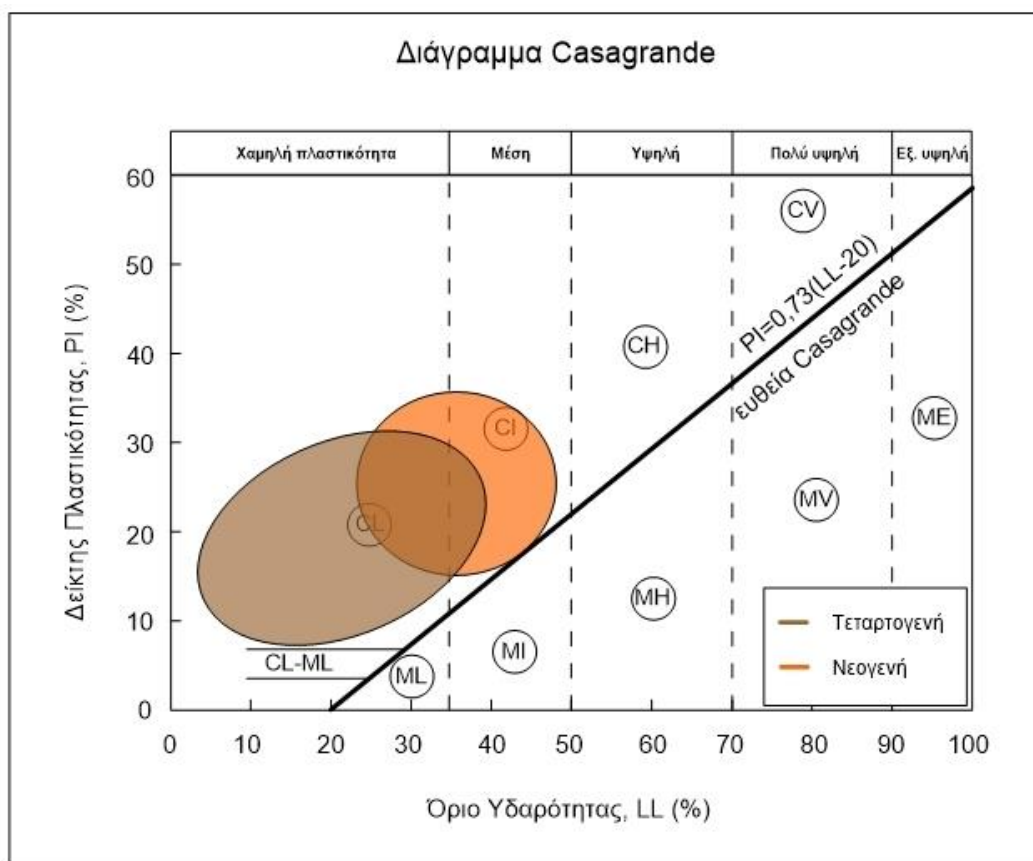
Από τις δοκιμές για τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg και συγκεκριμένα του ορίου υδαρότητας, σε ότι αφορά το λεπτόκοκκο κλάσμα των γεωυλικών των Τεταρτογενών Αποθέσεων (Εικόνα 4.12 α), εκτιμάται ότι επικρατούν υλικά με χαμηλό έως μέσο όριο υδαρότητας, με αυτό να κυμαίνεται κυρίως κάτω από 35 (77%) και από 35 έως 50 (22,5%). Αντίστοιχα, από τις δοκιμές για τον προσδιορισμό του δείκτη πλαστικότητας, σε ότι αφορά το λεπτόκοκκο κλάσμα των γεωυλικών των Τεταρτογενών αποθέσεων (Εικόνα 4.12 β), εκτιμάται ότι αυτός κυμαίνεται από 7 έως 17 (61%) και από 17 έως 35 (28%) , με τα υλικά να χαρακτηρίζονται από μέσο έως υψηλό δείκτη πλαστικότητας.



Εικόνα 4.12 α,β. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις βάσει του ορίου υδαρότητας και του δείκτη πλαστικότητας.

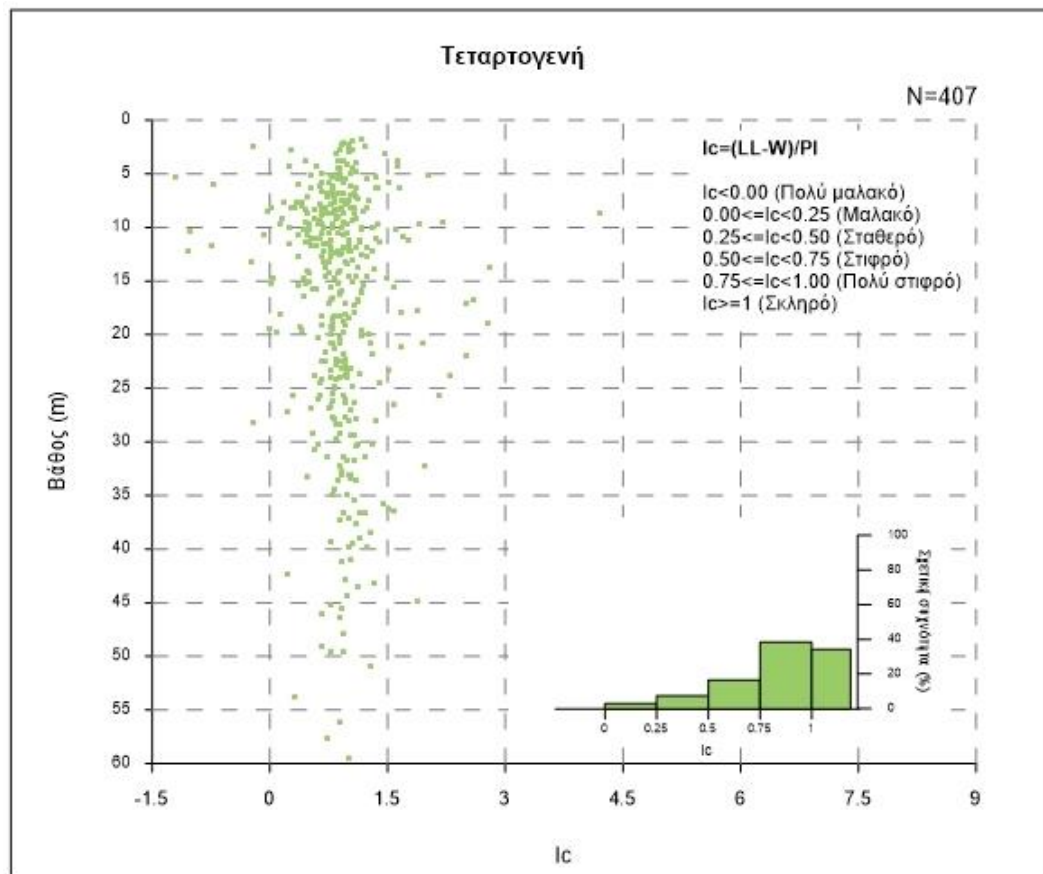
Τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας χρησιμοποιούνται διεθνώς για την αναγνώριση και κατάταξη των εδαφών με βάση το διάγραμμα Casagrande και σε συνδυασμό με την μέθοδο της κοκκομετρικής ανάλυσης σύμφωνα με τις προδιαγραφές ASTM.

Έτσι, από τον συνδυασμό των δύο μεγεθών (LL και PI) για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις, βάσει των επικρατούντων τιμών τους, προκύπτει ότι τα λεπτόκοκκα γεωυλικά εντοπίζονται κυρίως πάνω από την ευθεία Casagrande με βάση το διάγραμμα (Εικόνα 4.13) και χαρακτηρίζονται κυρίως ως χαμηλής έως οριακά και ενδιάμεσης πλαστικότητας (CL-CI).



Εικόνα 4.13. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών των Τεταρτογενών και Νεογενών αποθέσεων συνολικά για την περιοχή έρευνας σύμφωνα με το διάγραμμα Casagrande.

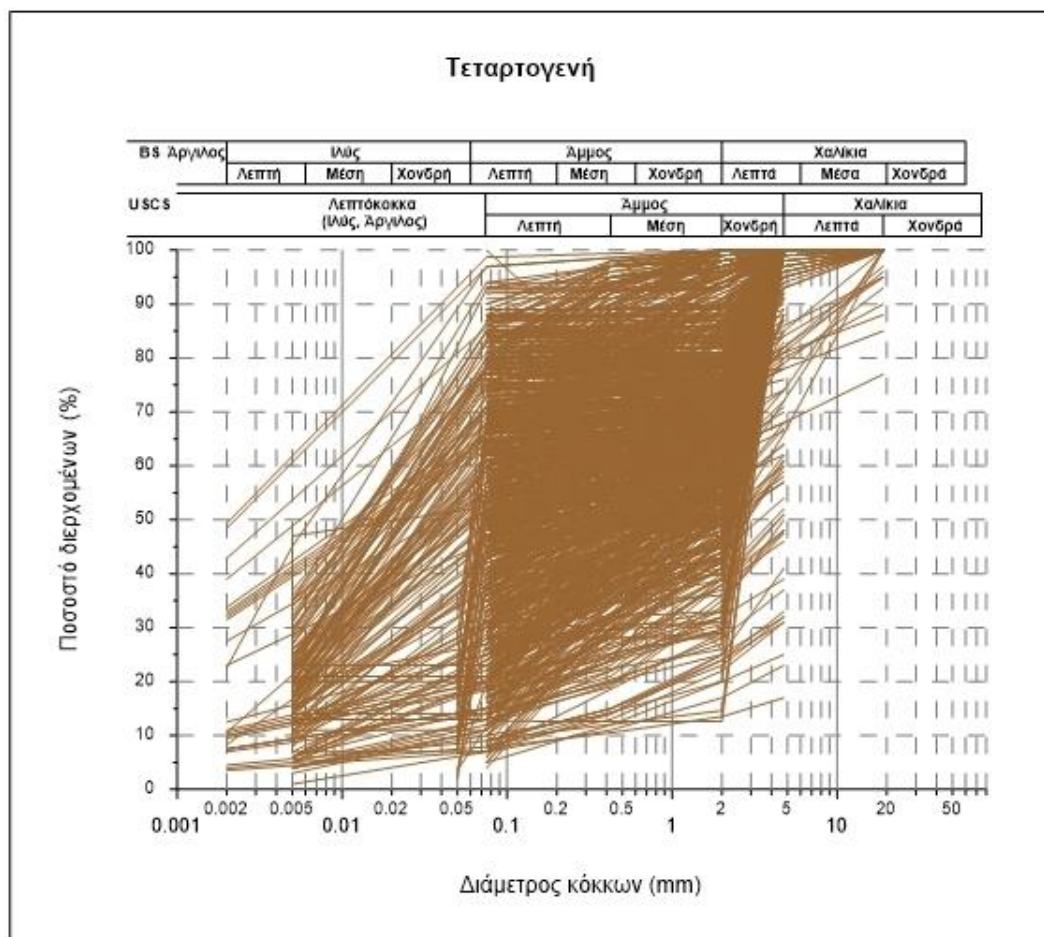
Στην Εικόνα 4.14 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών του δείκτη συνεκτικότητας (I_c) για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις. Από την στατιστική κατανομή φαίνεται πως στην πλειονότητα τους οι τιμές (~80%) είναι μεγαλύτερες του 0,5. Πιο συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο ποσοστό που παρατηρείται (~40%) παίρνει τιμές μεταξύ 0,75 και 1 χαρακτηρίζοντας τον σχηματισμό ως πολύ στιφρό. Μεγαλύτερες της μονάδας τιμές παρατηρούνται σε ένα ποσοστό της τάξης του 30%, χαρακτηρίζοντας τον σχηματισμό ως σταθερό έως πολύ στιφρό.



Εικόνα 4.14. Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις.

4.3.1.1.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση

Στην Εικόνα 4.15 παρουσιάζεται η κοκκομετρική διαβάθμιση των Τεταρτογενών αποθέσεων. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι επικρατούν κατά κύριο λόγο υλικά αμμόδους σύστασης. Ο σχηματισμός αποτελείται κυρίως από ιλυώδεις άμμους με κυμαινόμενα ποσοστά χαλικιών και ιλυώδεις χάλικες με άμμο.

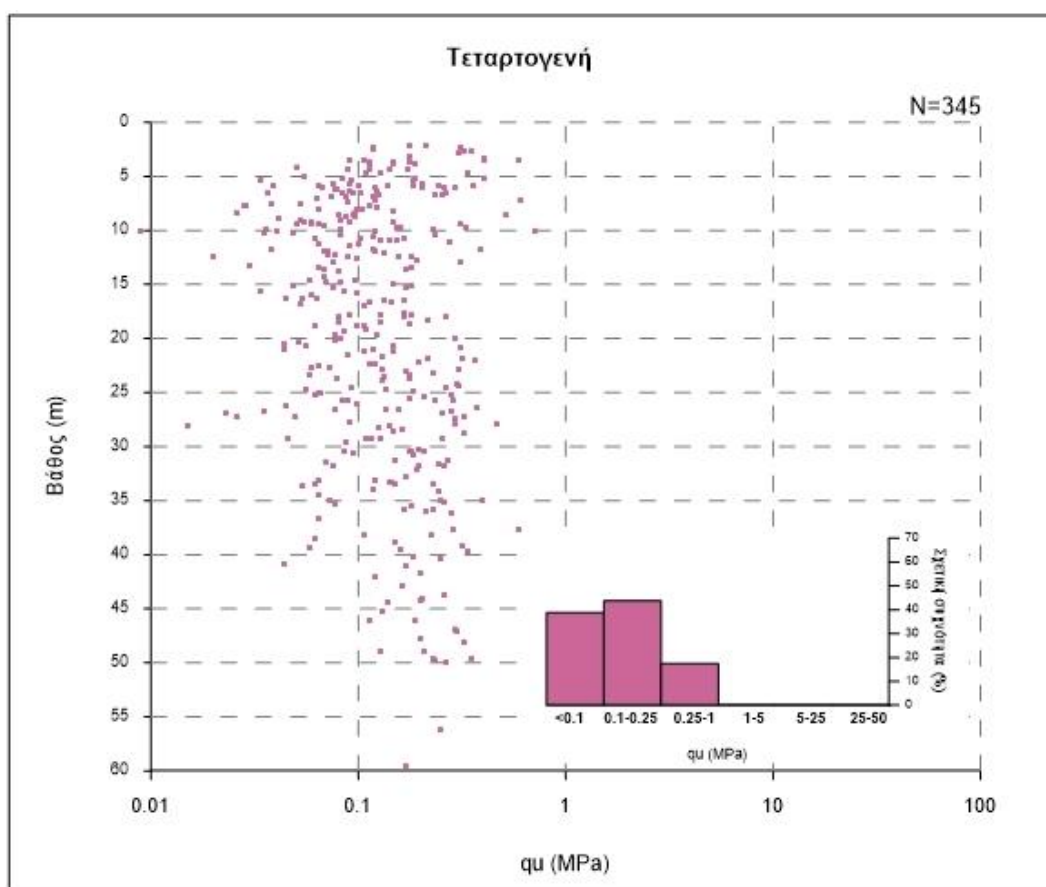


Εικόνα 4.15. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις.

4.3.1.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά

4.3.1.2.1 Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη

Από την Εικόνα 4.16 και την αξιολόγηση των τιμών της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη προκύπτει ότι οι Τεταρτογενείς αποθέσεις είναι στην πλειονότητα τους (~85%) μικρές ($q_u < 0.25$ MPa) προσδίδοντας στα υλικά αυτά μικρές σχετικά αντοχές. Πιο συγκεκριμένα, το 45% περιορίζεται σε τιμές $q_u = 0,1-0,25$ MPa, ενώ το υπόλοιπο 40% σε ακόμη μικρότερες τιμές $q_u < 0,1$ MPa.



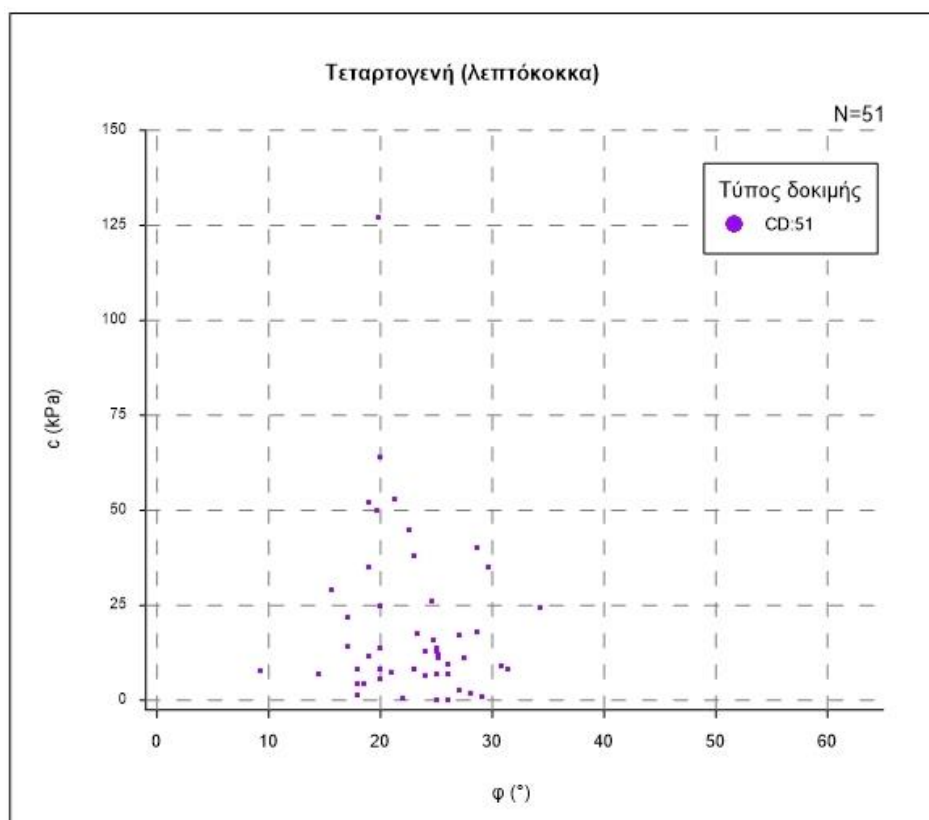
Εικόνα 4.16. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις.

4.3.1.2.2 Δοκιμές άμεσης διάτμησης

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων διατμητικής αντοχής, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των δοκιμών εδαφικών δοκιμών άμεσης διάτμησης και τριαξονικής θλίψης.

Συνολικά εκτελέστηκαν 104 δοκιμές άμεσης διάτμησης για τους λεπτόκοκκους σχηματισμούς (51 για τις Τεταρτογενείς και 53 για τις Νεογενείς αποθέσεις). Ο τύπος της δοκιμής που εκτελέστηκε είναι αυτός της βραδείας δοκιμής με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου. Σύμφωνα με αυτή τη δοκιμή τα διάφορα δείγματα οδηγούνται σε θραύση αργά ώστε να είναι δυνατή η πλήρης εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων. Στα διαγράμματα που ακολουθούν προβάλλονται οι παράμετροι διατμητικής αντοχής, δηλαδή οι τιμές της συνοχής (c) και γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) όπως προσδιορίστηκαν από τις δοκιμές.

Στην Εικόνα 6.17 παρατηρείται μια καλή συγκέντρωση των τιμών c και ϕ . Στην πλειονότητά τους (90%) οι τιμές για την γωνία εσωτερικής τριβής κυμαίνονται μεταξύ 15° και 30° , ενώ για τη συνοχή μεταξύ 0 και 30 KPa. Από τις δοκιμές για το συγκεκριμένο σχηματισμό εκτιμώνται τιμές που είναι πολύ κοντά σε αυτές που δίνονται στις βιβλιογραφικές αναφορές. Η γωνία τριβής είναι ένα μέγεθος με μικρή διασπορά των τιμών γεγονός που επιβεβαιώνεται και από το διάγραμμα.

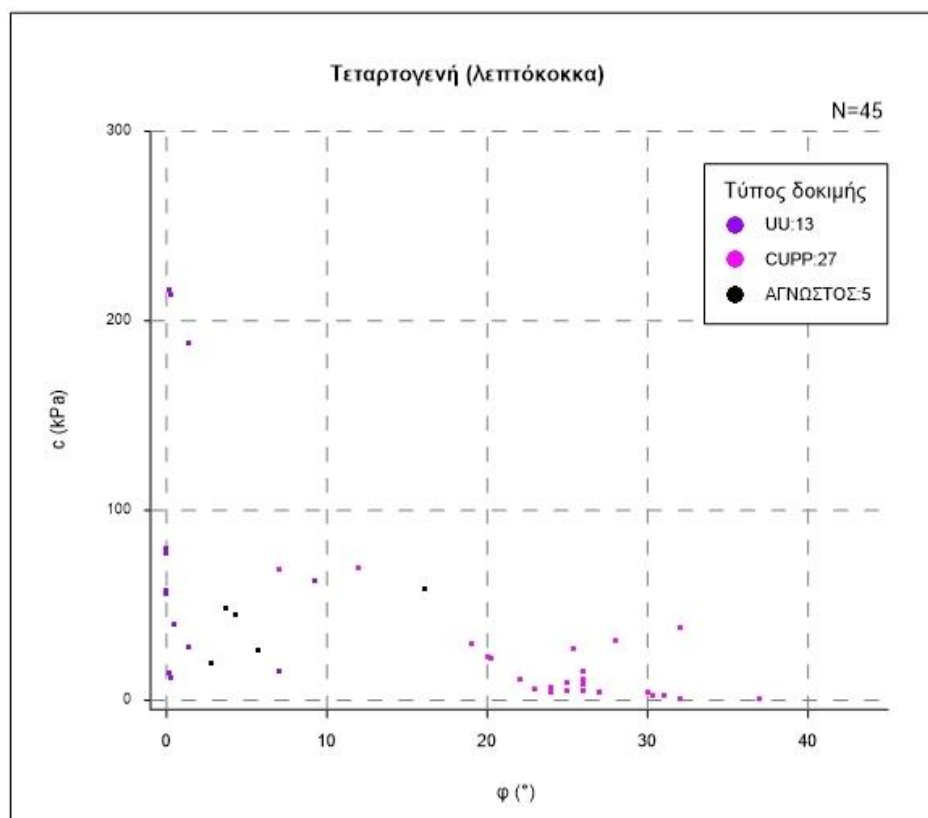


Εικόνα 4.17. Απεικόνιση ζευγών συνοχής και γωνίας τριβής από δοκιμές άμεσης διάτμησης για τα λεπτόκοκκα υλικά των Τεταρτογενών αποθέσεων.

4.3.1.2.3 Δοκιμές τριαξονικής φόρτισης

Χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα από 111 δοκιμές τριαξονικής φόρτισης για τους λεπτόκοκκους σχηματισμούς (45 για τις Τεταρτογενείς και 66 για τις Νεογενείς αποθέσεις). Εκτελέστηκαν δύο τύποι δοκιμών σε κάθε περίπτωση. Αυτές είναι η ταχεία δοκιμή χωρίς στερεοποίηση και αποστράγγιση (UU) και η δοκιμή με στερεοποίηση, χωρίς αποστράγγιση με μέτρηση της πίεσης του νερού των πόρων (CUPP). Σε αυτά τα διαγράμματα προβάλλονται οι παράμετροι διατμητικής αντοχής, δηλαδή οι τιμές της συνοχής (c) και γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) όπως προσδιορίστηκαν από τις δοκιμές.

Για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις εκτελέστηκαν 27 δοκιμές CUPP, 13 δοκιμές UU και 5 δοκιμές των οποίων ο τύπος δεν προσδιορίζεται στα μητρώα των γεωτρήσεων (Εικόνα 4.18). Από το διάγραμμα γίνεται αντιληπτό πως η τιμή της γωνίας τριβής εμφανίζει μεγάλη διασπορά (0° - 10° και 20° - 30°) σε σχέση με τις τιμές της συνοχής (0 έως 80 kPa).

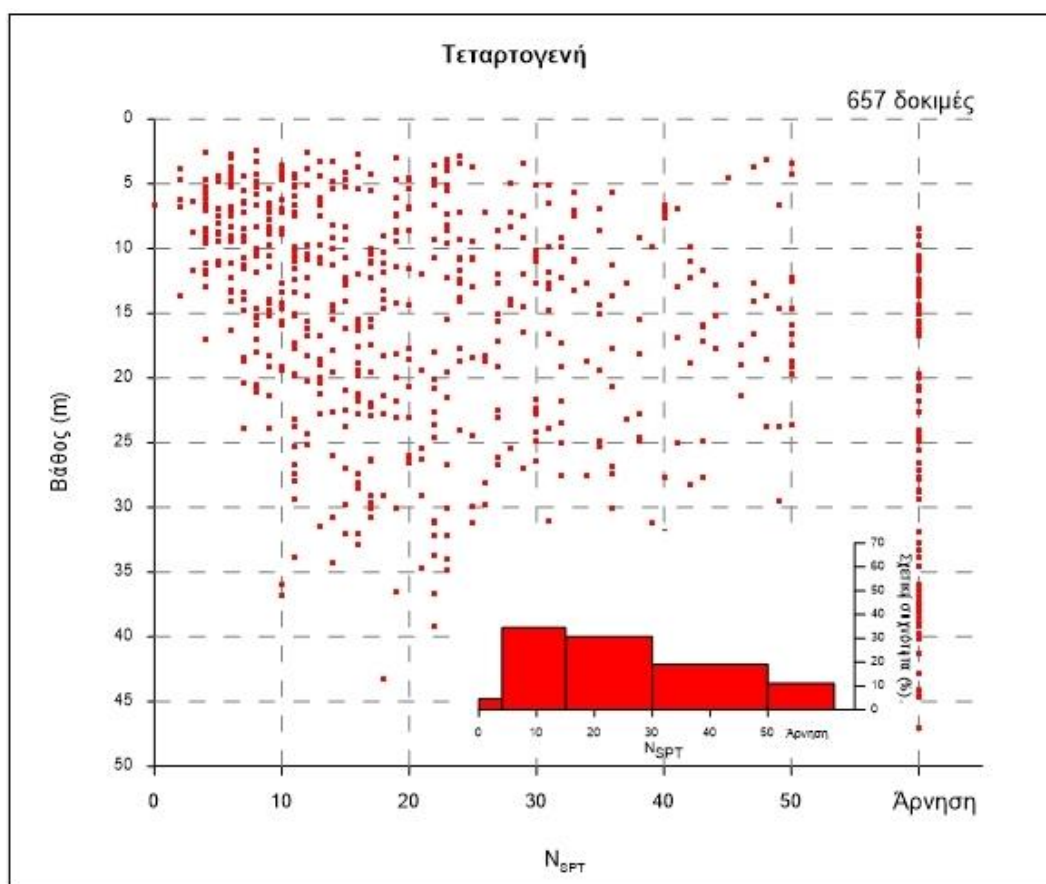


Εικόνα 4.18. Απεικόνιση ζευγών συνοχής και γωνίας τριβής από δοκιμές τριαξονικής φόρτισης για τα λεπτόκοκκα υλικά των Τεταρτογενών αποθέσεων.

4.3.2 Επί τόπου δοκιμές

4.3.2.1 Πρότυπη δοκιμή διείδυσης

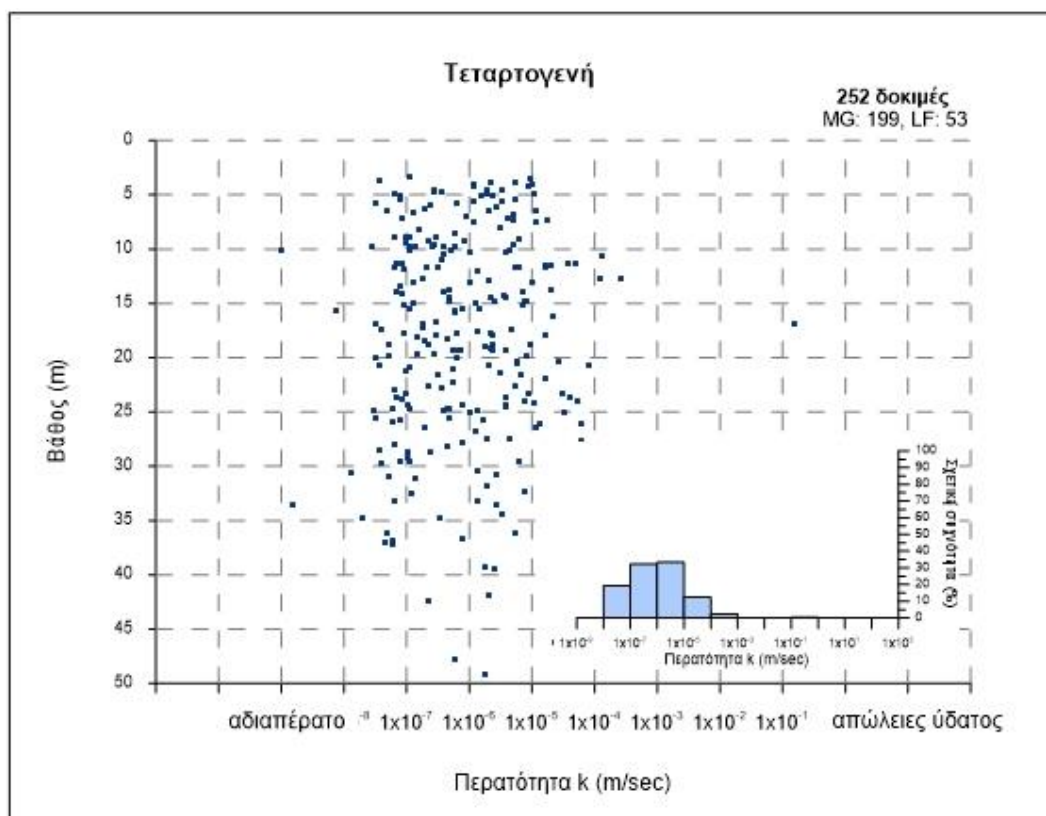
Στην Εικόνα 4.19 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών SPT με το βάθος για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις. Σε αυτό παρατηρείται μια διασπορά ως προς την κατανομή των τιμών, οι οποίες κυμαίνονται από πολύ μικρές έως πολύ μεγάλες. Η πλειονότητα των μετρήσεων (~65%) παίρνει ένα εύρος τιμών $N_{SPT} = 4-30$. Συγκεκριμένα, το 35% καταλαμβάνει τιμές $N_{SPT} = 4-15$ χαρακτηρίζοντας έτσι το σχηματισμό ως πολύ χαλαρό έως χαλαρό. Το υπόλοιπο 30% παρουσιάζει λίγο μεγαλύτερες τιμές $N_{SPT} = 15-30$ οι οποίες προσδίδουν ένα χαλαρό έως μέτρια πυκνό χαρακτήρα στο σχηματισμό. Παρατηρούνται επίσης ποσοστά της τάξης του 10% με τιμές $N_{SPT} > 50$.



Εικόνα 4.19. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις.

4.3.2.2 Επί τόπου δοκιμές περατότητας

Στην Εικόνα 4.20 παρουσιάζονται οι τιμές περατότητας των Τεταρτογενών αποθέσεων. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι πρόκειται για σχηματισμούς χαμηλής έως μέσης περατότητας. Οι τιμές των διαφόρων δοκιμών περατότητας που εκτελέστηκαν κυμαίνονται από 10^{-8} έως 10^{-5} m/sec. Συγκεκριμένα, τα μεγαλύτερα ποσοστά 30% και 35% αντίστοιχα, χαρακτηρίζονται από περατότητες της τάξης 10^{-7} έως 10^{-6} m/sec και 10^{-6} έως 10^{-5} m/sec που συναντώνται κατά μήκος παλαιών ρεμάτων.



Εικόνα 4.20. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις.

Από την αξιολόγηση των παραπάνω διαγραμμάτων ιδιοτήτων και στατιστικών κατανομών προκύπτει ότι ο σχηματισμός των Τεταρτογενών αποθέσεων στο σύνολο του χαρακτηρίζεται από μέση περατότητα με τιμές που κυμαίνονται από 10^{-7} έως 10^{-5} m/sec. Πρόκειται για χαλαρά και μαλακά ιζήματα τα οποία δεν έχουν υποστεί διαγένεση με αποτέλεσμα να έχουν μικρές αντοχές και να παρουσιάζουν πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά με τιμές SPT που κυμαίνονται από 4 έως 30 και q_u που ανέρχονται μέχρι την τιμή 0,25.

4.4 Νεογενείς αποθέσεις

Στις Νεογενείς αποθέσεις περιλαμβάνονται η Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά και οι Ερυθρές άργιλοι. Η Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά αποτελείται από θαλάσσιες και λιμνοθαλάσσιες φάσεις λεπτόκοκκης άμμου. Οι ερυθρές άργιλοι αποτελούνται από λιμνοθαλάσσιες έως λιμναίου τύπου αποθέσεις.

Η Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά Νεογενών αποθέσεων σύμφωνα με τις περιγραφές των γεωτρήσεων αποτελείται από μαργαϊκή ΑΡΓΙΛΟ έως αμμώδη ΑΡΓΙΛΟ/ΙΛΥ μέσης έως υψηλής πλαστικότητας, ιλυώδη/αργιλώδη ΑΜΜΟ με λεπτά έως μεσαία χαλίκια, μικρής έως μέσης πλαστικότητας. Το χρώμα αυτού του σχηματισμού ποικίλει από ανοικτό καστανό, καστανό και μπεζ.

Η σειρά ερυθρών αργίλων των Νεογενών αποθέσεων αποτελείται από στιφρές-σκληρές αμμώδεις έως ιλυώδεις αργίλους με σποραδικούς χάλικες, ασβεστιτικά συγκρίματα και οξείδια Μn, αργιλώδεις χάλικες πρασινοσχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης, με άμμο. Το χρώμα αυτού του σχηματισμού ποικίλει από καστανό, καστανέρυθρο και ερυθρό. Σε γενικές γραμμές το πάχος των Νεογενών αποθέσεων είναι μεγάλο και κυμαίνεται από 2 έως 47,6 μέτρα.

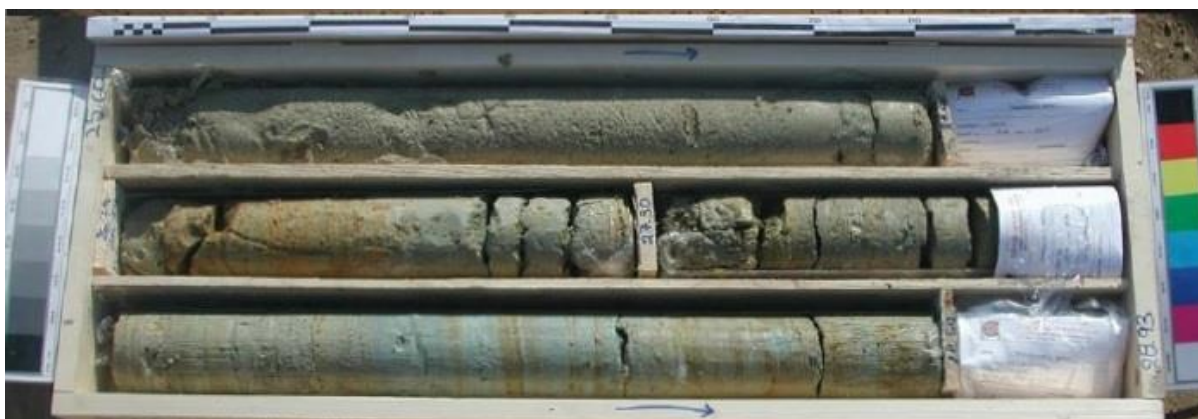
Μερικές τυπικές εικόνες των Νεογενών αποθέσεων από τους πυρήνες δειγματοληψίας των γεωτρήσεων παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 4.21, 4.22, 4.23)



Εικόνα 4.21. Νεογενείς αποθέσεις (Ερυθρές άργιλοι), γεώτρηση TBCP21 στην περιοχή Δημοκρατίας. Περιγραφή: Σταθερή έως στιφρή, καστανέρυθρη αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ με διάσπαρτους χάλικες κυρίως σχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης. (από Μετρό Θεσσαλονίκης).



Εικόνα 4.22. Νεογενείς αποθέσεις (Ερυθρές άργιλοι), γεώτρηση TGSP21 στην περιοχή Πανεπιστήμιο. Περιγραφή: Σκληρή κόκκινη αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ μέσης πλαστικότητας με οξειδώσεις (διαποτισμοί) κόκκινου χρώματος και ασβεστίτικα συγκρίματα (από Μετρό Θεσσαλονίκης).



Εικόνα 4.23. Νεογενείς αποθέσεις (Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά), γεώτρηση TMSP24 στην περιοχή Βούλγαρη. Περιγραφή: Πολύ στιφρή έως σκληρή, γκρι-μπλε, καστανή-πορτοκαλί, λεπτοστρωματώδης μάργα με ολισθηρές επιφάνειες στο βάθος των 29,60m. Κοκκομετρικά χαρακτηρίζεται σαν ΙΛΥΣ μέσης πλαστικότητας έως παχιά ΑΡΓΙΛΟΣ, μεγάλης πλαστικότητας (από Μετρό Θεσσαλονίκης).

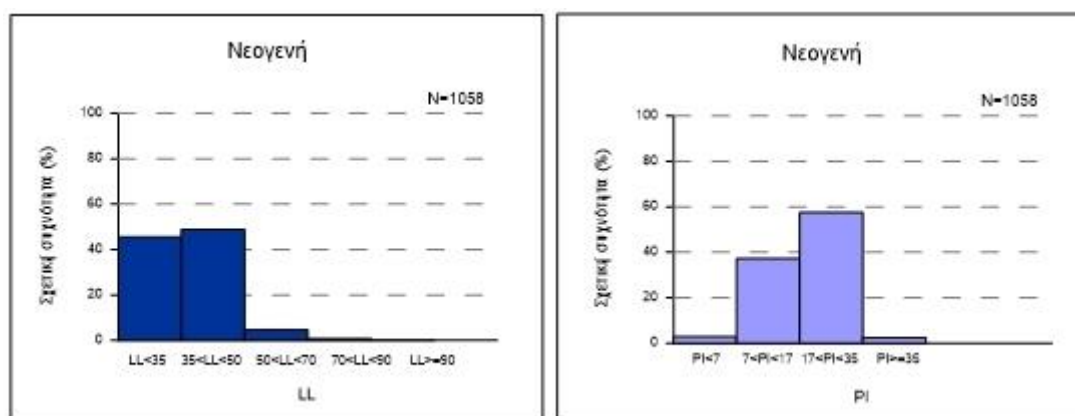
4.4.1 Εργαστηριακές δοκιμές

4.4.1.1 Φυσικά χαρακτηριστικά

4.4.1.1.1 Όρια Atterberg

Από τη δοκιμή προσδιορισμού των ορίων Atterberg εξάγονται τα παρακάτω διαγράμματα κατανομής του ορίου υδαρότητας και δείκτη πλαστικότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις, συνολικά για την περιοχή έρευνας.

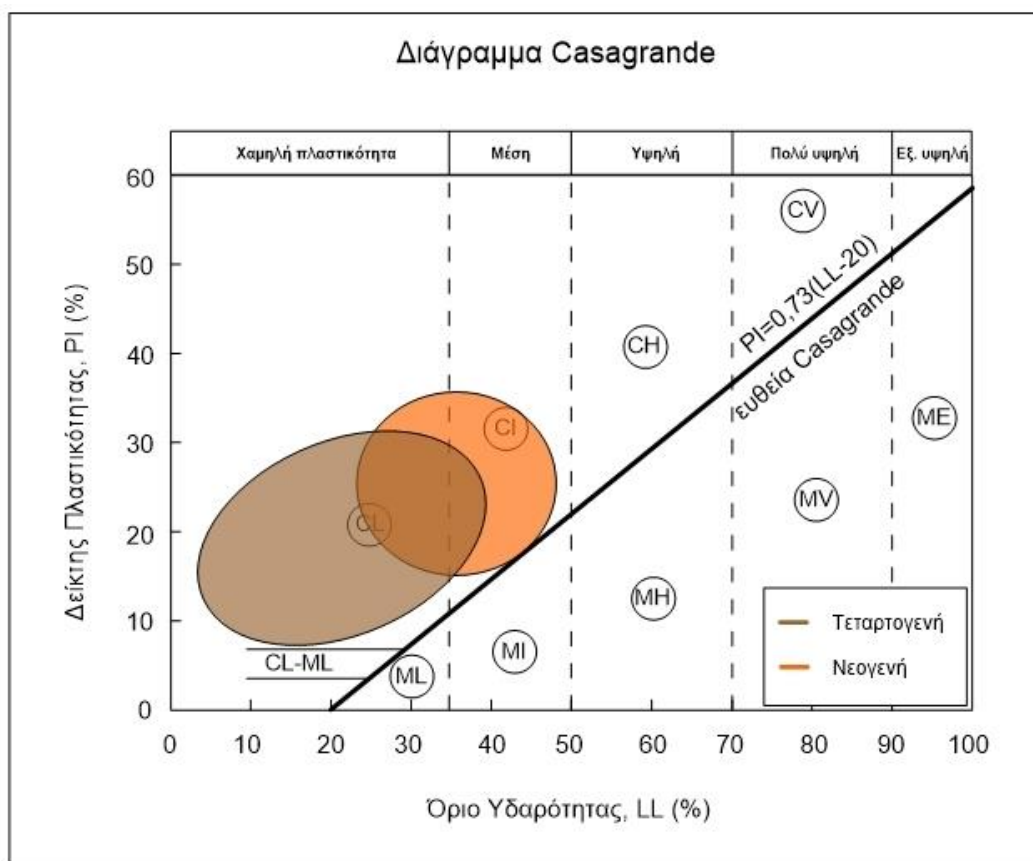
Από τις δοκιμές για τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg και συγκεκριμένα του ορίου υδαρότητας, σε ότι αφορά τα λεπτόκοκκα υλικά των Νεογενών Αποθέσεων (Εικόνα 4.24 α), εκτιμάται ότι αυτά που επικρατούν έχουν χαμηλές έως μέσες τιμές πλαστικότητας, με όριο υδαρότητας μικρότερο του 35 (45%) έως και μεταξύ του 35 και του 50 (49%). Αντίστοιχα, από τον προσδιορισμό του δείκτη πλαστικότητας των υλικών των Νεογενών αποθέσεων (Εικόνα 4.24 β) εκτιμάται ότι πρόκειται για υλικά με ενδιάμεσο έως κυρίως υψηλό δείκτη πλαστικότητας, με εύρος από 7 έως 17 (37%) και κυρίως 17 έως 35 (57%) αντίστοιχα.



Εικόνα 4.24 α,β. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις βάσει του ορίου υδαρότητας και δείκτη πλαστικότητας.

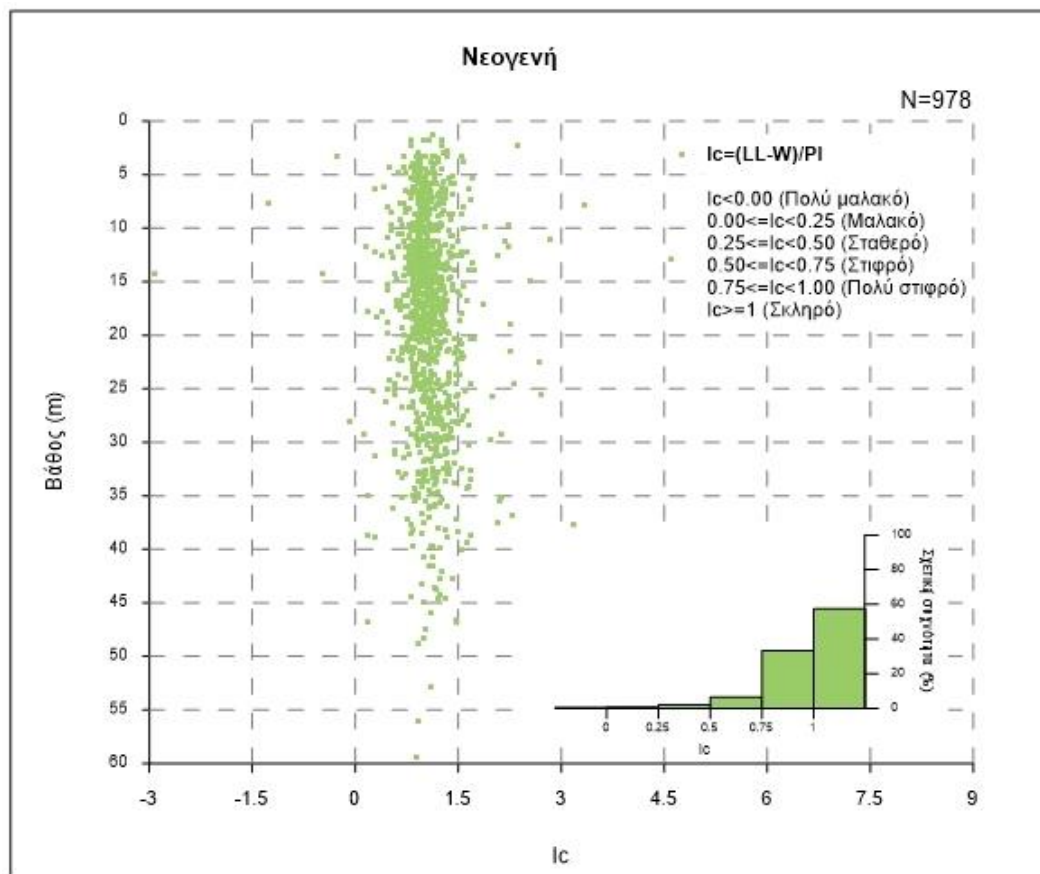
Τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας χρησιμοποιούνται διεθνώς για την αναγνώριση και κατάταξη των εδαφών με βάση το διάγραμμα Casagrande και σε συνδυασμό με την μέθοδο της κοκκομετρικής ανάλυσης σύμφωνα με τις προδιαγραφές ASTM.

Έτσι, από τον συνδυασμό των δύο μεγεθών (LL και PI) για τις Νεογενείς αποθέσεις τοποθετούνται και εκείνες πάνω από την ευθεία Casagrande (Εικόνα 4.25), χαρακτηρίζοντας τα λεπτόκοκκα υλικά ως χαμηλής έως κυρίως μέσης πλαστικότητας (CL-CI).



Εικόνα 4.25. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών των Τεταρτογενών και Νεογενών αποθέσεων συνολικά για την περιοχή έρευνας σύμφωνα με το διάγραμμα Casagrande.

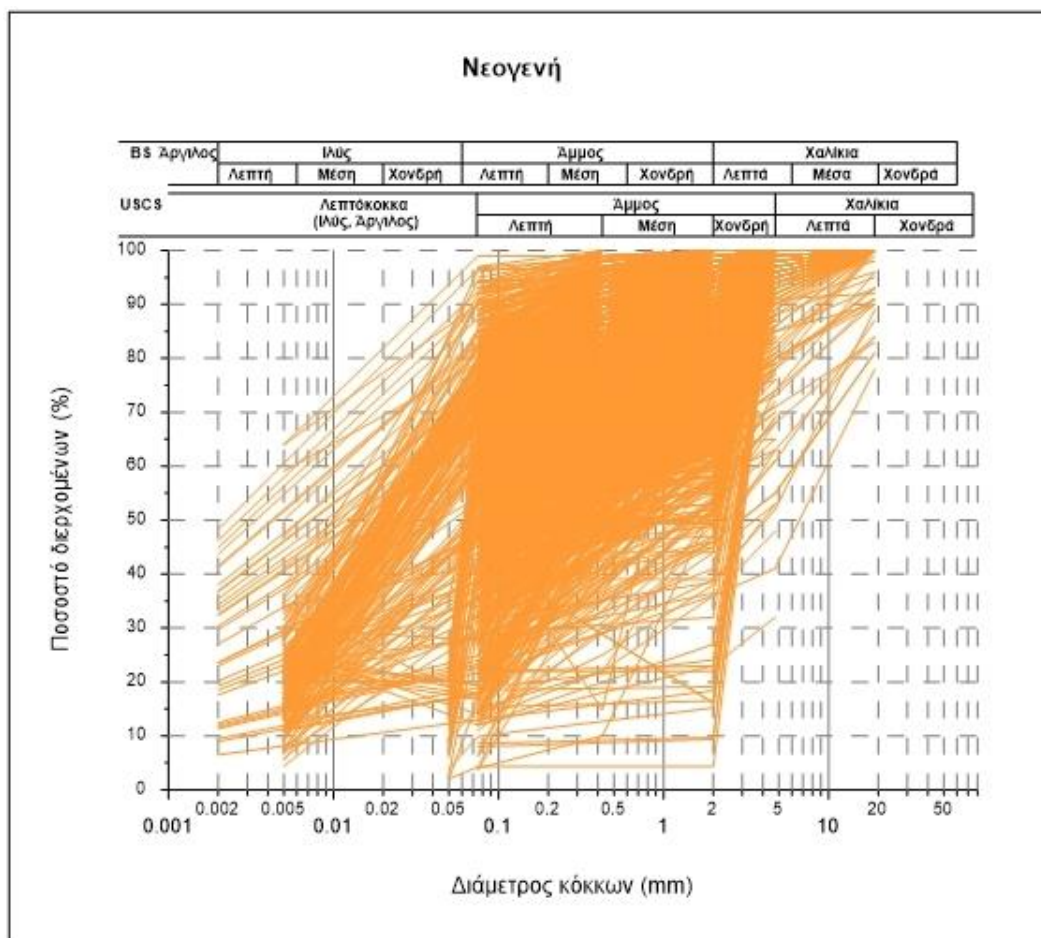
Στην Εικόνα 4.26 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών του δείκτη συνεκτικότητας (I_c) για τις Νεογενείς αποθέσεις. Από την στατιστική κατανομή φαίνεται πως στην πλειονότητα τους οι τιμές (~90%) είναι μεγαλύτερες του 0,75. Πιο συγκεκριμένα, περίπου το 30% παίρνει τιμές μεταξύ 0,75 και 1 χαρακτηρίζοντας τον σχηματισμό ως πολύ σφιγρό, ενώ μεγαλύτερες τιμές της μονάδας παρατηρούνται σε ένα ποσοστό της τάξης του 60%, χαρακτηρίζοντας τον σχηματισμό ως σκληρό.



Εικόνα 4.26. Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις.

4.4.1.1.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση

Στην Εικόνα 4.27 παρουσιάζεται η κοκκομετρική διαβάθμιση για τις Νεογενείς αποθέσεις. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι επικρατούν τόσο τα αδρόκοκκα, όσο και τα λεπτόκοκκα υλικά. Πρόκειται για σχηματισμούς που αποτελούνται από αμμώδεις αργίλους και αργίλους με άμμο, αμμώδεις ιλύες και αργιλώδεις-ιλυώδεις άμμους με κυμαινόμενο ποσοστό χαλικιών.

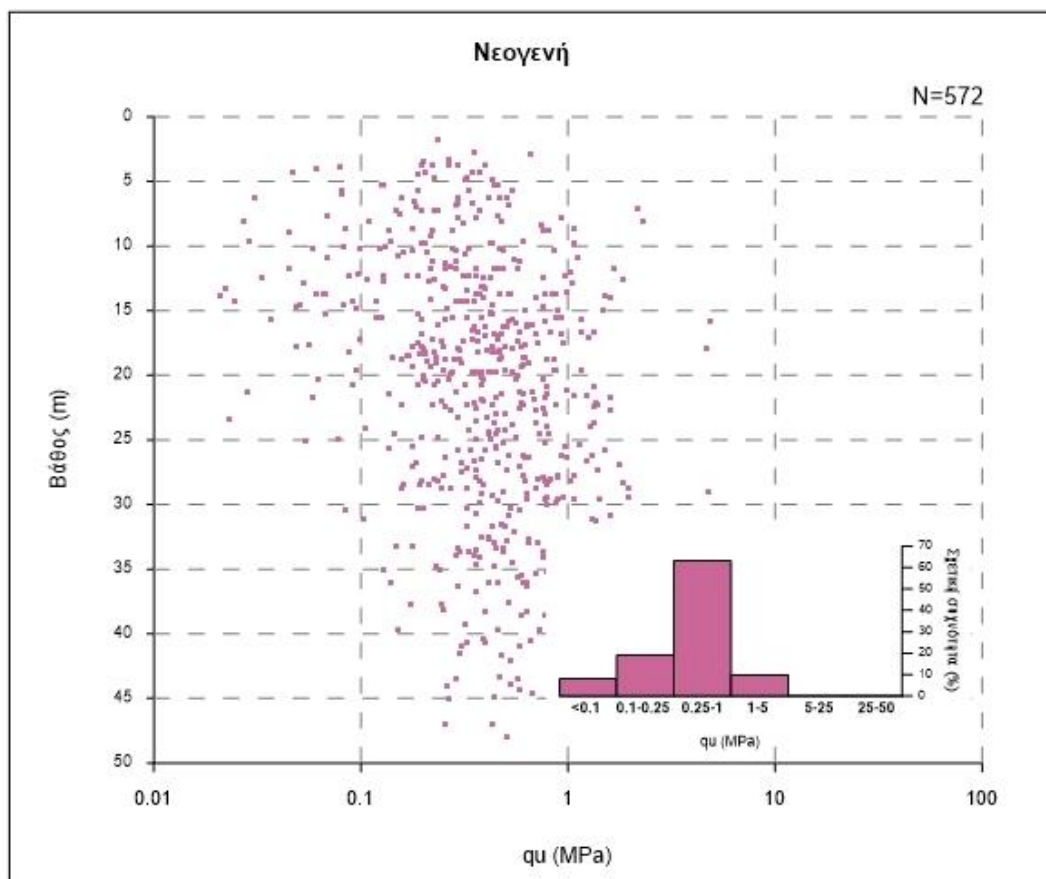


Εικόνα 4.27. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Νεογενείς αποθέσεις.

4.4.1.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά

4.4.1.2.1 Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη

Από την Εικόνα 4.28 και την αξιολόγηση των τιμών της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη προκύπτει ότι οι Νεογενείς αποθέσεις είναι στην πλειονότητα τους (90%) μεγαλύτερες από 0,1 MPa. Χαρακτηριστική είναι η έντονη παρουσία τιμών $q_u = 0,25-1$ MPa σε ποσοστό 65% περίπου. Οι τιμές αυτές υποδηλώνουν έναν σταθερό έως στιφρό σχηματισμό.



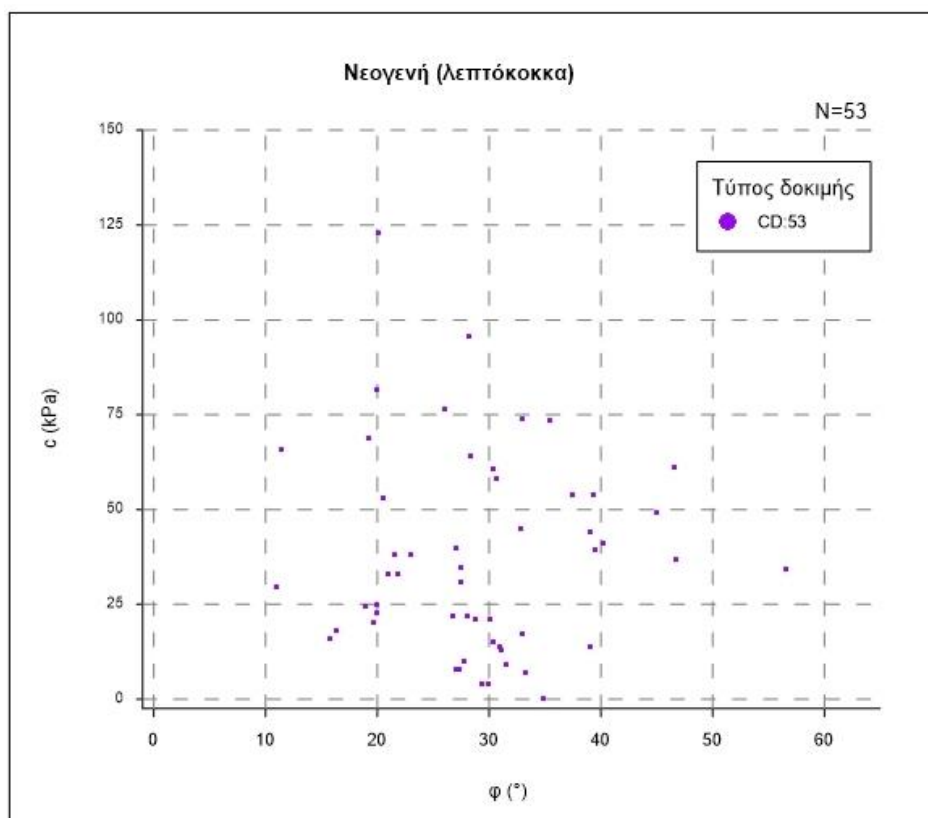
Εικόνα 4.28. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Νεογενείς αποθέσεις.

4.4.1.2.2 Δοκιμές άμεσης διάτμησης

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων διατμητικής αντοχής, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των δοκιμών εδαφικών δοκιμών άμεσης διάτμησης και τριαξονικής θλίψης.

Συνολικά εκτελέστηκαν 104 δοκιμές άμεσης διάτμησης για τους λεπτόκοκκους σχηματισμούς (51 για τις Τεταρτογενείς και 53 για τις Νεογενείς αποθέσεις). Ο τύπος της δοκιμής που εκτελέστηκε είναι αυτός της βραδείας δοκιμής με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου. Σύμφωνα με αυτή τη δοκιμή τα διάφορα δείγματα οδηγούνται σε θραύση αργά ώστε να είναι δυνατή η πλήρης εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων. Στα διαγράμματα που ακολουθούν προβάλλονται οι παράμετροι διατμητικής αντοχής, δηλαδή οι τιμές της συνοχής (c) και γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) όπως προσδιορίστηκαν από τις δοκιμές.

Στην Εικόνα 4.29 παρατηρείται μια σημαντική διασπορά των τιμών c και ϕ . Στην πλειονότητά τους (88%) οι τιμές για την γωνία εσωτερικής τριβής κυμαίνονται μεταξύ 20° και 40° . Για τη συνοχή παρατηρούνται τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 15 έως 60 KPa. Ωστόσο παρατηρείται κι ένα σημαντικό ποσοστό της τάξης του 30% με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 50 και 75 KPa

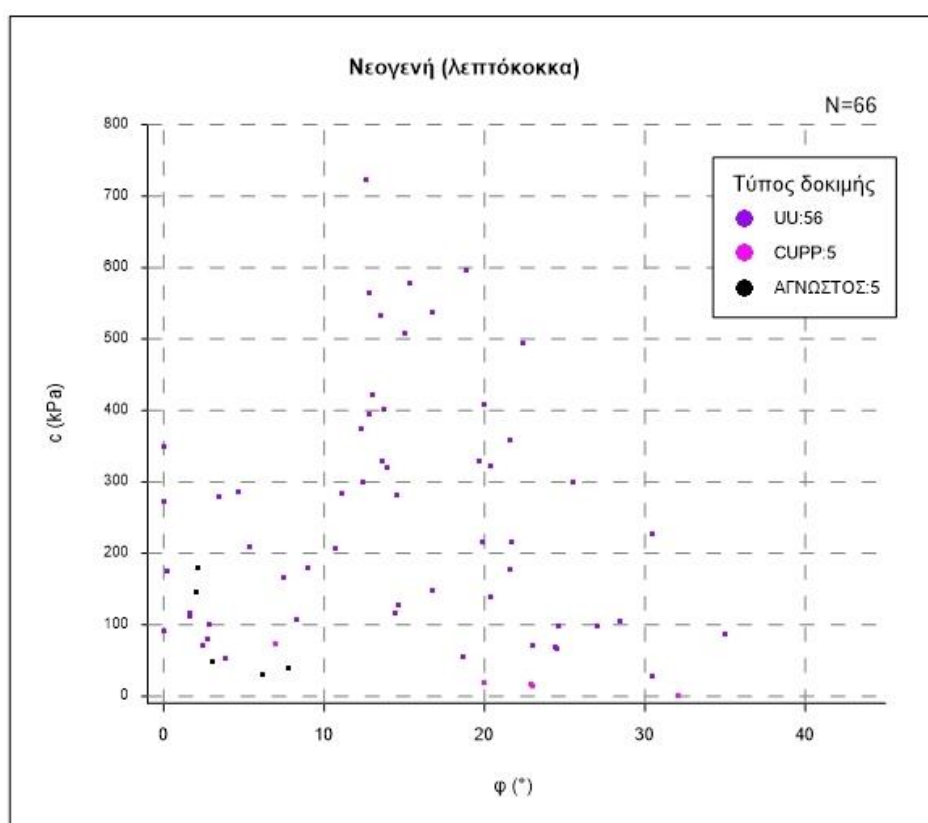


Εικόνα 4.29. Απεικόνιση ζευγών συνοχής και γωνίας τριβής από δοκιμές άμεσης διάτμησης για τα λεπτόκοκκα υλικά των Νεογενών αποθέσεων.

4.4.1.2.3 Δοκιμές τριαξονικής φόρτισης

Χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα από 111 δοκιμές τριαξονικής φόρτισης για τους λεπτόκοκκους σχηματισμούς (45 για τις Τεταρτογενείς και 66 για τις Νεογενείς αποθέσεις). Εκτελέστηκαν δύο τύποι δοκιμών σε κάθε περίπτωση. Αυτές είναι η ταχεία δοκιμή χωρίς στερεοποίηση και αποστράγγιση (UU) και η δοκιμή με στερεοποίηση, χωρίς αποστράγγιση με μέτρηση της πίεσης του νερού των πόρων (CUPP). Σε αυτά τα διαγράμματα προβάλλονται οι παράμετροι διατμητικής αντοχής, δηλαδή οι τιμές της συνοχής (c) και γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) όπως προσδιορίστηκαν από τις δοκιμές.

Για τις Νεογενείς αποθέσεις εκτελέστηκαν 56 δοκιμές UU, 5 δοκιμές CUPP και 5 δοκιμές των οποίων ο τύπος δεν προσδιορίζεται στα μητρώα των γεωτρήσεων (εικόνα 4.30). Στο διάγραμμα παρατηρείται μια διάσπαρτη συγκέντρωση των τιμών c και ϕ . Για την γωνία εσωτερικής τριβής και για τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 0° - 10° και 20° - 30° παρατηρούνται τιμές συνοχής που φτάνουν μέχρι και τα 300 KPa. Για τιμές ϕ που κυμαίνονται μεταξύ 10° - 20° παρατηρούνται τιμές συνοχής που κυμαίνονται μεταξύ 300 και 600 KPa.

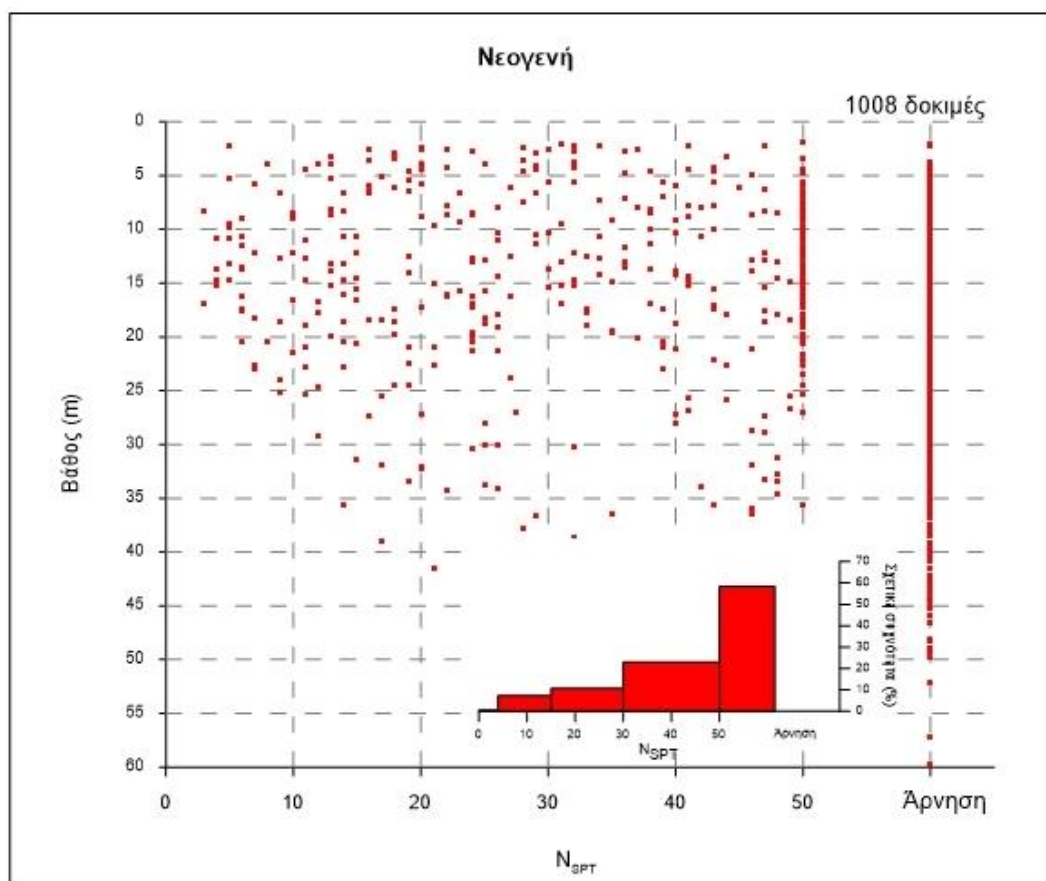


Εικόνα 4.30. Απεικόνιση ζευγών συνοχής και γωνίας τριβής από δοκιμές τριαξονικής φόρτισης για τα λεπτόκοκκα υλικά των Νεογενών αποθέσεων.

4.4.2 Επί τόπου δοκιμές

4.4.2.1 Πρότυπη δοκιμή διείσδυσης

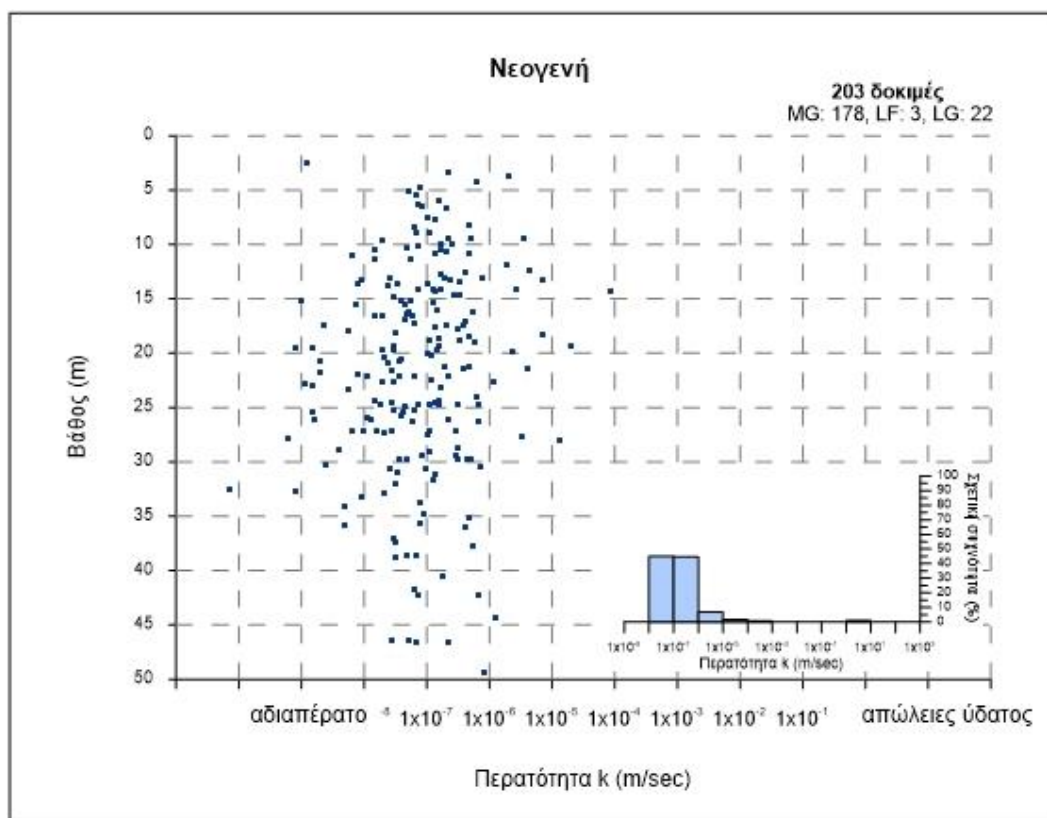
Στην Εικόνα 4.31 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών SPT με το βάθος για τις Νεογενείς αποθέσεις. Είναι ευδιάκριτο το γεγονός ότι επικρατούν τιμές μεγαλύτερες από 30, με την πλειονότητα των μετρήσεων (~60%) να είναι μεγαλύτερες από 50 υποδηλώνοντας άρνηση διείσδυσης του δειγματολήπτη. Οι τιμές αυτές προσδίδουν στα Νεογενή έναν πυκνό έως πολύ πυκνό χαρακτήρα για τα αδρόκοκκα υλικά και στιφρό έως πολύ στιφρό για τα λεπτόκοκκα. Μια ακόμη παρατήρηση σχετικά με τη διακύμανση των τιμών SPT, είναι πως αυτές αυξάνονται με το βάθος, γεγονός που οφείλεται στη βελτίωση της ποιότητας των σχηματισμών.



Εικόνα 4.31. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Νεογενείς αποθέσεις.

4.4.2.2 Επί τόπου δοκιμές περατότητας

Στην Εικόνα 4.32 παρουσιάζονται οι τιμές περατότητας των Νεογενών αποθέσεων. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι πρόκειται για σχηματισμούς με χαμηλές έως πολύ χαμηλές τιμές περατότητας, οι οποίες κυμαίνονται από 10^{-8} έως 10^{-6} m/sec. Αυτό συμβαίνει διότι ο σχηματισμός των Νεογενών αποτελείται κατά κύριο λόγο από λεπτόκοκκα υλικά χαμηλής έως πολύ χαμηλής περατότητας που σε κάποιες περιπτώσεις χαρακτηρίζονται και ως αδιαπέρατα.



Εικόνα 4.32. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις.

Από την αξιολόγηση των παραπάνω διαγραμμάτων καθώς και από τις περιγραφές των γεωτρήσεων, είναι σαφές ότι οι παράμετροι αντοχής παρουσιάζουν υψηλές τιμές λόγω της φύσης του υλικού των Νεογενών αποθέσεων. Έτσι το SPT παίρνει τιμές μεγαλύτερες από 40 και το q_m κυμαίνεται από 0,25-1 MPa. Αντίστοιχα οι τιμές για την περατότητα κυμαίνονται από 10^{-8} έως 10^{-6} m/sec.

4.5 Ενότητα Χορτιάτη

Η ενότητα Χορτιάτη αποτελεί το υπόβαθρο της περιοχής έρευνας. Αυτό αποτελείται από γνευσίους, γνευσιοσχιστόλιθους, πρασινοσχιστόλιθους και σχιστοψαμμίτες.

Σύμφωνα με τις περιγραφές των γεωτρήσεων παρουσιάζεται ως ασθενής έως ισχυρός γνεύσιος/πρασινοσχιστόλιθος, ελαφρά έως έντονα αποσαθρωμένος και κερματισμένος. Κατά τόπους εμφανίζεται έντονα εξαλλοιωμένος και οξειδωμένος στις επιφάνειες των ασυνεχειών.

Το χρώμα του ποικίλει από καστανόλευκο, πρασινόλευκο, πρασινωπό έως καστανοπράσινο. Συναντάται κυρίως σε μεγάλα βάθη, εκτός από τις περιοχές όπου εμφανίζεται επιφανειακά όπως για παράδειγμα σε γεωτρήσεις στις Σαράντα Εκκλησιές που εμφανίζεται στα πρώτα 5 μέτρα.

Μερικές τυπικές εικόνες της ενότητας Χορτιάτη από τους πυρήνες δειγματοληψίας των γεωτρήσεων παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 4.33, 4.34).



Εικόνα 4.33. Ενότητα Χορτιάτη, γεώτρηση TDSP22 στην περιοχή Αγ. Σοφία. Περιγραφή: Πρασινωπού χρώματος γενύσιος, κερματισμένος, οξειδωμένος με παρουσία χαλαζιακών φλεβών. (από Μετρό Θεσσαλονίκης).



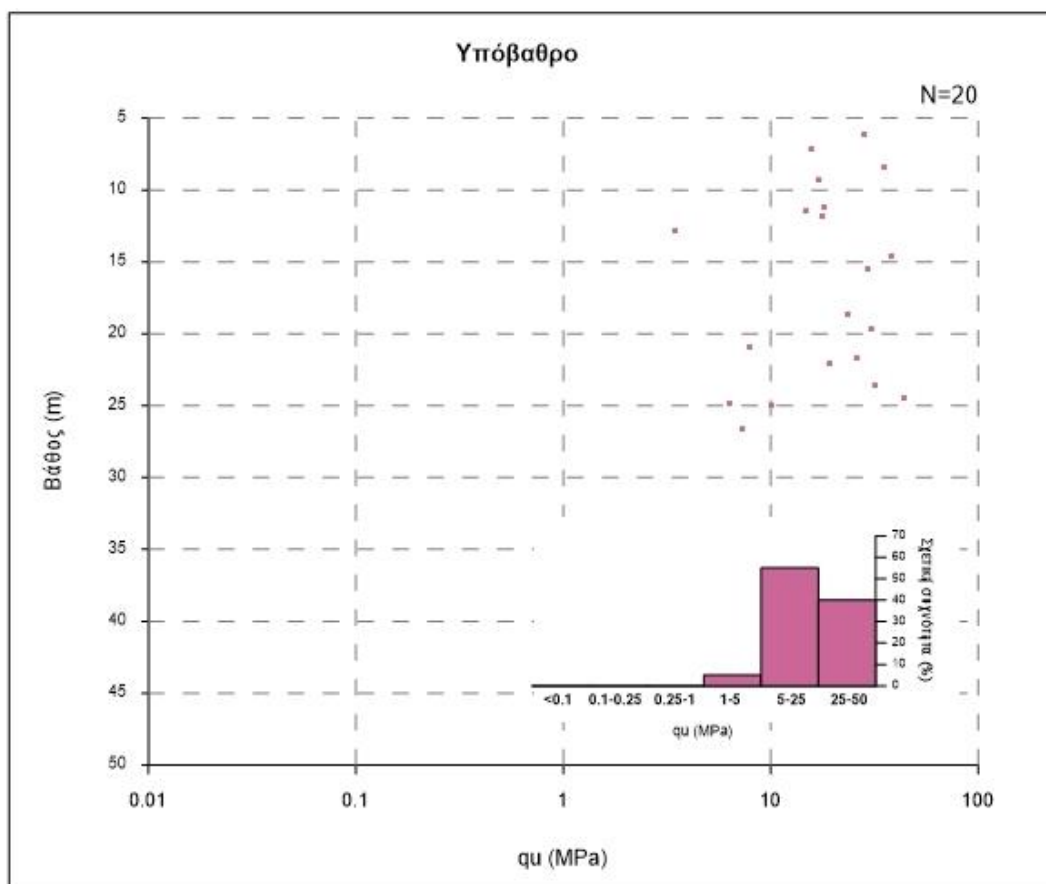
Εικόνα 4.34. Ενότητα Χορτιάτη, γεώτρηση TDSP25 στην περιοχή Αγ. Σοφία. Περιγραφή: Ασθενής έως ισχυρός, γκριζοπράσινος γενύσιος ελαφρά αποσαθρωμένος, μέτρια κερματισμένος, οξειδωμένος στις επιφάνειες ασυνέχειας (από Μετρό Θεσσαλονίκης).

4.5.1 Εργαστηριακές δοκιμές

4.5.1.1 Μηχανικά χαρακτηριστικά

4.5.1.1.1 Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη

Από την Εικόνα 4.35 και την αξιολόγηση των τιμών της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη για το Αλπικό υπόβαθρο προκύπτει ότι στο σύνολο τους (~95%) είναι μεγάλες έως πολύ μεγάλες ($q_u > 5 \text{ MPa}$) προσδίδοντας στο σχηματισμό υψηλές αντοχές. Πιο συγκεκριμένα, το 55% περιορίζεται σε τιμές $q_u = 5-25 \text{ MPa}$, ενώ το υπόλοιπο 40% παίρνει τιμές $q_u = 25-50 \text{ MPa}$.

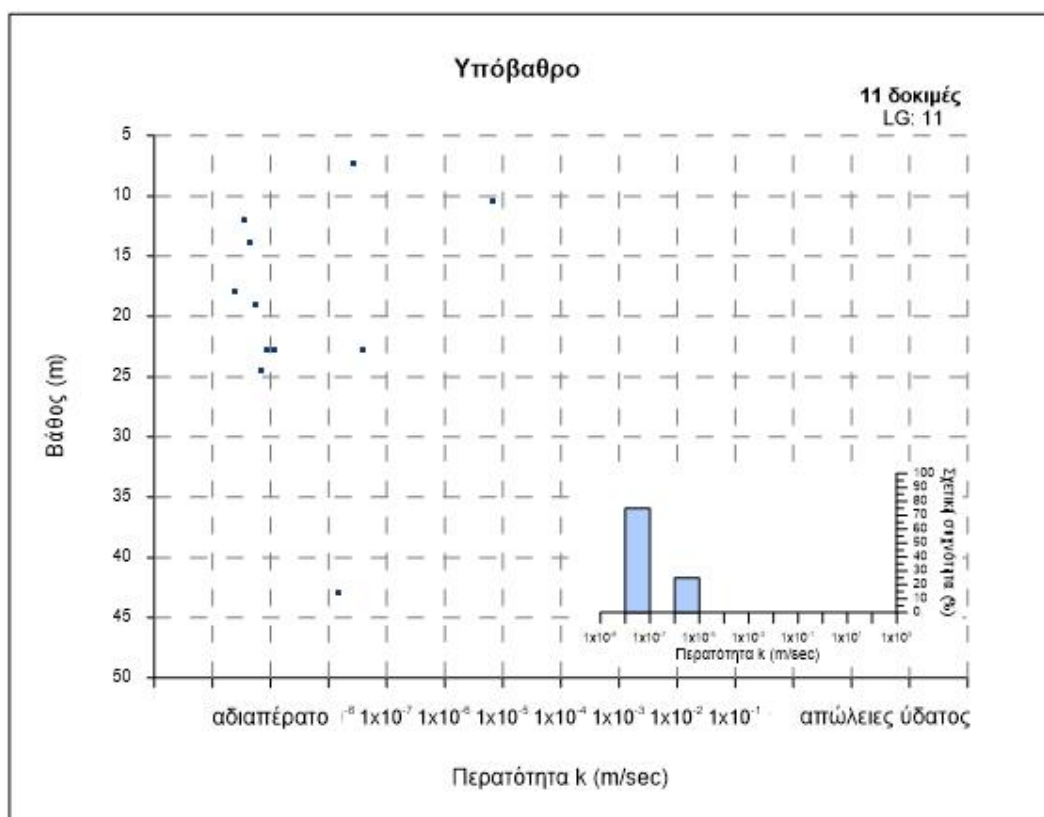


Εικόνα 4.35. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για την ενότητα Χορτιάτη.

4.5.2 Επί τόπου δοκιμές

4.5.2.1 Επί τόπου δοκιμές περατότητας

Στην Εικόνα 4.36 παρουσιάζονται οι τιμές περατότητας του Αλπικού υποβάθρου. Από το διάγραμμα φαίνεται πως στην πλειονότητα τους (~75%) οι τιμές του συντελεστή υδροπερατότητας είναι πολύ μικρές και κυμαίνονται από 10^{-8} έως 10^{-7} m/sec. Σε ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης μπορεί να απαντάται αυξημένη περατότητα η οποία ελέγχεται από την πυκνότητα και την κατάσταση των ασυνεχειών του σχηματισμού και δεν υπερβαίνει την τιμή 10^{-5} m/sec. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο αριθμός των δοκιμών είναι μικρός για την εξαγωγή ενός ασφαλούς συμπεράσματος.



Εικόνα 4.36. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για την ενότητα Χορτιάτη.

Είναι σαφές ότι οι παράμετροι αντοχής παρουσιάζουν υψηλές τιμές λόγω της φύσης του υλικού. Ωστόσο, παρατηρούνται και κάποιες περιοχές όπου ο σχηματισμός είναι αποσπασμένος, εξαλλοιωμένος ή/και κερματισμένος. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όπως είναι λογικό, αυτός εμφανίζεται λιγότερο ισχυρός.

Με βάση την προαναφερθείσα αξιολόγηση των σχηματισμών, προέκυψε ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 4.2) στον οποίο προτείνονται φάσματα τιμών για τις διάφορες παραμέτρους. Σύμφωνα με αυτόν παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές στους Νεογενείς από ότι στους Τεταρτογενείς σχηματισμούς. Αυτό, βέβαια είναι λογικό αφού οι Τεταρτογενείς αποθέσεις είναι πρόσφατες, αποτελούνται από χαλαρά και μαλακά ιζήματα τα οποία δεν έχουν υποστεί διαγένεση, με αποτέλεσμα να έχουν μικρότερες αντοχές και να παρουσιάζουν πτωχότερα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά από τις Νεογενείς. Οι Τεχνητές επιχώσεις είναι χαλαροί έως πολύ χαλαροί σχηματισμοί, χωρίς πλαστικότητα και παρουσιάζουν ιδιαιτέρως χαμηλές τιμές SPT και q_u . Αντίστοιχα, οι Πρασινοσχιστόλιθοι παρουσιάζουν μεγάλες αντοχές, ιδίως στις περιπτώσεις όπου συναντώνται υγιείς. Ως προς την περατότητα, αυτή αυξάνεται στις θέσεις που ο πρασινοσχιστόλιθος εμφανίζεται κερματισμένος. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί πως ο αριθμός των δεδομένων για το συγκεκριμένο σχηματισμό ήταν πολύ περιορισμένος και επομένως επισφαλής για την εξαγωγή ορθών συμπερασμάτων.

Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι πως οι τιμές που εξήχθησαν από την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση είναι πιο εντοπισμένες και παρουσιάζουν μικρότερα εύρη από αυτές που έχουν δοθεί για τους διάφορους σχηματισμούς σύμφωνα με τον τεχνικογεωλογικό χάρτη του Ρόζου (Πίνακας 3.1).

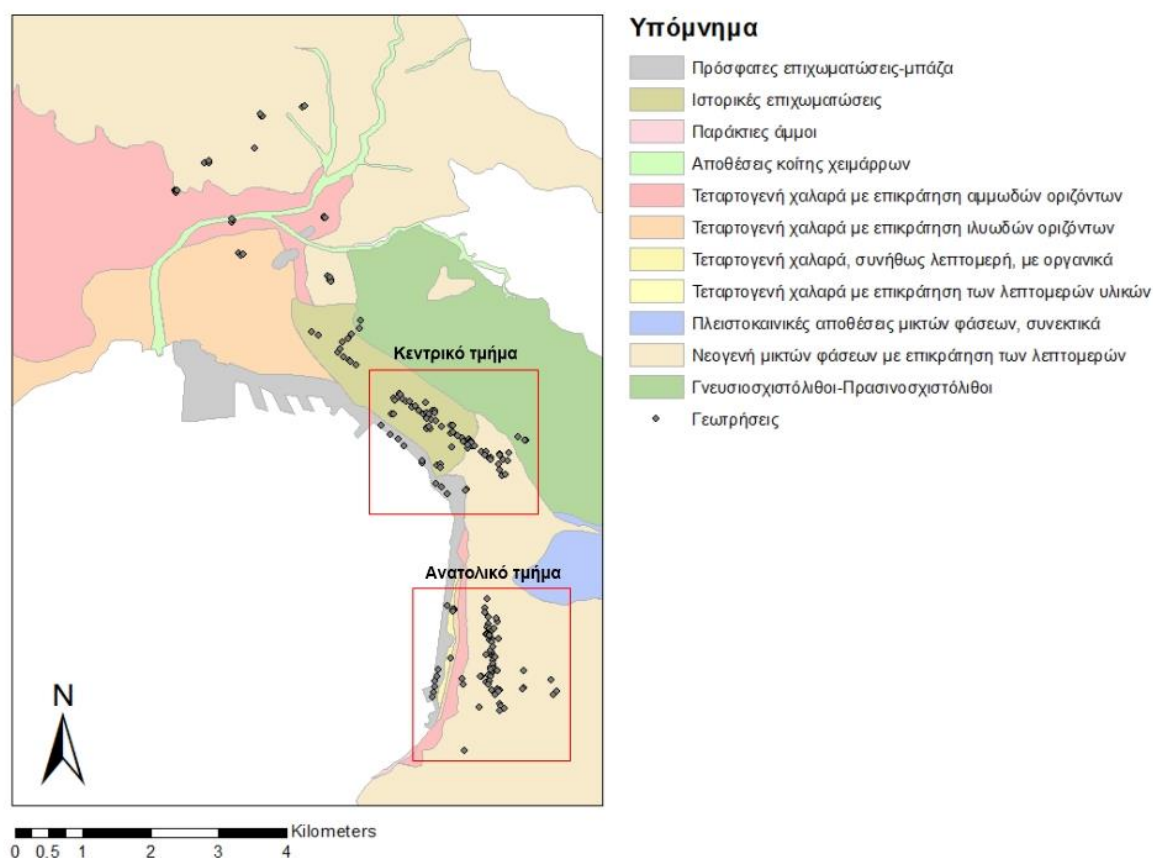
Πίνακας 4.2. Συγκεντρωτικός πίνακας με τιμές παραμέτρων για τους σχηματισμούς σύμφωνα με την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση, συνολικά για την περιοχή έρευνας.

Σχηματισμός	PL	LL	Ic	c (MPa)	ϕ (°)	q_u (MPa)	SPT	k (m/s)
Τεχνητές επιχώσεις	-	-	-	-	-	<0,1	4-15	10^{-7} - 10^{-4}
Τεταρτογενείς αποθέσεις	7-30	4-35	0,5-1	0-30	15-30	<0,25	4-30	10^{-7} - 10^{-5}
Νεογενείς αποθέσεις	15-35	25-50	≥ 1	15-60	20-40	0,25-1	>40	10^{-8} - 10^{-6}
Πρασινοσχιστόλιθοι	-	-	-	-	-	25-70	-	$< 10^{-7}$

5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ

5.1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται μια πιο λεπτομερής τεχνικογεωλογική αξιολόγηση σε δύο συγκεκριμένες περιοχές του λεκανοπεδίου. Επιλέχθηκαν το κεντρικό και ανατολικό τμήμα της πόλης (Εικόνα 5.1), για τα οποία είναι διαθέσιμο ένα πυκνό δίκτυο γεωτρήσεων και επομένως ένας ικανός αριθμός δεδομένων προς επεξεργασία και αξιολόγηση.



Εικόνα 5.1. Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης όπου φαίνονται οι δυο περιοχές, κλίμακα 1:25.000, ΙΓΜΕ, 1998 (Ρόζος Δ. et al 1998).

Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά δεδομένα 159 γεωτρήσεων (81 για το κεντρικό και 78 για το ανατολικό τμήμα) από δημοσιευμένα στοιχεία της κύρια γραμμής του Μετρό, το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (ΚΕΔΕ) και τη Γεώγνωση Α.Ε. Από το σύνολο των στοιχείων και για τους σκοπούς του συγκεκριμένου κεφαλαίου επιλέχθηκαν να αξιολογηθούν τα διαθέσιμα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά όπως έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο, χρήσιμα για την έρευνα της μηχανοποιημένης διάνοιξης.

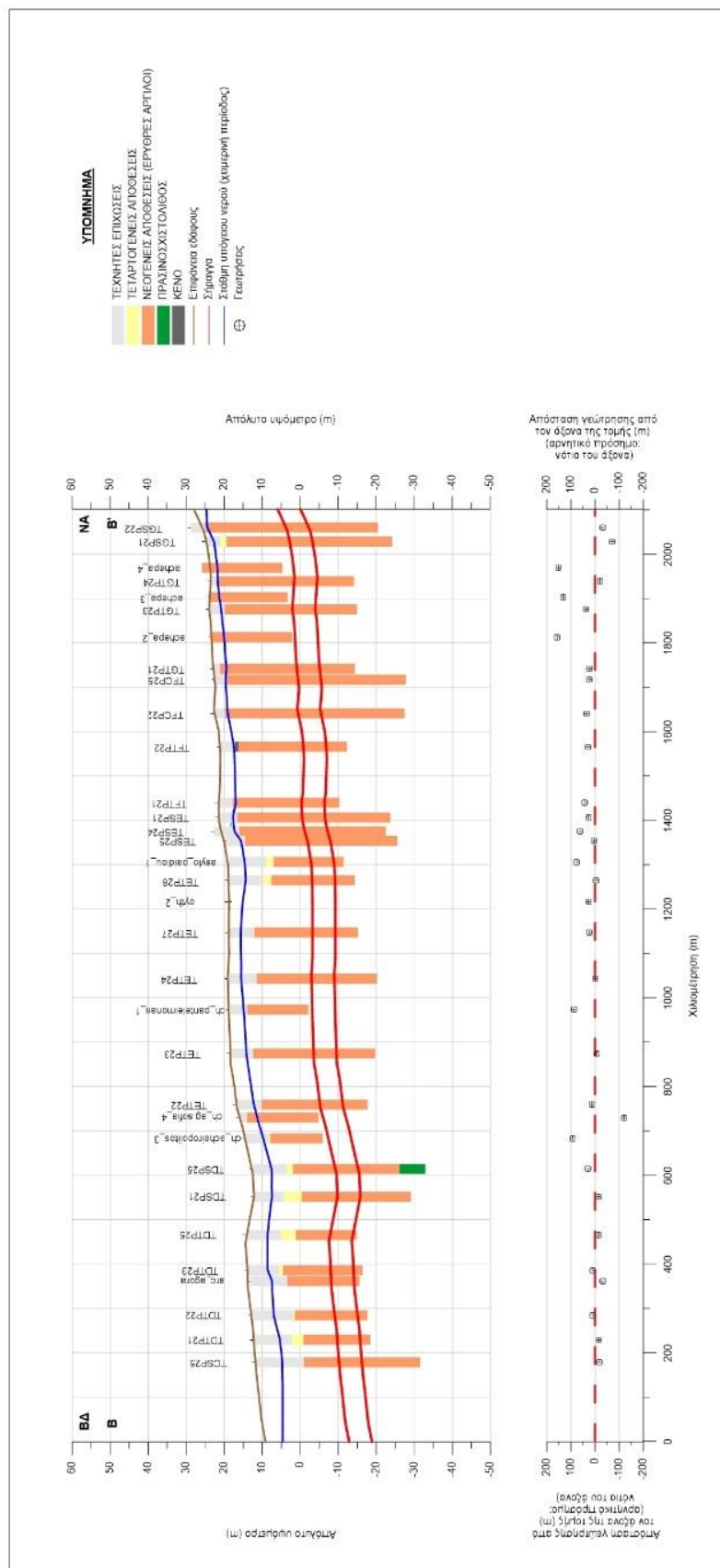
Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν παρουσιάζονται οι ταξινομήσεις που έγιναν για τους σχηματισμούς που συναντώνται στο λεκανοπέδιο Θεσσαλονίκης. Η παρουσίαση αυτών των αποτελεσμάτων γίνεται ανά περιοχή. Αξιολογούνται έτσι, όλες οι γεωτρήσεις που αναφέρονται στις δύο υπό μελέτη περιοχές και εξάγονται χρήσιμα διαγράμματα ιδιοτήτων και στατιστικές κατανομές, από τα οποία προκύπτουν ειδικά συμπεράσματα για κάθε περιοχή. Παράλληλα, κατασκευάζονται γεωλογικές-τεχνικογεωλογικές μηκοτομές που περιλαμβάνουν συγκεκριμένο αριθμό γεωτρήσεων, και τέλος προτείνονται ενδεικτικές διατομές για συγκεκριμένες θέσεις κατά μήκος αυτών των μηκοτομών.

5.2 Κεντρικό τμήμα

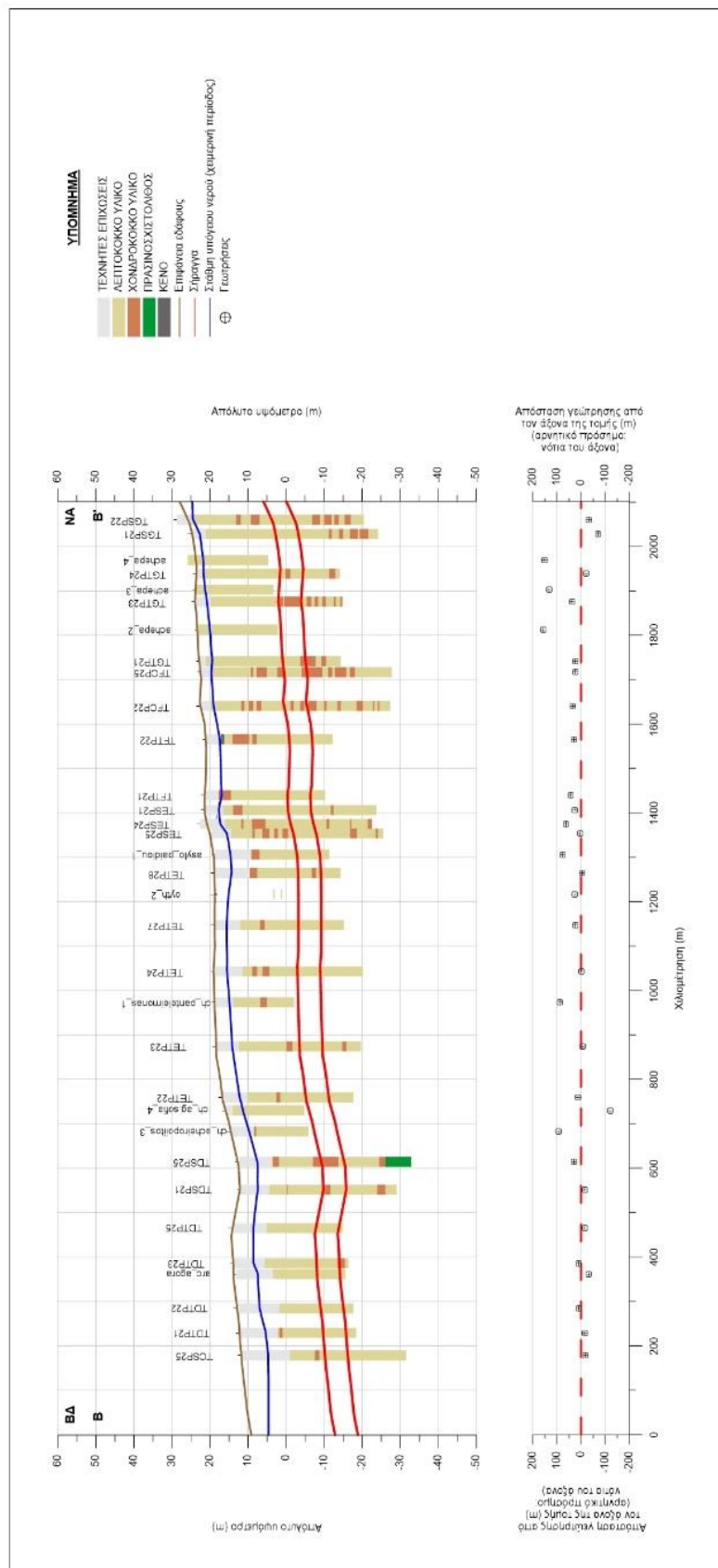
Η πρώτη υπό εξέταση περιοχή είναι αυτή του κεντρικού τμήματος. Αυτό ξεκινάει περίπου από την περιοχή της Βενιζέλου και καταλήγει στην περιοχή του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου στο ύψος της οδού 3^{ης} Σεπτεμβρίου (Εικόνα 5.2). Κατά μήκος της οδού Εγνατίας (B-B') και με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ κατασκευάζονται οι παρακάτω μηκοτομές (Εικόνες 5.3, 5.4, 5.5, 5.6).



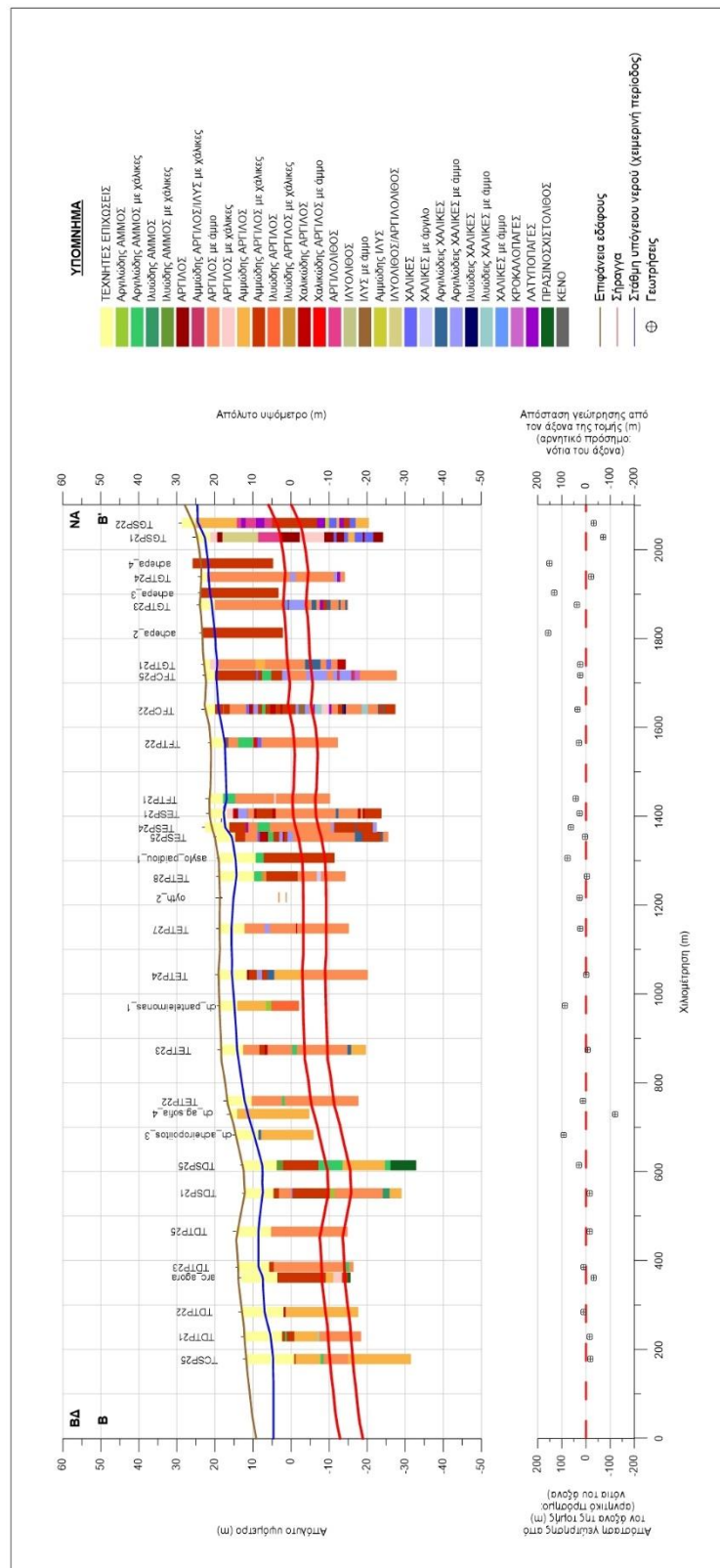
Εικόνα 5.2. Τομή B-B' κατά μήκος της οδού Εγνατίας για το Κεντρικό τμήμα.



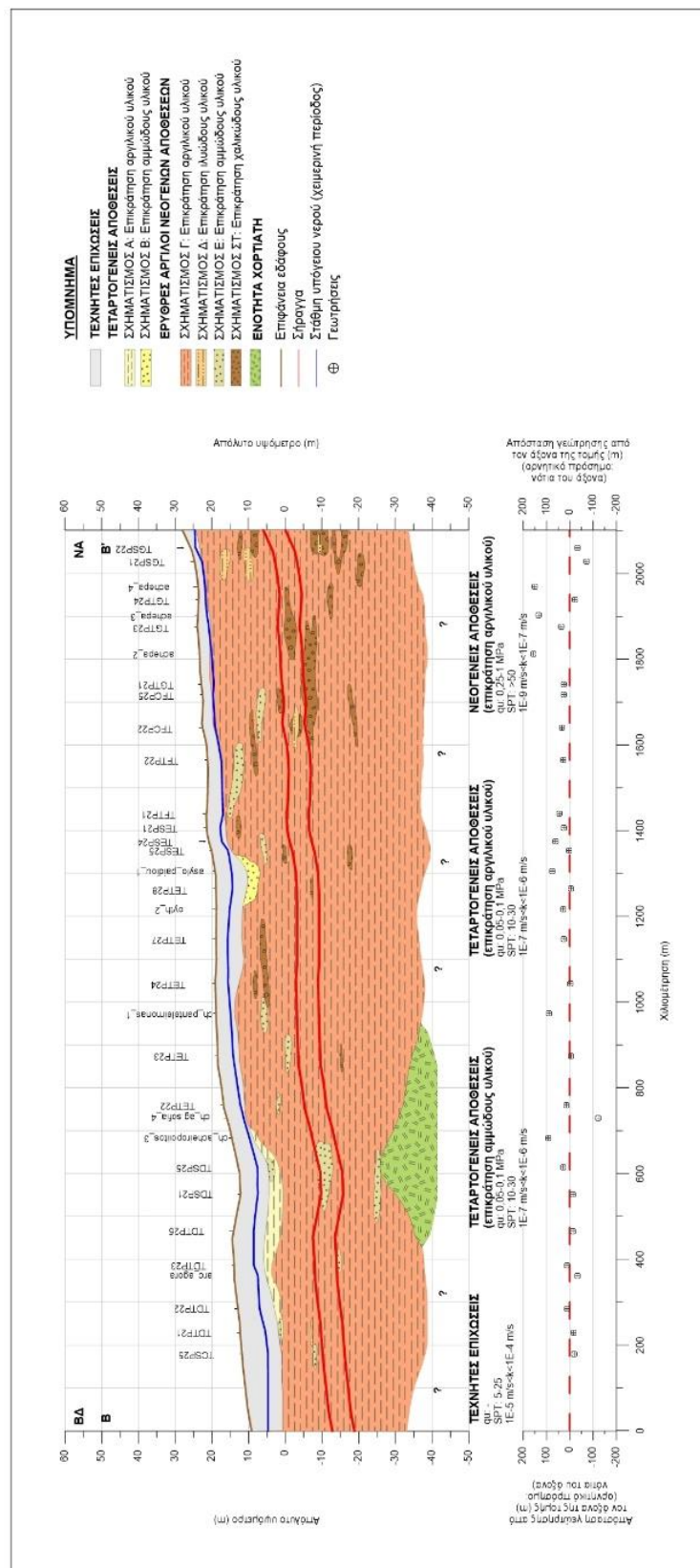
Εικόνα 5.3. Παράδειγμα γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής (B-B', BΔ-NA) όπου φαίνονται οι γεωλογικές ενότητες κατά μήκος της χάραξης για το Κεντρικό τμήμα.



Εικόνα 5.4. Παράδειγμα γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής (B-B', BΔ-NA) όπου φαίνεται η επικράτηση κοκκομετρίας γεωυλικών κατά μήκος της χάραξης για το Κεντρικό τμήμα.



Εικόνα 5.5. Παράδειγμα γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής (B-B', BΔ-NA) όπου παρουσιάζονται αναλυτικά οι γεωλογικές περιγραφές κατά μήκος της χάραξης για το Κεντρικό τμήμα.



Εικόνα 5.6. Παράδειγμα λεπτομερούς γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκτομής (B-B', BΔ-NA) για το Κεντρικό τμήμα.

Σύμφωνα με τη μηκοτομή της Εικόνας 5.3 είναι εμφανής η επικράτηση των Νεογενών αποθέσεων έναντι των Τεταρτογενών, ενώ από τη μηκοτομή της Εικόνας 5.4 φαίνεται σαφώς η επικράτηση των λεπτόκοκκων υλικών σε σχέση με τα χοδρόκοκκα. Στην αναλυτική παρουσίαση των γεωλογικών περιγραφών κατά μήκος της χάραξης που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.5 φαίνεται η επικράτηση της της αργίλου με τις διάφορες προσμίξεις. Με βάση αυτές τις μηκοτομές κατασκευάζεται η πλέον λεπτομερής γεωλογική-τεχνικογεωλογική μηκοτομή της Εικόνας 5.6.

Σύμφωνα με αυτή, οι Ερυθρές άργιλοι των Νεογενών αποθέσεων αποτελούνται κυρίως από υλικά αργιλικής σύστασης. Παρατηρούνται ωστόσο και φακοί περισσότερο αδρομερούς σύστασης, τόσο εντός της περιοχής της σήραγγας, όσο και πάνω από αυτήν. Στο σύνολο της η σήραγγα διέρχεται μέσα από τις Ερυθρές αργίλους, το πάχος των οποίων κυμαίνεται από 17 έως 47 μέτρα.

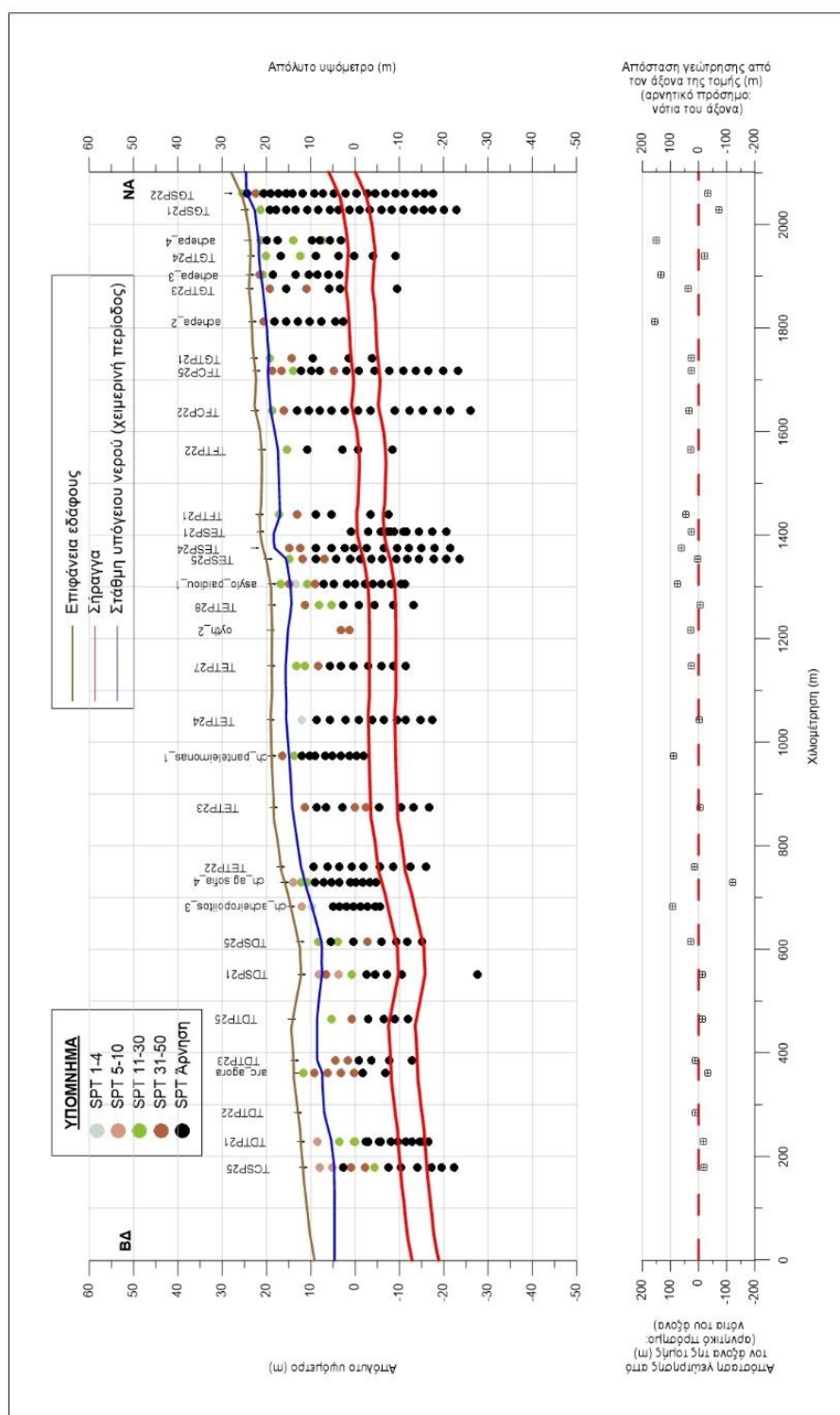
Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις αποτελούνται από υλικά αμμόδους και αργιλικής σύστασης. Το μέγιστο παρατηρούμενο πάχος αυτού του σχηματισμού ανέρχεται στα 3 μέτρα, γεγονός που καθιστά αρκετά περιορισμένη την έκταση αυτού του στρώματος. Οι θέσεις όπου παρατηρούνται τα Τεταρτογενή είναι από την πλατεία Αριστοτέλους έως την περιοχή της Αγ. Σοφίας καθώς και στην περιοχή του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου στο ύψος της οδού Αγγελάκη. Η ύπαρξη παλαιών ρεμάτων σε αυτές τις περιοχές συνδέεται με τη θέση και τη δομή των Τεταρτογενών σχηματισμών. Η συσχέτιση σχετικά με την προέλευση αυτών των σχηματισμών γίνεται αντιληπτή από την κατανομή των γεωυλικών, όπως παρουσιάζονται στη μηκοτομή. Το εύρος τους είναι περιορισμένο τόσο σε βάθος όσο και σε μήκος, ενώ παράλληλα η δομή τους προσομοιάζει με αυτή των λεκανών.

Οι Τεχνητές επιχώσεις παρατηρούνται σε όλο το μήκος της περιοχής. Το πάχος τους, όπως φαίνεται στη μηκοτομή, παρουσιάζει μια ανομοιομορφία. Αυτή οφείλεται στην ύπαρξη του αρχαιολογικού στρώματος στην περιοχή του Ιστορικού κέντρου της πόλης. Το πάχος αυτών ανέρχεται μέχρι τα 13 μέτρα. καθιστώντας έτσι ιδιαίτερα επίφοβες αυτές τις περιοχές ως προς την τεχνικογεωλογική τους απόκριση.

Εκτός από τις τομές που κατασκευάστηκαν για το Κεντρικό τμήμα και παρουσιάζουν την κατανομή και επικράτηση των σχηματισμών, κρίνεται απαραίτητη και η αξιολόγηση των τιμών SPT και περατότητας με το βάθος κατά μήκος της χάραξης.

Δοκιμές πρότυπης διείσδυσης

Οι δοκιμές πρότυπης διείσδυσης εκτελέστηκαν σχεδόν σε όλες τις γεωτρήσεις που επιλέχθηκαν προς αξιολόγηση για το συγκεκριμένο τμήμα (Εικόνα 5.7). Ο συνολικός αριθμός των δοκιμών ανέρχεται στις 331. Τα αποτελέσματα των δοκιμών SPT κατηγοριοποιήθηκαν σε πέντε τάξεις: $N_{SPT} < 1$, $5 < N_{SPT} < 10$, $11 < N_{SPT} < 30$, $31 < N_{SPT} < 50$ και $N_{SPT} > 50$ (άρνηση).



Εικόνα 5.7. Κατανομή τιμών SPT με το βάθος κατά μήκος της χάραξης, για το Κεντρικό τμήμα.

Κατά μήκος της τομής, παρατηρήθηκαν διάφορες τιμές SPT, από πολύ χαμηλές έως αρνήσεις. Σχεδόν το 76% των μετρήσεων έδειξαν αρνήσεις, ενώ περίπου το 2% έδειξε τιμές μικρότερες του 10. Οι αρνήσεις παρατηρήθηκαν εξ ολοκλήρου εντός των Νεογενών αποθέσεων, ενώ οι πολύ μικρές τιμές SPT στα υπερκείμενα και κυρίως εντός των Τεταρτογενών και των Τεχνητών επιχώσεων.

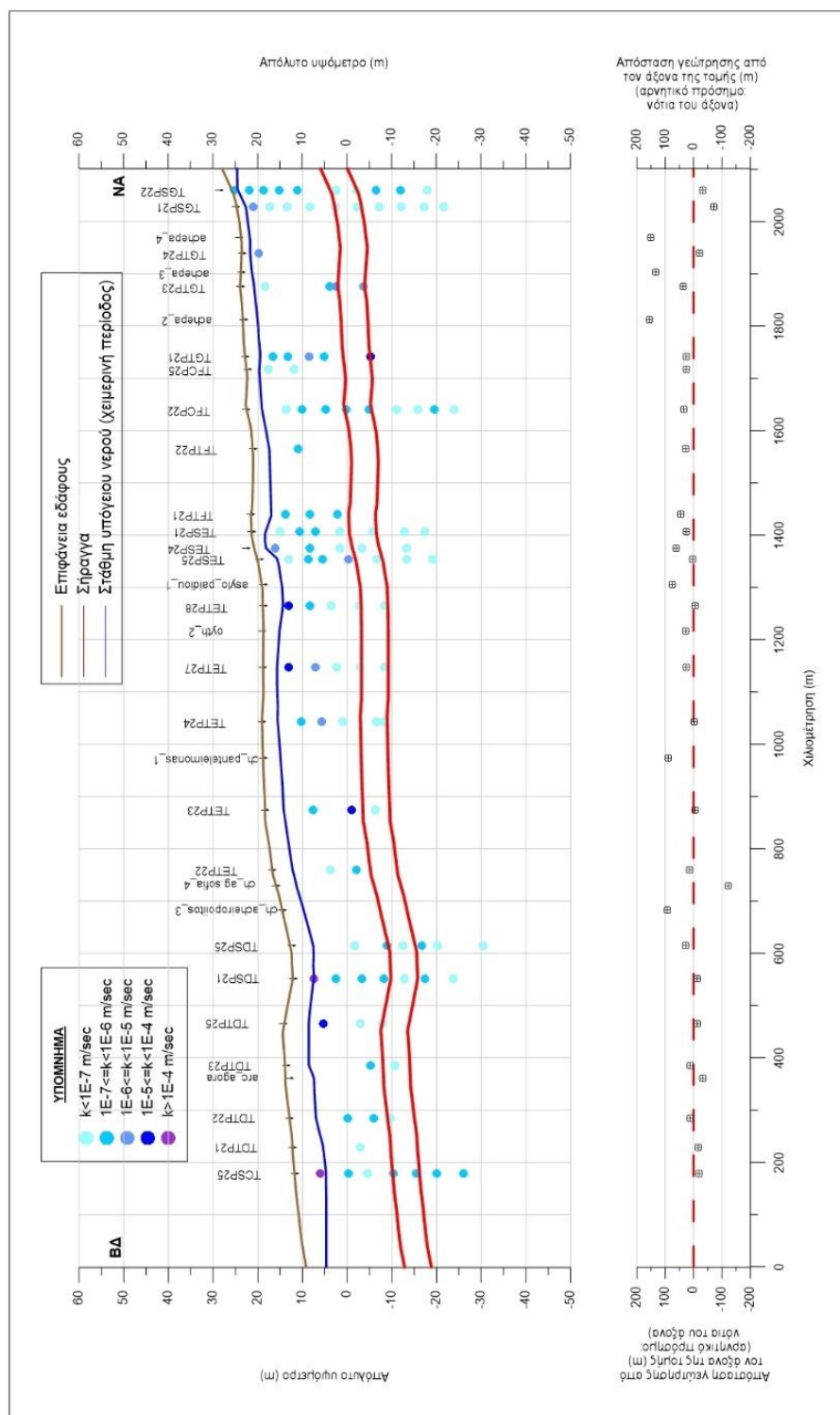
Σε μικρά βάθη και μεταξύ των χιλιομετρικών θέσεων 0+150 έως 0+700 και 1+050 έως 1+350 παρατηρούνται κυρίως μικρές τιμές (<30). Οι ζώνες όπου συναντώνται αυτές οι τιμές αποτελούνται από τις Τεταρτογενείς αποθέσεις και τα μέγιστα βάθη των Τεχνητών αποθέσεων. Τοπικά εμφανίζονται και μεγαλύτερες τιμές (31-50).

Οι αρνήσεις είναι πολλές και κυριαρχούν κατά μήκος όλης της τομής, μέσα στις Νεογενείς αποθέσεις. Αυτές παρατηρούνται τόσο σε μικρά βάθη όσο και σε μεγαλύτερα, προσδίδοντας έτσι τους σχηματισμούς αυτούς πολύ υψηλές αντοχές. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως η σήραγγα διέρχεται συνολικά μέσα στους Νεογενείς σχηματισμούς και μάλιστα σε βάθη όπου παρατηρούνται μόνο αρνήσεις.

Τέλος, στις περιοχές μεταξύ των χιλιομετρικών θέσεων 0+250 έως 0+350, 0+650 έως 0+750, 0+900 έως 1+000 και 1+750 έως 1+900 και στο βάθος της σήραγγας δεν υπάρχουν δεδομένα.

Επί τόπου δοκιμές περατότητας

Οι επί τόπου δοκιμές περατότητας εκτελέστηκαν σχεδόν σε όλες τις γεωτρήσεις που επιλέχθηκαν προς αξιολόγηση για το συγκεκριμένο τμήμα (Εικόνα 5.8). Τα αποτελέσματα των δοκιμών κατηγοριοποιήθηκαν σε πέντε τάξεις: $k < 10^{-7} \text{m/sec}$, $10^{-7} \text{m/sec} \leq k < 10^{-6} \text{m/sec}$, $10^{-6} \text{m/sec} \leq k < 10^{-5} \text{m/sec}$, $10^{-5} \text{m/sec} \leq k < 10^{-4} \text{m/sec}$ και $k > 10^{-4} \text{m/sec}$.



Εικόνα 5.8. Κατανομή περατότητας (τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας) με το βάθος κατά μήκος της χάραξης, για το Κεντρικό τμήμα.

Οι επί τόπου δοκιμές που εκτελέστηκαν είναι μεταβλητού φορτίου (Maag) και δοκιμές Lugeon. Χαρακτηριστική είναι η επικράτηση των δοκιμών μεταβλητού φορτίου (99) λόγω της έντονης παρουσίας λεπτόκοκκων εδαφικών υλικών. Οι δοκιμές Lugeon (12) εκτελέστηκαν σε διάφορους σχηματισμούς όπως είναι ο αργιλόλιθος, ο ιλυόλιθος, η μάργα, ο ψαμμίτης, τα λατυποπαγή αλλά και σχηματισμούς που είναι στο όριο μαλακών βράχων-σκληρών εδαφών.

Κατά μήκος της τομής, παρατηρήθηκαν διάφορες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας, υποδηλώνοντας σχηματισμούς διαφορετικής περατότητας. Συγκεκριμένα Το 94% των μετρήσεων έδειξε τιμές μικρότερες από 10^{-5} m/sec, ενώ μόλις το 6% έδειξε τιμές μεγαλύτερες από 10^{-5} m/sec.

Μια γενική παρατήρηση που προκύπτει είναι πως στα μεγαλύτερα βάθη και ιδίως στην περιοχή της σήραγγας οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας περιορίζονται κάτω από 10^{-6} m/sec.

Ωστόσο, παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές ($k \geq 10^{-5}$ m/sec) σε σχετικά μικρά βάθη, πάνω από τη σήραγγα. Οι τιμές αυτές είναι μεμονωμένες, παρατηρούνται σε συγκεκριμένες γεωτρήσεις και δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη εξάπλωση. Αυτή η αυξημένη περατότητα οφείλεται στο συνδιασμό της στάθμης του υπόγειου νερού, στο αυξημένο πάχος των Τεχνητών επιχώσεων και στην κατά τόπους παρουσία οριζόντων και φακών αδρόκοκκης σύστασης.

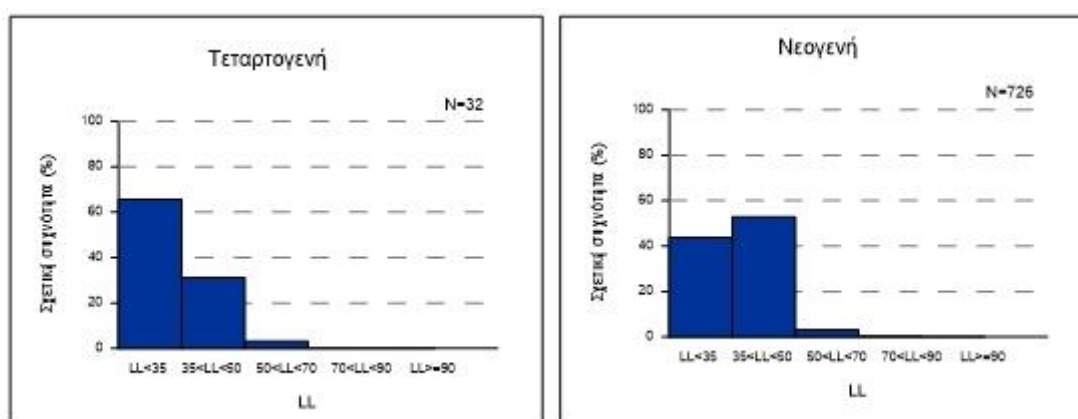
5.2.1 Εργαστηριακές δοκιμές

5.2.1.1 Φυσικά χαρακτηριστικά

5.2.1.1.1 Όρια Atterberg

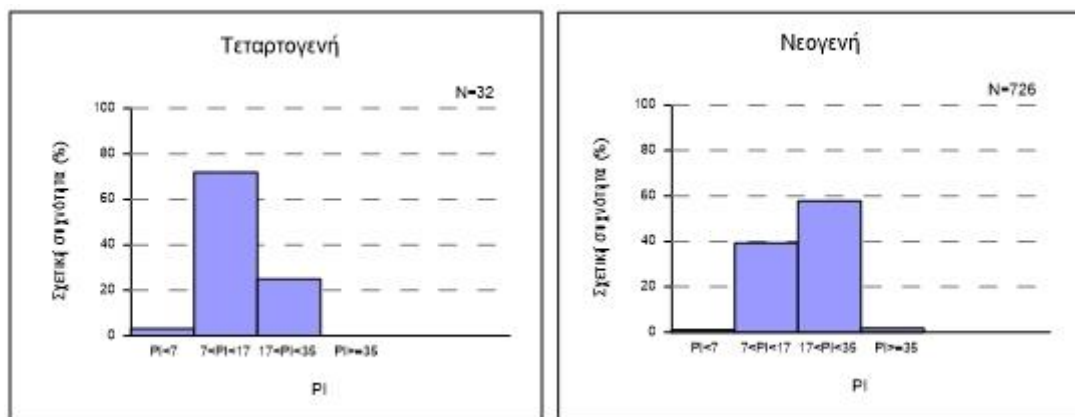
Από τη δοκιμή προσδιορισμού των ορίων Atterberg εξάγονται τα παρακάτω διαγράμματα κατανομής του ορίου υδαρότητας και δείκτη πλαστικότητας για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις για το κεντρικό τμήμα.

Από τις δοκιμές για τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg και συγκεκριμένα του ορίου υδαρότητας, σε ότι αφορά το λεπτόκοκκο κλάσμα των γεωυλικών των Τεταρτογενών Αποθέσεων (Εικόνα 5.9 α), εκτιμάται ότι επικρατούν υλικά με κυρίως χαμηλό έως μέσο όριο υδαρότητας, με αυτό να κυμαίνεται κυρίως κάτω από 35 (65%) και από 35 έως 50 (31%). Σε ότι αφορά τα λεπτόκοκκα υλικά των Νεογενών Αποθέσεων (Εικόνα 5.9 β), εκτιμάται ότι αυτά που επικρατούν έχουν χαμηλές έως μέσες τιμές πλαστικότητας, με όριο υδαρότητας μικρότερο του 35 (44%) έως και μεταξύ του 35 και του 50 (53%).



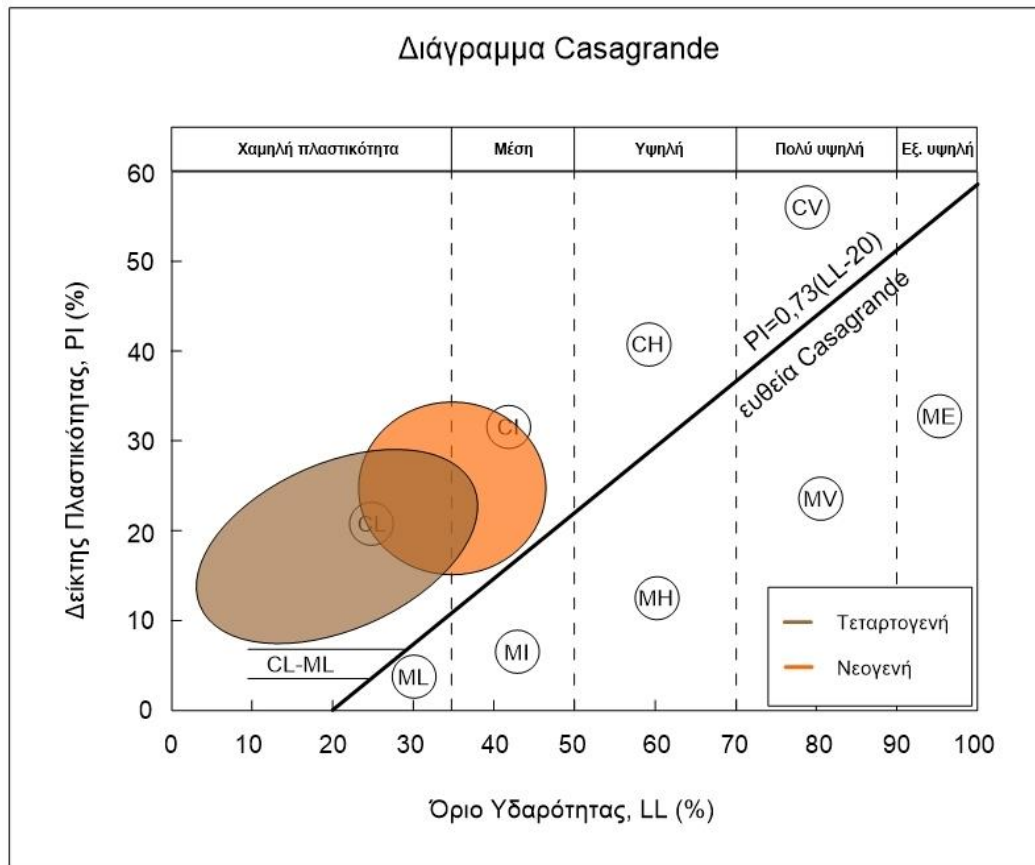
Εικόνα 5.9 α, β. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος βάσει του ορίου υδαρότητας.

Από τις δοκιμές για τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg και συγκεκριμένα του δείκτη πλαστικότητας, σε ότι αφορά το λεπτόκοκκο κλάσμα των γεωυλικών των Τεταρτογενών αποθέσεων (Εικόνα 5.10 α), εκτιμάται ότι αυτός κυμαίνεται από 7 έως 17 (72%) και από 17 έως 35 (25%), με τα υλικά να χαρακτηρίζονται από μέσο έως υψηλό δείκτη πλαστικότητας. Αντίστοιχα, από τον προσδιορισμό του δείκτη πλαστικότητας των υλικών των Νεογενών αποθέσεων (Εικόνα 5.10 β) εκτιμάται ότι πρόκειται για υλικά με ενδιάμεσο έως κυρίως υψηλό δείκτη πλαστικότητας, με εύρος από 7 έως 17 (39%) και κυρίως 17 έως 35 (58%) αντίστοιχα.



Εικόνα 5.10 α, β. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος βάσει του δείκτη πλαστικότητας.

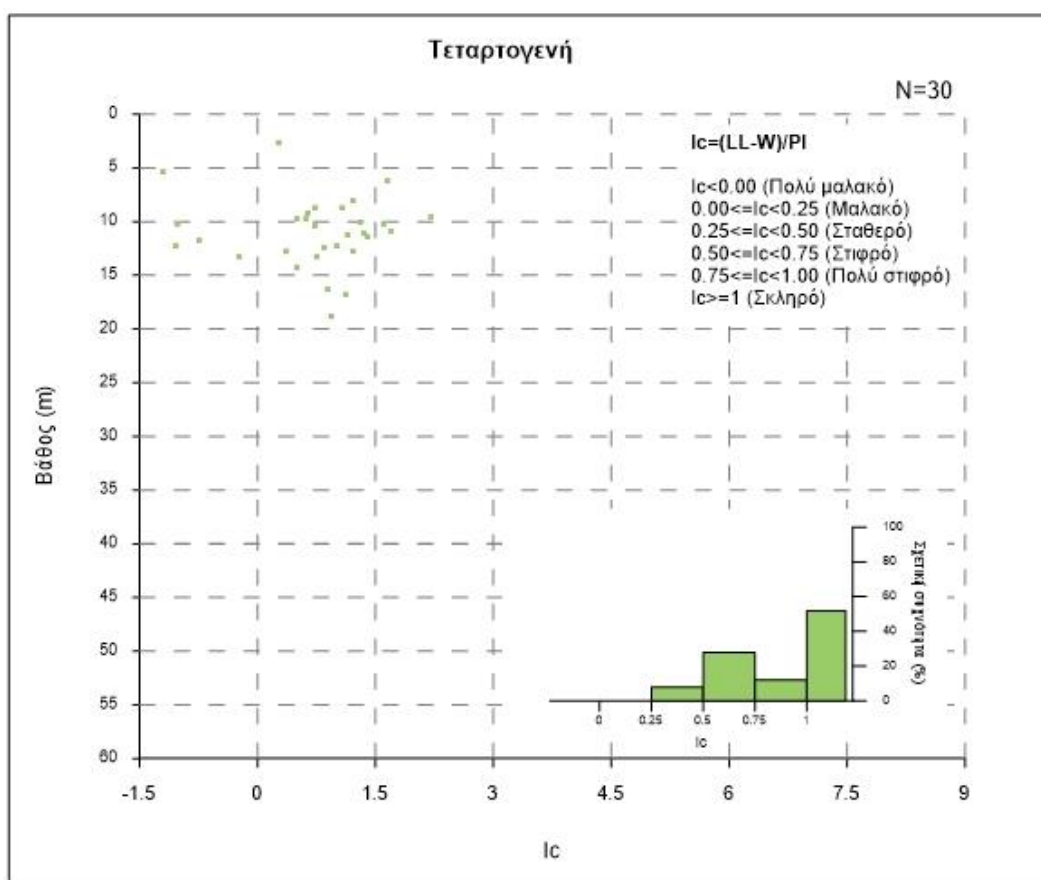
Από τον συνδυασμό των δύο μεγεθών (LL και PI) για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις, βάσει των επικρατούντων τιμών τους, προκύπτει ότι τα λεπτόκοκκα γεωυλικά εντοπίζονται κυρίως πάνω από την ευθεία Casagrande με βάση το διάγραμμα (Εικόνα 5.11) και χαρακτηρίζονται κυρίως ως χαμηλής έως οριακά ενδιάμεσης πλαστικότητας (CL-CI). Αντίστοιχα, οι Νεογενείς αποθέσεις τοποθετούνται και εκείνες πάνω από την ευθεία Casagrande, χαρακτηρίζοντας τα λεπτόκοκκα υλικά ως χαμηλής έως κυρίως μέσης πλαστικότητας (CL-CI).



Εικόνα 5.11. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών των Τεταρτογενών και Νεογενών αποθέσεων για το Κεντρικό τμήμα σύμφωνα με το διάγραμμα Casagrande.

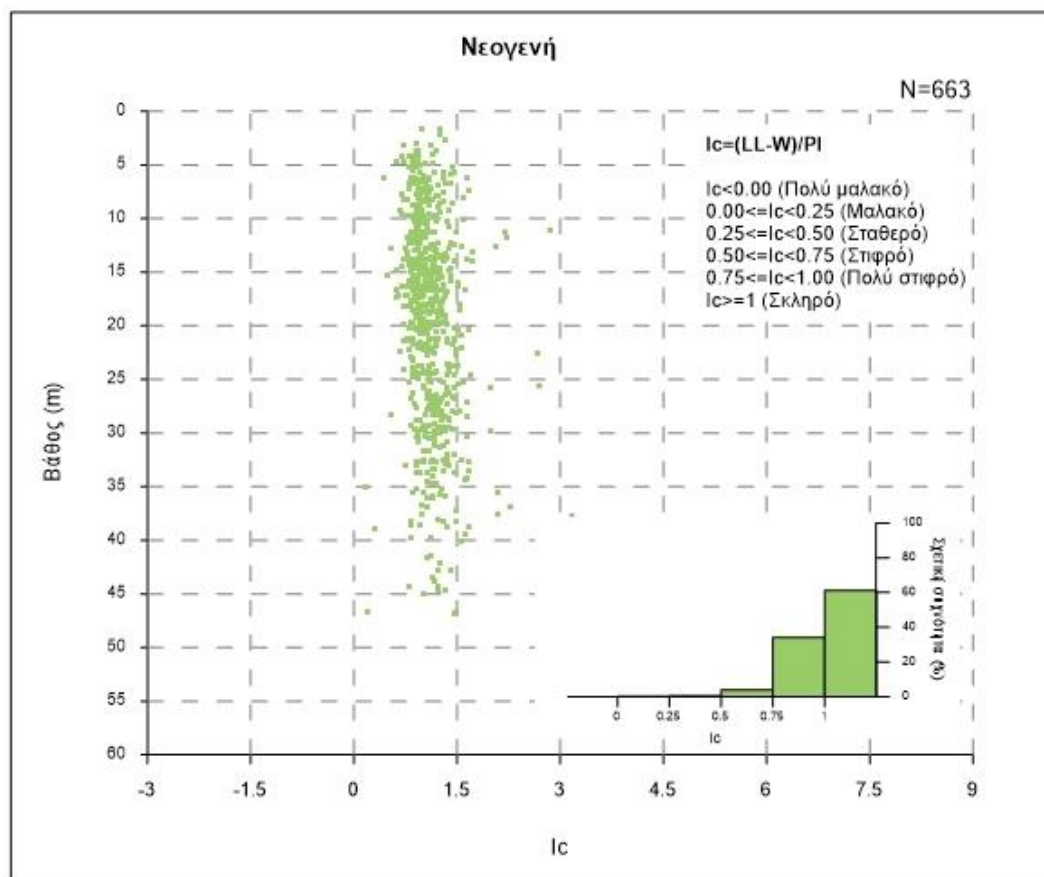
Για το δείκτη συνεκτικότητας στις Τεταρτογενείς επιχώσεις, δεν προκύπτει κάποιο διάγραμμα κατανομής τιμών εξαιτίας της έλλειψης αξιόπιστων τιμών.

Από την Εικόνα 5.12 που δείχνει την κατανομή των τιμών I_c για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις προκύπτει ότι αυτές παρουσιάζουν μια γενικότερη διασπορά. Από την στατιστική κατανομή φαίνεται πως κυμαίνονται από 0,25 έως ≥ 1 χαρακτηρίζοντας το σχηματισμό ως σταθερό έως σκληρό. Το μεγαλύτερο ποσοστό (50%) καταλαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας, ενώ παράλληλα παρατηρούνται μικρότερα ποσοστά της τάξης του 30% με τιμές I_c από 0,5 έως 0,75.



Εικόνα 5.12. Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.

Στην Εικόνα 5.13 φαίνεται η κατανομή των τιμών I_c για τις Νεογενείς αποθέσεις. Από την στατιστική κατανομή παρατηρείται πως στο σύνολο τους οι τιμές είναι μεγαλύτερες από 0,75 με αποτέλεσμα ο σχηματισμός να χαρακτηρίζεται ως σκληρός έως πολύ στιφρός. Μάλιστα, επικρατούν εκείνες που είναι μεγαλύτερες της μονάδας σε ένα υψηλό ποσοστό της τάξης του 60%.

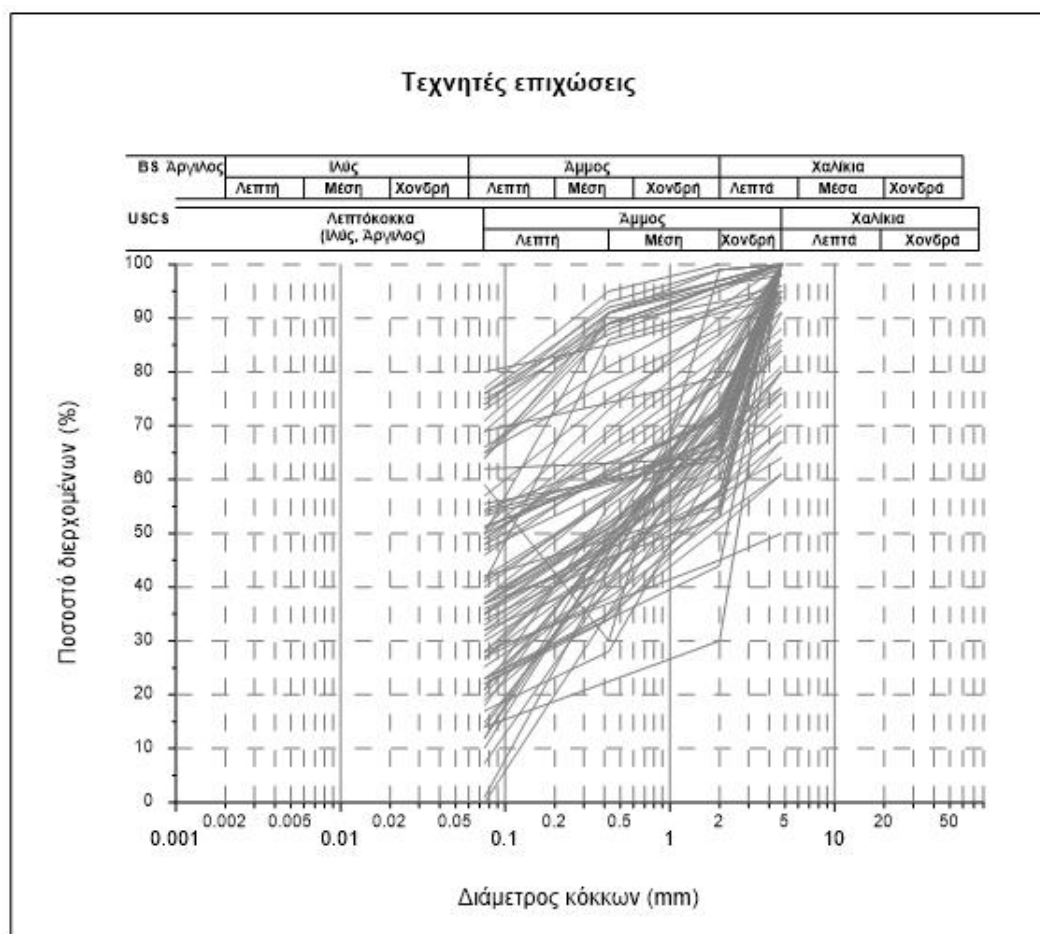


Εικόνα 5.13. Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.

5.2.1.1.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση

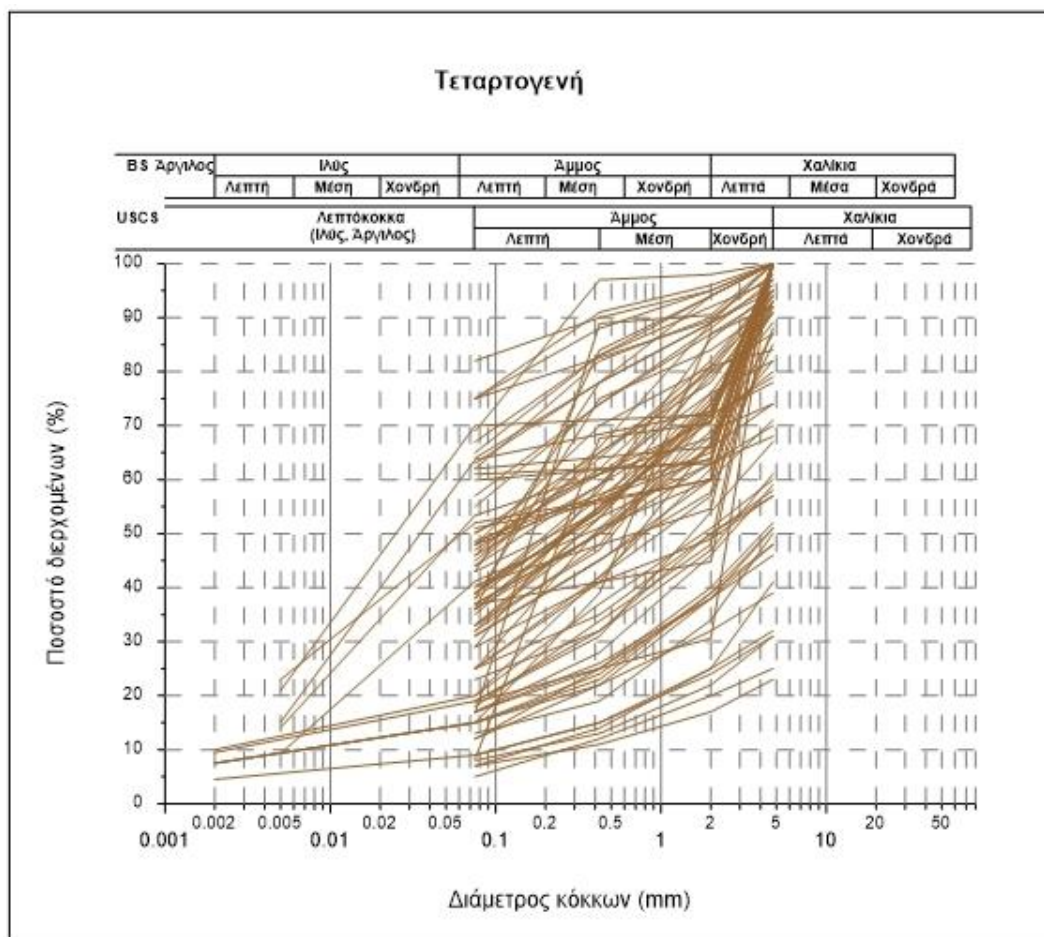
Μια γενική διαπίστωση σε σχέση με τις κοκκομετρικές καμπύλες που παρουσιάζονται είναι πως σχεδόν καμία από τις γεωτρήσεις δεν έχει μεγεθός κόκκων μικρότερο από την διαβάθμιση αργίλου-ιλύος. Αυτό συμβαίνει διότι στα μητρώα των γεωτρήσεων δεν δίνονται οι κατατάξεις των αραιομέτρων. Αυτές δίνονται στα διάφορα φύλλα των κοκκομετριών του κάθε εργαστηρίου που εκτέλεσε τις δοκιμές, τα οποία δυστυχώς δεν ήταν διαθέσιμα για τους σκοπούς της διατριβής.

Στην Εικόνα 5.14 παρουσιάζεται η κοκκομετρική διαβάθμιση των Τεχνητών επιχώσεων για το Κεντρικό τμήμα. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι επικρατούν τα αδρόκοκκα υλικά (άμμος, χάλικες). Συγκεκριμένα ο σχηματισμός αυτός αποτελείται κατά κύριο λόγο από χάλικες κακής διαβάθμισης με άμμο, χαλαρή άμμο με κυμαινόμενο ποσοστό χαλίκων έως αμμοχάλικο.



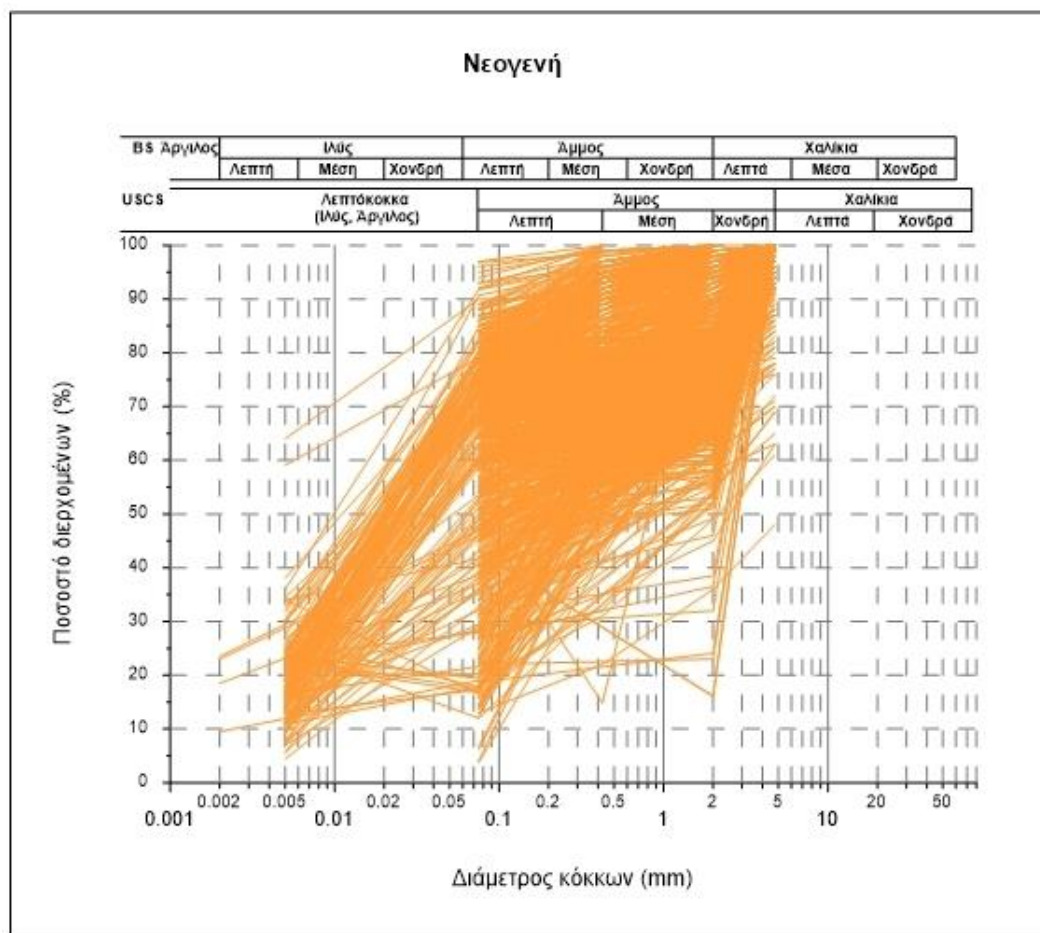
Εικόνα 5.14. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεχνητές επιχώσεις του Κεντρικού τμήματος.

Στην Εικόνα 5.15 παρουσιάζεται η κοκκομετρική διαβάθμιση των Τεταρτογενών αποθέσεων για το Κεντρικό τμήμα. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι επικρατούν κατά κύριο λόγο υλικά αμμόδους σύστασης. Ο σχηματισμός αποτελείται κυρίως από ιλυώδεις άμμους με κυμαινόμενα ποσοστά χαλικιών, αμμόδεις χάλικες με κυμαινόμενα ποσοστά ιλύος και ιλυώδεις χάλικες με άμμο.



Εικόνα 5.15. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.

Στην Εικόνα 5.16 παρουσιάζεται η κοκκομετρική διαβάθμιση των Νεογενών αποθέσεων για το Κεντρικό τμήμα. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι επικρατούν τόσο τα αδρόκοκκα, όσο και τα λεπτόκοκκα υλικά. Πρόκειται για σχηματισμούς που αποτελούνται από αμμώδεις αργίλους και αργίλους με άμμο, αμμώδεις ιλύες και αργιλώδεις-ιλυώδεις άμμους με κυμαινόμενο ποσοστό χαλίκων.

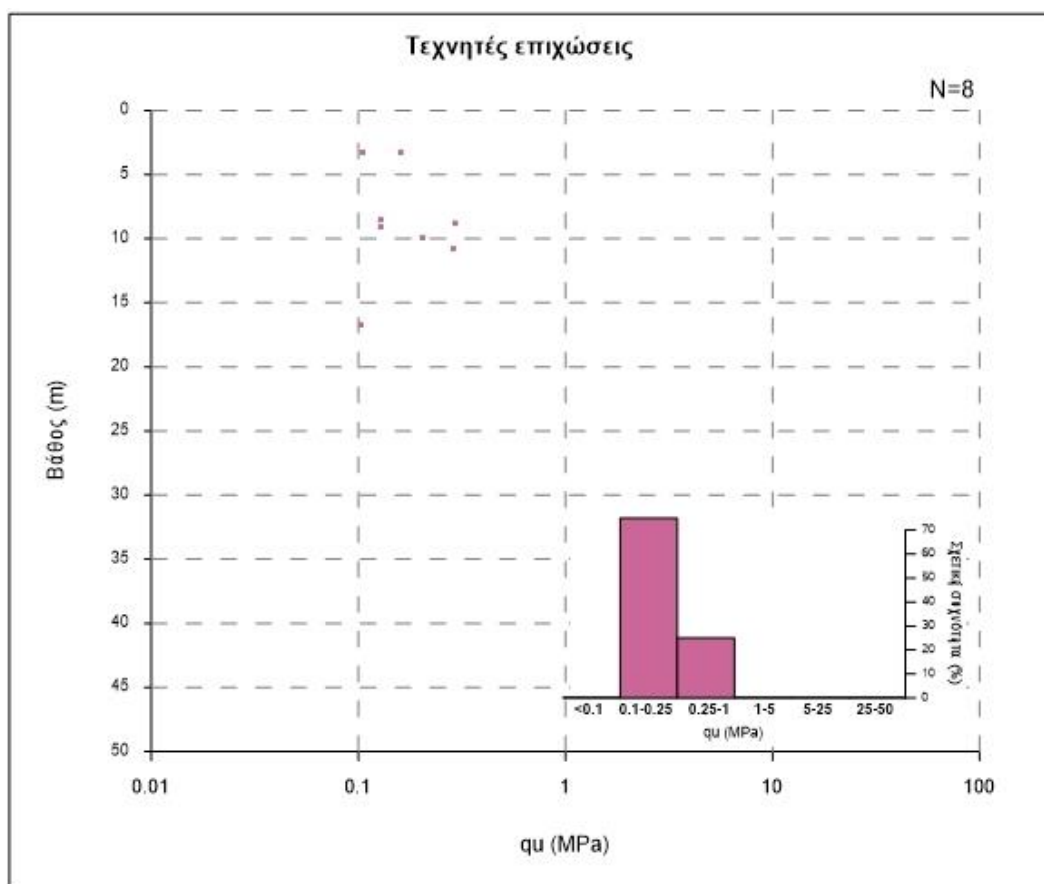


Εικόνα 5.16. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.

5.2.1.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά

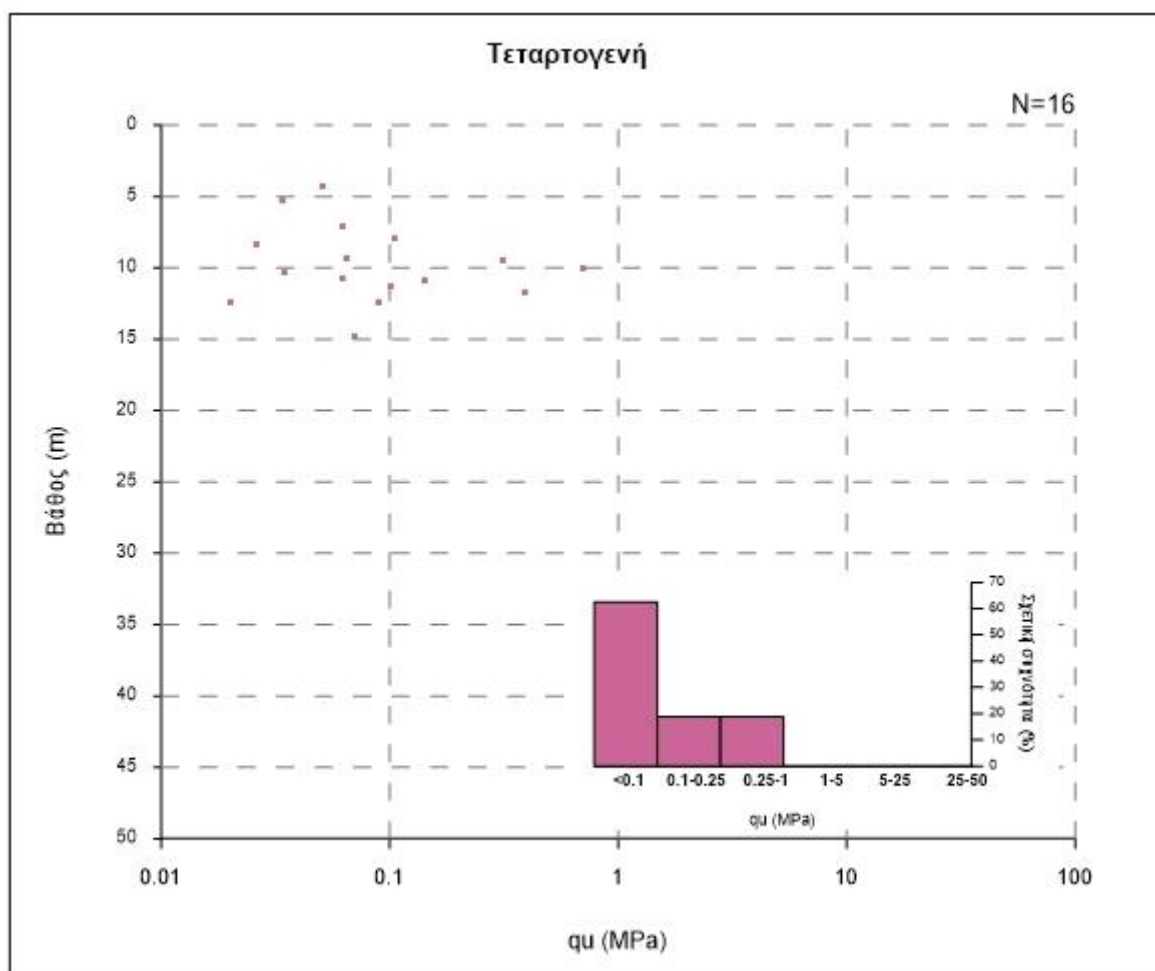
5.2.1.2.1 Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη

Από την Εικόνα 5.17 και την αξιολόγηση των τιμών της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη προκύπτει ότι οι Τεχνητές επιχώσεις είναι στην πλειονότητα τους (90%) μικρές έως πολύ μικρές ($q_u < 1$ MPa) προσδίδοντας στα υλικά αυτά χαμηλές αντοχές. Πιο συγκεκριμένα, το 80% περιορίζεται σε τιμές $q_u = 0,1-0,25$ MPa, ενώ το υπόλοιπο 20% σε τιμές $q_u = 0,25-1$ MPa.



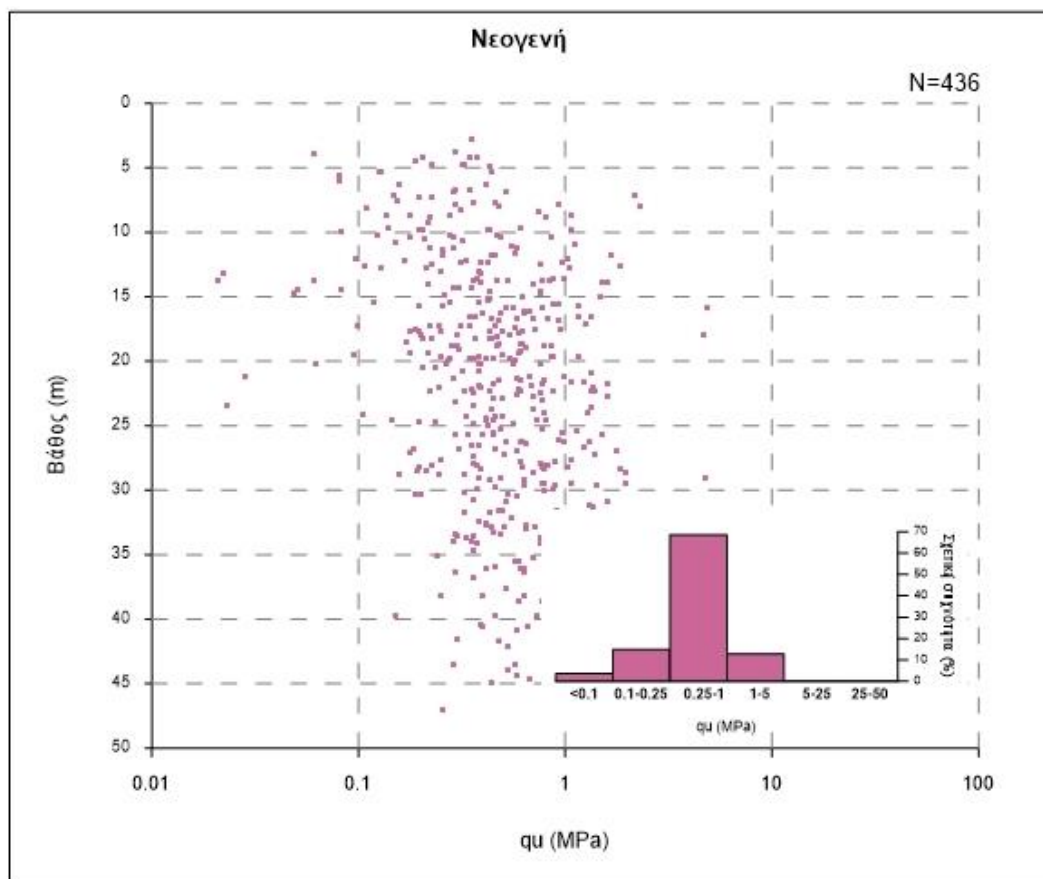
Εικόνα 5.17. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Τεχνητές επιχώσεις του Κεντρικού τμήματος.

Από την Εικόνα 5.18 και την αξιολόγηση των τιμών της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη προκύπτει ότι οι Τεταρτογενείς αποθέσεις είναι στην πλειονότητα τους (~60%) μικρές ($q_u < 0,1$ MPa) προσδίδοντας στα υλικά αυτά μικρές αντοχές. Παρατηρούνται βέβαια και μικρότερα ποσοστά της τάξης του 20% όπου οι τιμές περιορίζονται σε $q_u = 0,1-0,25$ MPa και $q_u = 0,25-1$ MPa αντίστοιχα.



Εικόνα 5.18. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.

Από την Εικόνα 5.19 και την αξιολόγηση των τιμών της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη προκύπτει ότι οι Νεογενείς αποθέσεις είναι στην πλειονότητα τους (90%) μεγαλύτερες από 0.1MPa. Χαρακτηριστική είναι η έντονη παρουσία (70%) τιμών $q_u=0,25-1\text{MPa}$. Οι τιμές αυτές υποδηλώνουν έναν σταθερό έως στιφρό σε κάποιες περιπτώσεις σχηματισμό.

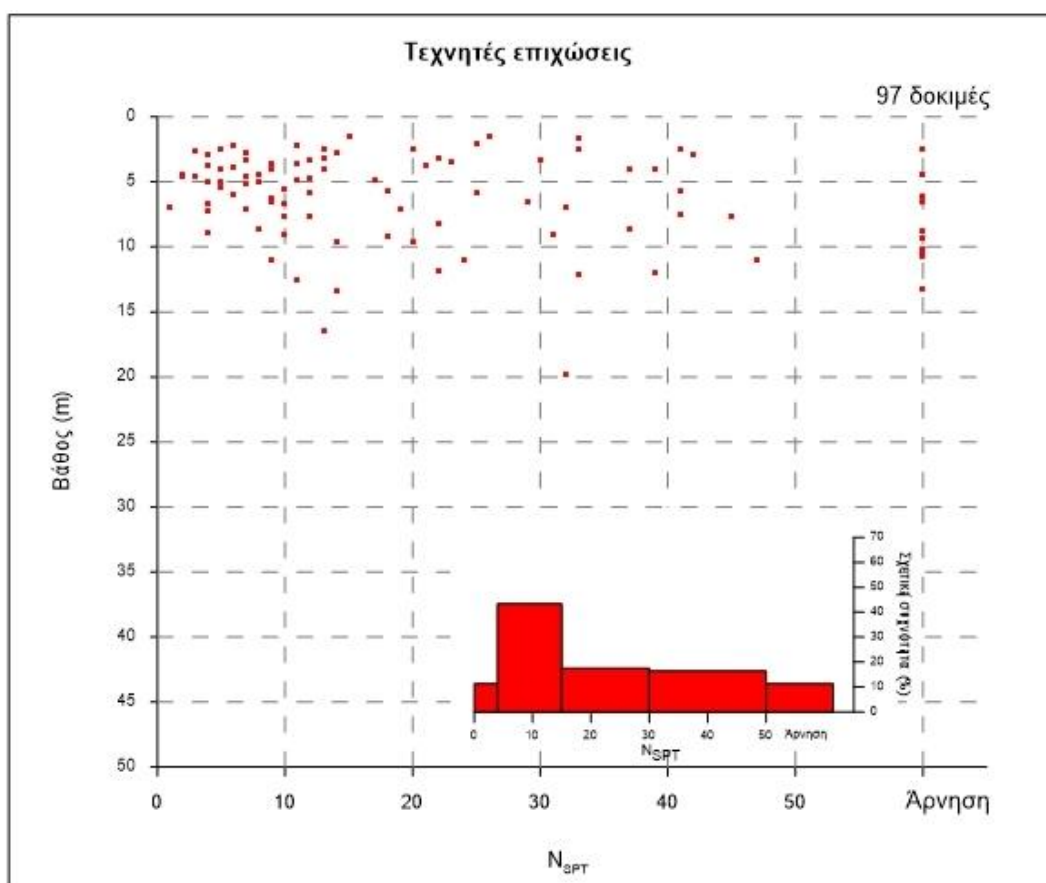


Εικόνα 5.19. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.

5.2.2 Επί τόπου δοκιμές

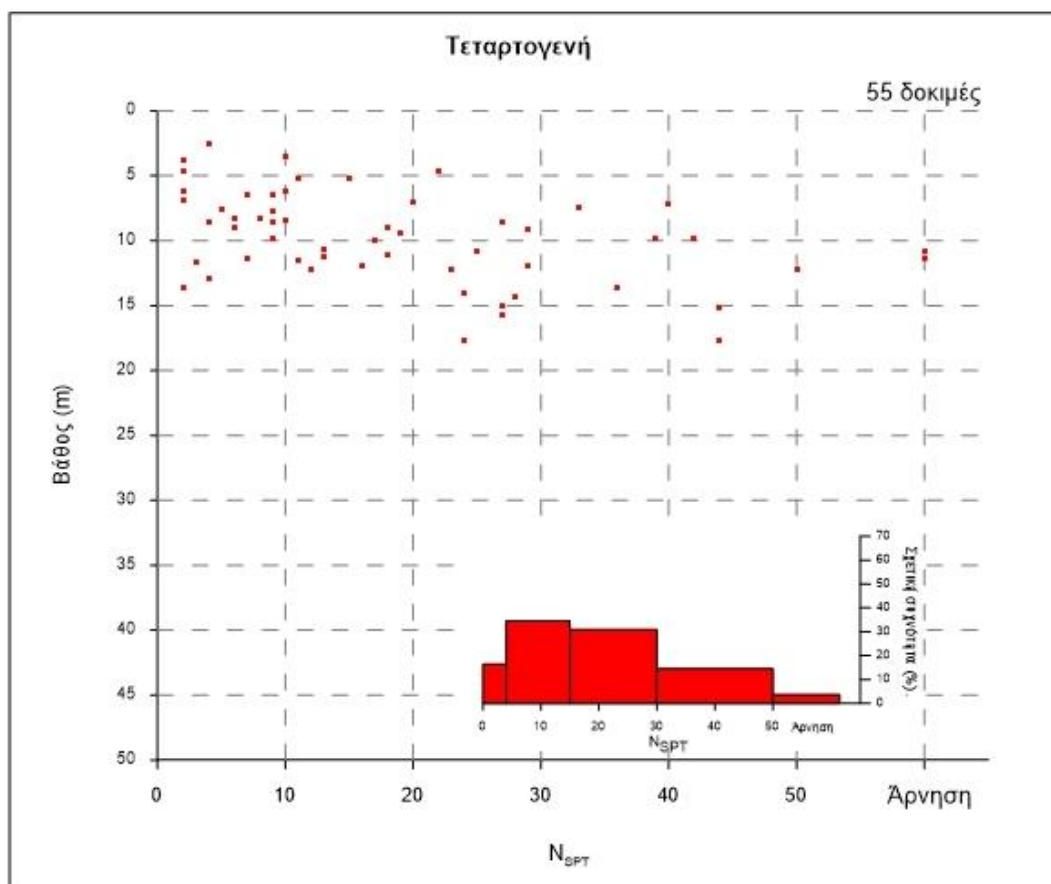
5.2.2.1 Πρότυπη δοκιμή διείδυσης

Στην Εικόνα 5.20 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών SPT με το βάθος για τις Τεχνητές επιχώσεις. Η πλειονότητα των μετρήσεων (~60%) παίρνει ένα εύρος τιμών $N_{SPT} = 4-30$. Συγκεκριμένα, το 40% περιορίζεται σε τιμές $N_{SPT} = 4-15$ χαρακτηρίζοντας έτσι το σχηματισμό ως πολύ χαλαρό έως χαλαρό. Το υπόλοιπο 20% παρουσιάζει λίγο μεγαλύτερες τιμές $N_{SPT} = 15-30$ οι οποίες προσδίδουν ένα χαλαρό έως μέτρια πυκνό χαρακτήρα στο σχηματισμό. Παρατηρούνται επίσης ποσοστά της τάξης του 10% όπου οι τιμές είναι μικρότερες από $N_{SPT} = 5$ καθώς και αντίστοιχα ποσοστά με αρνήσεις ($N_{SPT} > 50$).



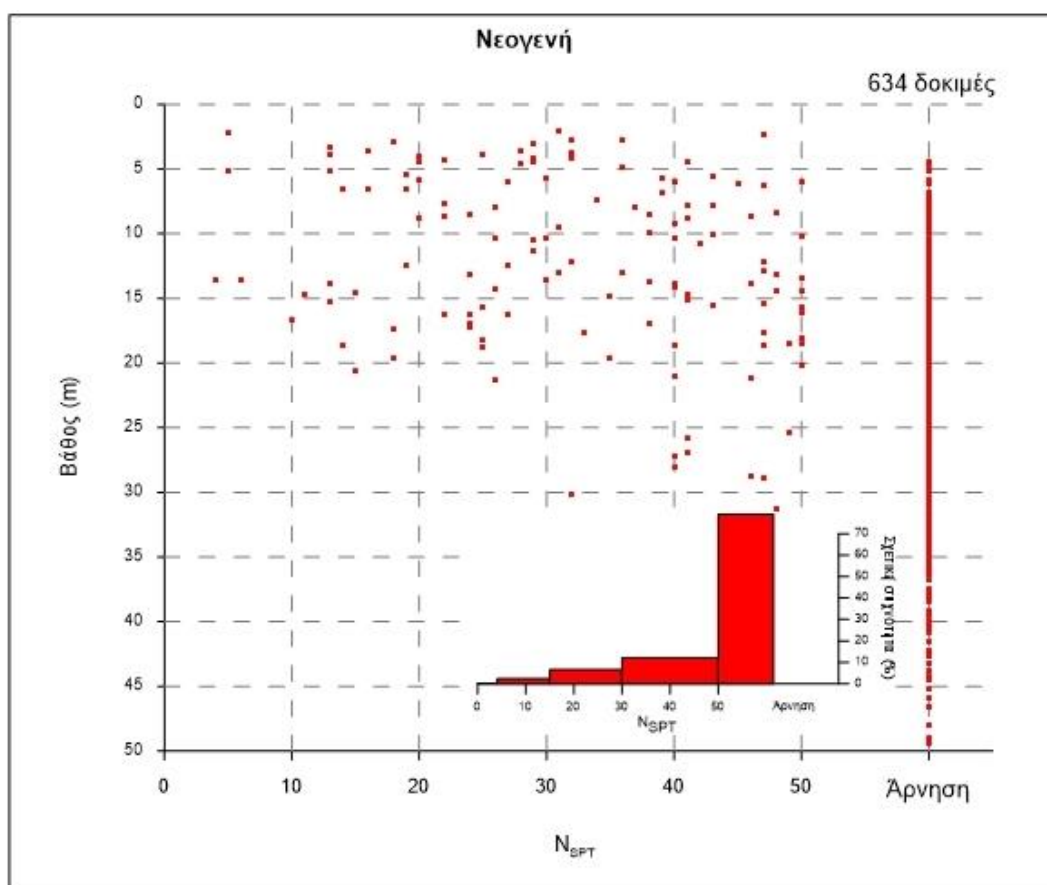
Εικόνα 5.20. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Τεχνητές επιχώσεις του Κεντρικού τμήματος.

Στην Εικόνα 5.21 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών SPT με το βάθος για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις. Σε αυτό παρατηρείται μια διασπορά ως προς την κατανομή των τιμών, οι οποίες κυμαίνονται από πολύ μικρές έως αρκετά μεγάλες. Η πλειονότητα των μετρήσεων (~65%) παίρνει ένα εύρος τιμών $N_{SPT}=4-30$. Συγκεκριμένα, το 35% χαρακτηρίζεται από τιμές $N_{SPT} = 4-15$ χαρακτηρίζοντας έτσι το σχηματισμό ως πολύ χαλαρό έως χαλαρό. Το υπόλοιπο 30% παρουσιάζει λίγο μεγαλύτερες τιμές $N_{SPT} = 15-30$ οι οποίες προσδίδουν ένα χαλαρό έως μέτρια πυκνό χαρακτήρα στο σχηματισμό. Αρνήσεις ($N_{SPT}>50$) παρατηρούνται σε πολύ μικρά ποσοστά <5%.



Εικόνα 5.21. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.

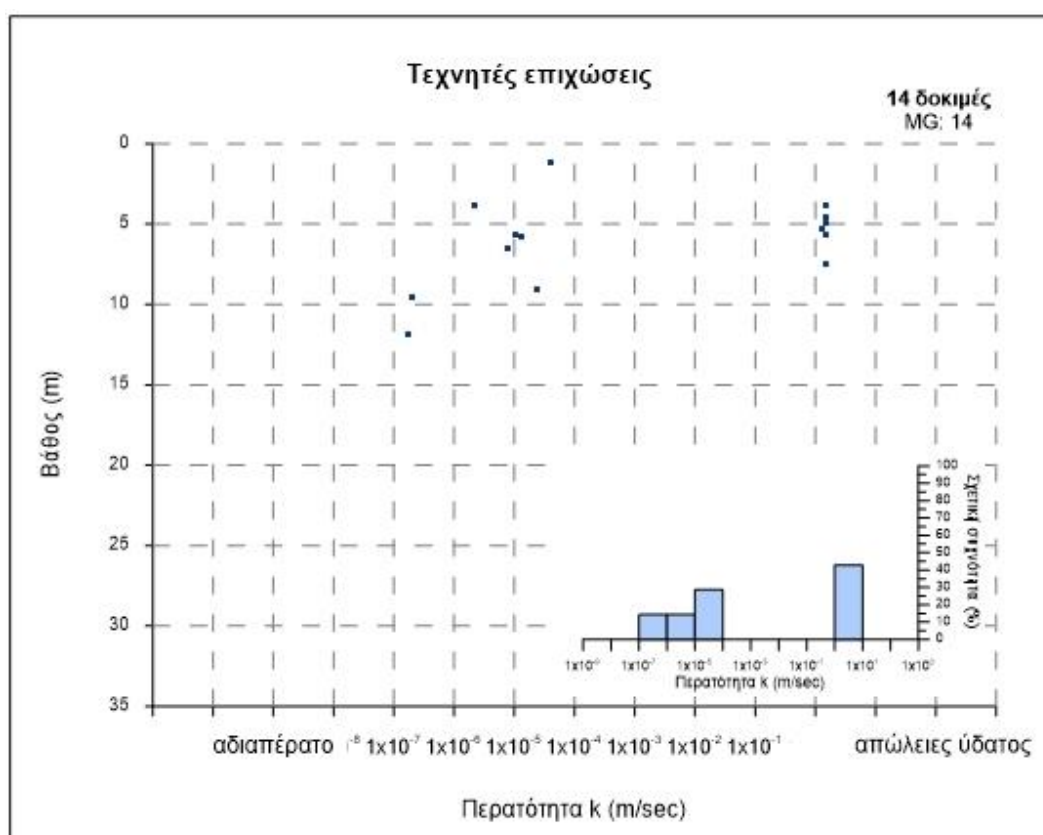
Στην Εικόνα 5.22 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών SPT με το βάθος για τις Νεογενείς αποθέσεις. Είναι ευδιάκριτο το γεγονός ότι επικρατούν στο σύνολο τους τιμές μεγαλύτερες από 30, με την πλειονότητα των μετρήσεων (~80%) να είναι μεγαλύτερες από 50 υποδηλώνοντας άρνηση διείσδυσης του δειγματολήπτη. Οι τιμές αυτές προσδίδουν στα Νεογενή έναν πολύ πυκνό χαρακτήρα. Μια ακόμη παρατήρηση σχετικά με τη διακύμανση των τιμών SPT, είναι πως αυτές αυξάνονται με το βάθος, γεγονός που οφείλεται στη βελτίωση της ποιότητας του σχηματισμού.



Εικόνα 5.22. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.

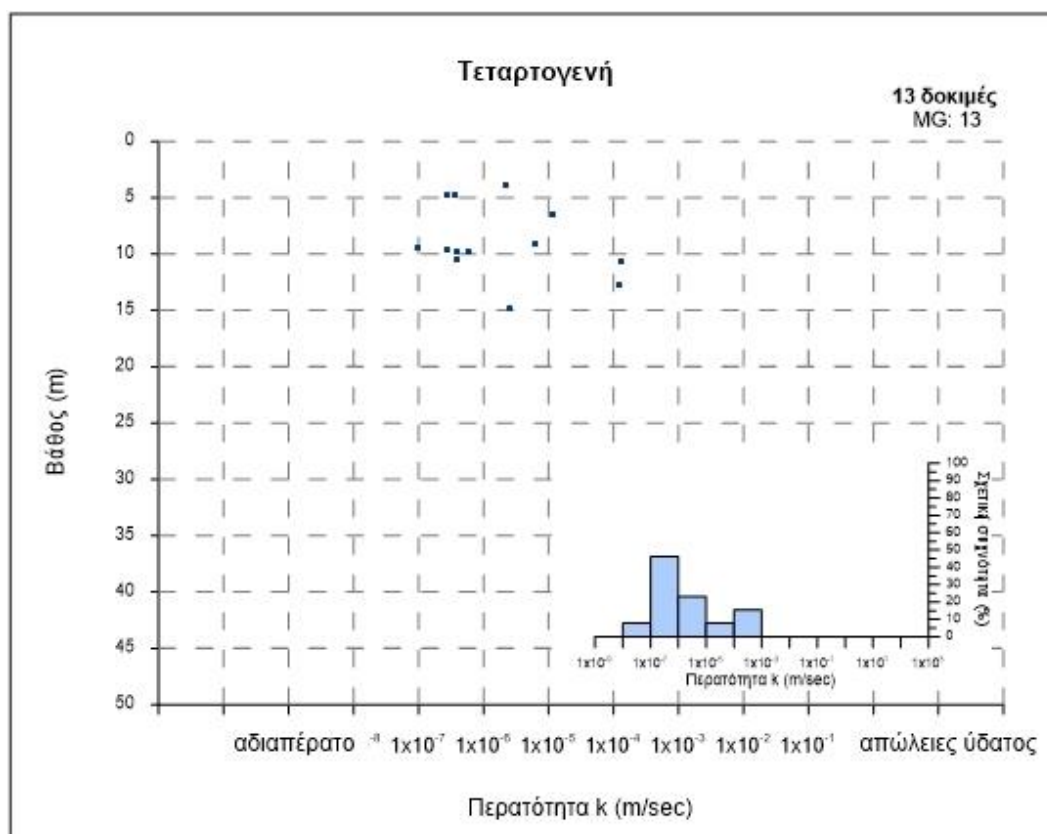
5.2.2.2 Επί τόπου δοκιμές περατότητας

Στην Εικόνα 5.23 παρουσιάζονται οι τιμές περατότητας των Τεχνητών επιχώσεων για το Κεντρικό τμήμα. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι πρόκειται για σχηματισμούς με κυμαινόμενες τιμές περατότητας. Παρατηρούνται ποσοστά της τάξης του 45% με πολύ υψηλές τιμές που κυμαίνονται από 10^0 έως 10^1 m/sec, καθώς και μικρότερες τιμές οι οποίες κυμαίνονται από 10^{-7} έως 10^{-4} m/sec. Στο σύνολό του ο σχηματισμός των Τεχνητών επιχώσεων παρουσιάζει αυξημένη περατότητα και αυτό συμβαίνει γιατί αποτελείται κατά κύριο λόγο από πολύ χαλαρά έως χαλαρά αδρόκοκκα υλικά αναμειγμένα με διάφορα γνευσιακά τεμάχια και πλίνθους.



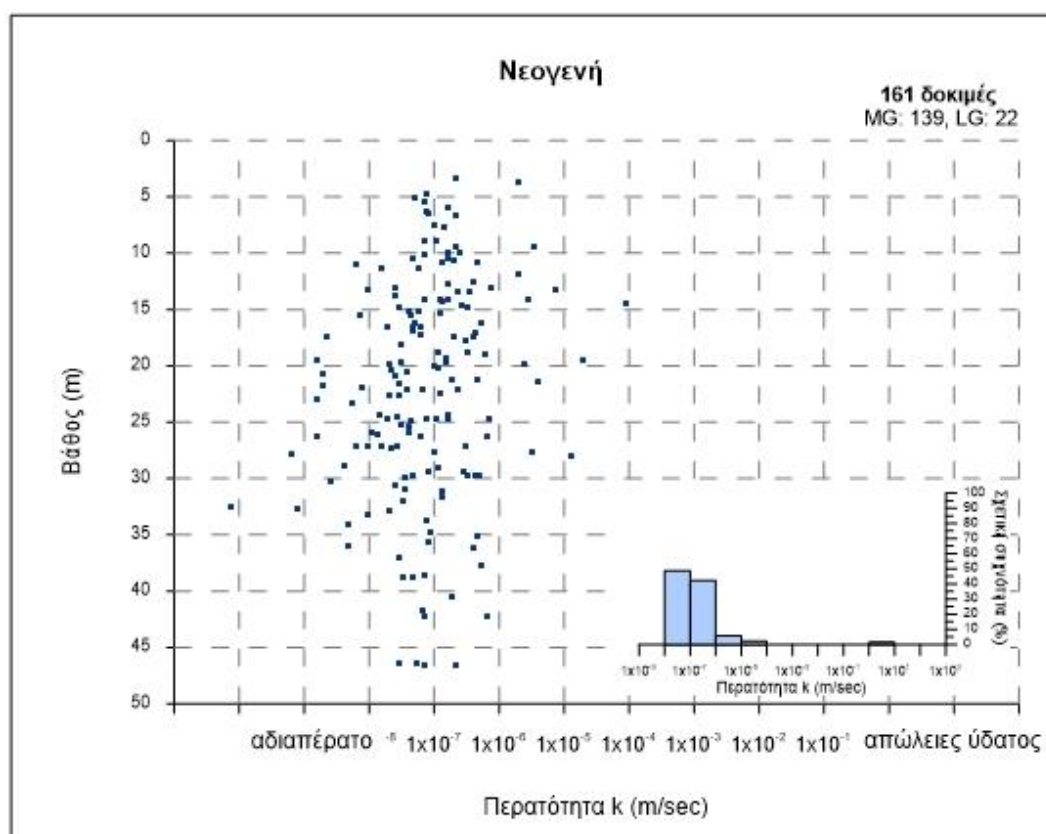
Εικόνα 5.23. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεχνητές επιχώσεις του Κεντρικού τμήματος.

Στην Εικόνα 5.24 παρουσιάζονται οι τιμές περατότητας των Τεταρτογενών αποθέσεων για το Κεντρικό τμήμα. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι πρόκειται για σχηματισμούς χαμηλής έως μέσης περατότητας. Οι τιμές των διαφόρων δοκιμών περατότητας που εκτελέστηκαν κυμαίνονται από 10^{-8} έως 10^{-3} . Η πλειονότητα αυτών ωστόσο (~45%) έχει ένα εύρος της τάξης 10^{-7} έως 10^{-6} m/sec. Οι μεγαλύτερες τιμές περατότητας παρατηρούνται στην περίπτωση των πολύ χαλαρών και χαλαρών υλικών για τους αδρόκοκκους σχηματισμούς και πολύ μαλακών έως μαλακών υλικών για τους λεπτόκοκκους σχηματισμούς. Αντίστοιχα οι μικρότερες τιμές περατότητας παρατηρούνται στα μετρίως πυκνά έως πυκνά υλικά για τους αδρόκοκκους σχηματισμούς και τα σταθερά έως στιφρά υλικά των λεπτόκοκκων σχηματισμών.



Εικόνα 5.24. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.

Στην Εικόνα 5.25 παρουσιάζονται οι τιμές περατότητας των Νεογενών αποθέσεων για το Κεντρικό τμήμα. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι πρόκειται για σχηματισμούς με χαμηλές έως πολύ χαμηλές τιμές περατότητας, οι οποίες στο σύνολο τους (95%) κυμαίνονται από 10^{-8} έως 10^{-6} m/sec. Αυτό συμβαίνει διότι ο σχηματισμός των Νεογενών αποθέσεων αποτελείται κατά κύριο λόγο από μετρίως πυκνά έως πολύ πυκνά και σταθερά έως σκληρά υλικά, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις έχουν τόσο μικρές τιμές περατότητας που μπορούν να χαρακτηριστούν ως αδιαπέρατα.



Εικόνα 5.25. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.

Για το σχηματισμό του υποβάθρου δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα λόγω της έλλειψης ικανού αριθμού δεδομένων.

Από την αξιολόγηση της γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής B-B' και των διαθέσιμων στοιχείων για το Κεντρικό τμήμα προέκυψαν κάποια φάσματα τιμών για τρεις παραμέτρους (q_u , SPT και k). Αυτές παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω (Πίνακας 5.1).

Πίνακας 5.1. Πίνακας με φάσματα τιμών για τις παραμέτρους q_u , SPT και k για το Κεντρικό τμήμα

<u>Σχηματισμός</u>	<u>q_u (MPa)</u>	<u>SPT</u>	<u>k (m/sec)</u>
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	-	5-25	10^{-5} - 10^{-4}
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (επικράτηση αμμώδους υλικού)	0,05-0,1	10-30	10^{-7} - 10^{-6}
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (επικράτηση αργιλικού υλικού)	0,05-0,1	10-30	10^{-7} - 10^{-6}
ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (επικράτηση αργιλικού υλικού)	0,25-1	>50	10^{-9} - 10^{-7}

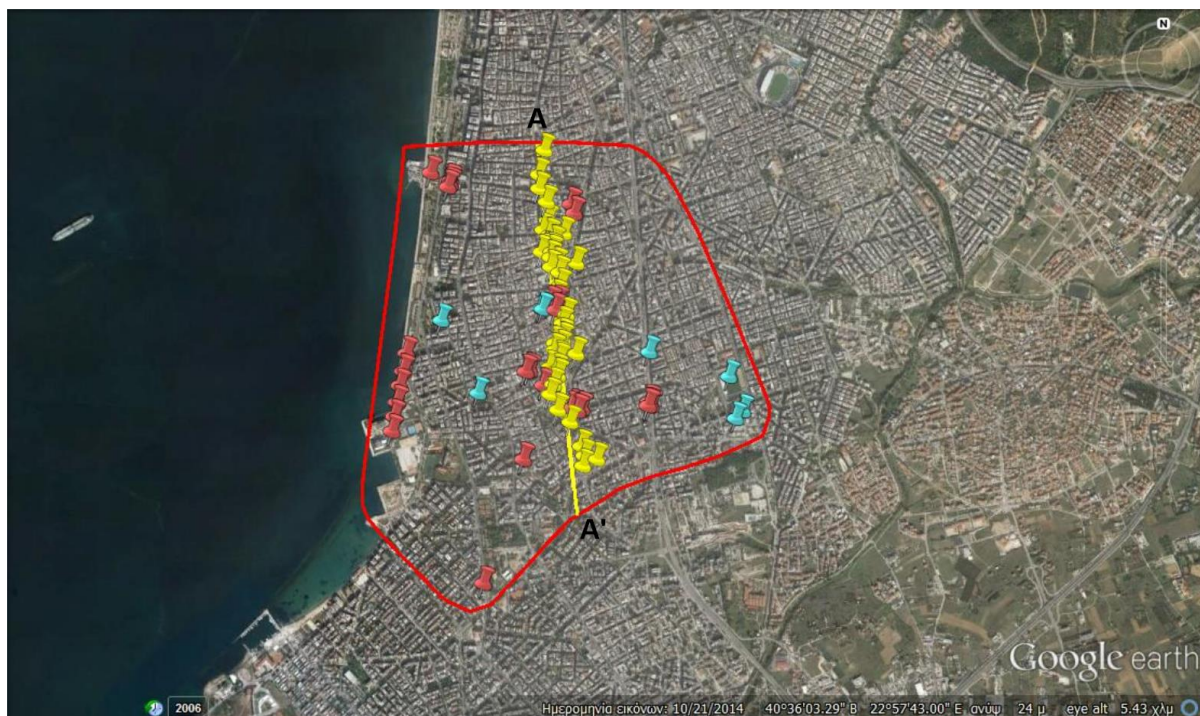
Με βάση τον παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό πως οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις είναι ιδιαίτερα χαμηλές. Η περατότητα που παρατηρείται εντός αυτών των σχηματισμών είναι μέτρια. Αυτό, σε συνδιασμό με τη θέση και την ανάπτυξη των Τεταρτογενών σε σχέση με τη σήραγγα, δεν αναμένεται να επηρεάσει δυσμενώς την κατασκευή.

Σχετικά με τις Νεογενείς αποθέσεις, διαπιστώνεται ότι πρόκειται για σχηματισμούς με εξαιρετικά καλά μηχανικά χαρακτηριστικά, τα οποία σε συνδιασμό με τις πολύ χαμηλές παρατηρούμενες τιμές περατότητας καθιστούν αυτόν το σχηματισμό ιδιαίτερα ικανό ως προς την απόκριση του κατά την κατασκευή υπόγειων έργων.

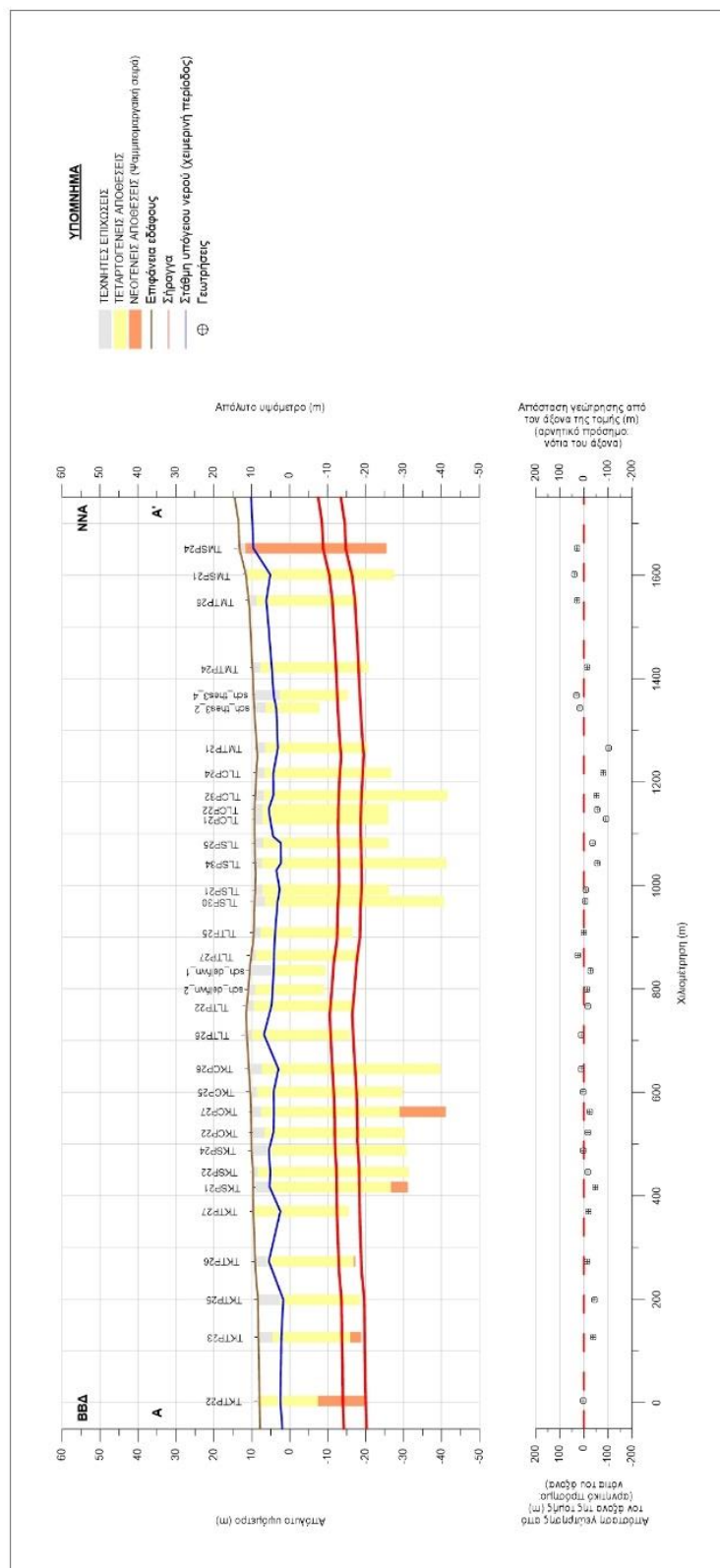
Τέλος, όπως είναι αναμενόμενο, οι Τεχνητές επιχώσεις παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές SPT και θεωρούνται σχηματισμοί με πολύ μικρή έως καθόλου αντοχή. Ακόμη, από τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών περατότητας φαίνεται ότι πρόκειται για σχηματισμούς αυξημένης περατότητας.

5.3 Ανατολικό τμήμα

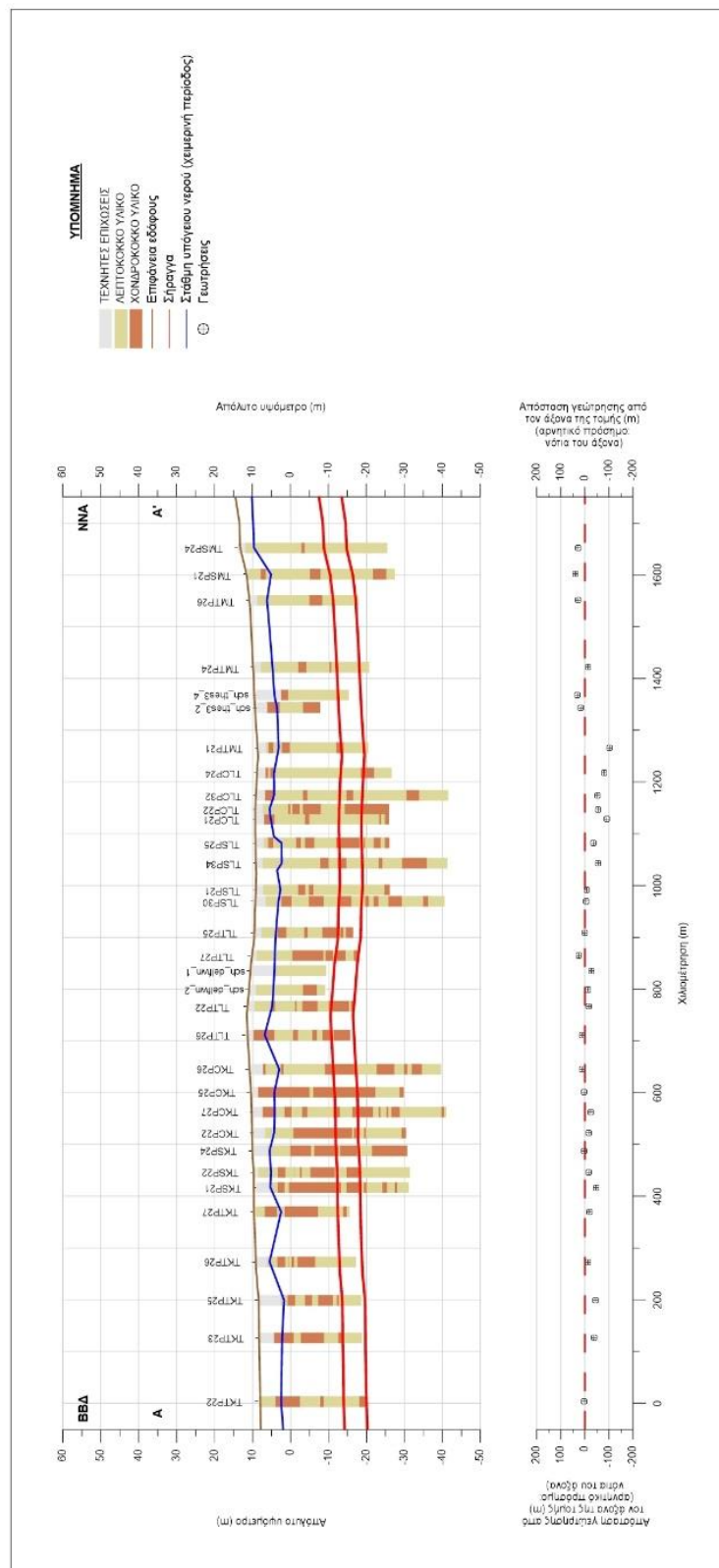
Η δεύτερη υπό εξέταση περιοχή είναι αυτή του ανατολικού τμήματος. Αυτό ξεκινάει περίπου από την περιοχή της Φλέμινγκ και καταλήγει στη Βούλγαρη (Εικόνα 5.26). Κατά μήκος της οδού Δελφών (A-A') και με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ κατασκευάζονται οι παρακάτω μηκοτομές (Εικόνες 5.27, 5.28, 5.29, 5.30).



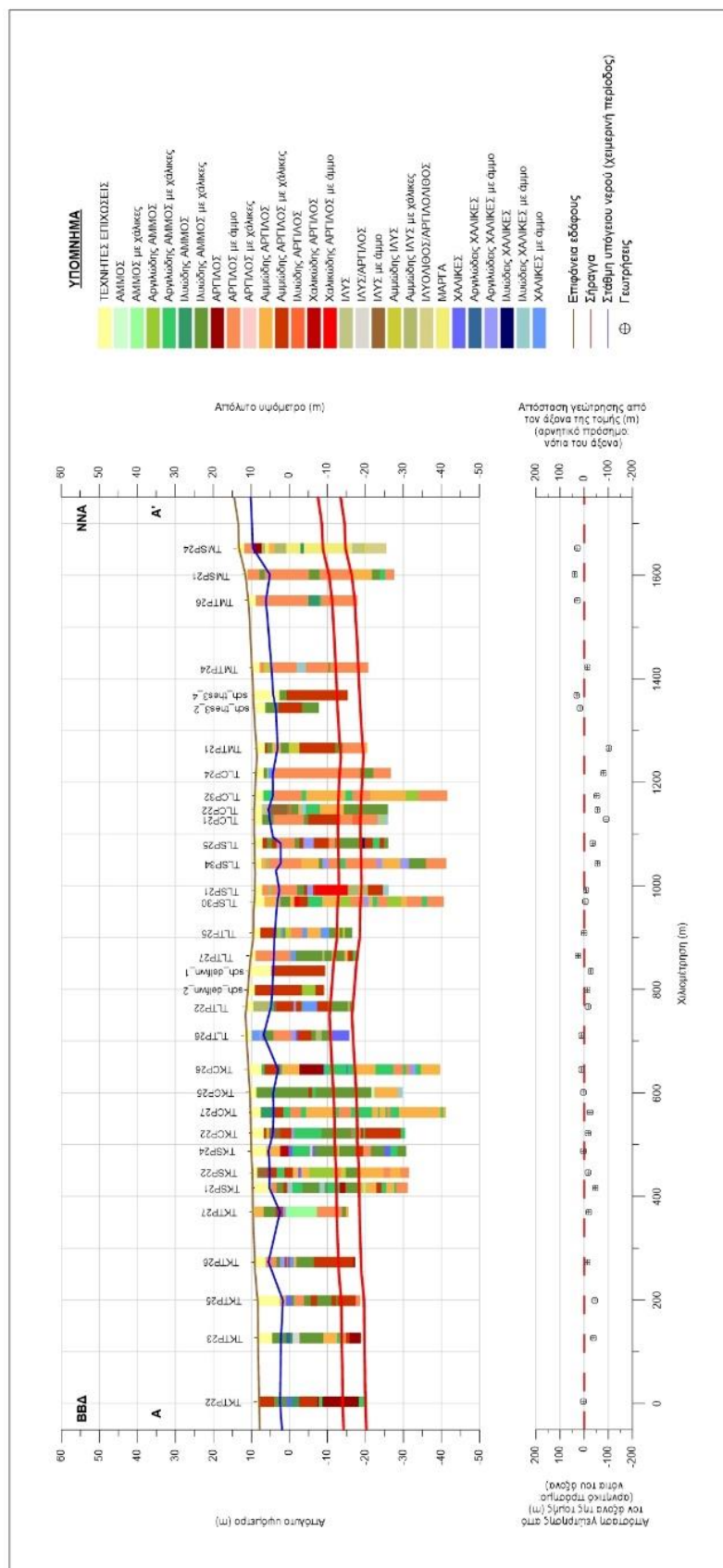
Εικόνα 5.26. Τομή A-A' κατά μήκος της οδού Δελφών για το Ανατολικό τμήμα.



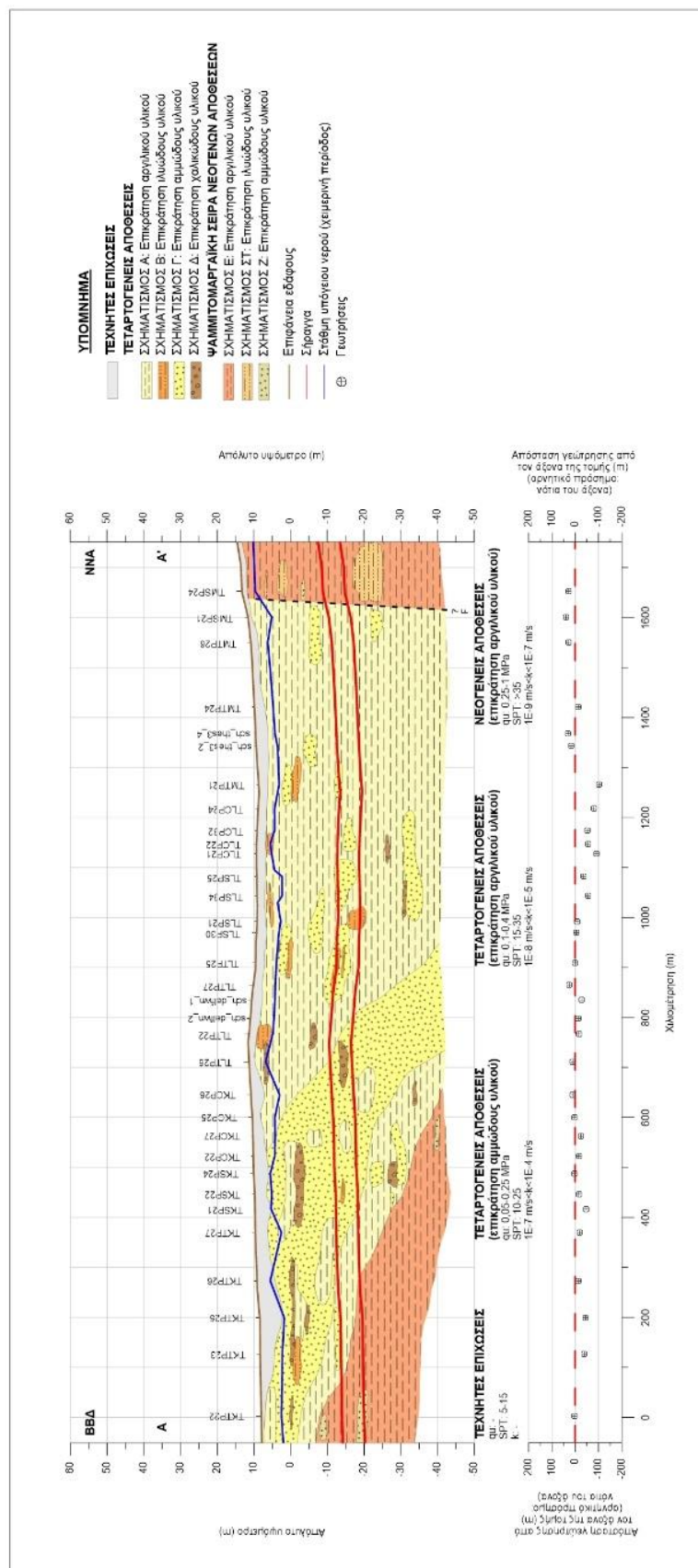
Εικόνα 5.27. Παράδειγμα γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκτομής (Α-Α', ΒΒΔ-ΝΝΑ) όπου φαίνονται οι γεωλογικές ενότητες κατά μήκος της χάραξης για το Ανατολικό τμήμα.



Εικόνα 5.28. Παράδειγμα γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής (Α-Α', ΒΒΔ-ΝΝΑ) όπου φαίνεται η επικράτηση κοκκομετρίας γεωολικών κατά μήκος της χάραξης για το Ανατολικό τμήμα.



Εικόνα 5.29. Παράδειγμα γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής (Α-Α', ΒΒΔ-ΝΝΑ) όπου παρουσιάζονται αναλυτικά οι γεωλογικές περιγραφές κατά μήκος της χάραξης για το Ανατολικό τμήμα.



Εικόνα 5.30. Παράδειγμα λεπτομερούς γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκτομής (Α-Α΄, ΒΒΔ-ΝΝΑ) για το Ανατολικό τμήμα.

Σύμφωνα με τη μηκοτομή της Εικόνας 5.27 είναι εμφανής η επικράτηση των Τεταρτογενών αποθέσεων έναντι των Νεογενών, ενώ από τη μηκοτομή της Εικόνας 5.28 φαίνεται σαφώς η επικράτηση των λεπτόκοκκων υλικών σε σχέση με τα χοδρόκοκκα. Στην αναλυτική παρουσίαση των γεωλογικών περιγραφών κατά μήκος της χάραξης που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.29 παρατηρείται η επικράτηση της αργίλου με τις διάφορες προσμίξεις. Με βάση αυτές τις μηκοτομές κατασκευάζεται η πλέον λεπτομερής γεωλογική-τεχνικογεωλογική μηκοτομή της Εικόνας 5.30.

Σύμφωνα με αυτή η περιοχή στην οποία συναντώνται οι Τεταρτογενείς αποθέσεις είναι γνωστή ως “la vallée” που σημαίνει κοιλάδα στη γαλλική γλώσσα. Σε αυτή τη ζώνη, κατά τη διεύθυνση Α-Δ και σε μια ευρεία έκταση αναπτύσσονται οι πρόσφατες ποτάμιες αποθέσεις. Τα πάχη αυτών κυμαίνονται από 15μ. έως 50 μέτρα. Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις αποτελούνται κυρίως από υλικά αμμόδους και αργιλικής σύστασης. Παρατηρούνται ωστόσο και φακοί ποικίλης σύστασης, τόσο εντός της περιοχής της σήραγγας, όσο και πάνω από αυτήν.

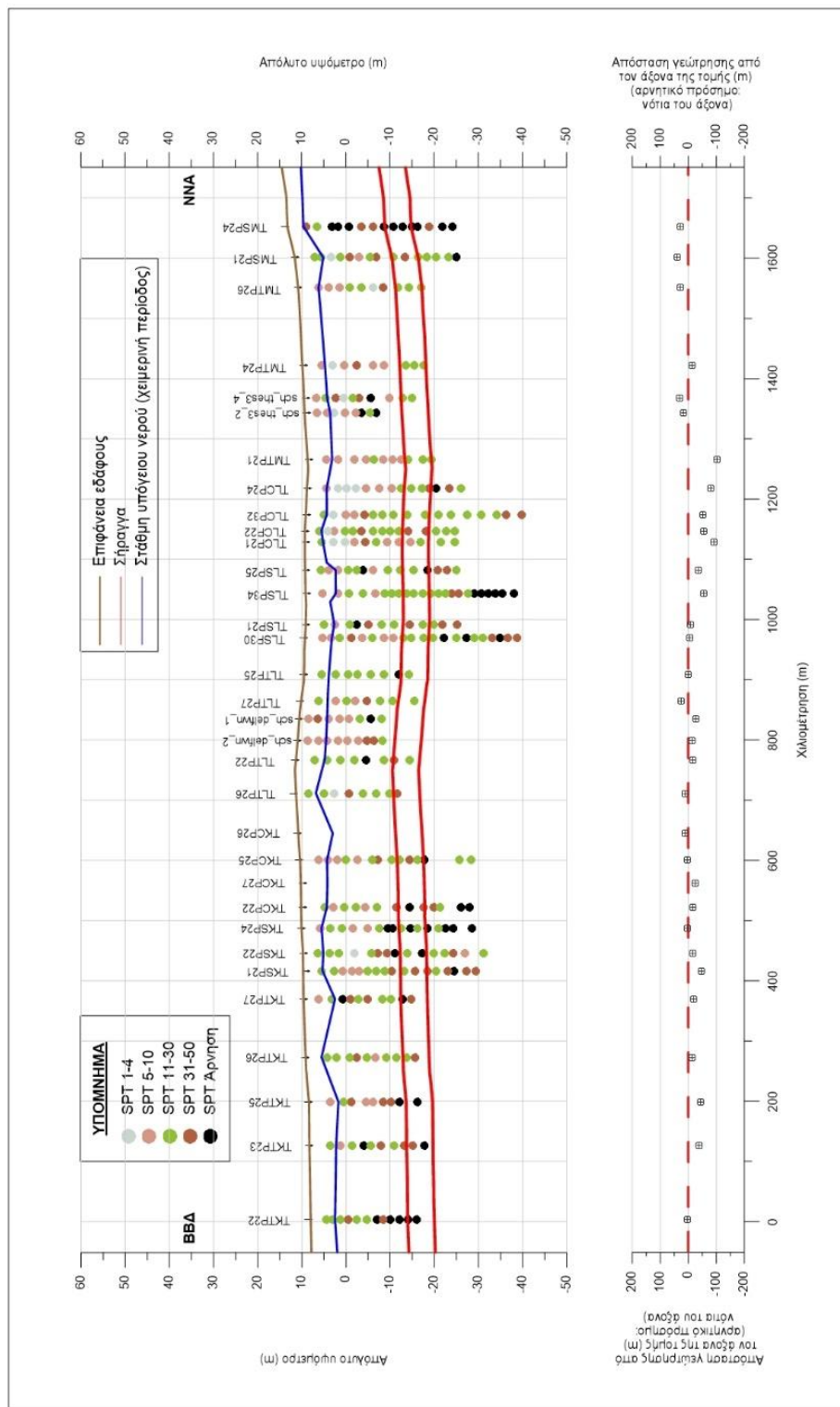
Η Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά των Νεογενών αποθέσεων παρατηρείται τόσο σε μεγαλύτερα βάθη, όσο και σε μικρά βάθη κοντά στην επιφάνεια, στην επαφή με τα Τεταρτογενή λόγω της ύπαρξης ρήγματος στην περιοχή της Βούλγαρη. Ο σχηματισμός αυτός συναντάται τόσο στα υπερκείμενα, όσο και μέσα στην ίδια τη σήραγγα. Σε σχέση με τις Τεταρτογενείς αποθέσεις, οι Νεογενείς παρουσιάζουν μια λιγότερο σύνθετη δομή λόγω της εξ ολοκλήρου επικράτησης των αργιλικών υλικών. Κατά τόπους εμφανίζονται φακοί αμμόδους και ιλυώδους σύστασης μικρής εξάπλωσης, χωρίς να επηρεάζουν την περιοχή της σήραγγας.

Οι Τεχνητές επιχώσεις παρατηρούνται σε όλο το μήκος της περιοχής. Το πάχος τους παρουσιάζει μια σχετική ομοιομορφία και δεν ξεπερνάει τα 6,5 μέτρα.

Εκτός από τις τομές που κατασκευάστηκαν για το Ανατολικό τμήμα και παρουσιάζουν την κατανομή και επικράτηση των σχηματισμών, κρίνεται απαραίτητη και η αξιολόγηση των τιμών SPT και περατότητας με το βάθος κατά μήκος της χάραξης,

Δοκιμές πρότυπης διείσδυσης

Οι δοκιμές πρότυπης διείσδυσης εκτελέστηκαν σχεδόν σε όλες τις γεωτρήσεις που επιλέχθηκαν προς αξιολόγηση για το συγκεκριμένο τμήμα (Εικόνα 5.31). Ο συνολικός αριθμός των δοκιμών ανέρχεται στις 381. Τα αποτελέσματα των δοκιμών SPT κατηγοριοποιήθηκαν σε πέντε τάξεις: $1 < N_{SPT} < 4$, $5 < N_{SPT} < 10$, $11 < N_{SPT} < 30$, $31 < N_{SPT} < 50$ και $N_{SPT} > 50$ (άρνηση).



Εικόνα 5.31. Κατανομή τιμών SPT με το βάθος κατά μήκος της χάραξης, για το Ανατολικό τμήμα.

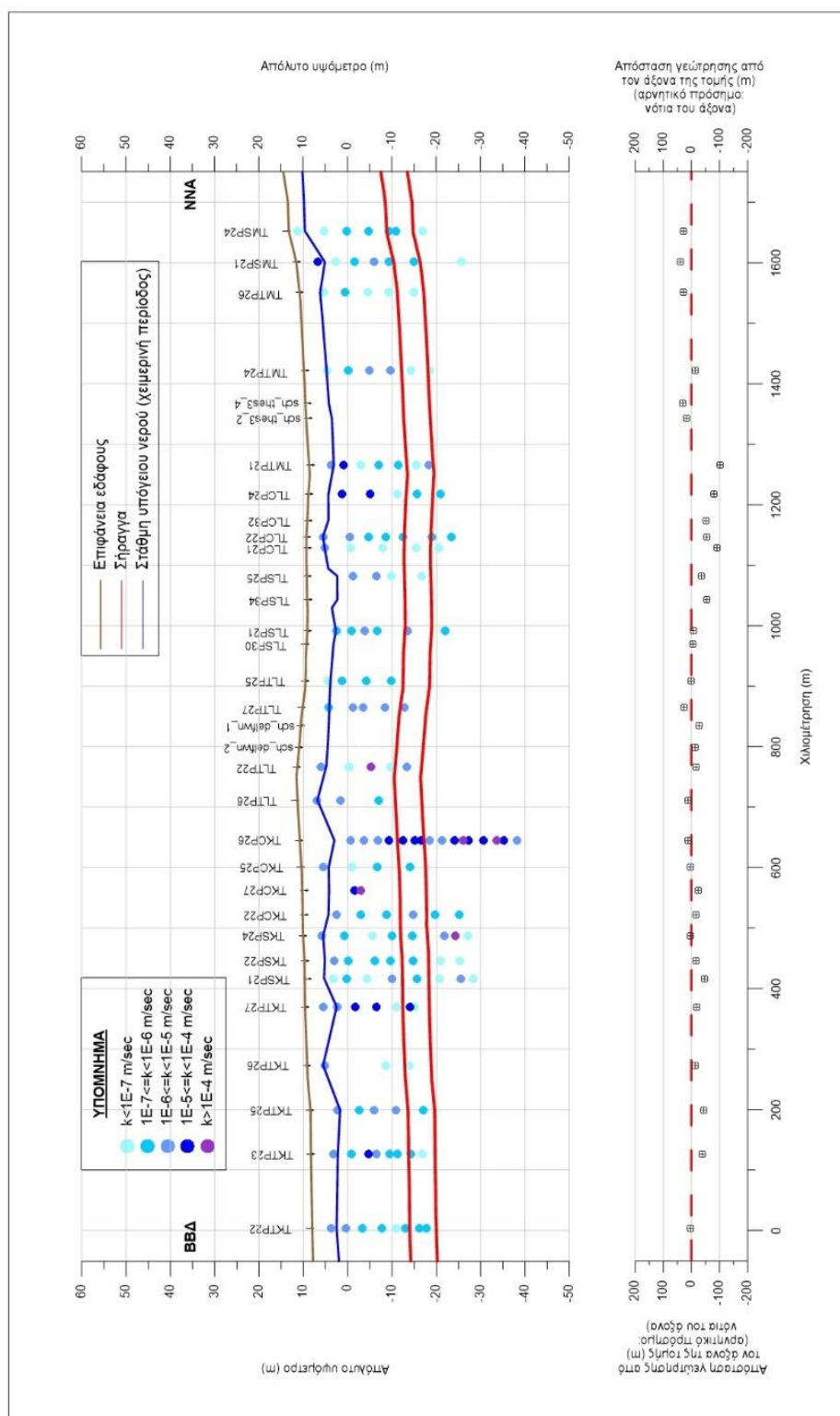
Κατά μήκος της τομής, παρατηρήθηκαν διάφορες τιμές SPT, από πολύ χαμηλές έως αρνήσεις. Σχεδόν το 14% των μετρήσεων έδειξαν αρνήσεις, ενώ περίπου το 23% έδειξε τιμές μικρότερες του 10. Οι τελευταίες τιμές παρατηρήθηκαν στα υπερκείμενα και κυρίως στις περιοχές των Τεχνητών επιχώσεων.

Στην περιοχή των υπερκείμενων και μεταξύ της χιλιομετρικής θέσης 1+100 και 1+500 παρατηρούνται πολύ μικρές τιμές SPT (<10). Σε μεγαλύτερα βάθη, οι τιμές αυξάνονται ελαφρώς χωρίς να ξεπερνούν την τιμή 30. Οι αρνήσεις είναι ελάχιστες και παρατηρούνται σαφώς σε μεγαλύτερα βάθη. Επίσης, στην περιοχή μεταξύ της χιλιομετρικής θέσης 0+700 και 0+900 παρατηρούνται αρκετά χαμηλές τιμές στα μικρότερα βάθη, ενώ στο βάθος της σήραγγας τα δεδομένα είναι πολύ περιορισμένα. Η ζώνη στην οποία παρατηρούνται αυτές οι χαμηλές τιμές SPT φαίνεται να σχηματίζει μια «κοιλιάδα» που περικλύεται από υλικά με μεγαλύτερες τιμές SPT και συνεπώς καλύτερη αντοχή.

Από τη χιλιομετρική θέση 0+000 έως τη χιλιομετρική θέση 0+500 επικρατούν υψηλές τιμές (>31) και σε πολλές περιπτώσεις αρνήσεις. Αυτές παρατηρούνται τόσο στο βάθος της σήραγγας, όσο και σε μεγαλύτερα βάθη. Αντίστοιχα, αρνήσεις παρατηρούνται στην περιοχή μετά τη χιλιομετρική θέση 1600 όπου συναντώνται οι Νεογενείς αποθέσεις.

Επί τόπου δοκιμές περατότητας

Οι επί τόπου δοκιμές περατότητας εκτελέστηκαν σχεδόν σε όλες τις γεωτρήσεις που επιλέχθηκαν προς αξιολόγηση για το συγκεκριμένο τμήμα (Εικόνα 5.32). Τα αποτελέσματα των δοκιμών κατηγοριοποιήθηκαν σε πέντε τάξεις: $k < 10^{-7} \text{m/sec}$, $10^{-7} \text{m/sec} \leq k < 10^{-6} \text{m/sec}$, $10^{-6} \text{m/sec} \leq k < 10^{-5} \text{m/sec}$, $10^{-5} \text{m/sec} \leq k < 10^{-4} \text{m/sec}$ και $k > 10^{-4} \text{m/sec}$.



Εικόνα 5.32. Κατανομή περατότητας (τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας) με το βάθος κατά μήκος της χάραξης, για το Ανατολικό τμήμα.

Οι επί τόπου δοκιμές που εκτελέστηκαν είναι μεταβλητού φορτίου (Maag) και σταθερού φορτίου (Lefranc). Χαρακτηριστική είναι η επικράτηση των δοκιμών μεταβλητού φορτίου (140) έναντι των δοκιμών σταθερού φορτίου (18) λόγω της έντονης παρουσίας λεπτόκοκκων εδαφικών υλικών. Κατά μήκος της τομής, παρατηρήθηκαν διάφορες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας, υποδηλώνοντας σχηματισμούς διαφορετικής περατότητας. Το 86% των μετρήσεων έδειξε τιμές μικρότερες από 10^{-5} m/sec, ενώ το 14% έδειξε τιμές μεγαλύτερες από 10^{-5} m/sec.

Μια γενική παρατήρηση που προκύπτει από την εικόνα 5.32 είναι πως στα μεγαλύτερα βάθη και ιδίως στην περιοχή της σήραγγας οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας περιορίζονται κάτω από 10^{-5} m/sec.

Ωστόσο, παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές ($k \geq 10^{-5}$ m/sec) σε σχετικά μικρά βάθη, πάνω από τη σήραγγα. Οι τιμές αυτές είναι μεμονωμένες, παρατηρούνται σε συγκεκριμένες γεωτρήσεις και δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη εξάπλωση. Αυτή η αυξημένη περατότητα οφείλεται στο συνδιασμό της στάθμης του υπόγειου νερού και της ύπαρξης οριζόντων και φακών αδρόκοκκης σύστασης.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην περιοχή της γεώτρησης TKCP26 καθώς σε όλο το βάθος της παρατηρούνται μεγάλες έως πολύ μεγάλες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας. Η παρουσία του ρέματος Κωσταντινίδη ή Τούμπας στην περιοχή αυτή αποτελεί το κύριο αίτιο της αυξημένης περατότητας που παρατηρείται.

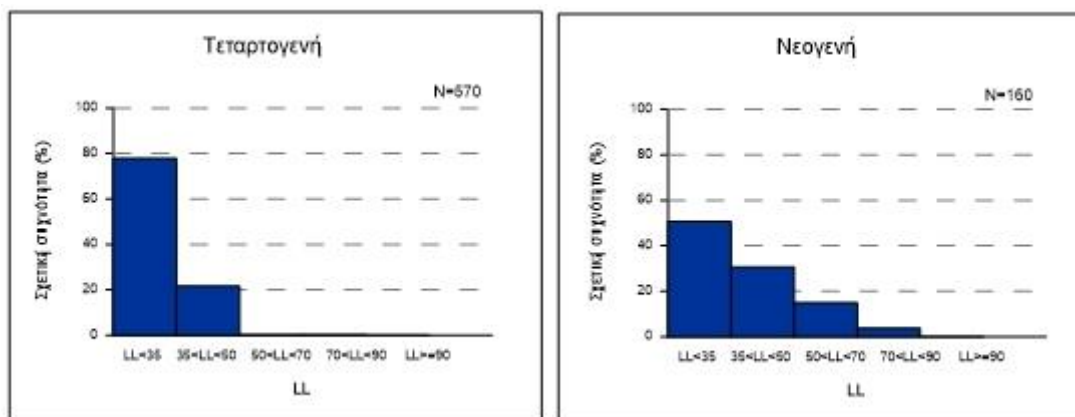
5.3.1 Εργαστηριακές δοκιμές

5.3.1.1 Φυσικά χαρακτηριστικά

5.3.1.1.1 Όρια Atterberg

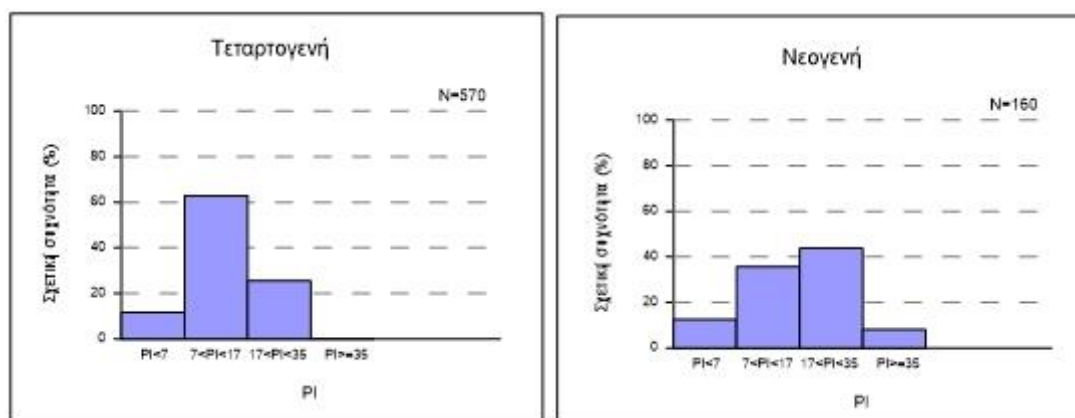
Από τη δοκιμή προσδιορισμού των ορίων Atterberg εξάγονται τα παρακάτω διαγράμματα κατανομής του ορίου υδαρότητας και δείκτη πλαστικότητας για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις για το Ανατολικό τμήμα.

Από τις δοκιμές για τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg και συγκεκριμένα του ορίου υδαρότητας, σε ότι αφορά το λεπτόκοκκο κλάσμα των γεωυλικών των Τεταρτογενών Αποθέσεων (Εικόνα 5.33 α), εκτιμάται ότι επικρατούν υλικά με χαμηλό έως μέσο όριο υδαρότητας, με αυτό να κυμαίνεται κυρίως κάτω από 35 (78%) και από 35 έως 50 (21%). Σε ότι αφορά τα λεπτόκοκκα υλικά των Νεογενών Αποθέσεων (Εικόνα 5.33 β), εκτιμάται ότι αυτά που επικρατούν έχουν χαμηλές έως μέσες τιμές πλαστικότητας, με όριο υδαρότητας μικρότερο του 35 (50%) έως και μεταξύ του 35 και του 50 (30%). Παρατηρείται ωστόσο κι ένα ποσοστό της τάξης του 15% που έχει τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 50 και 70.



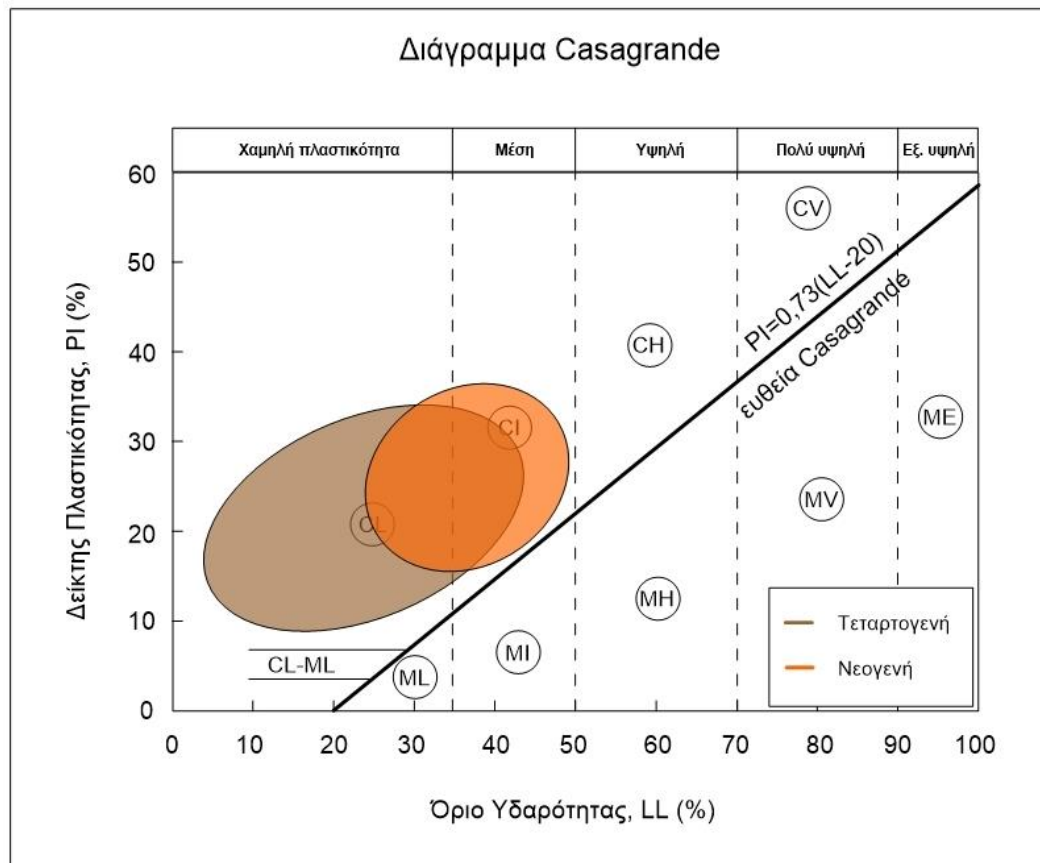
Εικόνα 5.33 α, β. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος βάσει του ορίου υδαρότητας.

Από τις δοκιμές για τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg και συγκεκριμένα του δείκτη πλαστικότητας, σε ότι αφορά το λεπτόκοκκο κλάσμα των γεωυλικών των Τεταρτογενών αποθέσεων (Εικόνα 5.34 α), εκτιμάται ότι αυτός κυμαίνεται από 7 έως 17 (63%) και από 17 έως 35 (25%), με τα υλικά να χαρακτηρίζονται από μέσο έως υψηλό δείκτη πλαστικότητας. Αντίστοιχα, από τον προσδιορισμό του δείκτη πλαστικότητας των υλικών των Νεογενών αποθέσεων (Εικόνα 5.34 β) εκτιμάται ότι πρόκειται για υλικά με ενδιάμεσο έως υψηλό δείκτη πλαστικότητας, με εύρος από 7 έως 17 (36%) και κυρίως 17 έως 35 (44%) αντίστοιχα.



Εικόνα 5.34 α, β. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος βάσει του δείκτη πλαστικότητας.

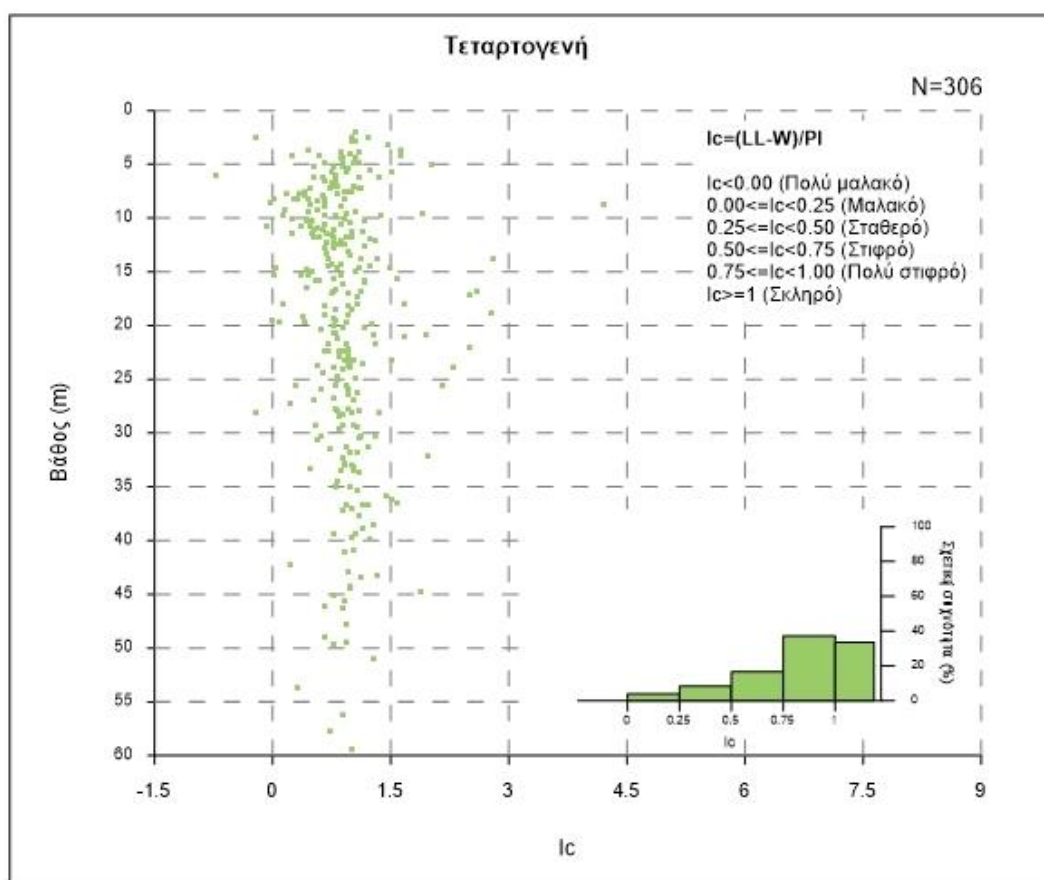
Από τον συνδυασμό των δύο μεγεθών (LL και PI) για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις, βάσει των επικρατούντων τιμών τους, προκύπτει ότι τα λεπτόκοκκα γεωυλικά εντοπίζονται πάνω από την ευθεία Casagrande με βάση το διάγραμμα (Εικόνα 5.35) και χαρακτηρίζονται κυρίως ως χαμηλής έως οριακά και ενδιάμεσης πλαστικότητας (CL-CI). Αντίστοιχα, οι Νεογενείς αποθέσεις τοποθετούνται και εκείνες πάνω από την ευθεία Casagrande, χαρακτηρίζοντας τα λεπτόκοκκα υλικά ως χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας (CL-CI).



Εικόνα 5.35. Διάκριση των λεπτόκοκκων υλικών των Τεταρτογενών και Νεογενών αποθέσεων για το Ανατολικό τμήμα σύμφωνα με το διάγραμμα Casagrande.

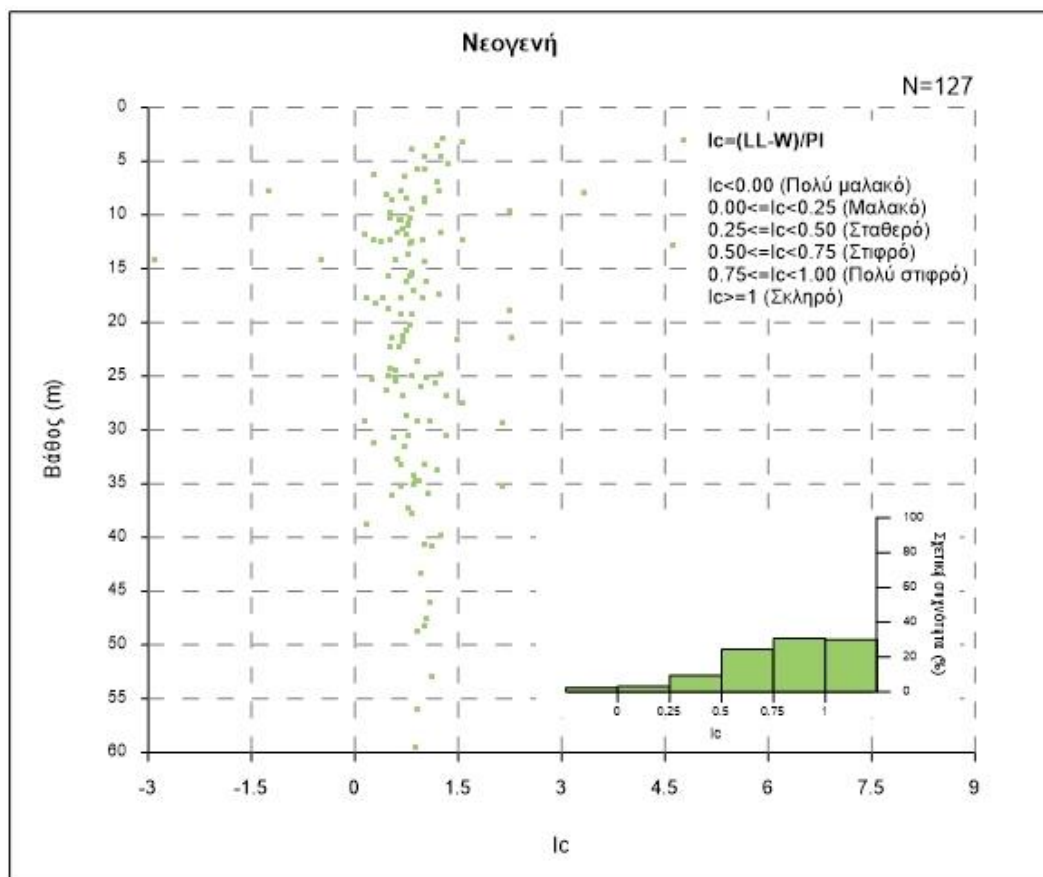
Για το δείκτη συνεκτικότητας (I_c) στις Τεταρτογενείς επιχώσεις, δεν προκύπτει κάποιο διάγραμμα κατανομής τιμών εξαιτίας της έλλειψης αξιόπιστων τιμών.

Από την Εικόνα 5.36 που δείχνει την κατανομή των τιμών I_c για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις προκύπτει ότι αυτές παρουσιάζουν μια γενικότερη διασπορά. Από την στατιστική κατανομή φαίνεται πως κυμαίνονται από 0,5 έως ≥ 1 χαρακτηρίζοντας το σχηματισμό ως σπιφρό έως σκληρό. Το μεγαλύτερο ποσοστό (40%) καταλαμβάνει τιμές 0,5 έως 0,75. Ποσοστό της τάξης του 35% παρουσιάζει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας.



Εικόνα 5.36. Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

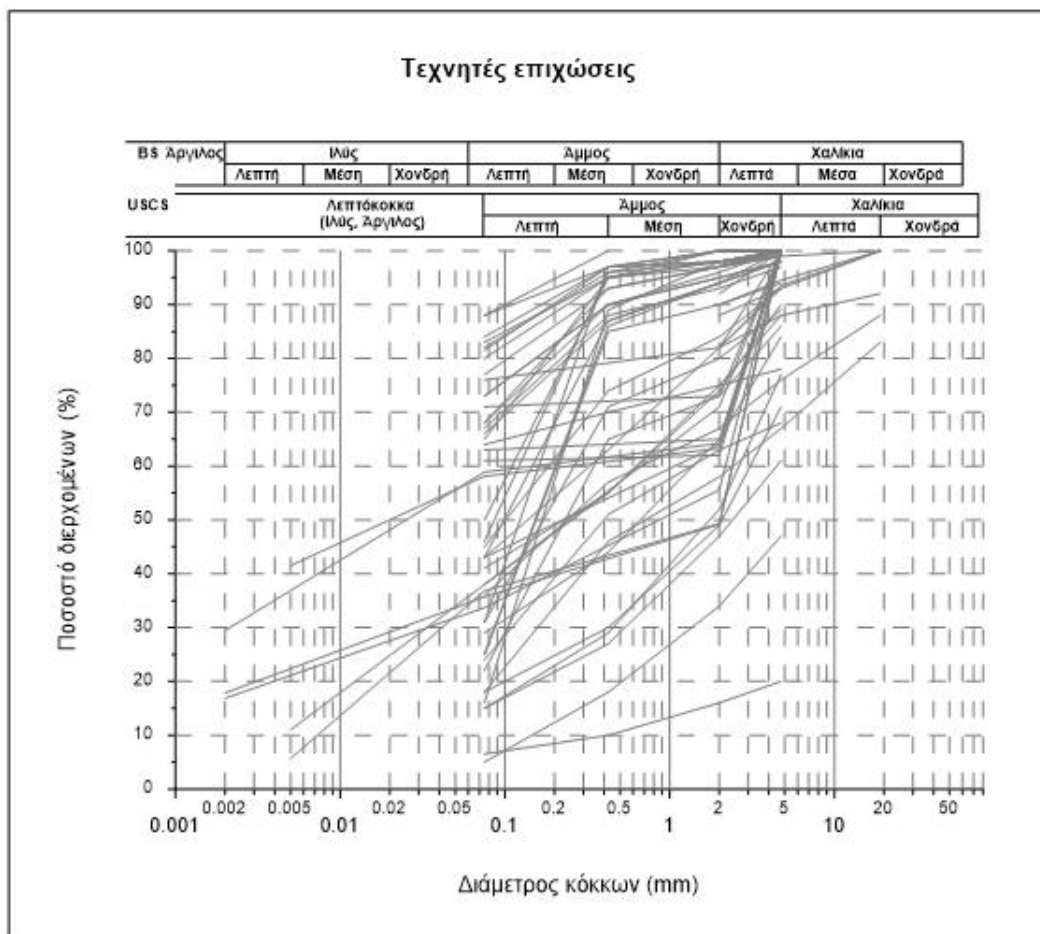
Από την Εικόνα 5.37 που δείχνει την κατανομή των τιμών I_c για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις προκύπτει ότι αυτές παρουσιάζουν μια γενικότερη διασπορά. Από την στατιστική κατανομή φαίνεται πως κυμαίνονται από 0,5 έως ≥ 1 χαρακτηρίζοντας το σχηματισμό ως σφιγρό έως σκληρό. Ένα ποσοστό της τάξης του 30% καταλαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας. Λίγο μικρότερα ποσοστά παρατηρούνται για τιμές από 0,5 έως 1.



Εικόνα 5.37. Διαγράμματα κατανομής τιμών δείκτη συνεκτικότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

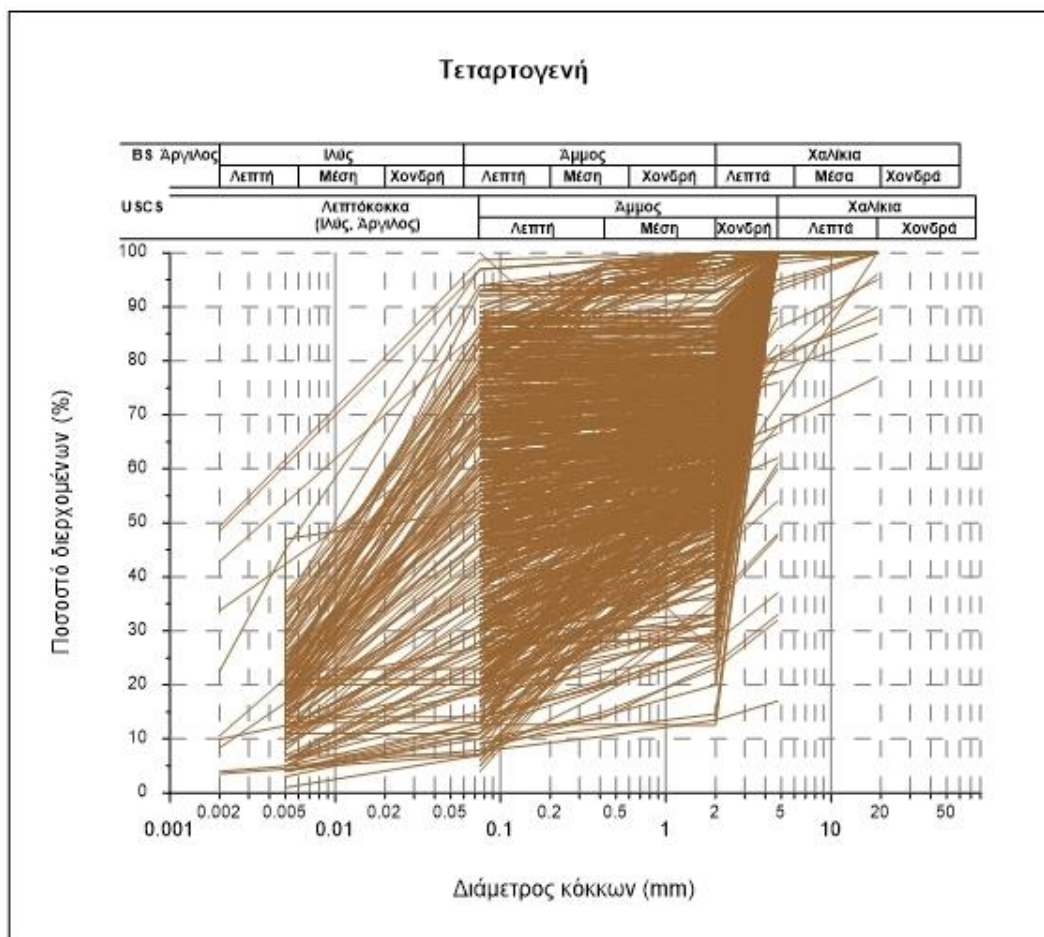
5.3.1.1.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση

Στην Εικόνα 5.38 παρουσιάζεται η κοκκομετρική διαβάθμιση των Τεχνητών επιχώσεων. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι επικρατούν τα αδρόκοκκα υλικά (άμμος, χάλικες). Συγκεκριμένα ο σχηματισμός αυτός αποτελείται κατά κύριο λόγο από χάλικες με ιλύ και άμμο, ιλυώδη άμμο με κυμαινόμενο ποσοστό χαλίκων έως ιλυώδεις χάλικες με άμμο.



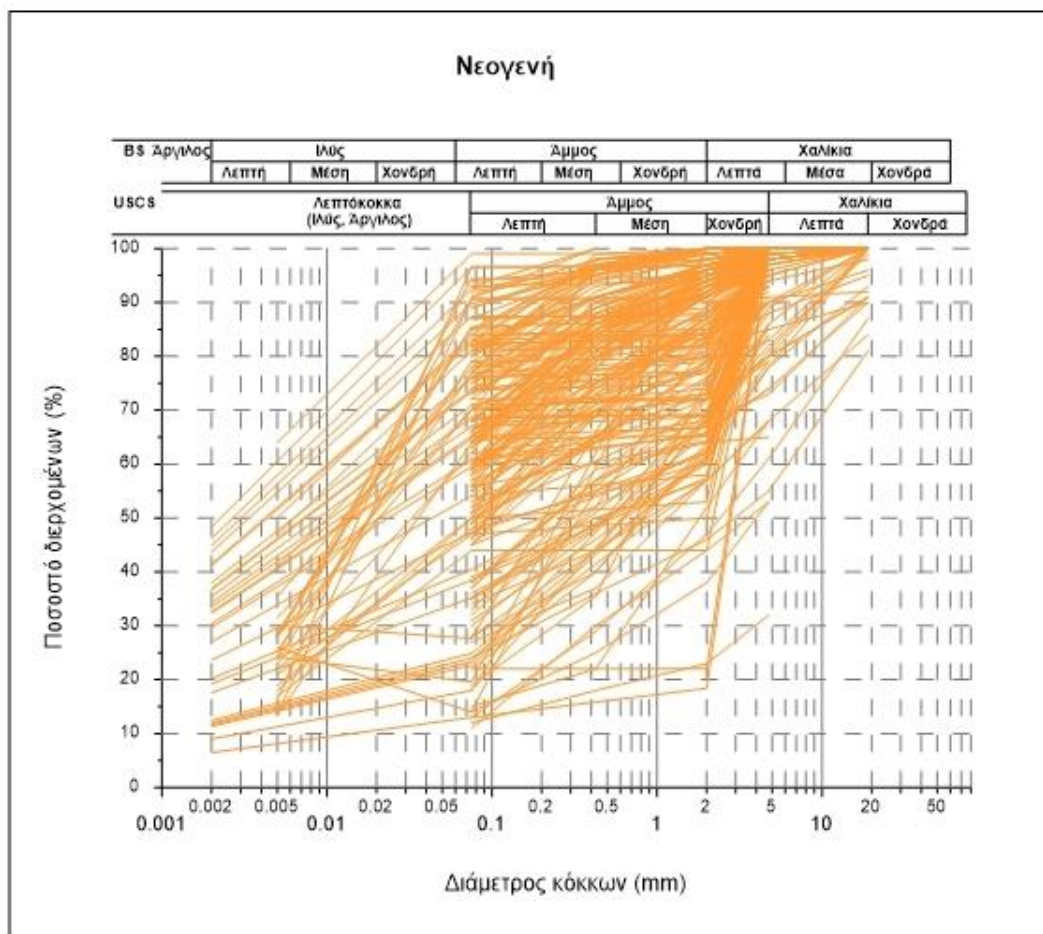
Εικόνα 5.38. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεχνητές επιχώσεις του Ανατολικού τμήματος.

Στην Εικόνα 5.39 παρουσιάζεται η κοκκομετρική διαβάθμιση των Τεταρτογενών αποθέσεων. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι επικρατούν κατά κύριο λόγο υλικά αμμόδους σύστασης. Ο σχηματισμός αποτελείται κυρίως από ιλυώδεις άμμους με κυμαινόμενα ποσοστά χαλικιών και ιλυώδεις χάλικες με άμμο, αμμόδεις αργίλους και αργιλώδεις άμμους με χάλικες.



Εικόνα 5.39. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

Στην Εικόνα 5.40 παρουσιάζεται η κοκκομετρική διαβάθμιση για τις Νεογενείς αποθέσεις. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι επικρατούν τα αδρόκοκκα σε σχέση με τα λεπτόκοκκα υλικά. Πρόκειται για σχηματισμούς που αποτελούνται από αμμώδεις αργίλους με χάλικες και αργίλους με άμμο, αμμώδεις ιλύες και αργιλώδεις-ιλυώδεις άμμους με κυμαινόμενο ποσοστό χαλικιών.

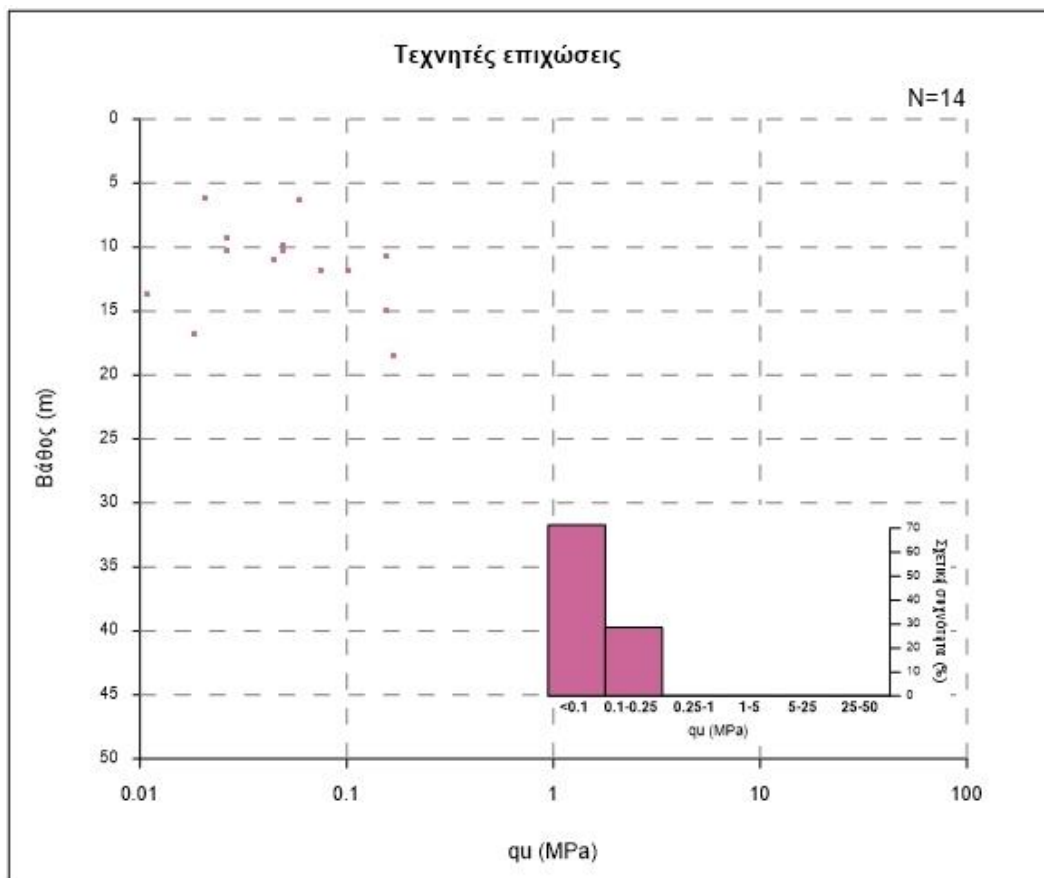


Εικόνα 5.40. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

5.3.1.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά

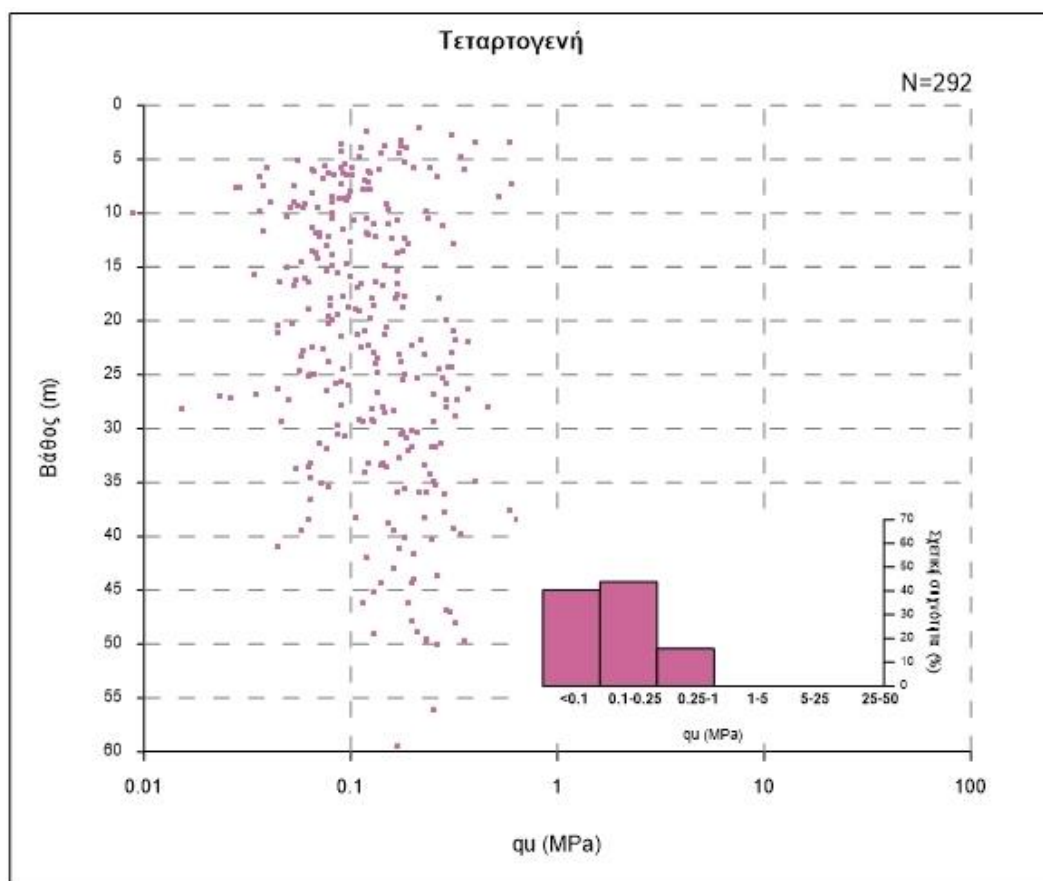
5.3.1.2.1 Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη

Από την Εικόνα 5.41 και την αξιολόγηση των τιμών της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη προκύπτει ότι οι Τεχνητές επιχώσεις είναι στο σύνολο τους μικρές έως πολύ μικρές ($q_u < 0.25 \text{ MPa}$) προσδίδοντας στα υλικά αυτά χαμηλές αντοχές. Πιο συγκεκριμένα, το 70% περιορίζεται σε τιμές $q_u < 0,1 \text{ MPa}$, ενώ το υπόλοιπο 30% σε τιμές $q_u = 0,1-0,25 \text{ MPa}$.



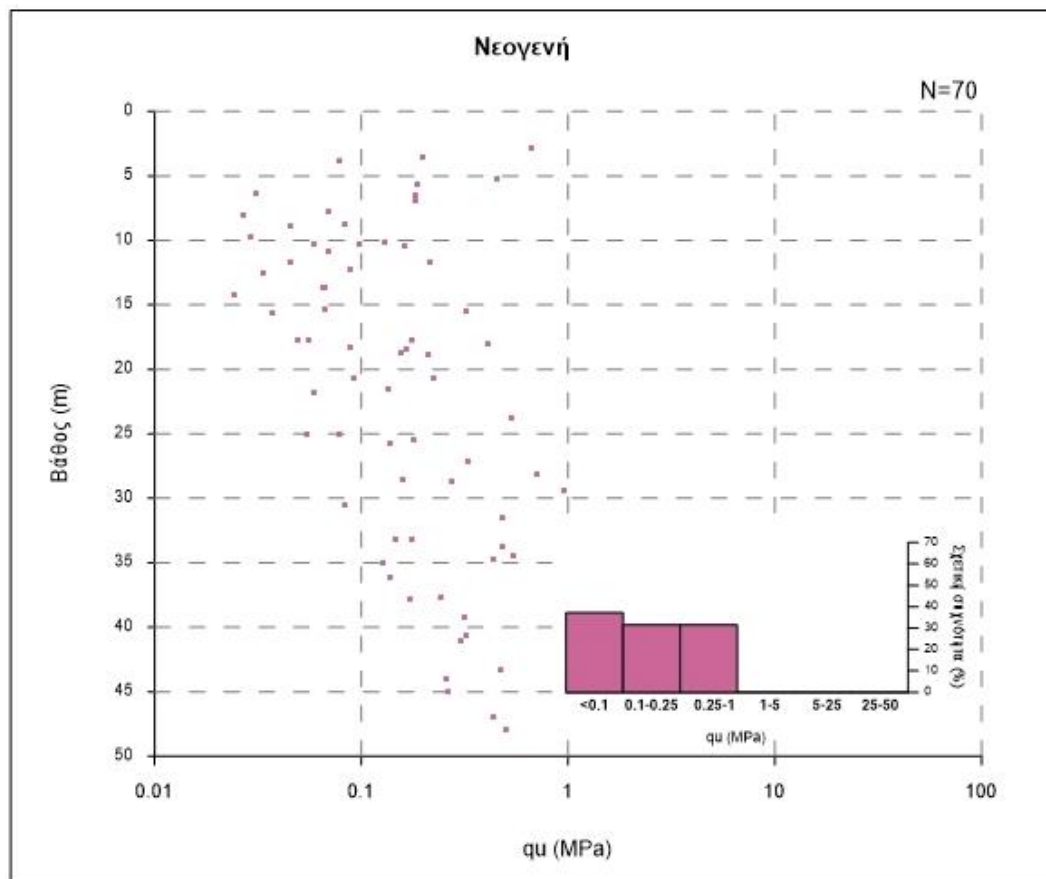
Εικόνα 5.41. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Τεχνητές επιχώσεις του Ανατολικού τμήματος.

Από την Εικόνα 5.42 και την αξιολόγηση των τιμών της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη προκύπτει ότι οι Τεταρτογενείς αποθέσεις είναι στην πλειονότητα τους (~80%) μικρές ($q_u < 0,25$ MPa) προσδίδοντας στα υλικά αυτά χαμηλές έως μέτριες αντοχές και χαρακτηρίζοντας τον σχηματισμό ως μαλακό έως σταθερό. Παρατηρούνται βέβαια και μικρότερα ποσοστά της τάξης του 20% όπου οι τιμές περιορίζονται σε $q_u = 0,25-1$ MPa αντίστοιχα.



Εικόνα 5.42. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

Από την Εικόνα 5.43 και την αξιολόγηση των τιμών της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη προκύπτει ότι οι Νεογενείς αποθέσεις είναι στο σύνολό τους μικρότερες από 1MPa υποδηλώνοντας έτσι ένα μαλακό έως σφιγρό σχηματισμό. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι τα διάφορα εύρη τιμών που παρατηρούνται παρουσιάζουν τα ίδια ποσοστά.

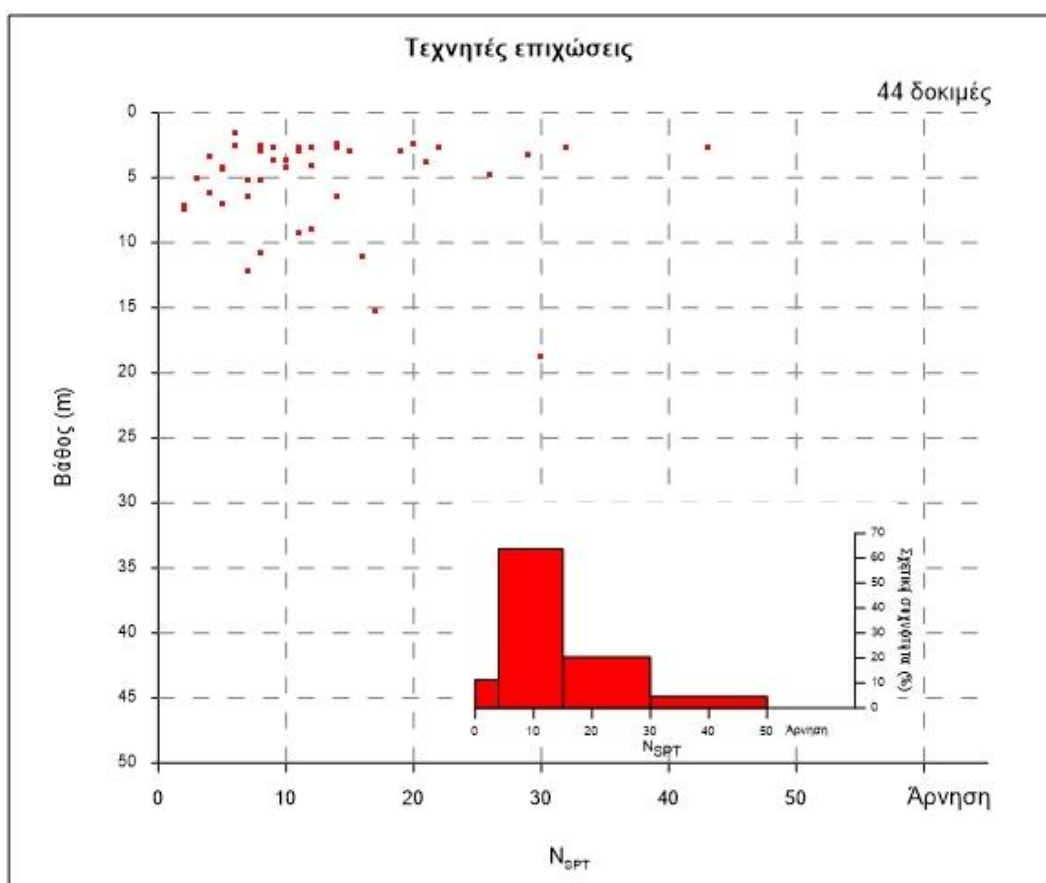


Εικόνα 5.43. Διαγράμματα κατανομής τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

5.3.2 Επί τόπου δοκιμές

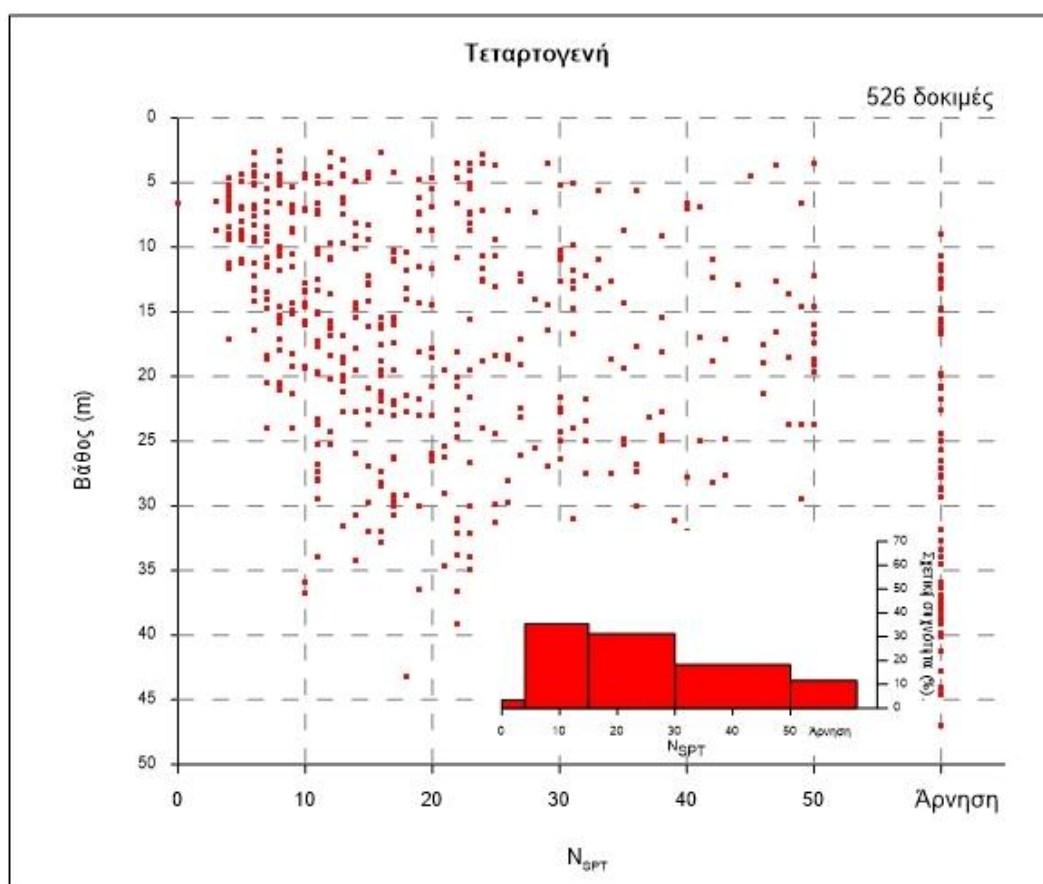
5.3.2.1 Πρότυπη δοκιμή διείσδυσης

Στην Εικόνα 5.44 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών SPT με το βάθος για τις Τεχνητές επιχώσεις. Η πλειονότητα των μετρήσεων (~60%) παίρνει ένα εύρος τιμών $N_{SPT} = 4-30$. Συγκεκριμένα, το 60% περιορίζεται σε τιμές $N_{SPT} = 4-15$ χαρακτηρίζοντας έτσι το σχηματισμό ως πολύ χαλαρό έως χαλαρό. Το υπόλοιπο 20% παρουσιάζει λίγο μεγαλύτερες τιμές $N_{SPT} = 15-30$ οι οποίες προσδίδουν ένα χαλαρό έως μέτρια πυκνό χαρακτήρα στο σχηματισμό. Παρατηρούνται επίσης ποσοστά της τάξης του 10% όπου οι τιμές είναι μικρότερες από $N_{SPT} = 4$.



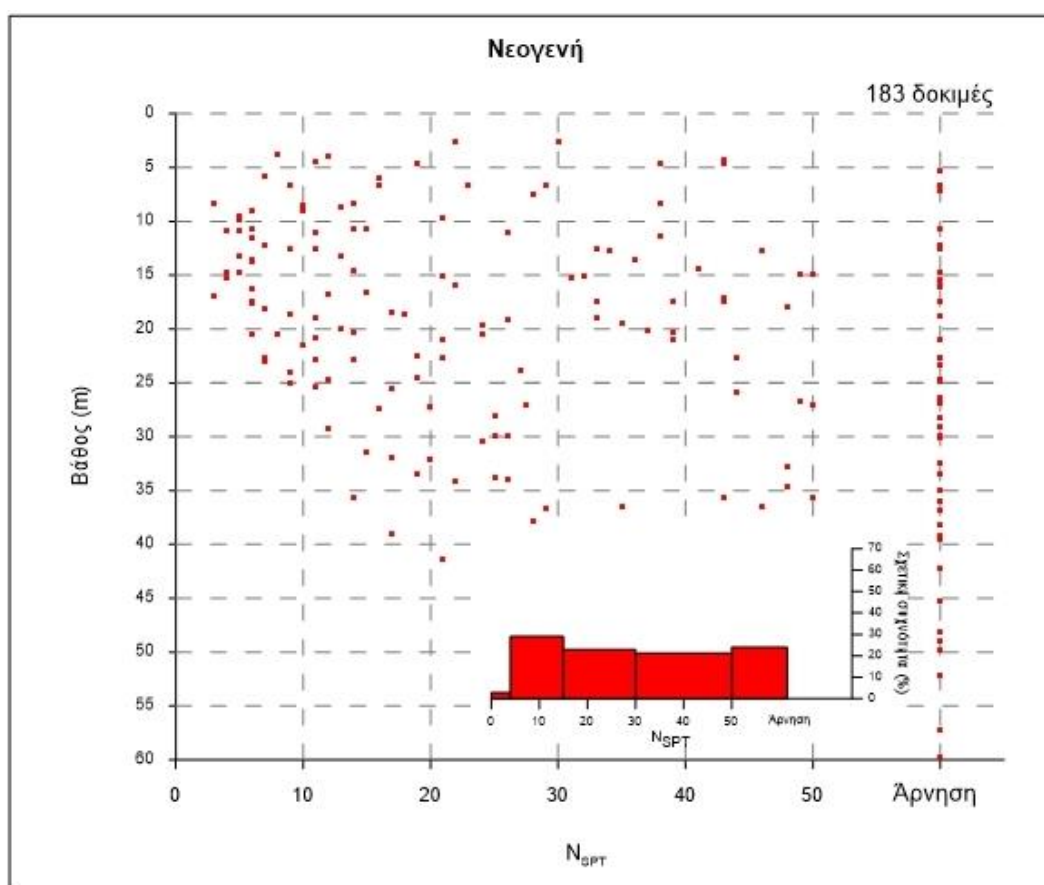
Εικόνα 5.44. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Τεχνητές επιχώσεις του Ανατολικού τμήματος.

Στην Εικόνα 5.45 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών SPT με το βάθος για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις. Παρατηρείται μια διασπορά ως προς την κατανομή των τιμών, οι οποίες κυμαίνονται από πολύ μικρές έως αρκετά υψηλές. Η πλειονότητα των μετρήσεων (~65%) παίρνει ένα εύρος τιμών $N_{SPT} = 4-30$. Συγκεκριμένα, το 35% παρουσιάζει τιμές $N_{SPT} = 4-15$ χαρακτηρίζοντας έτσι το σχηματισμό ως πολύ χαλαρό έως χαλαρό. Το υπόλοιπο 30% παρουσιάζει λίγο μεγαλύτερες τιμές $N_{SPT} = 15-30$ οι οποίες προσδίδουν ένα χαλαρό έως μέτρια πυκνό χαρακτήρα στο σχηματισμό. Αρνήσεις ($N_{SPT} > 50$) παρατηρούνται σε μικρά ποσοστά της τάξης του 10%. Κάτι ακόμη που γίνεται εύκολα αντιληπτό από το διάγραμμα είναι πως οι τιμές SPT αυξάνονται, καθώς μεγαλώνει το βάθος.



Εικόνα 5.45. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

Στην Εικόνα 5.46 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών SPT με το βάθος για τις Νεογενείς αποθέσεις. Παρότι το ποσοστό των αρνήσεων (~25%) στις Νεογενείς αποθέσεις είναι μεγαλύτερο από αυτό των Τεταρτογενών (~10%), στο σύνολό τους οι τιμές παρουσιάζουν μια ευδιάκριτη διασπορά. Το γεγονός αυτό, δίνει την εικόνα ενός σχηματισμού που παρουσιάζει κάποια ετερογένεια. Μια ακόμη παρατήρηση σχετικά με τη διακύμανση των τιμών SPT, είναι πως αυτές αυξάνονται με το βάθος, γεγονός που οφείλεται στη βελτίωση της ποιότητας του.

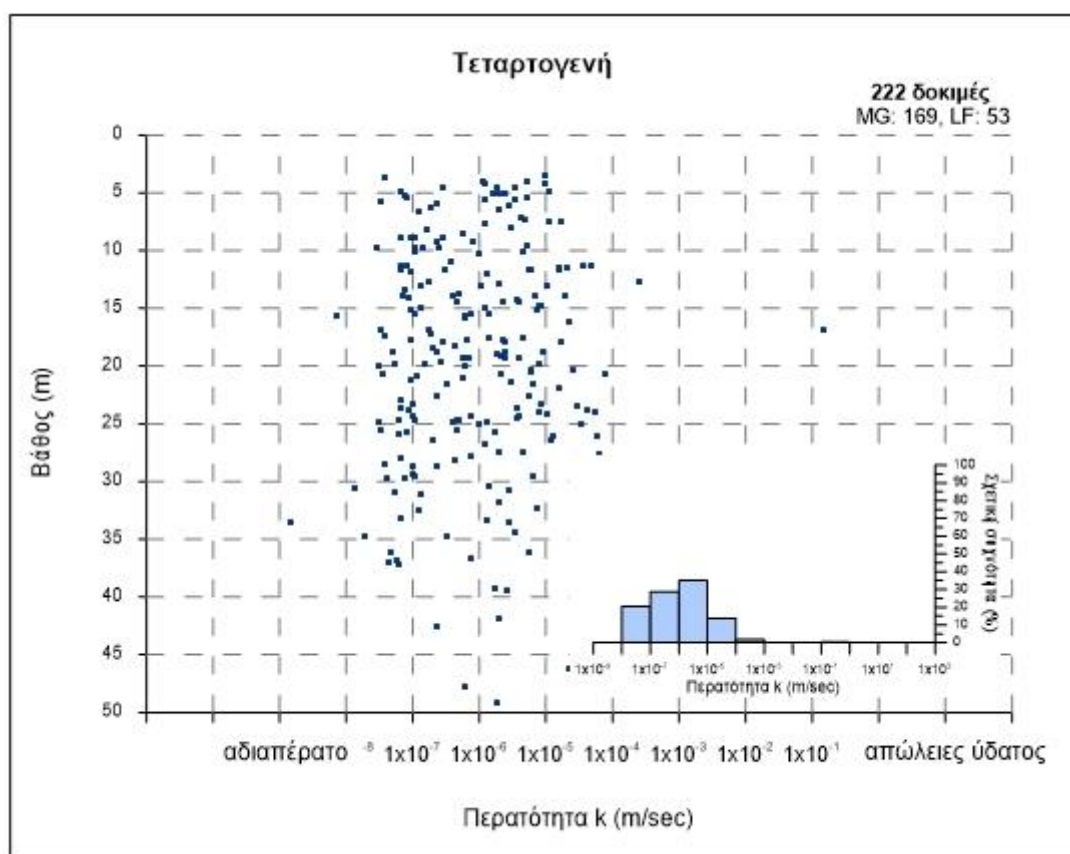


Εικόνα 5.46. Διαγράμματα κατανομής τιμών SPT για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

5.3.2.2 Επί τόπου δοκιμές περατότητας

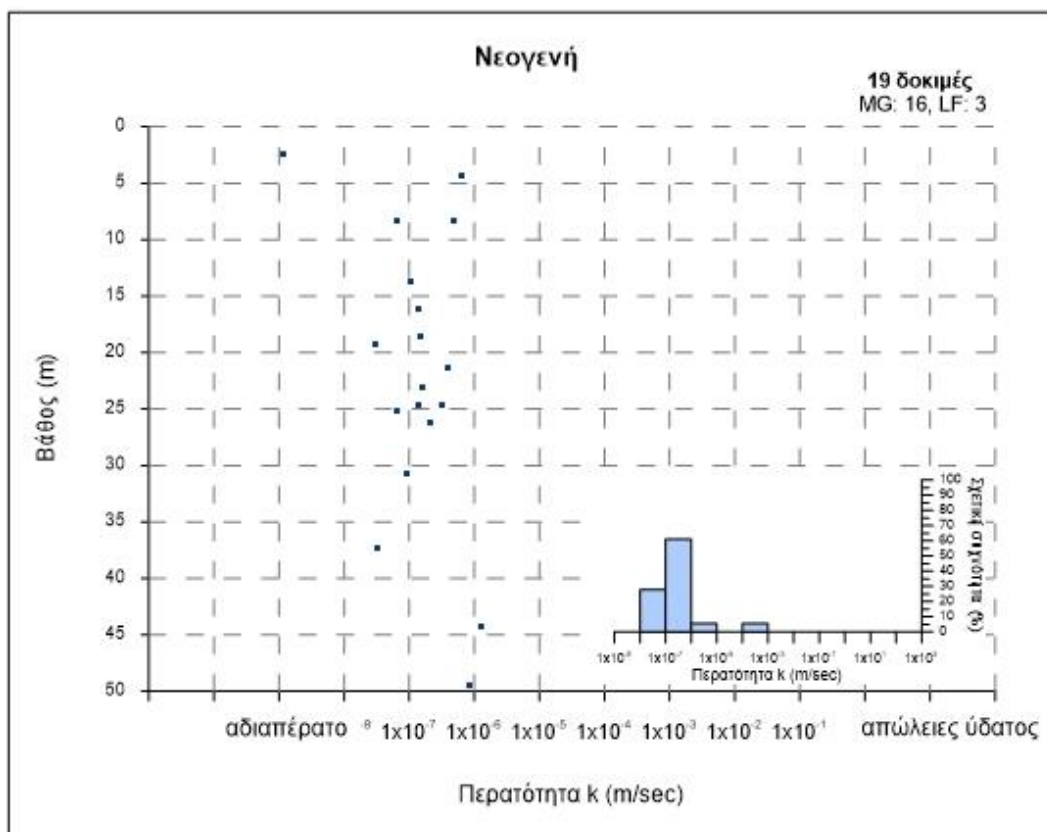
Για τις Τεχνητές επιχώσεις, δεν είναι διαθέσιμος ικανός αριθμός δοκιμών περατότητας ώστε να προκύπτει κάποιο ασφαλές συμπέρασμα.

Στην Εικόνα 5.47 παρουσιάζονται οι τιμές περατότητας των Τεταρτογενών αποθέσεων για το Ανατολικό τμήμα. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι πρόκειται για σχηματισμούς χαμηλής έως μέσης περατότητας. Οι τιμές των διαφόρων δοκιμών περατότητας που εκτελέστηκαν κυμαίνονται από 10^{-8} έως 10^{-4} m/sec και το μεγαλύτερο ποσοστό (~35%) λαμβάνει τιμές από 10^{-6} έως 10^{-5} m/sec. Οι μεγαλύτερες τιμές περατότητας παρατηρούνται στην περίπτωση των πολύ χαλαρών και χαλαρών υλικών για τους αδρόκοκκους σχηματισμούς και πολύ μαλακών έως μαλακών υλικών για τους λεπτόκοκκους σχηματισμούς. Αντίστοιχα οι μικρότερες τιμές περατότητας παρατηρούνται στα μετρίως πυκνά έως πυκνά υλικά για τους αδρόκοκκους σχηματισμούς και τα σταθερά έως στιφρά υλικά των λεπτόκοκκων σχηματισμών.



Εικόνα 5.47. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

Στην Εικόνα 5.48 παρουσιάζονται οι τιμές περατότητας των Νεογενών αποθέσεων. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι πρόκειται για σχηματισμούς με χαμηλές έως πολύ χαμηλές τιμές περατότητας, οι οποίες κυμαίνονται από 10^{-8} έως 10^{-6} m/sec. Το μεγαλύτερο ποσοστό (60%) παρουσιάζει τιμές από 10^{-7} έως 10^{-6} m/sec. Αυτό συμβαίνει διότι ο σχηματισμός των Νεογενών αποθέσεων αποτελείται κατά κύριο λόγο από μετρίως πυκνά έως πολύ πυκνά και σταθερά έως σκληρά υλικά, τα οποία παρουσιάζουν χαμηλή περατότητα.



Εικόνα 5.48. Διαγράμματα κατανομής τιμών περατότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

Από την αξιολόγηση της γεωλογικής-τεχνικογεωλογικής μηκοτομής Α-Α' και των διαθέσιμων στοιχείων για το Ανατολικό τμήμα προέκυψαν κάποια φάσματα τιμών για τρεις παραμέτρους (q_u , SPT και k). Αυτές παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω (Πίνακας 5.2).

Πίνακας 5.2. Πίνακας με φάσματα τιμών για τις παραμέτρους q_u , SPT και k για το Ανατολικό τμήμα

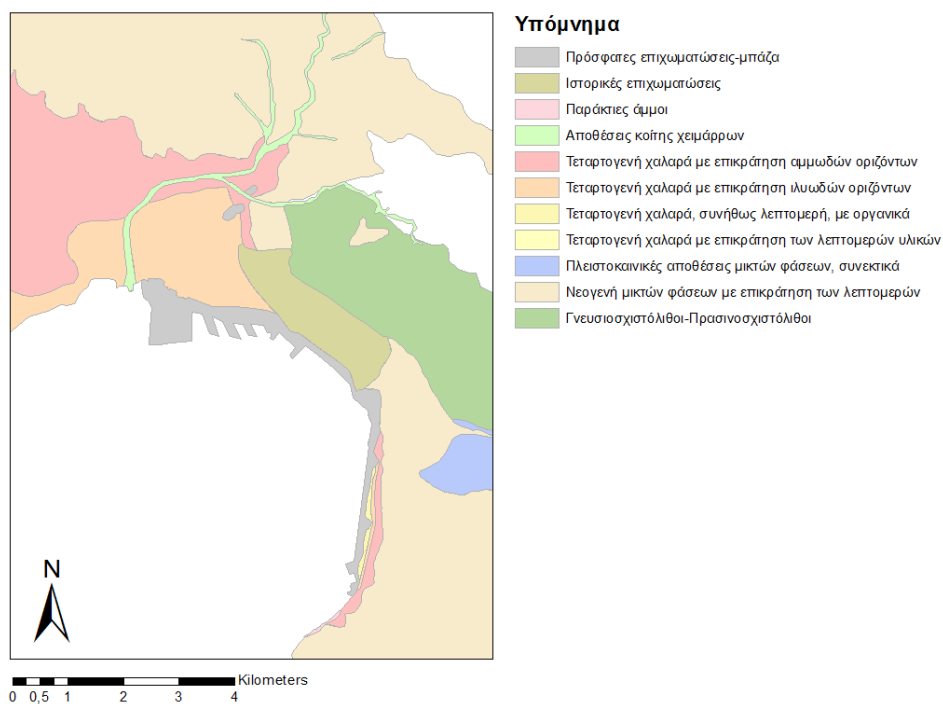
<u>Σχηματισμός</u>	<u>q_u (MPa)</u>	<u>SPT</u>	<u>k (m/sec)</u>
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	-	5-15	-
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (επικράτηση αμμώδους υλικού)	0,05-0,25	10-25	10^{-7} - 10^{-4}
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (επικράτηση αργιλικού υλικού)	0,1-0,4	15-35	10^{-8} - 10^{-5}
ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (επικράτηση αργιλικού υλικού)	0,25-1	>35	10^{-9} - 10^{-6}

Με βάση τον παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό πως οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις είναι χαμηλές έως πολύ χαμηλές. Ιδιαίτερα στη ζώνη όπου επικρατούν τα αμμώδης σύστασης υλικά και λόγω της αυξημένης περατότητας, αναμένονται να συναντηθούν οι κυριότερες γεωτεχνικές προκλήσεις (καθιζήσεις, αιφνίδιες εισροές νερού, ανυψώσεις-ταπεινώσεις του υδροφόρου ορίζοντα κατά τη διάνοιξη). Αυτό βέβαια αξιολογήθηκε και κατά τη φάση μελέτης του κύριου έργου του Μετρό Θεσσαλονίκης.

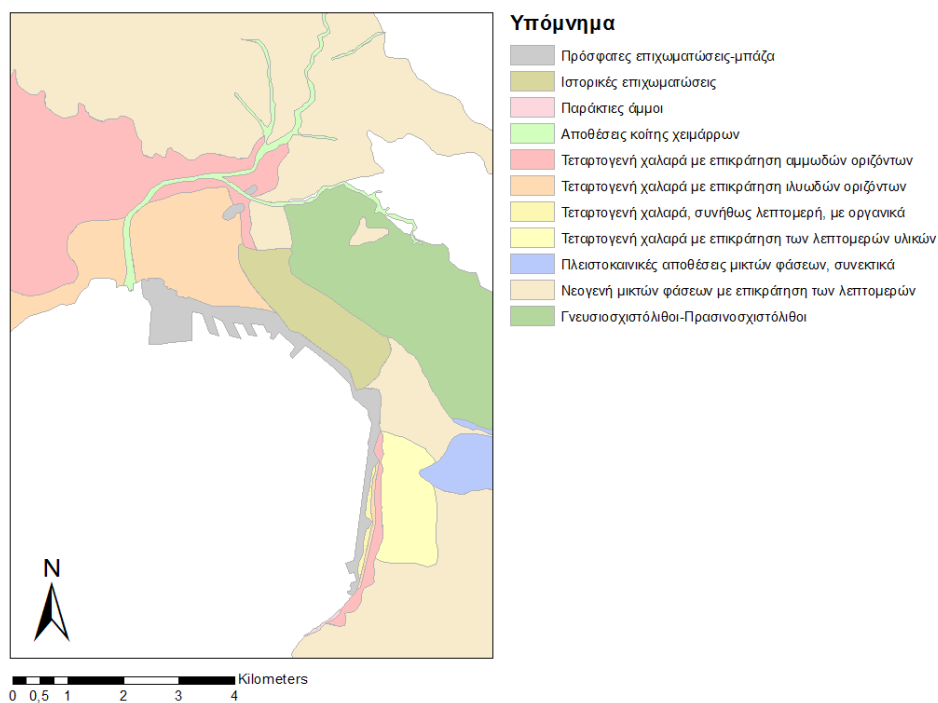
Σχετικά με τις Νεογενείς αποθέσεις, διαπιστώνεται ότι πρόκειται για σχηματισμούς με αρκετά καλά μηχανικά χαρακτηριστικά, τα οποία σε συνδιασμό με τις χαμηλές παρατηρούμενες τιμές περατότητας καθιστούν αυτόν το σχηματισμό ιδιαίτερα ικανό ως προς την απόκριση του κατά την κατασκευή υπόγειων έργων.

Τέλος, όπως είναι αναμενόμενο, οι Τεχνητές επιχώσεις παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές SPT και θεωρούνται σχηματισμοί χωρίς αντοχή. Ακόμη, εντός αυτών δεν εκτελέστηκαν επί τόπου δοκιμές περατότητας.

Ακόμη, από την ανάλυση των γεωτρήσεων της Ανατολικής περιοχής προέκυψε η επικαιροποίηση του τεχνικογεωλογικού χάρτη (Εικόνα 5.50), η αρχική μορφή του οποίου (Εικόνα 5.49) δεν συμπεριλαμβάνει τις Τεταρτογενείς αποθέσεις που εντοπίστηκαν στην περιοχή.



Εικόνα 5.49. Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, κλίμακα 1:25.000, ΙΓΜΕ, 1998 (Ρόζος Δ. et al 1998).



Εικόνα 5.50. Τροποποιημένος τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης, κλίμακα 1:25.000, ΙΓΜΕ, 1998.

6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΤΙΣ ΥΠΟ ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

6.1 Ενδεικτικές διατομές

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο κατασκευάζονται διατομές για συγκεκριμένες θέσεις κατά μήκος των τομών του Ανατολικού και Κεντρικού τμήματος. Η επιλογή αυτών των θέσεων καθορίζεται από το συνδυασμό του ύψους των υπερκείμενων, του πάχους των τεχνητών επιχώσεων, της θέσης του υδροφόρου ορίζοντα καθώς και των θέσεων όπου αλλάζει το υλικό σε σχέση με τη σήραγγα. Επιλέγονται τρεις περιπτώσεις τυπικών διατομών για το Ανατολικό και δύο για το Κεντρικό τμήμα.

Με βάση τα δεδομένα των γεωτρήσεων και των εργαστηριακών δοκιμών που επεξεργάστηκαν, ορίζεται για κάθε σχηματισμό ένα φάσμα τιμών για τις τεχνικογεωλογικές παραμέτρους που επιλέχθηκαν να αξιολογηθούν. Αυτές οι παράμετροι είναι η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u), η πρότυπη δοκιμή διείσδυσης (SPT), το φαινόμενο βάρος, υγρό στην περίπτωση που ο σχηματισμός είναι κάτω από τον υδροφόρο και ξηρό στην περίπτωση που είναι πάνω από αυτόν (γ), ο δείκτης πλαστικότητας (PI) και ο δείκτης συνεκτικότητας (I_c). Οι συγκεκριμένες παράμετροι έχουν επιλεγεί διότι μέσω αυτών δίνεται η ποσοτική πληροφορία που αφορά στην κατάταξη των σχηματισμών.

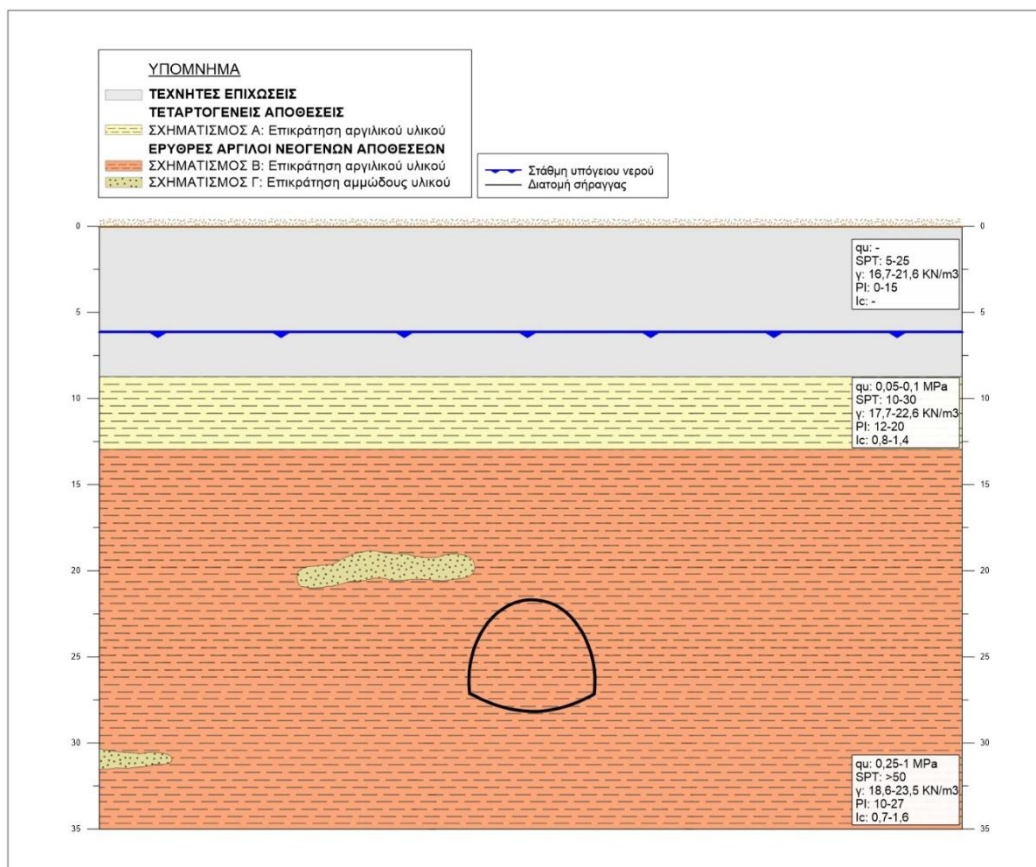
6.1.1 Κεντρικό τμήμα

Με σκοπό την αξιολόγηση της συμπεριφοράς κατά τη διάνοιξη κατασκευάστηκαν 2 ενδεικτικές διατομές. Έτσι, για το Κεντρικό τμήμα και τη χιλιομετρική θέση 0+600 κατασκευάζεται η ενδεικτική διατομή 1 (Εικόνα 6.1).

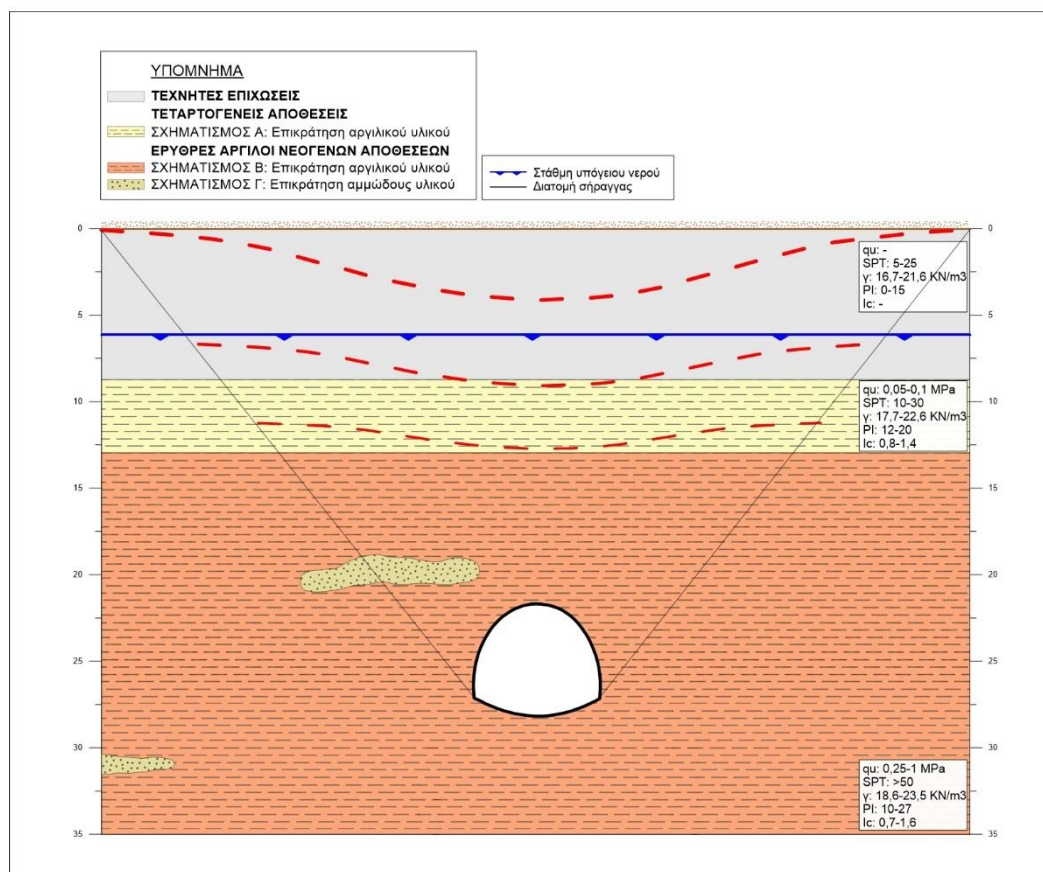
Σύμφωνα με αυτήν, η σήραγγα τοποθετείται στα 25 μέτρα βάθος και διέρχεται μέσα από τις Ερυθρές αργίλους των Νεογενών αποθέσεων. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται πάνω από τη σήραγγα και συγκεκριμένα μέσα στις Τεχνητές επιχώσεις, το πάχος των οποίων είναι ιδιαίτερα μεγάλο και ανέρχεται στα 8,5μ. Ο σχηματισμός αυτός είναι εξαιρετικά χαλαρός και χωρίς αντοχή γεγονός που εντείνεται ακόμη περισσότερο με την αυξημένη περατότητα που παρατηρείται σε αυτόν.

Κάτω από τις Τεχνητές επιχώσεις και σε επαφή με αυτές είναι τα αργιλικής σύστασης υλικά των Τεταρτογενών αποθέσεων. Οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις είναι ιδιαίτερα χαμηλές, όπως παρουσιάζονται και στον παρακάτω πίνακα. Αυτοί οι δύο σχηματισμοί καταλαμβάνουν ένα σημαντικό πάχος (~15μ.).

Αναμένονται προβλήματα στην επιφάνεια του εδάφους με πιθανές καθιζήσεις, ανάλογα με το πάχος των Νεογενών αποθέσεων, πάνω από τη στέψη της σήραγγας, λόγω του σημαντικού πάχους των Τεχνητών επιχώσεων (Εικόνα 6.2).



Εικόνα 6.1. Ενδεικτική διατομή 1, για το Κεντρικό τμήμα (ΧΘ 0+600).



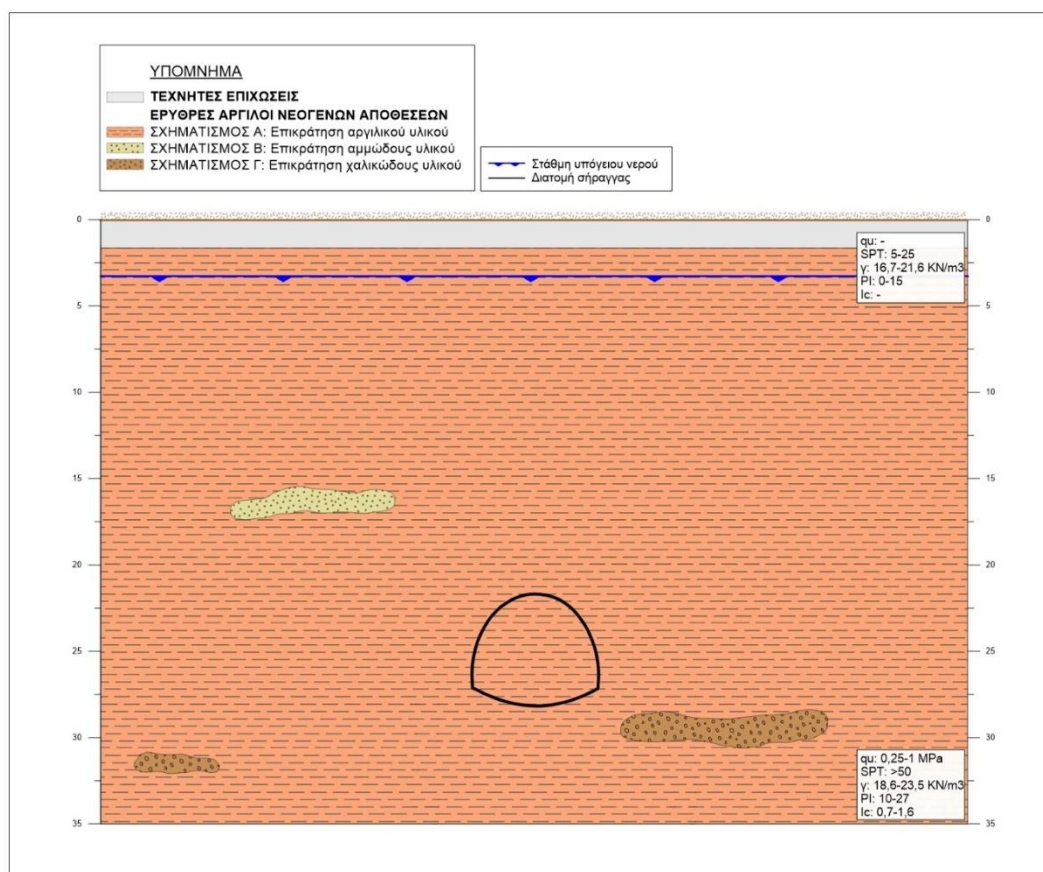
Εικόνα 6.2. Μηχανισμός αστοχίας για την ενδεικτική διατομή 1, για το Κεντρικό τμήμα (ΧΘ 0+600).

Για το Κεντρικό τμήμα και τη χιλιομετρική θέση 0+750 κατασκευάζεται η ενδεικτική τυπική διατομή 2 (Εικόνα 6.3).

Το πάχος των τεχνητών επιχώσεων είναι μικρό και ανέρχεται στα 2μ. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται μέσα στις Ερυθρές αργίλους των Νεογενών αποθέσεων και τοποθετείται πάνω από τη σήραγγα που βρίσκεται σε βάθος 25 μέτρα.

Η περιοχή διέλευσης της σήραγγας δομείται αποκλειστικά από το σχηματισμό των Ερυθρών αργίλων. Οι Ερυθρές άργιλοι κατέχουν ένα σημαντικό πάχος πολλών μέτρων. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού είναι πολύ καλά, ενώ η υδροπερατότητα του είναι πολύ χαμηλή έως χαμηλή και δεν αναμένεται ανάπτυξη αξιόλογης υδροφορίας, εκτός από περιορισμένους φακούς πιο αδρόκοκκων υλικών.

Η συγκεκριμένη ανάλυση πραγματοποιείται για μονή σήραγγα με διάμετρο 6μ. Σε αυτή την περίπτωση δεν αναμένονται προβλήματα και επομένως δεν απαιτείται σημαντική στήριξη στο μέτωπο και στο θόλο. Για μια οδική σήραγγα που θα είναι μεγαλύτερης διαμέτρου πχ 12μ, τότε μπορεί να υπάρξουν θέματα καθιζήσεων οι οποίες μπορεί να εξελιχθούν μέχρι την επιφάνεια.



Εικόνα 6.3. Ενδεικτική διατομή 2, για το Κεντρικό τμήμα (ΧΘ 0+750).

Οι παράμετροι που αξιολογήθηκαν για τη συγκεκριμένη περιοχή παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1. Πίνακας με φάσματα τιμών για τις παραμέτρους q_u , SPT, γ , PI και I_c για το Κεντρικό τμήμα

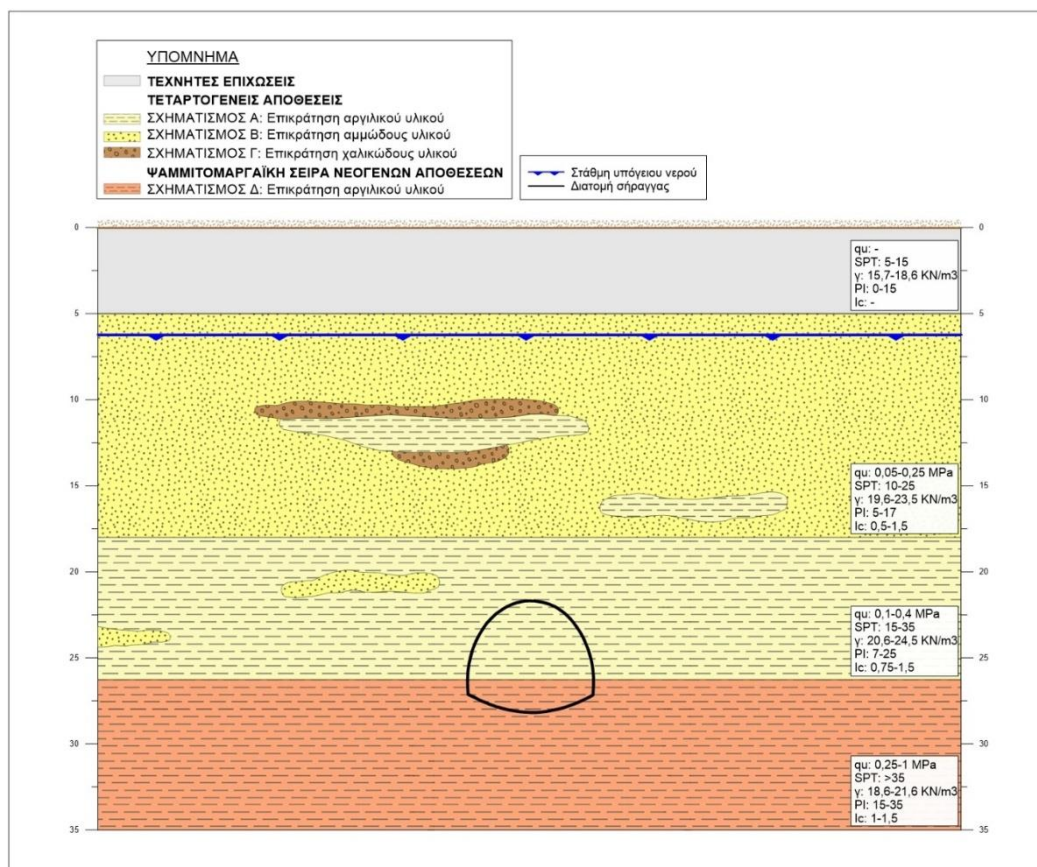
<u>Σχηματισμός</u>	<u>q_u (MPa)</u>	<u>SPT</u>	<u>γ (KN/m³)</u>	<u>PI</u>	<u>I_c</u>
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	-	5-25	16,7-21,6	0-15	-
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (επικράτηση αργιλικού υλικού)	0,05-0,1	10-30	17,7-22,6	12-20	0,8-1,4
ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (επικράτηση αργιλικού υλικού)	0,25-1	>50	18,6-23,5	10-27	0,7-1,6

6.1.2 Ανατολικό τμήμα

Με σκοπό την αξιολόγηση της συμπεριφοράς κατά τη διάνοιξη κατασκευάστηκαν 3 ενδεικτικές διατομές για το Ανατολικό τμήμα.

Η στάθμη του νερού βρίσκεται πάνω από τη σήραγγα. Αυτή τοποθετείται στα 25 μέτρα βάθος και διέρχεται μέσα από τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις. Το πάχος των Τεχνητών επιχώσεων είναι το μέγιστο που παρατηρείται στην περιοχή και ανέρχεται στα 5μ. ενώ η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται μέσα στις Τεταρτογενείς αποθέσεις και συγκεκριμένα στη ζώνη όπου επικρατούν τα αμμώδης σύστασης υλικά (Εικόνα 6.4). Ο σχηματισμός αυτός παρουσιάζει μέση έως υψηλή περατότητα. Η γεωμετρική ανάπτυξη αυτού του σχηματισμού, επιτρέπει τη δημιουργία εκτεταμένου υδροφόρου σε αυτόν. Αναμένεται επομένως κάποια ροή νερού από το δευτερογενές πορώδες με τη μορφή αυξημένης υγρασίας, η οποία όμως ανακόπτεται στα μεγαλύτερα βάθη καθώς οι αμμώδους σύστασης σχηματισμοί έρχονται σε επαφή με αργιλικής σύστασης.

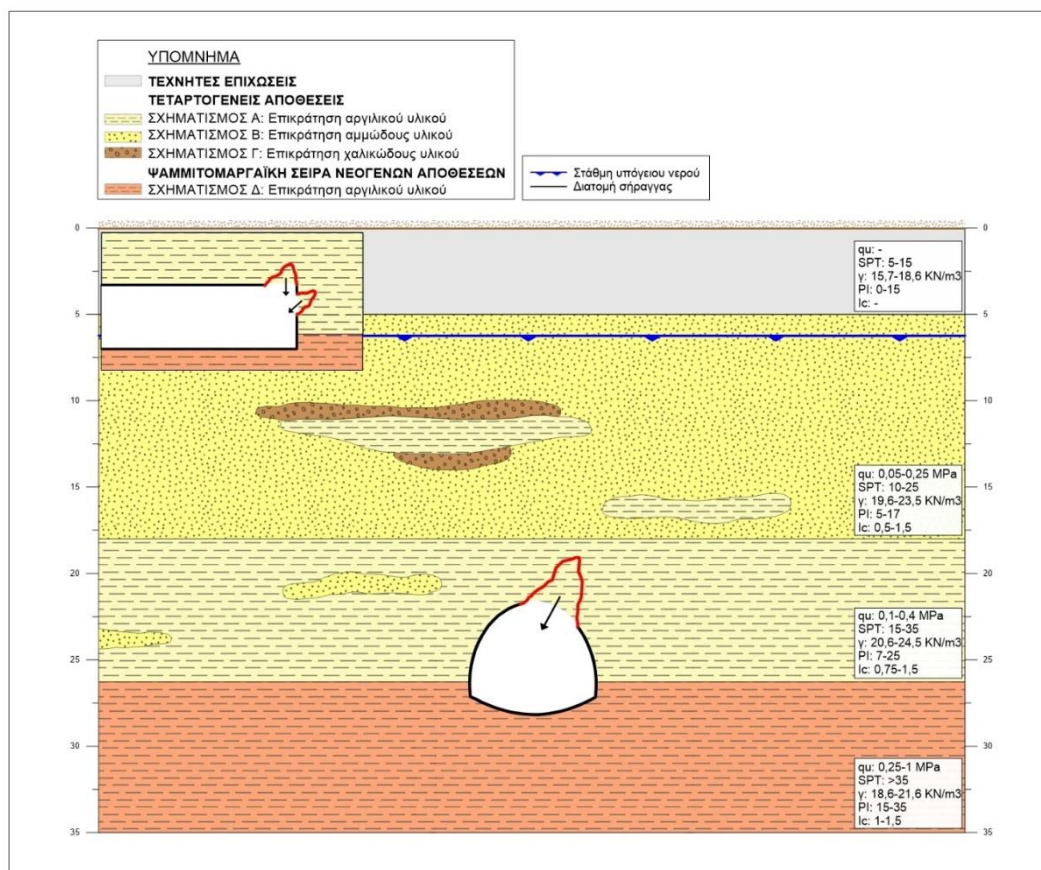
Η ύπαρξη υδροφορίας στην επαφή με τον υποκείμενο σχηματισμό των Τεταρτογενών υλικών αργιλικής σύστασης θα αποτελούσε το δυσμενέστερο σενάριο σε περίπτωση που ο σχηματισμός συναντηθεί κατά τη διάνοιξη της σήραγγας. Ωστόσο η σήραγγα βρίσκεται αρκετά μέτρα βαθύτερα και δεν αναμένεται η ανάπτυξη αξιόλογης υδροφορίας μιας και η περατότητα που παρατηρείται στους Τεταρτογενείς σχηματισμούς και στις Ερυθρές αργίλους των Νεογενών αποθέσεων με επικράτηση του αργιλικού υλικού είναι πολύ χαμηλή έως χαμηλή.



Εικόνα 6.4. Ενδεικτική διατομή 1Α, για το Ανατολικό τμήμα (ΧΘ 0+150)

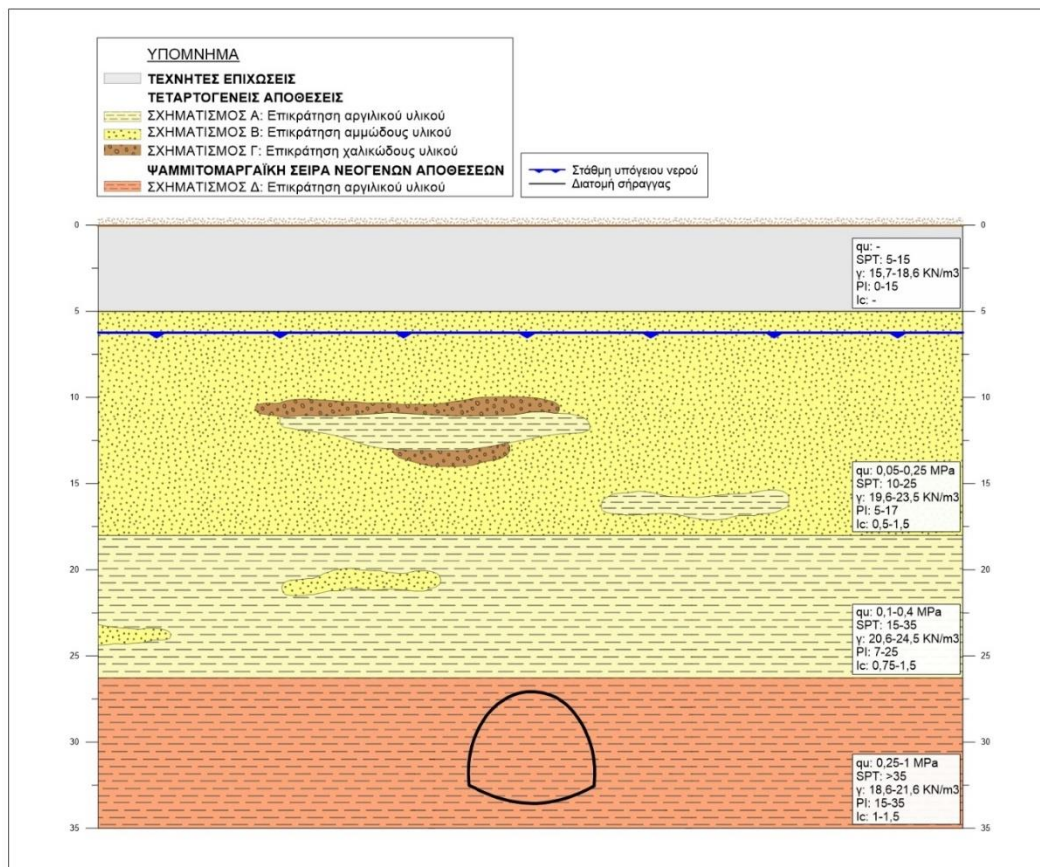
Ιδιαίτερη έμφαση θα πρέπει να δοθεί στην περιοχή της σήραγγας αφού αυτή διέρχεται μέσα από δύο σχηματισμούς οι οποίοι παρουσιάζουν κάποιες διαφοροποιήσεις ως προς την αντοχή και την απόκριση τους κατά τη διάνοιξη της σήραγγας.

Το Μέτωπο και ο δακτύλιος βρίσκονται κυρίως μέσα στα Τεταρτογενή, οπότε σε αυτή την περίπτωση υπάρχει άμεσος κίνδυνος αστοχίας κατάρρευσης του μετώπου και των τοιχωμάτων (Εικόνα 6.5). Αυτή η καμινάδα μπορεί να εξελιχθεί και να φτάσει μέχρι την επιφάνεια. Απαιτείται λοιπόν μια πίεση τόσο στα τοιχώματα όσο και στο μέτωπο.

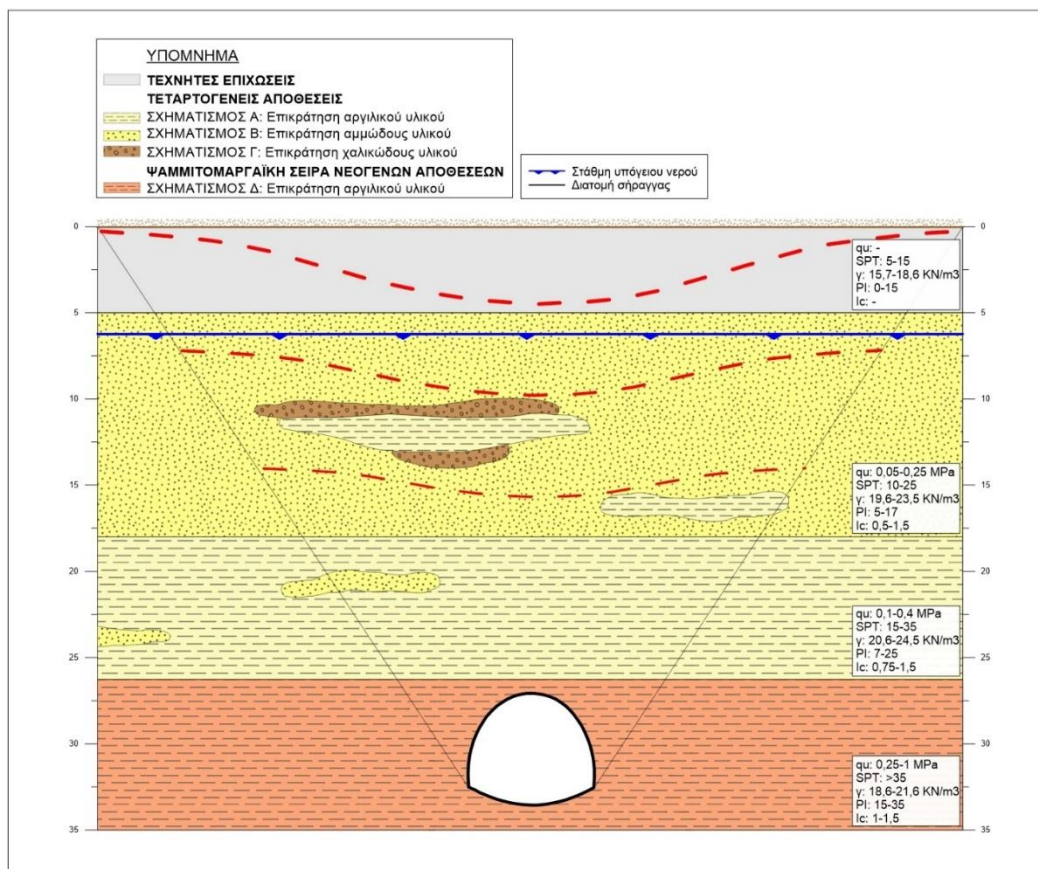


Εικόνα 6.5. Μηχανισμός αστοχίας για την ενδεικτική διατομή 1Α, για το Ανατολικό τμήμα (ΧΘ 0+150)

Στην ίδια θέση μετατοπίζοντας τη σήραγγα σε μεγαλύτερα βάθη (Εικόνα 6.6), εντός των Νεογενών αποθέσεων, παρατηρείται ευστάθεια του μετώπου χωρίς άμεσες καταπτώσεις. Παράλληλα, δεν παρατηρείται ικανό πάχος καλού και συνεκτικού υλικού με αποτέλεσμα να προκληθούν καθιζήσεις στην επιφάνεια. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη περίπτωση θα είχε εφαρμογή σε μια οδική σήραγγα με χρήση συμβατικής μεθόδου εκσκαφής σιράγγων (NATM) (Εικόνα 6.7).



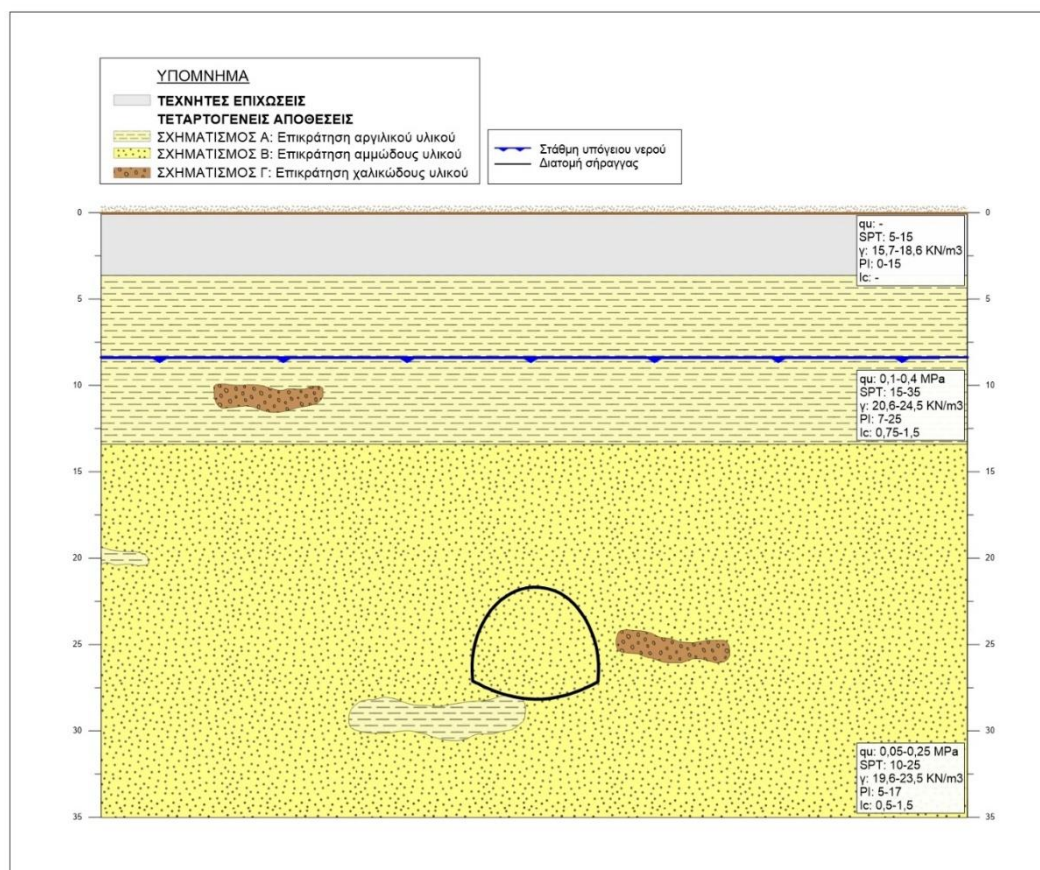
Εικόνα 6.6. Ενδεικτική διατομή 1B, για το Ανατολικό τμήμα (XΘ 0+150)



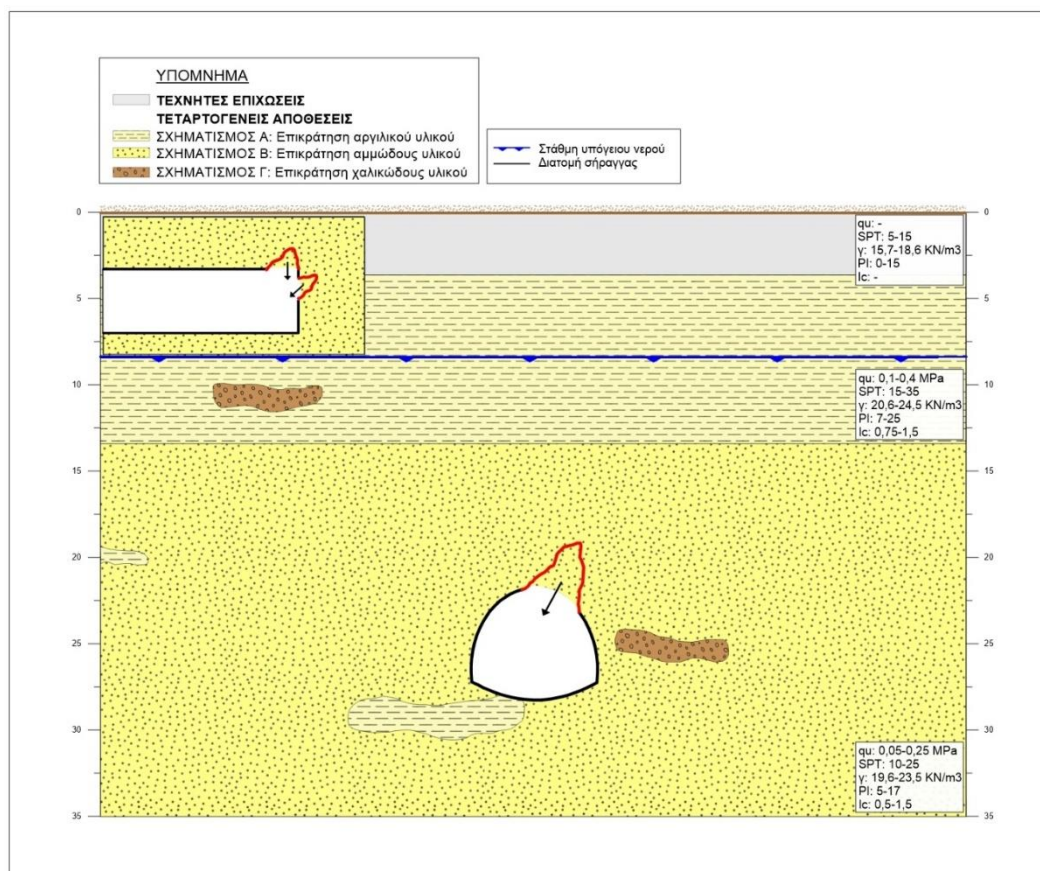
Εικόνα 6.7. Μηχανισμός αστοχίας για την ενδεικτική διατομή 1B, για το Ανατολικό τμήμα (ΧΘ 0+150)

Η στάθμη του νερού βρίσκεται πάνω από τη σήραγγα. Αυτή τοποθετείται στα 25 μέτρα βάθος και διέρχεται μέσα από τις Τεταρτογενείς αποθέσεις όπου επικρατούν τα αμμόδους σύστασης υλικά. Το πάχος των Τεχνητών επιχώσεων ανέρχεται στα 3μ. ενώ η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται μέσα στις Τεταρτογενείς αποθέσεις και συγκεκριμένα στη ζώνη όπου επικρατούν τα αργιλικής σύστασης υλικά (Εικόνα 6.8). Η περατότητα αυτού του σχηματισμού είναι πολύ χαμηλή έως χαμηλή και δεν αναμένεται η ανάπτυξη αξιόλογης υδροφορίας, εκτός από περιορισμένους φακούς πιο αδρόκοκκων υλικών.

Ο μηχανισμός αστοχίας που μπορεί να διαπιστωθεί είναι μια άμεση κατάρρευση του μετώπου (Εικόνα 6.9). Παρατηρείται δηλαδή μια παρόμοια κατάσταση με την πρώτη ενδεικτική διατομή, μόνο που στη συγκεκριμένη θέση το υλικό μέσα στο οποίο εντοπίζεται το δάπεδο της σήραγγας είναι χειρότερο. Ακόμη, ο σχηματισμός των Τεταρτογενών αποθέσεων με επικράτηση αμμόδους σύστασης από όπου διέρχεται η σήραγγα παρουσιάζει μέση έως υψηλή περατότητα. Αναμένεται επομένως κάποια ροή νερού, η οποία μπορεί να ελεγχθεί ασκώντας πίεση στο μέτωπο και διαποτίζοντας το έδαφος με πολφό μπετονίτη (μηχάνημα Slurry).



Εικόνα 6.8. Ενδεικτική διατομή 2, για το Ανατολικό τμήμα (ΧΘ 0+600)



Εικόνα 6.9. Μηχανισμός αστοχίας για την ενδεικτική διατομή 2, για το Ανατολικό τμήμα (ΧΘ 0+600)

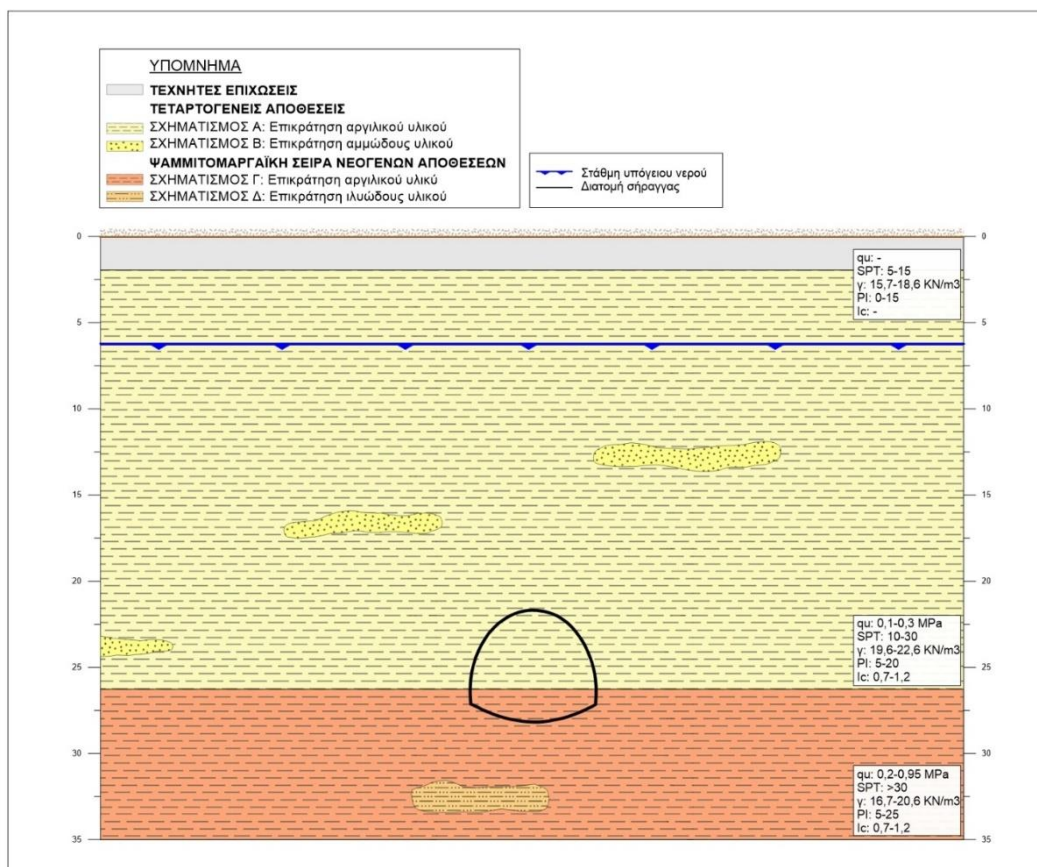
Οι παράμετροι που αξιολογήθηκαν για τη συγκεκριμένη περιοχή παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 6.2).

Πίνακας 6.2. Πίνακας με φάσματα τιμών για τις παραμέτρους q_u , SPT, γ , PI και I_c για το Ανατολικό τμήμα

<u>Σχηματισμός</u>	<u>q_u (MPa)</u>	<u>SPT</u>	<u>γ (KN/m³)</u>	<u>PI</u>	<u>I_c</u>
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	-	5-15	15,7-18,6	0-15	-
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (επικράτηση αμμώδους υλικού)	0,05-0,25	10-25	19,6-23,5	5-17	0,5-1,5
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (επικράτηση αργιλικού υλικού)	0,1-0,4	15-35	20,6-24,5	7-25	0,75-1,5
ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (επικράτηση αργιλικού υλικού)	0,25-1	>35	18,6-21,6	15-35	1-1,5

Για το Ανατολικό τμήμα και τη χιλιομετρική θέση 1+600 κατασκευάζεται η ενδεικτική τυπική διατομή 3 (Εικόνα 6.10).

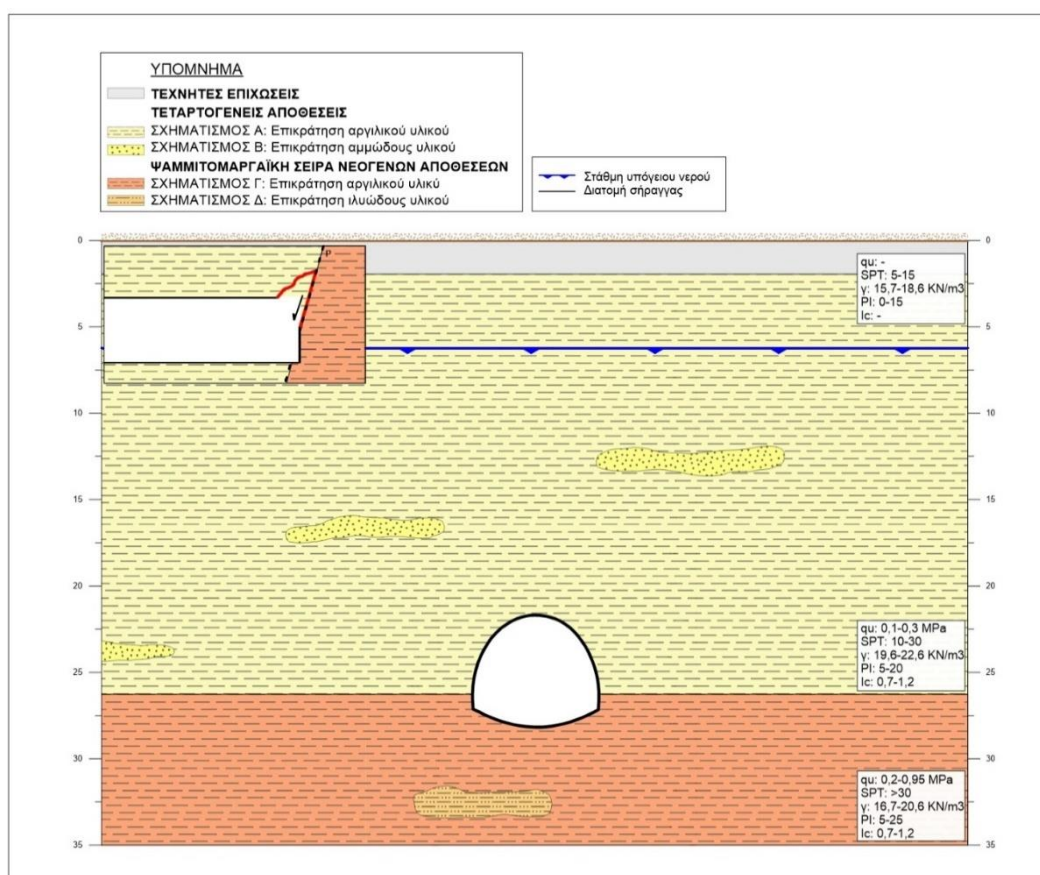
Το πάχος των Τεχνητών επιχώσεων ανέρχεται στα 2μ. ενώ η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται πάνω από τη σήραγγα και συγκεκριμένα μέσα στις Τεταρτογενείς αποθέσεις στη ζώνη όπου επικρατούν τα αργιλικής σύστασης υλικά. Η σήραγγα τοποθετείται στα 25 μέτρα βάθος και διέρχεται μέσα από τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις. Αυτοί οι σχηματισμοί παρουσιάζουν μέση έως χαμηλή περατότητα.



Εικόνα 6.10. Ενδεικτική διατομή 3, για το Ανατολικό τμήμα (ΧΘ 1+600)

Η επίδραση του ρήγματος στην περιοχή της Βούλγαρη υποβαθμίζει την ποιότητα των σχηματισμών που βρίσκονται σε άμεση γειτνίαση με αυτό. Ακόμη ένας παράγοντας που επηρεάζει η ύπαρξη του ρήγματος είναι η κίνηση του νερού που γίνεται με μεγαλύτερη ευκολία στα μεγαλύτερα βάθη, χωρίς όμως να αναμένεται έντονη ροή, λόγω της επικράτησης των αργιλικών υλικών.

Πρόκειται να παρατηρηθεί παρόμοιος μηχανισμός αστοχίας μόνο που στην προκειμένη περίπτωση αλλάζει η γεωμετρία του προβλήματος καθώς αναμένεται τα υλικά αυτά να ολισθήσουν κατά μήκος της επιφάνειας του ρήγματος η οποία έχει σαφώς πτωχότερα μηχανικά χαρακτηριστικά (Εικόνα 6.11).



Εικόνα 6.11. Μηχανισμός αστοχίας για την ενδεικτική διατομή 3, για το Ανατολικό τμήμα (ΧΘ 1+600)

Οι παράμετροι που αξιολογήθηκαν για την περιοχή πλησίον του ρήγματος παρουσιάζουν μικρότερες τιμές. Ωστόσο η διαφορά που παρατηρείται (Πίνακας 6.3) δεν είναι μεγάλη.

Πίνακας 6.3. Πίνακας με φάσματα τιμών για τις παραμέτρους q_u , SPT, γ , PI και k για το Ανατολικό τμήμα κοντά στην περιοχή του ρήγματος

<u>Σχηματισμός</u>	<u>q_u (MPa)</u>	<u>SPT</u>	<u>γ (KN/m³)</u>	<u>PI</u>	<u>I_c</u>
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	-	5-15	15,7-18,6	0-15	-
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (επικράτηση αργιλικού υλικού)	0,1-0,3	10-30	19,6-22,6	5-20	0,7-1,2
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (επικράτηση αργιλικού υλικού)	0,2-0,95	>30	16,7-20,6	5-25	0,7-1,2

7 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΟΡΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ

7.1 Γενικά

Η κατασκευή ενός υπόγειου έργου σε ένα αστικό περιβάλλον αποτελεί ένα σημαντικό εγχείρημα, που συχνά σχετίζεται με μεγάλες οικονομικές επενδύσεις. Αυτά τα έργα σε πολλές περιπτώσεις κατασκευάζονται κάτω από πολύπλοκες συνθήκες και για αυτό το λόγο θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στα εξής:

- Η επιλογή της καταλληλότερης χάραξης γίνεται λαμβάνοντας υπόψη διάφορους περιορισμούς όπως είναι η παρουσία υπόγειου δικτύου κοινής ωφέλειας, η πιθανή παρεμβολή με τα κτίρια στην επιφάνεια, η ύπαρξη προϋπάρχουσων υπόγειων κατασκευών κ.α.
- Πολλές φορές, λόγω έντονης αστικοποίησης και αυξημένης οικοδόμησης, η προσβασιμότητα για περαιτέρω διερεύνηση του χώρων όπου πρόκειται να εκτελεστούν οι εργασίες είναι περιορισμένη.
- Οι αστικές σήραγγες κατασκευάζονται κατά κανόνα σε μικρά βάθη τόσο για λειτουργικούς, όσο και για οικονομικούς λόγους. Απαιτείται λοιπόν ιδιαίτερη προσοχή προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι διαταραχές κατά την εκσκαφή και να αποφευχθούν καταστάσεις που πιθανώς μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στην επιφάνεια του εδάφους, όπως καθιζήσεις ή ακόμη και διαφορικές καθιζήσεις στις κατασκευές.
- Πολλές πόλεις ανά τον κόσμο διακρίνονται από την ύπαρξη ενός σημαντικού ιστορικού υποβάθρου με ταυτόχρονη παρουσία αρχαιολογικών ευρημάτων. Οι περιοχές αυτές θα πρέπει να εντοπίζονται και να αντιμετωπίζονται με ιδιαίτερη προσοχή κατά τον σχεδιασμό υπόγειων έργων.
- Κατά το στάδιο σχεδιασμού και κατασκευής των υπόγειων και συνοδών προς αυτό έργων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορα θέματα όπως είναι η προσωρινή διευθέτηση της κυκλοφορίας, η επιλογή της θέσης των εργοταξίων, ο περιορισμός της σκόνης, ο έλεγχος των οχλήσεων και φυσικά η διαφύλαξη της ασφάλειας του κοινωνικού συνόλου.
- Τέλος, κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη ενός εκτεταμένου δικτύου οργάνων με σκοπό την καλύτερη και ακριβέστερη παρακολούθηση της απόκρισης της γύρω περιοχής κατά την κατασκευή υπόγειων έργων.

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μια αυξανόμενη ανάπτυξη της χρήσης της μηχανοποιημένης διάνοιξης κατά την κατασκευή υπογείων έργων στις αστικές περιοχές. Οι γεωλογικές συνθήκες των σχηματισμών, τα χαμηλό ύψος των υπερκείμενων και η ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα πάνω από το επίπεδο της σήραγγας είναι μερικά θέματα που πρέπει να επισημαίνονται κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή υπογείων έργων με σκοπό την όσο το δυνατόν μικρότερη διαταραχή του περιβάλλοντος και την ορθή λειτουργία του υπόγειου έργου χωρίς να παραγκωνίζεται η σημασία των υπόλοιπων παραμέτρων όπως είναι η ασφάλεια, η άνεση και το κόστος συντήρησης αυτού του έργου.

Η κατασκευή υπόγειων έργων, μέσα στο έντονα αστικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης, δημιουργεί το αίτημα για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των σχηματισμών κατά την εκσκαφή τους. Ιδιαίτερη έμφαση θα πρέπει να δοθεί στην επιρροή αυτών των έργων στην επιφάνεια του εδάφους, όπου συντελείται το σύνολο της δραστηριότητας της πόλης, ώστε να αποφευχθούν επικίνδυνες καταστάσεις. Κρίνεται επομένως απαραίτητο να εκτελεστούν αρχικά η γεωλογική και τεχνικογεωλογική αξιολόγηση των γεωυλικών που συναντώνται, με σκοπό την παρουσίαση των επικρατούντων σχηματισμών στην περιοχή του έργου και τον προσδιορισμό των τεχνικογεωλογικών τους ιδιοτήτων. Στη συνέχεια, και αφού κατασκευαστούν χρήσιμα διαγράμματα προκύπτουν τα αποτελέσματα σχετικά με την επιλογή του πλέον αποδοτικού και κατάλληλου μηχανήματος διάνοιξης για την κατασκευή των υπόγειων έργων.

7.2 Μηχανήματα TBM

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται ιδιαίτερη μνεία στη μηχανοποιημένη διάνοιξη σιράγγων και στις προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν τα μηχανήματα που επιλέγονται σε κάθε περίπτωση.

Προκειμένου να καθοριστούν ο τύπος, οι προδιαγραφές και οι απαιτήσεις ενός μηχανήματος TBM απαιτούνται διάφορες γενικές πληροφορίες σχετικά με τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής που πρόκειται να διανοιχθεί το έργο, την παρουσία νερού, τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης της χάραξης, τους περιορισμούς και απαγορεύσεις που ενδέχεται να υπάρχουν στην περιοχή, τη γνώση και εμπειρία των εμπλεκόμενων στο σχεδιασμό και την κατασκευή του έργου, το κόστος της κατασκευής κ.α.

Ωστόσο, η επιλογή του κατάλληλου μηχανήματος διάνοιξης δε θα πρέπει να περιορίζεται μόνο στα παραπάνω, αλλά να υπεισέρχεται και σε άλλες πληροφορίες, περισσότερο λεπτομερείς. Αυτές αναλύονται στα επόμενα υποκεφάλαια και αναφέρονται στην κοκκομετρία των εδαφικών σχηματισμών, στην ανάπτυξη κολλώδους συμπεριφοράς στα αργιλικά εδάφη, καθώς και στη διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων.

Έχει παρατηρηθεί πως σε λιγότερο σταθερούς εδαφικούς σχηματισμούς και ιδίως σε αυτούς που βρίσκονται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, πρέπει να ασκηθεί πίεση επί του μετώπου εκσκαφής κατά τη διάνοιξη έτσι ώστε το υλικό να παραμείνει ευσταθές. Οι δύο βασικοί τύποι μηχανημάτων που παρουσιάζουν αυτή τη δυνατότητα είναι τα μηχανήματα εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης με ασπίδα (Earth Pressure Balance machines) και τα μηχανήματα πολφού μπεντονίτη με ασπίδα (Slurry Shield machines). Παρακάτω, αναλύονται κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών των δύο τύπων με σκοπό να γίνει η τελική επιλογή μηχανήματος για την υπό μελέτη περιοχή έρευνας.

7.2.1 Μηχανήματα Εξισορρόπησης της Εδαφικής Πίεσης (Earth Pressure Balance Machines-EPB)

Από τις πιο συνηθισμένες τεχνικές μηχανοποιημένης διάνοιξης αποτελεί η μέθοδος της εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης (Earth Pressure Balance-EPB). Οι λόγοι που οδηγούν στον ολοένα και αυξανόμενο βαθμό χρησιμοποίησης της είναι η οικονομική της βιωσιμότητα, η ευελιξία της, αλλά και η μεγάλη της απόδοση στον περιορισμό των επιφανειακών μετακινήσεων και καθιζήσεων ακόμα και σε εδαφικούς σχηματισμούς ιδιαίτερα πτωχής ποιότητας.

Ο θάλαμος εκσκαφής αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μέρη ενός μηχανήματος EPB, καθώς παίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του. Οι διαστάσεις της κεφαλής κοπής, σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε το εκσκαφθέν υλικό να εισέρχεται ομαλά μέσα από τα ανοίγματα της και να μη δημιουργεί προβλήματα έμφραξης (clogging). Οι παράγοντες που ελέγχουν αυτή τη διαδικασία είναι προτίστως οι γεωλογικές συνθήκες και δευτερευόντως η μηχανολογική συγκρότηση του ίδιου του μηχανήματος.

Η μέθοδος εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης είναι αποδοτική στα συνεκτικά υλικά, σε αντίθεση με τα μη συνεκτικά. «Η υψηλή εσωτερική τριβή των περισσότερων μη συνεκτικών υλικών δρα αποτρεπτικά από το να γεμίσει πλήρως ο θάλαμος εκσκαφής. Αυτό οδηγεί σε ανεπαρκή πίεση επί του μετώπου εκσκαφής που μεταφράζεται σε μεγαλύτερες επιφανειακές καθιζήσεις» (Becker, 1995). Σε αυτές τις περιπτώσεις, εισάγονται στο θάλαμο εκσκαφής χημικά πρόσθετα προκειμένου αυτά να αναμειχθούν με το εκσκαφθέν υλικό και να δημιουργηθεί ένα περισσότερο πλάσιμο και ομοιογενές υλικό. Ο σκοπός της κατεργασίας του εδάφους με χημικά πρόσθετα είναι η δημιουργία μιας προσωρινής και τεχνητής συνοχής στα κοκκώδη υλικά, καθώς επίσης και η μείωση της διαπερατότητας.

Ωστόσο, χημικά πρόσθετα χρησιμοποιούνται και στις περιπτώσεις που η διάνοιξη πραγματοποιείται σε χαμηλής διαπερατότητας, συνεκτικά εδαφικά υλικά. «Υπό μορφή αφρού το χημικό πρόσθετο διαποτίζει το εκσκαφθέν γεωυλικό όχι μόνο για να μειώσει τη διασωματιδιακή τριβή μεταξύ των στοιχείων του εδαφικού υλικού αλλά για την απομείωση επίσης της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ των σωματιδίων του εδάφους και των μεταλλικών στοιχείων της ασπίδας, με σκοπό να μειωθεί η απαιτούμενη ροπή της κεφαλής κοπής και το ποσοστό φθοράς του μηχανήματος» (Lamberti Spa).

«Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, η μέθοδος εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης γίνεται πιο ευπροσάρμοστη και μπορεί να εφαρμοστεί και σε περισσότερο στιφρά και αδρομερή εδαφικά υλικά, με μεγαλύτερη όμως απόδοση σε μαλακά, συνεκτικά εδάφη με σχετικά χαμηλές υδατικές πιέσεις με εμφάνιση λίγων χαλίκων ή κροκάλων» (Suwansawat, 2002).

7.2.2 Μηχανήματα Πολφού Μπεντονίτη με Ασπίδα (Slurry Shield Machines-SSM)

Η μέθοδος πολφού μπεντονίτη (Slurry) είναι επίσης μία από τις τεχνικές διάνοιξης σηράγγων που χρησιμοποιούν μηχανήματα με ασπίδα ελέγχοντας έτσι την ευστάθεια του μετώπου εκσκαφής, ασκώντας υποστηρικτική πίεση σε αυτό. Η λειτουργία αυτή, όπως έχει περιγραφεί προηγουμένως, έχει στόχο να περιορίσει το μέγεθος των μετακινήσεων και κυρίως των επιφανειακών καθιζήσεων σε περιβάλλοντα όπου η αστική δραστηριότητα είναι ιδιαίτερα έντονη.

Τα μηχανήματα πολφού χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιοχές όπου επικρατούν μη συνεκτικά εδαφικά υλικά που απαιτούν υποστήριξη του μετώπου σε υδαρή μορφή και η οποία γίνεται με τη χρήση αιωρήματος μπεντονίτη. Αυτό γίνεται προκειμένου να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του συστήματος αντλήσεως και να αποφευχθούν πιθανές εμπλοκές που μπορεί να παρουσιαστούν στο σύστημα.

Έτσι, το εδαφικό υλικό που εκσκάπτεται θα πρέπει να έχει κατάλληλη κοκκομετρία ώστε να επιτυγχάνεται από τη μία διαχωρισμός των υλικών και από την άλλη η ανακύκλωση του πολφού. Για αυτό το λόγο τα συνεκτικά υλικά θεωρούνται ακατάλληλα προς εκσκαφή καθώς οι πολύ μικρού μεγέθους κόκκοι αυτών ενώνονται με τον μπεντονίτη κάνοντας ακολούθως ιδιαίτερα δύσκολη τη διαδικασία διαχωρισμού και ανακύκλωσης.

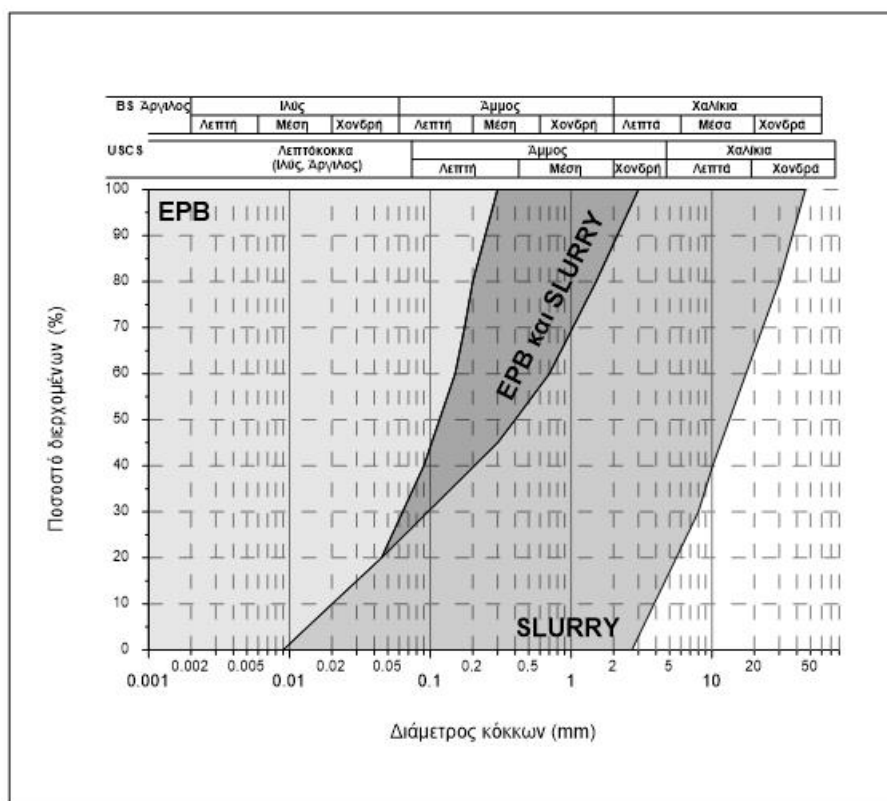
Ένα πλεονέκτημα που παρουσιάζουν τα μηχανήματα πολφού σε σχέση με τα μηχανήματα εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης είναι η παρουσία και χρήση συστήματος θραύσης πετρωμάτων στην περιοχή του ανάστροφου τόξου. Αυτό το χαρακτηριστικό δίνει τη

δυνατότητα λειτουργίας σε μικτές γεωλογικές συνθήκες όπου μπορεί να παρατηρούνται, πέρα από εδαφικούς σχηματισμούς, μεγαλύτερα ή μικρότερα τεμάχια βραχωδών σχηματισμών.

Και στα δύο είδη μηχανήματος, κατά περιπτώσεις, γίνεται απαραίτητη η χρήση ενός χημικού πρόσθετου με λιπαντικές ιδιότητες. Αυτά έχουν την ιδιότητα να μειώνουν την τριβή μεταξύ της κεφαλής κοπής και των κοπτικών άκρων με το εκσκαφθέν υλικό, μειώνοντας έτσι την απαιτούμενη δύναμη ώθησης για οποιοδήποτε ρυθμό προχώρησης, αποφεύγοντας τη φθορά του μηχανήματος.

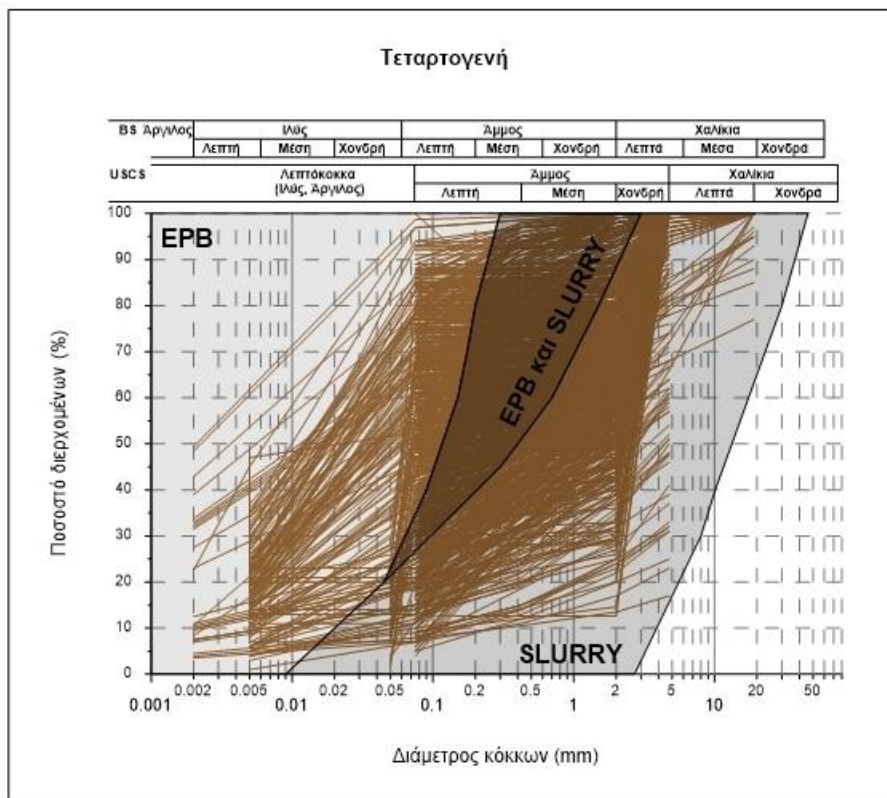
7.3 Κοκκομετρικές καμπύλες

Στα διαγράμματα των κοκκομετρικών καμπυλών που ακολουθούν παρουσιάζεται η επικράτηση των υλικών για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις συνολικά για την περιοχή έρευνας αλλά και συγκεκριμένα για τις δύο περιοχές του Κεντρικού και Ανατολικού τμήματος που επιλέχθηκαν προς αξιολόγηση. Σε αυτά, προβάλλονται τα όρια που ορίζουν τις περιοχές εφαρμογής των μηχανημάτων EPB και πολφού μπεντονίτη βάσει της κοκκομετρίας των εδαφικών σχηματισμών (Εικόνα 7.1).

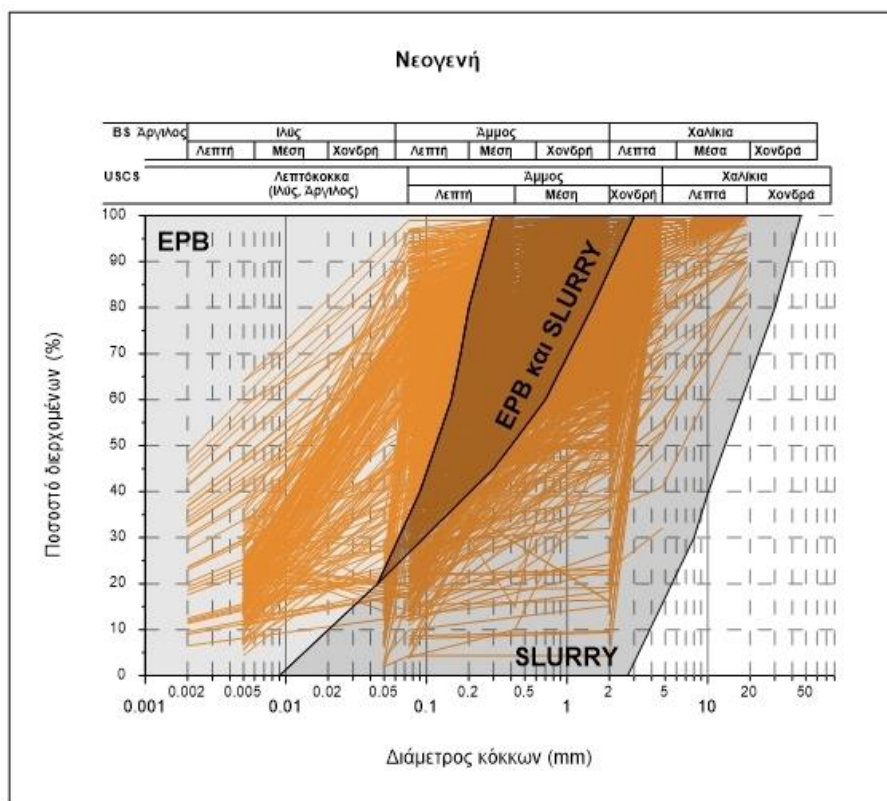


Εικόνα 7.1. Πεδίο εφαρμογής μηχανημάτων EPB και Slurry.

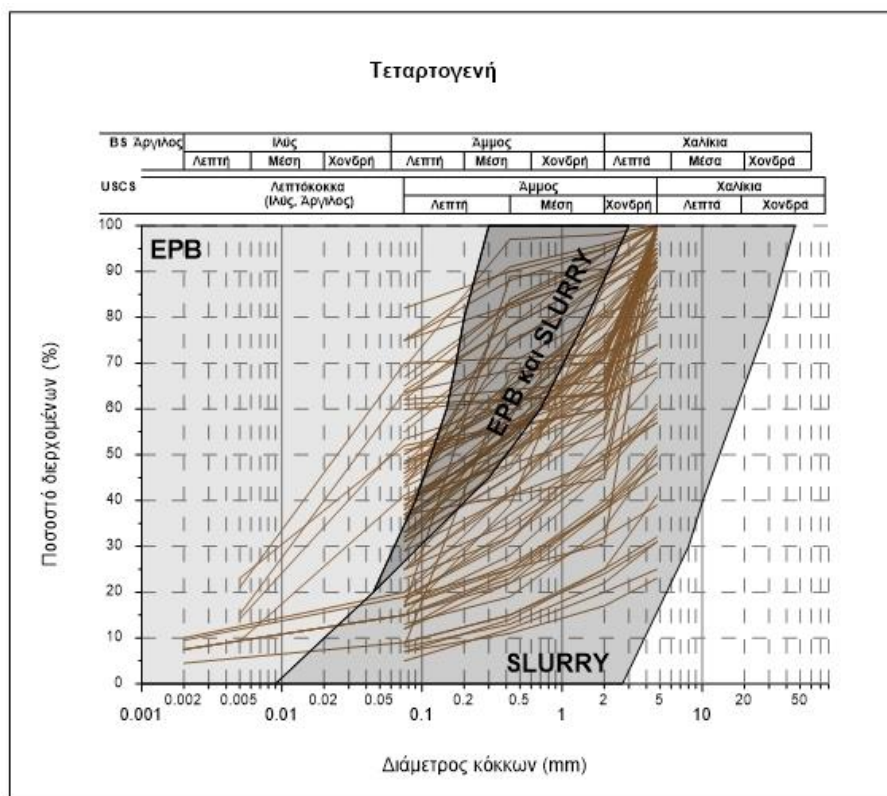
Η περιγραφή των κοκκομετρικών καμπυλών έχει γίνει σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στο παρόν επιχειρείται μια πιο λεπτομερής προσέγγιση που επικεντρώνεται στην επιλογή κατάλληλου τύπου μηχανήματος διάνοιξης σύμφωνα με τις κοκκομετρικές καμπύλες που παρατίθενται παρακάτω (Εικόνες 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7).



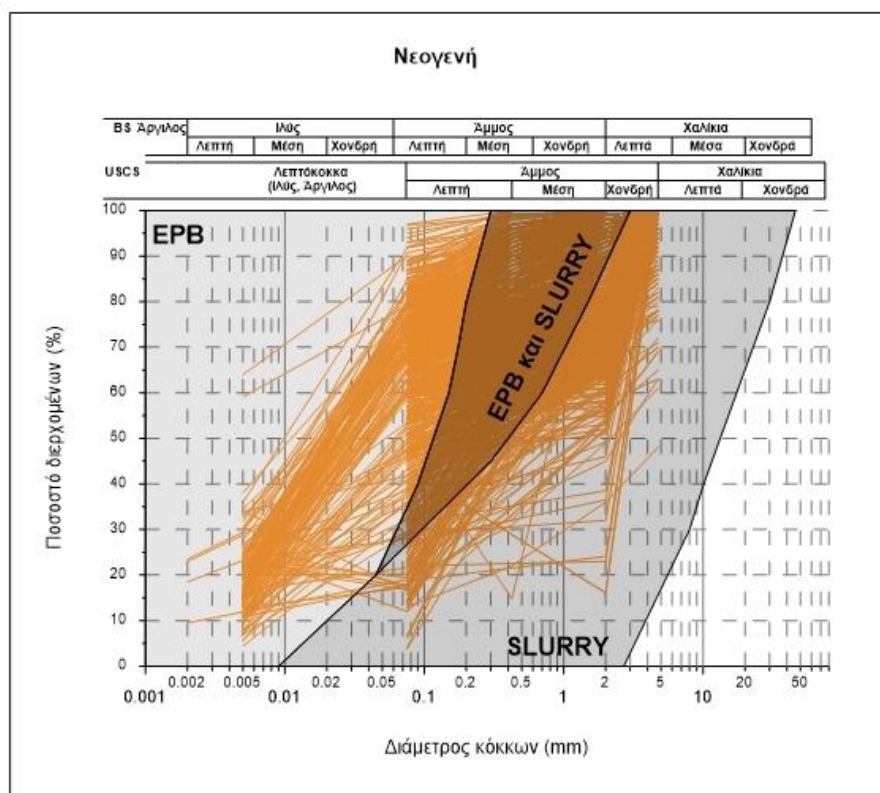
Εικόνα 7.2. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις συνολικά για την περιοχή έρευνας στο οποίο προβάλλονται τα πεδία εφαρμογής μηχανημάτων EPB και Slurry.



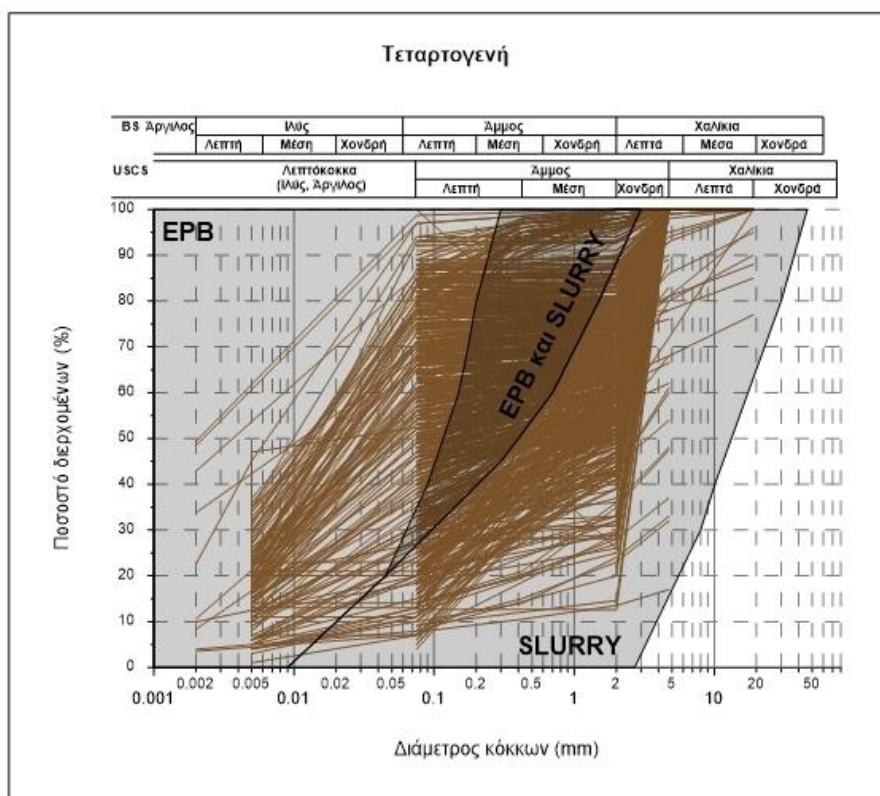
Εικόνα 7.3. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Νεογενείς αποθέσεις συνολικά για την περιοχή έρευνας στο οποίο προβάλλονται τα πεδία εφαρμογής μηχανημάτων EPB και Slurry.



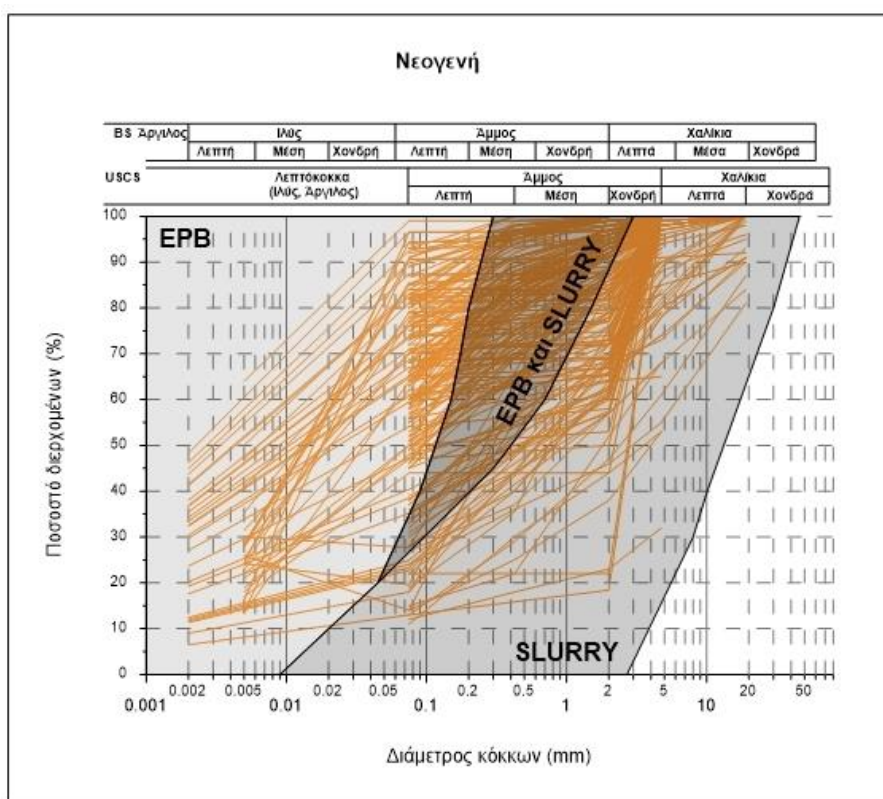
Εικόνα 7.4. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος στο οποίο προβάλλονται τα πεδία εφαρμογής μηχανημάτων EPB και Slurry.



Εικόνα 7.5. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος στο οποίο προβάλλονται τα πεδία εφαρμογής μηχανημάτων EPB και Slurry.



Εικόνα 7.6. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος στο οποίο προβάλλονται τα πεδία εφαρμογής μηχανημάτων EPB και Slurry.



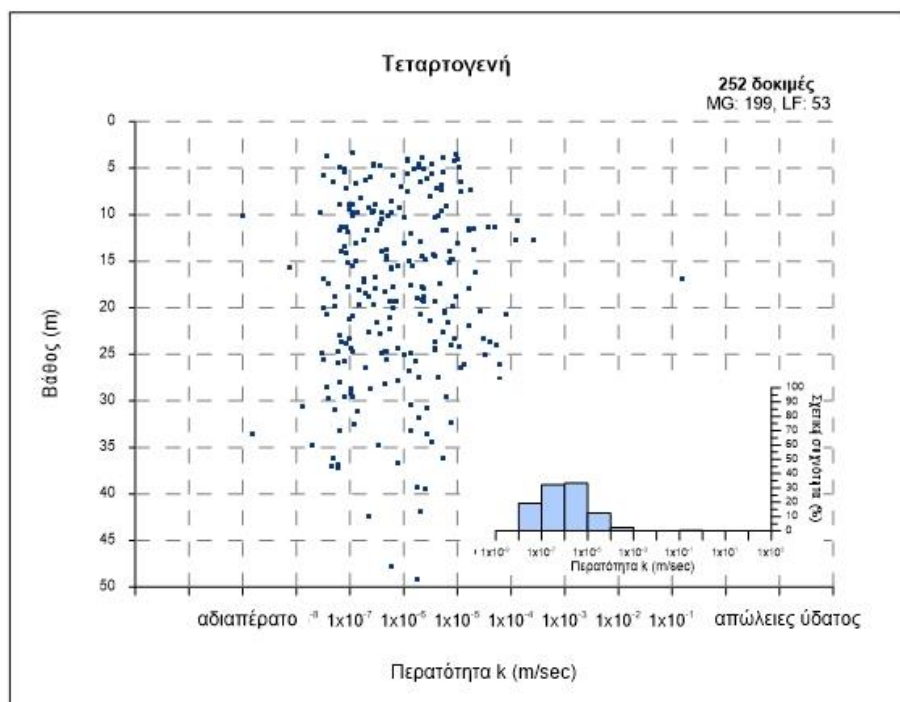
Εικόνα 7.7. Διάγραμμα κοκκομετρικών καμπυλών για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος στο οποίο προβάλλονται τα πεδία εφαρμογής μηχανημάτων EPB και Slurry.

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα των κοκκομετρικών καμπυλών φαίνεται πως καταλληλότερη επιλογή είναι αυτή ενός μηχανήματος EPB σε σχέση με ένα Slurry.

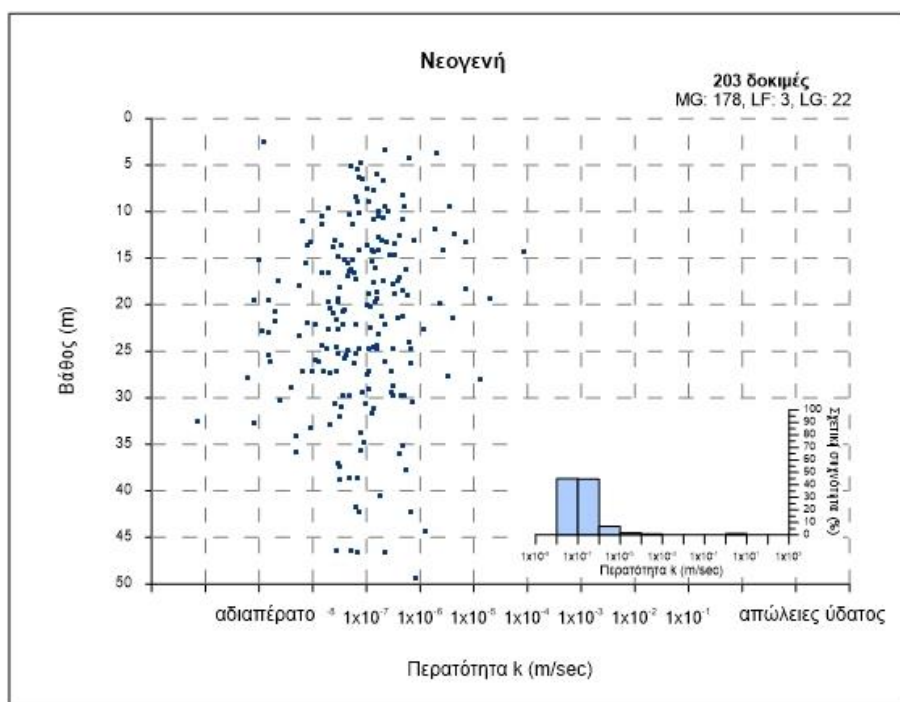
Σε κάθε περίπτωση, τα ποσοστά επικράτησης των λεπτόκοκκων, έναντι των αδρόκοκκων σχηματισμών είναι φανερά. Αναμένεται λοιπόν πως ένα μηχάνημα EPB θα λειτουργήσει αποδοτικά κατά τη διάνοιξη των σηράγγων. Ακόμη και στις περιπτώσεις όπου παρατηρούνται περιοχές με έντονη παρουσία αδρόκοκκων υλικών, η χρήση ενός μηχανήματος EPB στις κατάλληλες συνθήκες λειτουργίας, όπως αναλύονται στο επόμενο υποκεφάλαιο, φαίνεται να είναι η πλέον αποτελεσματική.

7.4 Επί τόπου δοκιμές περατότητας

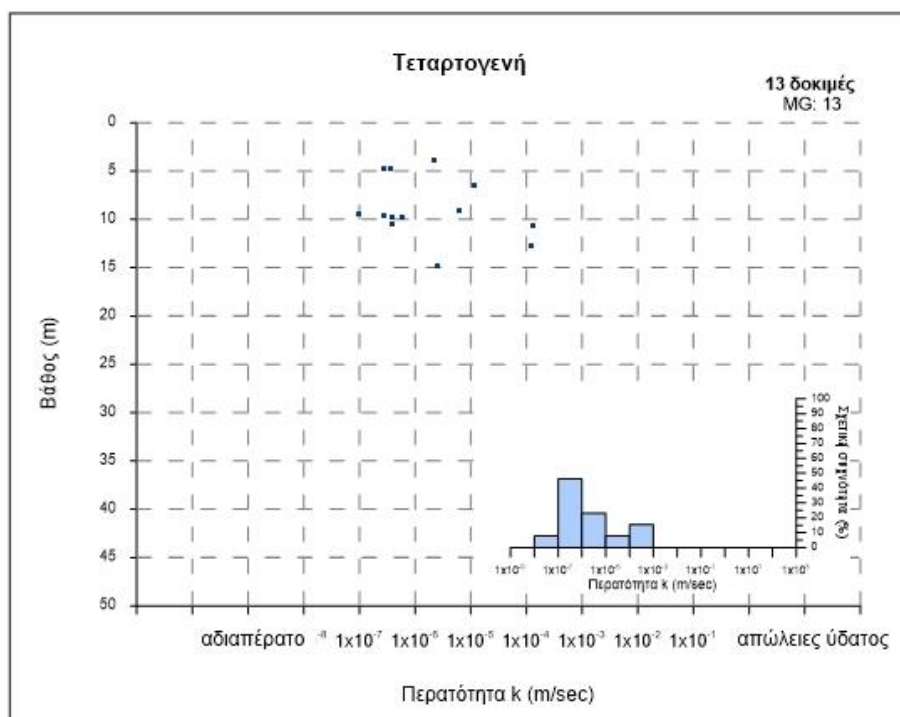
Η περιγραφή των τιμών περατότητας από τις επί τόπου δοκιμές έχει γίνει σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στο παρόν επιχειρείται μια πιο λεπτομερής προσέγγιση που επικεντρώνεται στην επιλογή κατάλληλου τύπου μηχανήματος διάνοιξης σύμφωνα με τις τιμές περατότητας που επικρατούν στις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις. Η αξιολόγηση γίνεται συνολικά για την περιοχή έρευνας, αλλά και για το Κεντρικό και Ανατολικό τμήμα. που παρατίθενται παρακάτω (Εικόνες 7.8, 7.9, 7.10, 7.11, 7.12, 7.13).



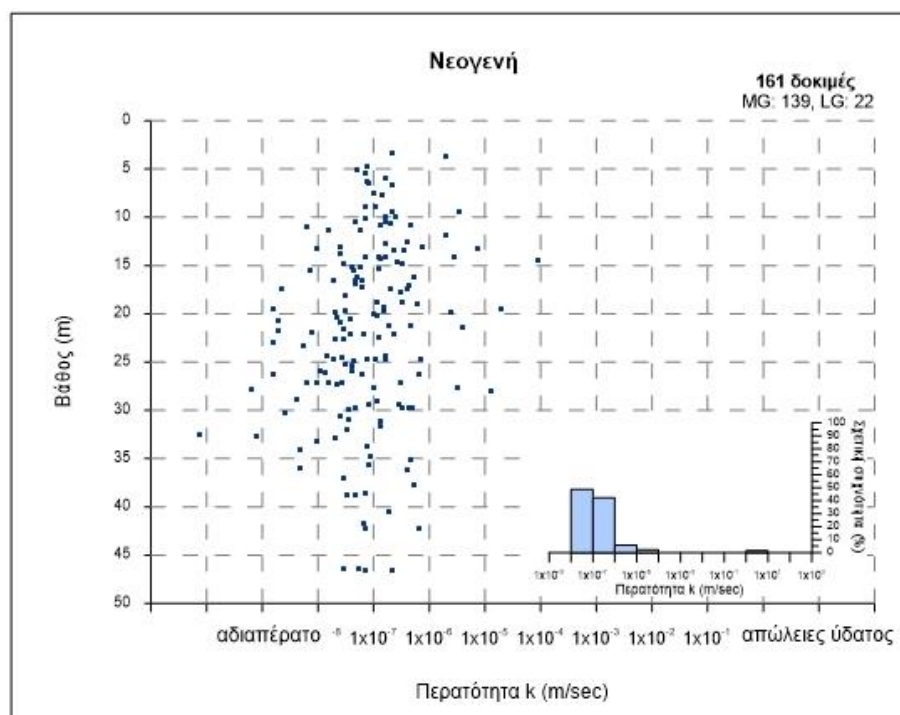
Εικόνα 7.8. Διάγραμμα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις συνολικά για την περιοχή έρευνας.



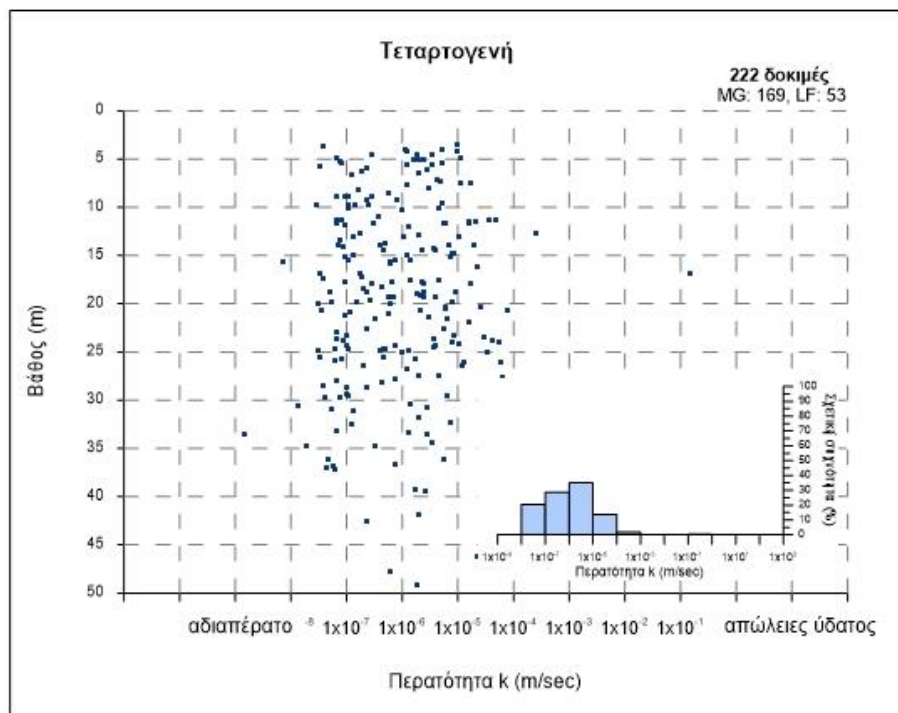
Εικόνα 7.9. Διάγραμμα κατανομής τιμών περατότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις συνολικά για την περιοχή έρευνας.



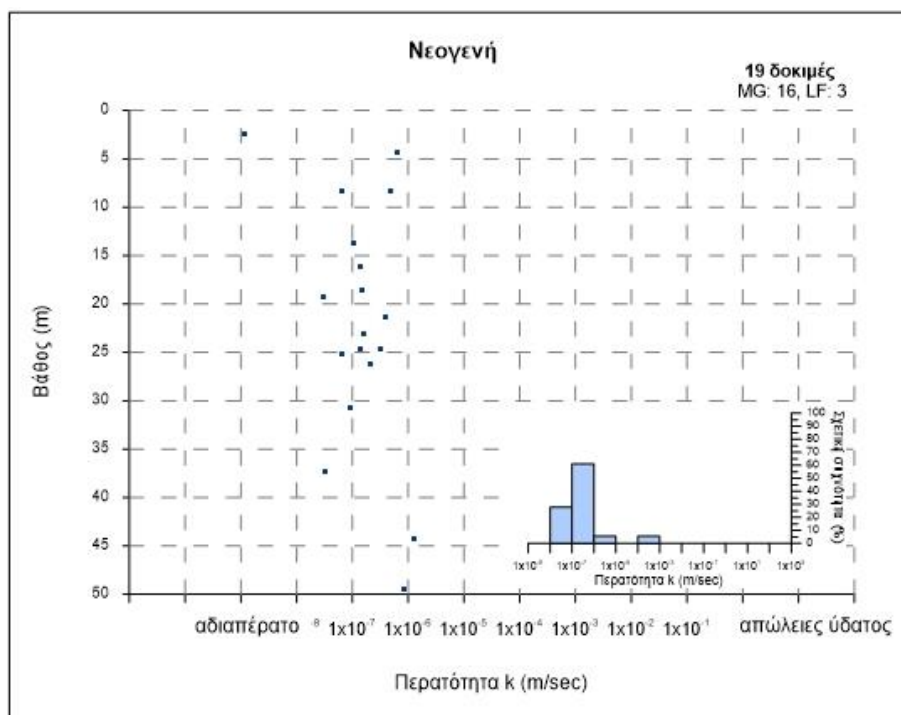
Εικόνα 7.10. Διάγραμμα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.



Εικόνα 7.11 Διάγραμμα κατανομής τιμών περατότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.



Εικόνα 7.12. Διάγραμμα κατανομής τιμών περατότητας για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.



Εικόνα 7.13. Διάγραμμα κατανομής τιμών περατότητας για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα περατότητας φαίνεται πως καταλληλότερη επιλογή είναι αυτή ενός μηχανήματος EPB σε σχέση με ένα Slurry.

Γενικά επικρατούν μικρές τιμές περατότητας ($k < 10^{-5} \text{m/sec}$). Η συγκεκριμένη τιμή περατότητας αποτελεί το όριο επιλογής μεταξύ των δύο μηχανημάτων (EPB και Slurry). Αναμένεται λοιπόν πως ένα μηχάνημα EPB θα λειτουργήσει αποδοτικά κατά τη διάνοιξη των σιδηροδρόμων. Ακόμη και στις περιπτώσεις όπου παρατηρούνται περιοχές με μεγαλύτερες τιμές περατότητας που είναι μεμονωμένες, η χρήση ενός μηχανήματος EPB στις κατάλληλες συνθήκες λειτουργίας, όπως αναλύθηκαν σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, φαίνεται να είναι η πλέον αποτελεσματική.

7.5 Κολλώδης συμπεριφορά εδαφικών σχηματισμών

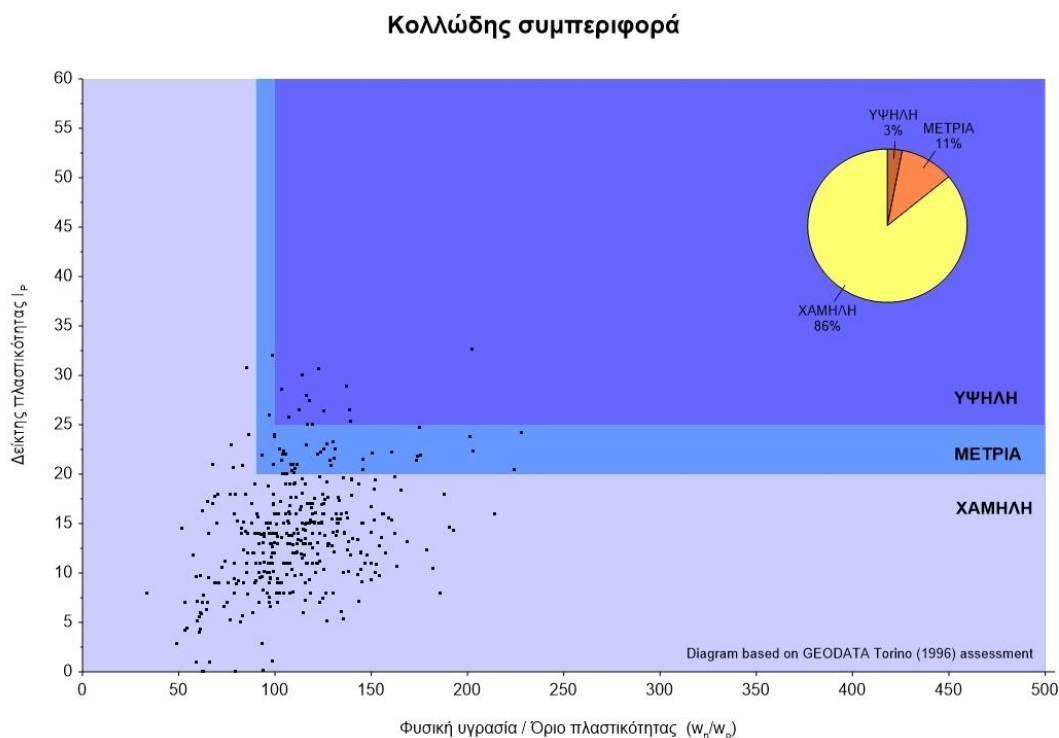
Κάποιοι εδαφικοί σχηματισμοί, ιδίως οι υψηλής πλαστικότητας άργιλοι έχουν την τάση να αναπτύσσουν κολλώδη συμπεριφορά. Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στη συγκόλληση μεταξύ των αργιλικών σωματιδίων και έπειτα στην προσκόλληση αυτών στις μεταλλικές επιφάνειες με αποτέλεσμα να προκληθούν προβλήματα έμφραξης στα τμήματα του κοπτικού άκρου, του θαλάμου εργασίας και του ατέρμονα κοχλία ενός μηχανήματος EPB. Αντίστοιχα, σε ένα μηχάνημα τύπου Slurry, κατά την ανάμειξη των σωματιδίων με τον μπεντονίτη δημιουργούνται σφαιρίδια, τα οποία προκαλούν προβλήματα στις σωληνώσεις και δυσχαιρένουν τη διαδικασία διαχωρισμού και ανακύκλωσης αυτών των υλικών.

Το συγκεκριμένο φαινόμενο επηρεάζει όλους τους τύπους των μηχανημάτων που εφαρμόζονται σε κλειστή κατάσταση λειτουργίας. Παρότι η κολλώδης συμπεριφορά που παρατηρείται στους εκάστοτε εδαφικούς σχηματισμούς δεν αποτελεί βασικό κριτήριο επιλογής μηχανήματος διάνοιξης, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Τα διαγράμματα που ακολουθούν βασίζονται στη δημοσιευμένη εργασία της GEODATA (1995) για το Μετρό της Αθήνας και την επέκταση της γραμμής 3. Σε αυτά περιγράφεται η σχέση μεταξύ του λόγου της φυσικής υγρασίας προς το όριο υδαρότητας με το δείκτη πλαστικότητας. Φαίνονται επίσης τα όρια μεταξύ των διάφορων κατηγοριών που προκύπτουν με βάση την τάση που έχουν αυτοί οι σχηματισμοί να αναπτύσσουν χαμηλή, μέτρια ή υψηλή κολλώδη συμπεριφορά. Η θέση όπου προβάλλονται τα διάφορα σημεία, καθορίζει και την εκάστοτε συμπεριφορά των εδαφικών σχηματισμών.

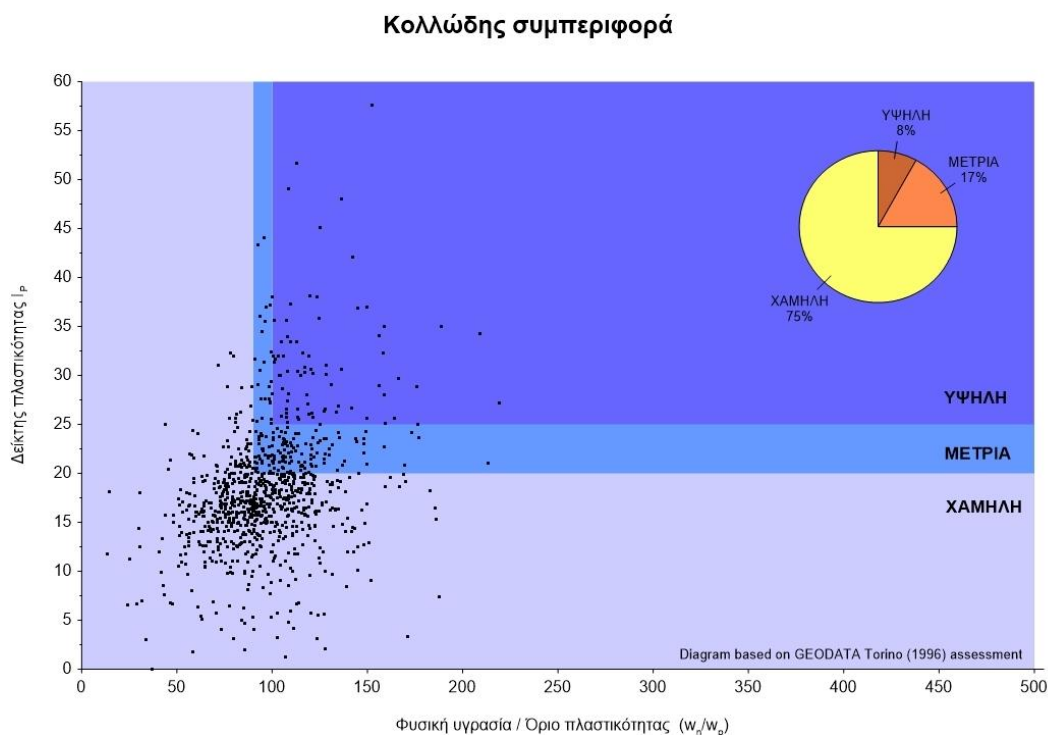
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις συνολικά για την ερύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, καθώς και για το ανατολικό και κεντρικό τμήμα. Επιλέγονται να αξιολογηθούν οι συγκεκριμένοι σχηματισμοί μιας και είναι αυτοί που συναντώνται κατά τη διάνοιξη των υπογείων έργων.

Στην Εικόνα 7.14 προβάλλονται συνολικά 396 σημεία. Αυτά αναφέρονται στην ευρύτερη περιοχή έρευνας που καλύπτει όλες τις γεωτρήσεις. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι οι Τεταρτογενείς αποθέσεις στο σύνολό τους (~86%) δεν αναπτύσσουν κολλώδη συμπεριφορά, ενώ μόλις το 3% χαρακτηρίζεται από υψηλή κολλώδη συμπεριφορά.



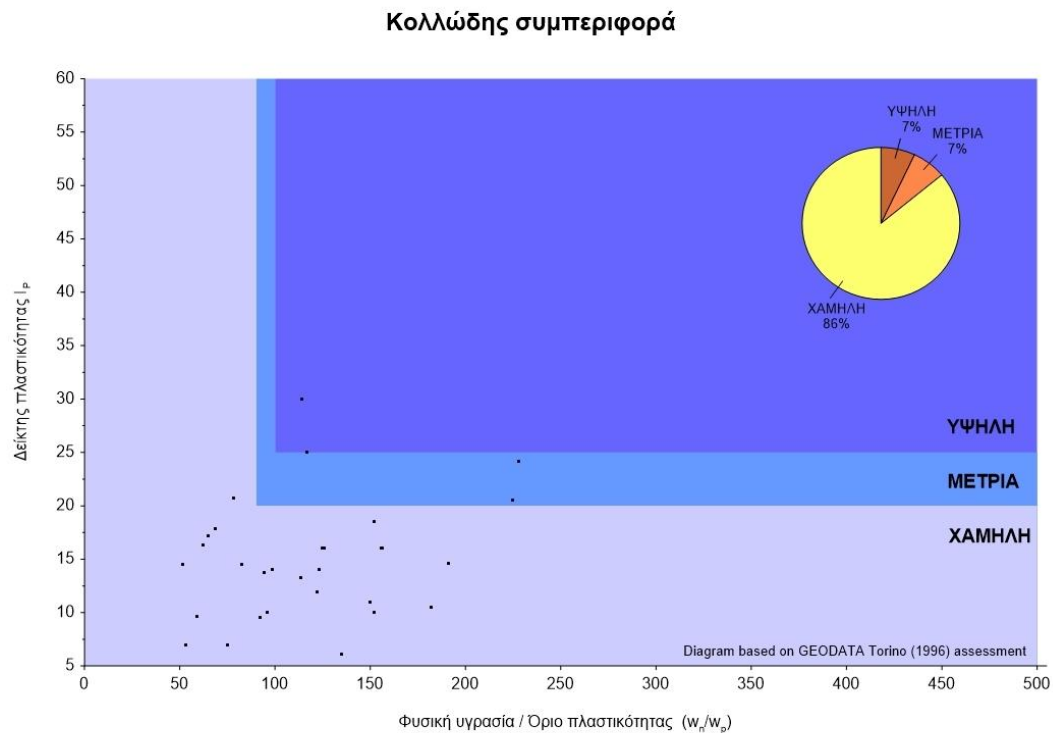
Εικόνα 7.14. Κολλώδης συμπεριφορά εδαφικών σχηματισμών, συνολικά για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής έρευνας.

Στην Εικόνα 7.15 προβάλλονται συνολικά 965 σημεία. Αυτά αναφέρονται στην ευρύτερη περιοχή έρευνας που καλύπτει όλες τις γεωτρήσεις. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι οι Νεογενείς αποθέσεις στο μεγαλύτερο ποσοστό τους (~75%) δεν αναπτύσσουν κολλώδη συμπεριφορά, ενώ μόλις το 8% χαρακτηρίζεται από υψηλή κολλώδη συμπεριφορά.



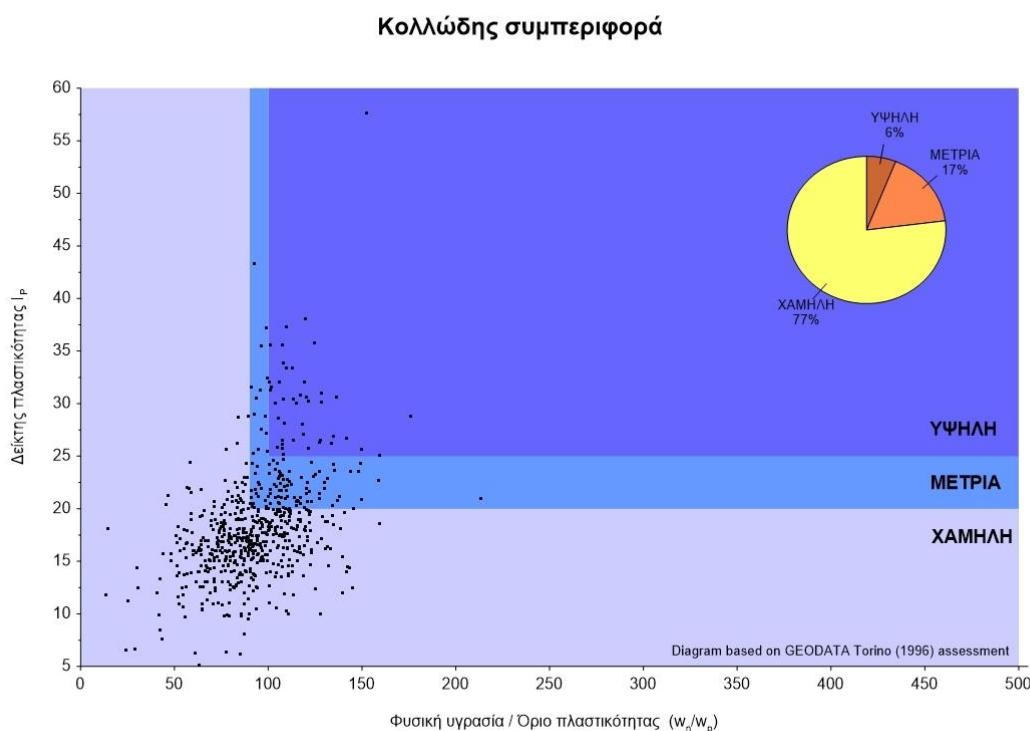
Εικόνα 7.15. Κολλώδης συμπεριφορά εδαφικών σχηματισμών, συνολικά για τις Νεογενείς αποθέσεις της περιοχής έρευνας.

Στην Εικόνα 7.16 προβάλλονται 30 σημεία. Αυτά αναφέρονται στις Τεταρτογενείς αποθέσεις του κεντρικού τμήματος. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι τα Τεταρτογενή στο μεγαλύτερο ποσοστό τους (~86%) δεν αναπτύσσουν κολλώδη συμπεριφορά, ενώ μόλις το 7% χαρακτηρίζεται από υψηλή κολλώδη συμπεριφορά.



Εικόνα 7.16. Κολλώδης συμπεριφορά εδαφικών σχηματισμών, για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.

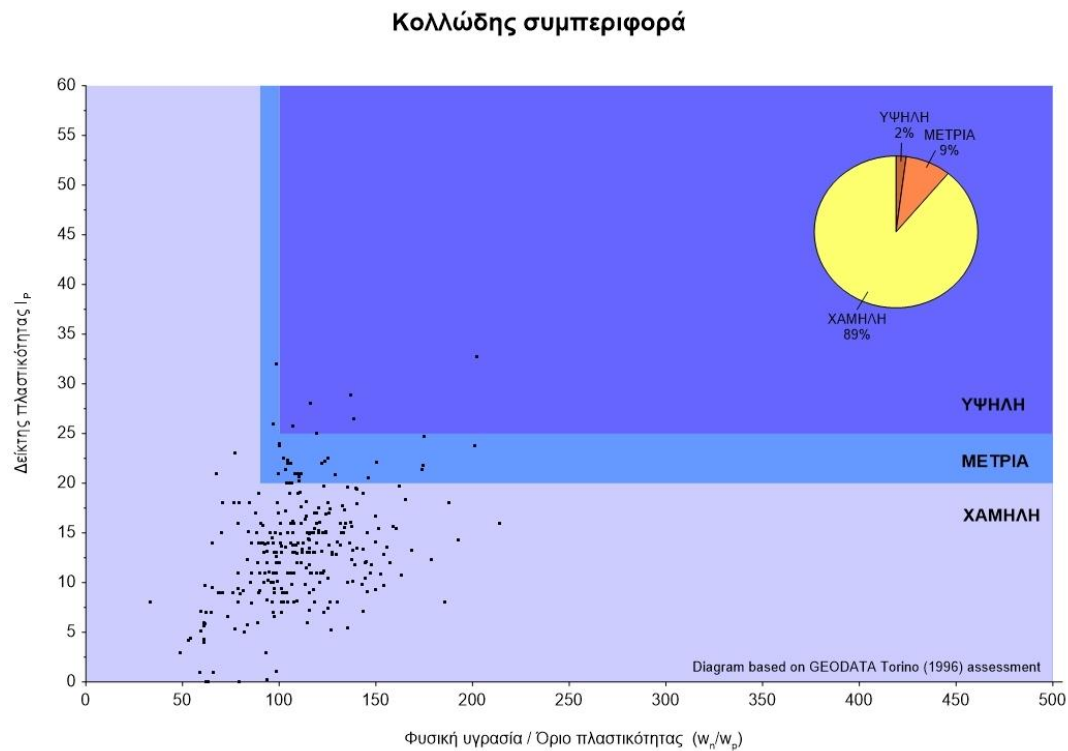
Στην Εικόνα 7.17 προβάλλονται 658 σημεία. Αυτά αναφέρονται στις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι τα Νεογενή στο μεγαλύτερο ποσοστό τους (~77%) δεν αναπτύσσουν κολλώδη συμπεριφορά, ενώ μόλις το 6% χαρακτηρίζεται από υψηλή κολλώδη συμπεριφορά.



Εικόνα 7.17. Κολλώδης συμπεριφορά εδαφικών σχηματισμών, για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.

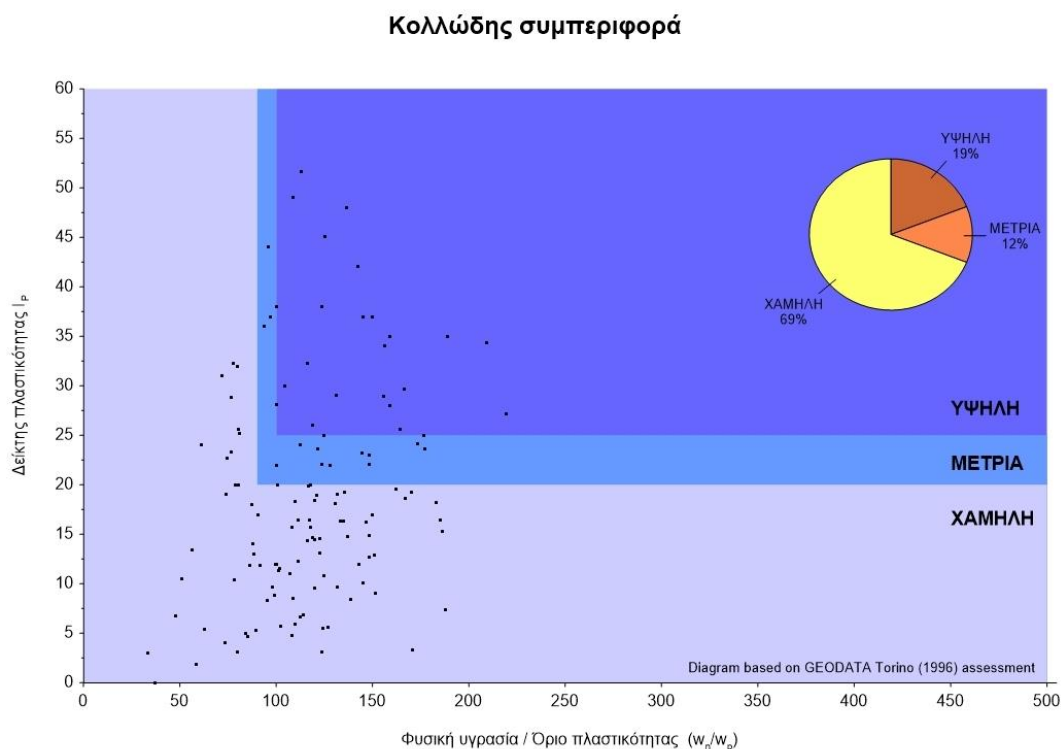
Από τα δύο προηγούμενα διαγράμματα, γίνεται αντιληπτό πως τα παρατηρούμενα σημεία είναι πολύ περισσότερα σε αριθμό για τις Νεογενείς από ότι για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις. Αυτό οφείλεται στη σαφή επικράτηση των Νεογενών στην περιοχή του ιστορικού κέντρου της πόλης.

Στην Εικόνα 7.18 προβάλλονται 296 σημεία. Αυτά αναφέρονται στις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι τα Τεταρτογενή στο μεγαλύτερο ποσοστό τους (~89%) δεν αναπτύσσουν κολλώδη συμπεριφορά, ενώ μόλις το 2% χαρακτηρίζεται από υψηλή κολλώδη συμπεριφορά.



Εικόνα 7.18. Κολλώδης συμπεριφορά εδαφικών σχηματισμών, για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

Στην Εικόνα 7.19 προβάλλονται 128 σημεία. Αυτά αναφέρονται στις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι τα Νεογενή στο μεγαλύτερο ποσοστό τους (~69%) δεν αναπτύσσουν κολλώδη συμπεριφορά, ενώ ένα μικρότερο ποσοστό της τάξης του 19% χαρακτηρίζεται από υψηλή κολλώδη συμπεριφορά.



Εικόνα 7.19. Κολλώδης συμπεριφορά εδαφικών σχηματισμών, για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

Από τα δύο προηγούμενα διαγράμματα, γίνεται αντιληπτό πως τα παρατηρούμενα σημεία είναι πολύ περισσότερα σε αριθμό για τις Τεταρτογενείς από ότι για τις Νεογενείς αποθέσεις. Αυτό οφείλεται στη σαφή επικράτηση των Νεογενών στην περιοχή του Ανατολικού τμήματος.

7.6 Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων

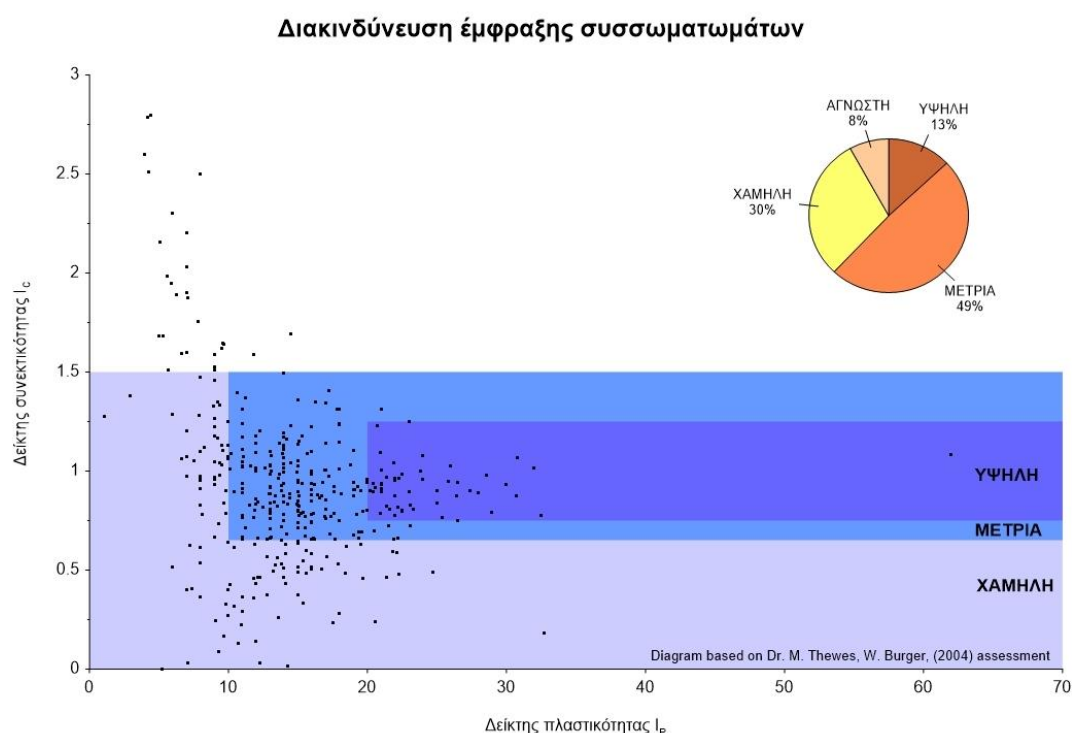
Μία παρόμοια προσέγγιση επί του θέματος έχει προταθεί από τους Thewes και Burger (2004). Αυτή η έρευνα έχει επικεντρωθεί στην εκτίμηση των προβλημάτων που ενδέχεται να προκληθούν κατά τη διάνοιξη σηράγγων και αναφέρονται στη διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων. Όπως στην προηγούμενη περίπτωση της κολλώδους συμπεριφοράς, έτσι και σε αυτήν προτείνονται διάφορες κατηγορίες με βάση τις οποίες διακρίνονται οι σχηματισμοί ως προς την τάση τους να δημιουργούν συσσωματώματα.

Στα διαγράμματα αυτά περιγράφεται η σχέση μεταξύ του δείκτη συνεκτικότητας και του δείκτη πλαστικότητας. Φαίνονται επίσης τα όρια μεταξύ των διάφορων κατηγοριών που προκύπτουν με βάση την τάση που έχουν αυτοί οι σχηματισμοί να αναπτύσσουν χαμηλή, μέτρια ή υψηλή διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων. Η θέση όπου προβάλλονται τα διάφορα σημεία, καθορίζει την εκάστοτε απόκριση των εδαφικών σχηματισμών.

- Σχηματισμοί με υψηλή διακινδύνευση έμφραξης συσσωματωμάτων μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικά προβλήματα κατά τη διάρκεια της εκσκαφής. Το πρόβλημα της έμφραξης μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της απόδοσης του μηχανήματος μιας και απαιτείται επιπλέον χρόνος για τον καθαρισμό των συσσωματωμάτων. Ωστόσο, ο συχνός καθαρισμός μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του προβλήματος, αλλά όχι στην επίλυση του.
- Σχηματισμοί με μέτρια διακινδύνευση έμφραξης συσσωματωμάτων, μπορεί να εκσκαφθούν έχοντας γίνει πρώτα οι κατάλληλες μηχανικές τροποποιήσεις κυρίως στην κεφαλή ολομέτωπης κοπής με ασπίδα και στο σύστημα κυκλοφορίας πολφού. Ακόμη μπορεί να γίνουν αλλαγές στη λειτουργία του μηχανήματος, όπως μεγαλύτερη χρήση των χημικών πρόσθετων υλικών έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση του βήματος εκσκαφής.
- Σχηματισμοί με χαμηλή διακινδύνευση έμφραξης συσσωματωμάτων, μπορεί να εκσκαφθούν χωρίς να απαιτούνται σημαντικές αλλαγές στη λειτουργία του μηχανήματος.

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις συνολικά για την ερύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, καθώς και για το ανατολικό και κεντρικό τμήμα. Επιλέγονται να αξιολογηθούν οι συγκεκριμένοι σχηματισμοί μιας και είναι αυτοί που συναντώνται κατά τη διάνοιξη των υπογείων έργων.

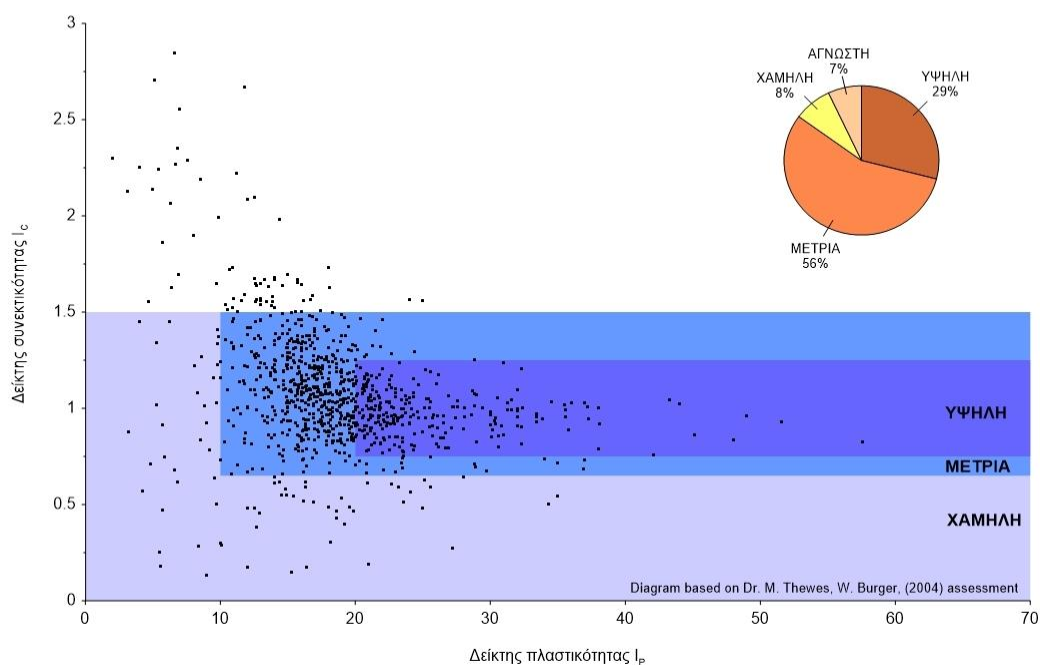
Στην Εικόνα 7.20 προβάλλονται συνολικά 393 σημεία. Αυτά αναφέρονται στην ευρύτερη περιοχή έρευνας που καλύπτει όλες τις γεωτρήσεις. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι οι Τεταρτογενείς αποθέσεις σε ένα ποσοστό της τάξης του 30% δεν αναπτύσσουν διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων. Ένα ποσοστό της τάξης του 13% χαρακτηρίζεται από υψηλή διακινδύνευση, ενώ το 8% βρίσκεται εκτός των οριοθετημένων περιοχών όπως έχουν προταθεί από τους Thewes και Burger και δεν μπορεί να προσδιοριστεί. Το υπόλοιπο 49% εμπίπτει στην περιοχή της μέτριας διακινδύνευσης.



Εικόνα 7.20. Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων, συνολικά για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής έρευνας.

Στην Εικόνα 7.21 προβάλλονται συνολικά 968 σημεία. Αυτά αναφέρονται στην ευρύτερη περιοχή έρευνας που καλύπτει όλες τις γεωτρήσεις. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι οι Νεογενείς αποθέσεις σε ένα ποσοστό της τάξης του 8% δεν αναπτύσσουν διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων. Ένα ποσοστό της τάξης του 29% χαρακτηρίζεται από υψηλή διακινδύνευση, ενώ το 7% βρίσκεται εκτός των οριοθετημένων περιοχών όπως έχουν προταθεί από τους Thewes και Burger και δεν μπορεί να προσδιοριστεί. Το υπόλοιπο 56% εμπίπτει στην περιοχή της μέτριας διακινδύνευσης.

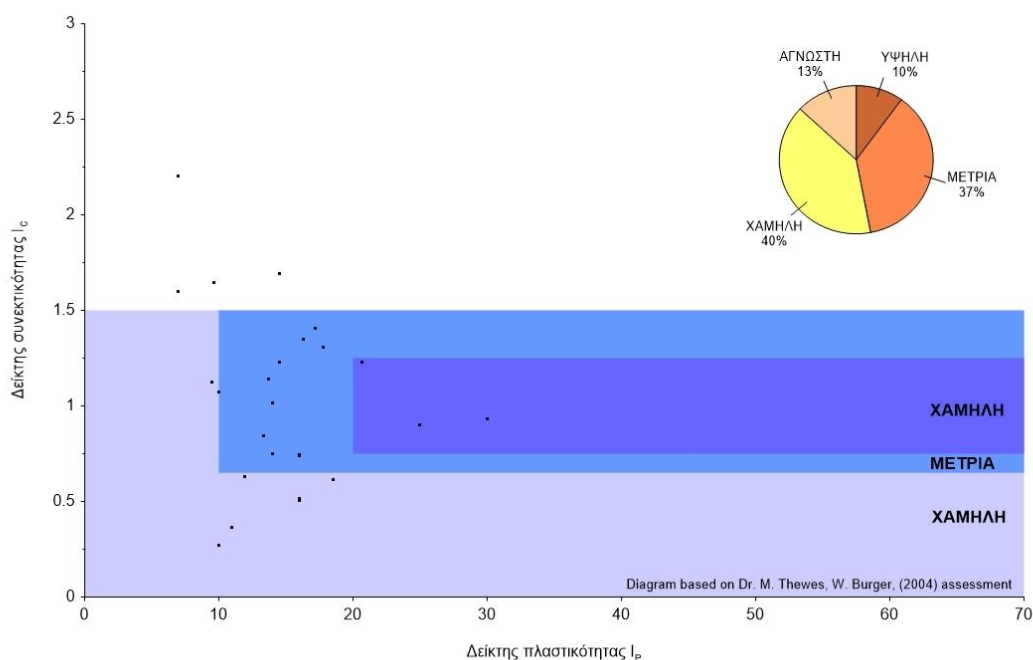
Διακινδύνευση έμφραξης συσσωματωμάτων



Εικόνα 7.21. Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων, συνολικά για τις Νεογενείς αποθέσεις της περιοχής έρευνας.

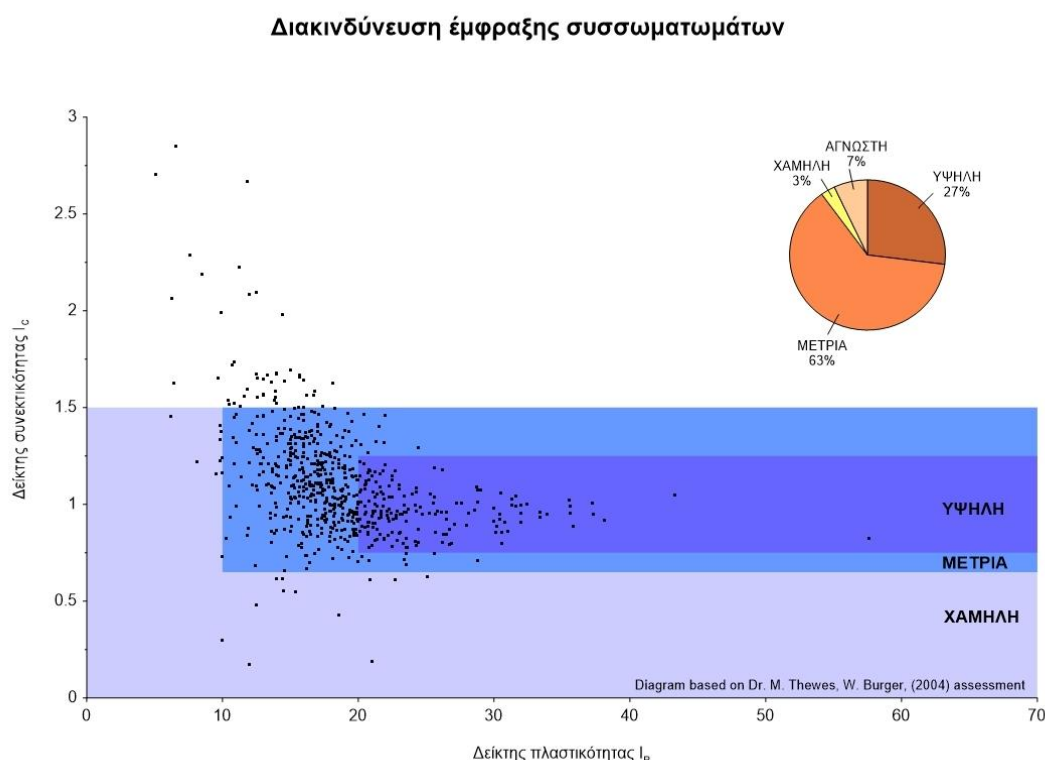
Στην Εικόνα 7.22 προβάλλονται συνολικά 25 σημεία. Αυτά αναφέρονται στην περιοχή του Κεντρικού τμήματος. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι οι Τεταρτογενείς αποθέσεις σε ένα ποσοστό της τάξης του 40% δεν αναπτύσσουν διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων. Ένα ποσοστό της τάξης του 10% χαρακτηρίζεται από υψηλή διακινδύνευση, ενώ το 13% βρίσκεται εκτός των οριοθετημένων περιοχών όπως έχουν προταθεί από τους Thewes και Burger και δεν μπορεί να προσδιοριστεί. Το υπόλοιπο 37% εμπίπτει στην περιοχή της μέτριας διακινδύνευσης.

Διακινδύνευση έμφραξης συσσωματωμάτων



Εικόνα 7.22. Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων, για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.

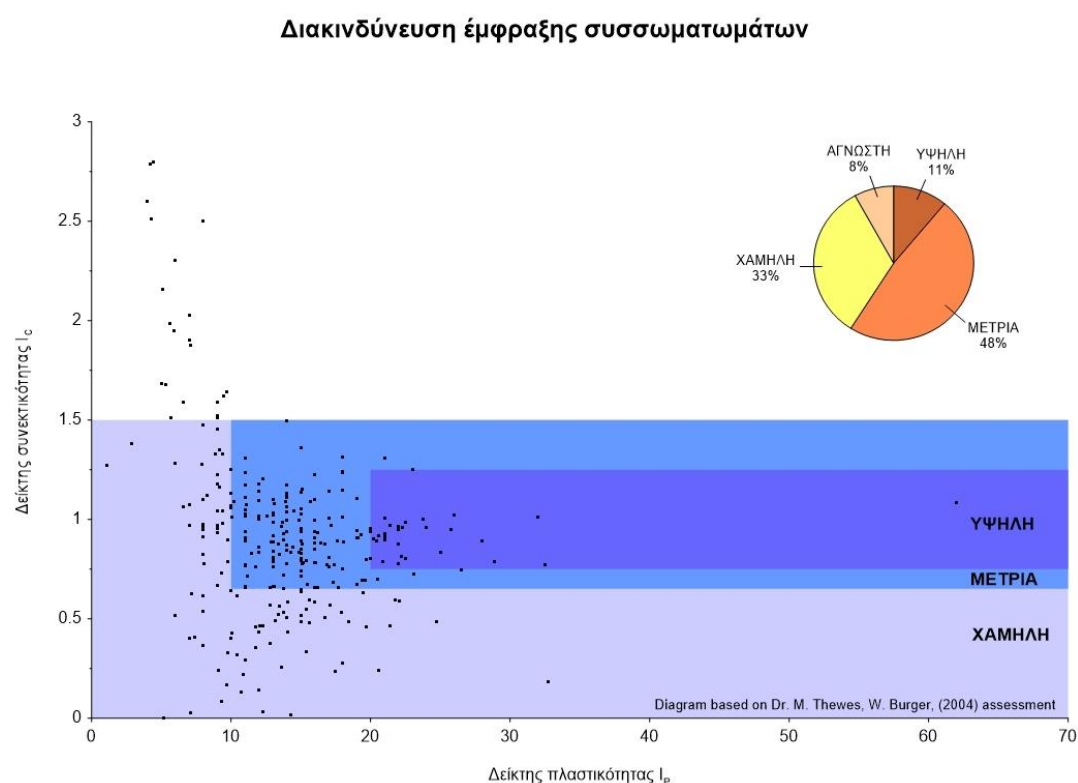
Στην Εικόνα 7.23 προβάλλονται συνολικά 662 σημεία. Αυτά αναφέρονται στην περιοχή του Κεντρικού τμήματος. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι οι Νεογενείς αποθέσεις σε ένα ποσοστό της τάξης του 3% δεν αναπτύσσουν διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων. Ένα ποσοστό της τάξης του 27% χαρακτηρίζεται από υψηλή διακινδύνευση, ενώ το 7% βρίσκεται εκτός των οριοθετημένων περιοχών όπως έχουν προταθεί από τους Thewes και Burger και δεν μπορεί να προσδιοριστεί. Το υπόλοιπο 63% εμπίπτει στην περιοχή της μέτριας διακινδύνευσης.



Εικόνα 7.23. Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων, για τις Νεογενείς αποθέσεις του Κεντρικού τμήματος.

Από τα δύο προηγούμενα διαγράμματα, γίνεται αντιληπτό πως τα παρατηρούμενα σημεία είναι πολύ περισσότερα σε αριθμό για τις Νεογενείς από ότι για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις. Αυτό οφείλεται στη σαφή επικράτηση των Νεογενών στην περιοχή του ιστορικού κέντρου της πόλης.

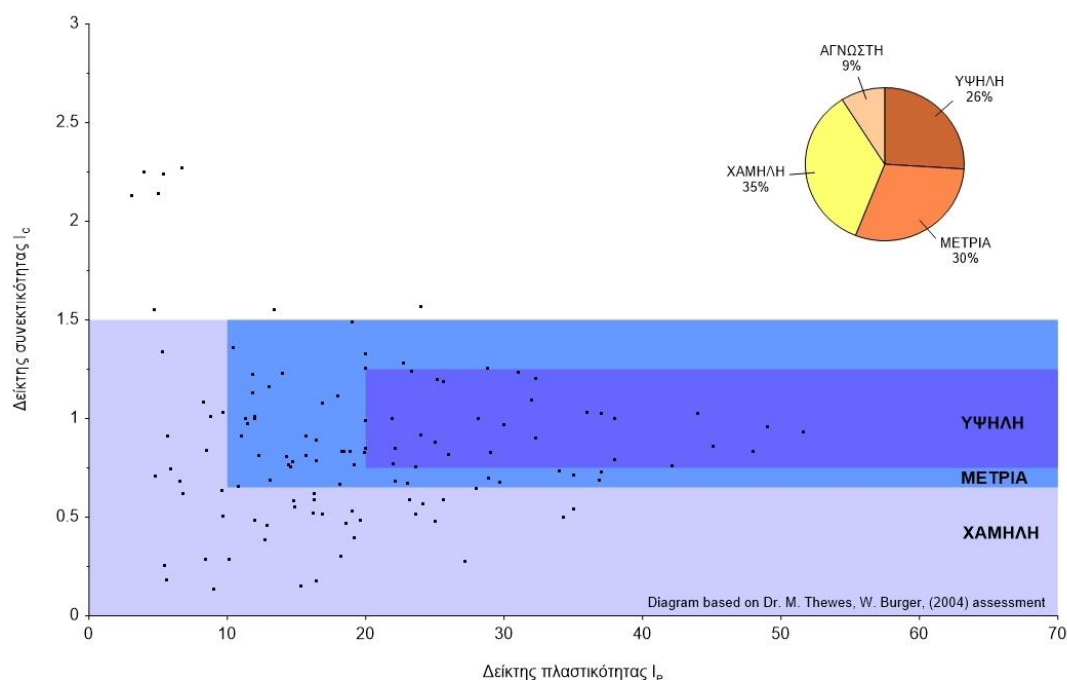
Στην Εικόνα 7.24 προβάλλονται συνολικά 297 σημεία. Αυτά αναφέρονται στην περιοχή του Ανατολικού τμήματος. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι οι Τεταρτογενείς αποθέσεις σε ένα ποσοστό της τάξης του 33% δεν αναπτύσσουν διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων. Ένα ποσοστό της τάξης του 11% χαρακτηρίζεται από υψηλή διακινδύνευση, ενώ το 8% βρίσκεται εκτός των οριοθετημένων περιοχών όπως έχουν προταθεί από τους Thewes και Burger και δεν μπορεί να προσδιοριστεί. Το υπόλοιπο 48% εμπίπτει στην περιοχή της μέτριας διακινδύνευσης.



Εικόνα 7.24. Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων, για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

Στην Εικόνα 7.25 προβάλλονται συνολικά 121 σημεία. Αυτά αναφέρονται στην περιοχή του Ανατολικού τμήματος. Από την αξιολόγηση αυτού του διαγράμματος προκύπτει ότι οι Νεογενείς αποθέσεις σε ένα ποσοστό της τάξης του 35% δεν αναπτύσσουν διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων. Ένα ποσοστό της τάξης του 26% χαρακτηρίζεται από υψηλή διακινδύνευση, ενώ το 9% βρίσκεται εκτός των οριοθετημένων περιοχών όπως έχουν προταθεί από τους Thewes και Burger και δεν μπορεί να προσδιοριστεί. Το υπόλοιπο 30% εμπίπτει στην περιοχή της μέτριας διακινδύνευσης.

Διακινδύνευση έμφραξης συσσωματωμάτων



Εικόνα 7.25. Διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων, για τις Νεογενείς αποθέσεις του Ανατολικού τμήματος.

Από τα δύο προηγούμενα διαγράμματα, γίνεται αντιληπτό πως τα παρατηρούμενα σημεία είναι πολύ περισσότερα σε αριθμό για τις Τεταρτογενείς από ότι για τις Νεογενείς αποθέσεις. Αυτό οφείλεται στη σαφή επικράτηση των Νεογενών στην περιοχή του Ανατολικού τμήματος.

Το συγκεκριμένο σενάριο όπως φαίνεται και από τα παραπάνω διαγράμματα είναι λιγότερο «αισιόδοξο» από αυτό της GEODATA που περιγράφηκε προηγουμένως.

Συμπερασματικά, κρίνεται απαραίτητη μια προσεκτική ανάλυση και αξιολόγηση σχετικά με τη διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων και την ανάπτυξη κολλώδους συμπεριφοράς στους αργιλικούς σχηματισμούς με σκοπό την αποφυγή προβλημάτων ή/και αστοχιών κατά το στάδιο της κατασκευής.

7.7 Επιλογή μηχανήματος

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα μηχανήματα εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης ασκούν πίεση στο μέτωπο, ενώ χρησιμοποιούν το αναμοχλευμένο υλικό που εκσκάπτεται στο θάλαμο εκσκαφής.

Κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα αυτό μπορεί να γίνει μόνο αν το έδαφος δεν είναι πολύ διαπερατό, διαφορετικά η πίεση του νερού δεν είναι δυνατό να αντισταθμιστεί. Είναι γενικά αποδεδειγμένο ότι τα μηχανήματα Πολφού Μπεντονίτη με Ασπίδα επιλέγονται κυρίως στις περιπτώσεις όπου οι τιμές περατότητας είναι μεγαλύτερες από $1 * 10^{-5}$ m/sec. Αντίστοιχα τα μηχανήματα Εξισορρόπησης της Εδαφικής Πίεσης επιλέγονται για τιμές μικρότερες του $1 * 10^{-5}$ m/sec.

Έπειτα από αξιολόγηση των επί τόπου δοκιμών διαπερατότητας για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις σε ολόκληρη την περιοχή έρευνας προέκυψε ότι το 96% των τιμών για τους Τεταρτογενείς σχηματισμούς και το 98% των τιμών για τις Νεογενείς αποθέσεις παρουσιάζουν τιμές μικρότερες από $1 * 10^{-5}$ m/sec.

Η πλειονότητα των στοιχείων που αξιολογήθηκαν υποδεικνύουν ότι οι εδαφικοί σχηματισμοί που συναντώνται κατά μήκος της χάραξης είναι κυρίως αργιλικής σύστασης. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών καμπυλών και των διαγραμμάτων που σχετίζονται με την ανάπτυξη κολλώδους συμπεριφοράς και διακινδύνευσης έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων οδηγεί στο συμπέρασμα πως η χρήση ενός μηχανήματος EPB (Εικόνα 7.26) αναμένεται να είναι η πλέον αποτελεσματική και αποδοτική επιλογή.

Στις θέσεις όπου συναντώνται αμμώδεις και χαλικώδεις σχηματισμοί θα πρέπει το εκσκαφθέν υλικό να γίνει χαμηλής διαπερατότητας και να αποκτήσει πλάσιμη σύσταση ώστε να μπορέσει να αναμοχλευθεί μέσα στο θάλαμο εκσκαφής και να απομακρυνθεί μέσω του ατέρμονα κοχλία απαγορεύοντας την εισροή υπόγειων νερών. Στην περίπτωση που το γεωυλικό διαχειριστεί κατάλληλα τότε δεν αναμένεται να δημιουργηθούν προβλήματα κατά τη διαδικασία της διάνοιξης.



Εικόνα 7.26. Μηχανήματα EPB στον υπόγειο σταθμό Συντριβάνι του Μετρό Θεσσαλονίκης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της διατριβής αποτελεί η κατασκευή τεχνικογεωλογικής τράπεζας δεδομένων για το σχεδιασμό αστικών σιδηρόδρομων στη λεκάνη Θεσσαλονίκης, με στόχο τη συσχέτιση και την εξαγωγή χρήσιμων διαγραμμάτων που αναφέρονται σε παραμέτρους εργαστηριακών δοκιμών (φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών) και επί τόπου δοκιμών. Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε για τους σχηματισμούς των Τεχνητών επιχώσεων, των Τεταρτογενών αποθέσεων, των Νεογενών αποθέσεων και του Αλπικού υποβάθρου. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στα Τεταρτογενή και Νεογενή που αποτελούν τους βασικούς σχηματισμούς εντός των οποίων εκσκάπτονται οι σιδηρόδρομοι. Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία επικεντρώνοντας σε δυο συγκεκριμένες περιοχές (Κεντρικό και Ανατολικό τμήμα) με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την ομοιογένεια των σχηματισμών. Προτάθηκαν ενδεικτικά φάσματα παραμέτρων για τους διαφορετικούς σχηματισμούς με στόχο τη δημιουργία μηκοτομών, τυπικών διατομών, την πρόβλεψη συμπεριφοράς και την επιλογή κατάλληλου μηχανήματος TBM για τη διάνομιξη των σιδηρόδρομων

Συνοψίζοντας, τα συμπεράσματα της διατριβής παρουσιάζονται παρακάτω:

- Για την υλοποίηση της παρούσας διατριβής, αξιοποιήθηκε η τράπεζα δεδομένων TIAS (Tunnel Information Analysis System), η οποία χρησιμοποιήθηκε κατά το σχεδιασμό υπόγειων έργων της Εγνατίας οδού. Εντός αυτής εισήχθησαν και επεξεργάστηκαν στοιχεία από 200 γεωτρήσεις. Η τελική επιλογή και συγκέντρωση αυτών των δεδομένων αποτέλεσε σημαντικό αντικείμενο της διατριβής.
- Η παρούσα βάση περιλαμβάνει 13 πίνακες εισαγωγής δεδομένων. Τα δεδομένα που εισήχθησαν σε αυτή προέρχονται από διάφορες μελέτες και αναφέρονται σε γεωτρήσεις, γεωλογικές και τεχνικογεωλογικές πληροφορίες, αποτελέσματα εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών που εκτελέστηκαν στην περιοχή έρευνας.
- Στόχος της κατασκευής αυτής της τράπεζας δεδομένων είναι η επεξεργασία και αξιολόγηση όλων των εισαχθέντων δεδομένων με σκοπό την εκτίμηση της γεωλογικής κατάστασης και τον προσδιορισμό της τεχνικογεωλογικής απόκρισης και συμπεριφοράς των σχηματισμών στα υπόγεια έργα. Η βασική χρησιμότητα της έγκειται στη δυνατότητα της εύκολης και γρήγορης ανάκτησης στοιχείων από αυτή, με σκοπό τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων της.

- Το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης, αποτελεί την περιοχή έρευνας. Γεωτεκτονικά η περιοχή εντάσσεται στις ζώνες Αξιού και Περιοδοπικής. Οι σχηματισμοί που συναντώνται στη Θεσσαλονίκη, από τους νεότερους προς τους παλαιότερους, είναι οι τεχνητές επιχώσεις, οι Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις (Ψαμμιτομαργαϊκή και σειρά Ερυθρών Αργίλων) που παρατηρούνται στο μεγαλύτερο τμήμα της αστικής περιοχής, τόσο επιφανειακά, όσο και σε βάθος, και τέλος ο πρασινοσχιστόλιθος που αποτελεί το υπόβαθρο της Θεσσαλονίκης.
- Η περιοχή έρευνας αποτελείται από ιδιαίτερες γεωλογικές και τεχνικογεωλογικές συνθήκες. Οι σχηματισμοί παρουσιάζουν σημαντική ανομοιογένεια στη σύσταση τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφα.
- Επιλέχθηκαν να αξιολογηθούν διάφορες παράμετροι που αναφέρονται στο σχεδιασμό και την κατασκευή υπόγειων έργων. Συγκεκριμένα αυτές είναι τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά (όρια Atterberg, κοκκομετρικές διαβαθμίσεις, δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης, δοκιμές άμεσης διάτμησης, δοκιμές τριαξονικής φόρτισης), όπως προκύπτουν από τις εργαστηριακές δοκιμές καθώς και τα αποτελέσματα από τις επί τόπου δοκιμές πρότυπης διείδυσης και περατότητας. Έπειτα, από τη συσχέτιση αυτών των δεδομένων εξήχθησαν χρήσιμα διαγράμματα και στατιστικές κατανομές τόσο ανά σχηματισμό, όσο και ανά περιοχή.
- Από την αξιολόγηση των δεδομένων ανά σχηματισμό προέκυψε ότι ο σχηματισμός των Τεχνητών επιχώσεων είναι χαλαρός, χαμηλής έως κατά θέσεις μεγαλύτερης περατότητας, με πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά και μικρές τιμές αντοχής. Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις είναι πρόσφατες, αποτελούνται από χαλαρά και μαλακά ιζήματα τα οποία δεν έχουν υποστεί διαγένεση, με αποτέλεσμα να έχουν μικρές αντοχές και να παρουσιάζουν πτωχότερα μηχανικά χαρακτηριστικά από τις Νεογενείς αποθέσεις οι οποίες παρουσιάζουν μεγαλύτερες αντοχές λόγω του διαφορετικού βαθμού ιζηματογένεσης και της στερεοποίησης που έχουν υποστεί. Τέλος, ο σχηματισμός του υποβάθρου παρουσιάζει υψηλές τιμές αντοχής ιδίως στις περιπτώσεις όπου δεν είναι αποσαθρωμένος, εξαλλοιωμένος ή/και κερματισμένος.
- Η αξιολόγηση των σχηματισμών έγινε συνολικά για την περιοχή έρευνας στη λεκάνη της Θεσσαλονίκης. Παράλληλα, επιλέχθηκαν δύο μικρότερες περιοχές προς αξιολόγηση με σκοπό τη λεπτομερή ανάλυση αυτών και έπειτα τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά της συνολικής περιοχής. Η πρώτη περιοχή που επιλέχθηκε βρίσκεται στο ιστορικό κέντρο της πόλης ενώ η δεύτερη στο ανατολικό τμήμα αυτής. Για τις περιοχές αυτές κατασκευάστηκαν γεωλογικές-τεχνικογεωλογικές μηκοτομές,

ενδεικτικές τεχνικογεωλογικές διατομές και εξήχθησαν φάσματα φυσικών και μηχανικών παραμέτρων για τους διαφορετικούς σχηματισμούς που συναντήθηκαν.

- Αντίστοιχα στο Κεντρικό τμήμα επικρατούν οι Νεογενείς αποθέσεις. Οι Ερυθρές άργιλοι των Νεογενών αποθέσεων αποτελούνται κυρίως από υλικά αργιλικής σύστασης. Πρόκειται για σχηματισμούς με εξαιρετικά καλά μηχανικά χαρακτηριστικά, τα οποία σε συνδυασμό με τις πολύ χαμηλές παρατηρούμενες τιμές περατότητας καθιστούν αυτόν το σχηματισμό ιδιαίτερα ικανό ως προς την απόκριση του κατά την κατασκευή υπόγειων έργων.
- Από την αξιολόγηση των δεδομένων ανά περιοχή γίνεται αντιληπτό ότι στο Ανατολικό τμήμα επικρατούν οι Τεταρτογενείς αποθέσεις έναντι των Νεογενών. Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις αποτελούνται κυρίως από υλικά αμμώδους και αργιλικής σύστασης. Αυτές οι πρόσφατες ποτάμιες αποθέσεις αναπτύσσονται σε ευρεία έκταση και με σημαντικά πάχη. Οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων για τις Τεταρτογενείς αποθέσεις είναι χαμηλές έως πολύ χαμηλές. Ιδιαίτερα στη ζώνη όπου επικρατούν τα αμμώδης σύστασης υλικά και λόγω της αυξημένης περατότητας, αναμένονται να συναντηθούν οι κυριότερες τεχνικογεωλογικές προκλήσεις.
- Ακόμη, από την ανάλυση της Ανατολικής περιοχής προέκυψε η επικαιροποίηση του τεχνικογεωλογικού χάρτη, η αρχική μορφή του οποίου δεν συμπεριλαμβάνει τις Τεταρτογενείς αποθέσεις που εντοπίστηκαν στην περιοχή.
- Έπειτα από την ποσοτική αξιολόγηση των παραμέτρων ορίστηκε για κάθε σχηματισμό ένα φάσμα τιμών για συγκεκριμένες γεωλογικές και τεχνικογεωλογικές ιδιότητες. Οι τιμές που παρατηρήθηκαν, παρουσιάζουν μικρότερα εύρη από τις τιμές που δίνονται στον τεχνικογεωλογικό χάρτη της Θεσσαλονίκης.
- Η αξιολόγηση των δεδομένων στις υπό έρευνα περιοχές της λεκάνης της Θεσσαλονίκης αποτελεί μια αρκετά τυπική κατάσταση των σχηματισμών που συναντήθηκαν, καθώς παρατηρήθηκε μια σημαντική ομοιογένεια σχετικά με τις ιδιότητες των σχηματισμών.
- Ως προς την επιλογή κατάλληλου μηχανήματος για την κατασκευή των υπόγειων έργων στο αστικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης κατασκευάστηκαν για τις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις διαγράμματα κοκκομετρικών καμπυλών, διαγράμματα περατότητας, διαγράμματα που αναφέρονται στην ανάπτυξη κολλώδους συμπεριφοράς και στη διακινδύνευση έναντι δημιουργίας συσσωματωμάτων. Επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένοι σχηματισμοί καθώς είναι αυτοί που επικρατούν στο χώρο και που αναμένεται να συναντηθούν κατά τη διάνοιξη αστικών σιράγγων στην περιοχή έρευνας.

- Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις γεωλογικές, τεχνικογεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες και έπειτα από την αξιολόγηση των παραπάνω διαγραμμάτων προέκυψε ότι το καταλληλότερο μηχάνημα για τη διάνοιξη υπογείων έργων στο σύνολο των σχηματισμών είναι το μηχάνημα εξισορρόπησης εδαφικής πίεσης (Earth Pressure Balance-EPB). Πρόκειται για ένα μηχάνημα που χρησιμοποιεί μια ευέλικτη μέθοδο, με πίεση στο μέτωπο, ιδιαίτερα αποδοτική σε συνεκτικούς και μικρής περατότητας σχηματισμούς, όπως είναι αυτοί της περιοχής έρευνας. Η αποτελεσματικότητα του εμπίπτει στον περιορισμό των επιφανειακών μετακινήσεων και καθιζήσεων γεγονός που πρέπει να ληφθεί υπόψη σε ένα αστικό περιβάλλον, όπως αυτό της Θεσσαλονίκης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

Βαζαίος Ι. (2013), «Η αξιολόγηση των τεχνικογεωλογικών-γεωτεχνικών συνθηκών και η εφαρμογή της στην εκτίμηση των επιφανειακών μετακινήσεων σε σχέση με τη μηχανοποιημένη διάνοιξη σηράγγων εφαρμόζοντας αριθμητικές μεθόδους ανάλυσης. Το παράδειγμα γραμμής επέκτασης του μετρό Θεσσαλονίκης.», Διατριβή ειδίκευσης, Ε.Μ.Π.

Βενετσάνου Π. (2014), «Εκτίμηση των επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών στα υπόγεια νερά με τη χρήση κλιματικών μοντέλων και μοντέλων ροής: εφαρμογή στην περιοχή του Δήμου Θερμαϊκού», Διατριβή ειδίκευσης, Α.Π.Θ.

Βουβαλίδης Κ. (2002), «Μαθήματα Φυσικής Γεωγραφίας», Α.Π.Θ.

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Δεύτερο, Αρ. Φύλλου 1154, 12/8/2003 (ΦΕΚ 1154Β/12.8.2003)

Ζερβοπούλου Α., Παυλίδης Σ. (2005), «Μορφοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης για την χαρτογράφηση νεοτεκτονικών ρηγμάτων», 1η Συνάντηση Επιτροπής Γεωμορφολογίας Ε.Γ.Ε., Δελτίο ΕΓΕ, Τομ. XXXVIII, σελ. 30-41.

Ζερβοπούλου Α.Σ., (2010), «Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης», Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ.

Ι.Γ.Μ.Ε., (1978), Φύλλο Χάρτη, Κλίμακας 1:50.000, Θεσσαλονίκη.

Κυρατζή Α. Α., Χατζηπέτρος Α., Παπαθανασίου Γ., Ρουμελιώτη Ζ. (2014), «Προσομοίωση εδαφικών αστοχιών λόγω ρευστοποίησης στην ευρύτερη περιοχή του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης», 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής.

Μαρίνος Β., Κόρκαρης Κ., Προυντζόπουλος Γ., Ρομοσίου Ν., Φορτσάκης Π., Μιρμίρης Κ., Πετρουτσάτου Κ., Κουμουτσάκος Δ., Κιάμος Κ., Λαζαρίδου Σ., Πίτσας Γ., Ρηγοπούλου Μ., Μαρίνος Π., Λαμπρόπουλος Σ., (2006), «Η δημιουργία γεωτεχνικής βάσης δεδομένων σηράγγων για την Εγνατία οδό Α.Ε.», 5ο Πανελλήνιο Γεωτεχνικό Συνέδριο, Τόμος 3, σελ. 525-531.

Μαρίνος Π. και ερευνητική ομάδα, (2006), Ερευνητικό πρόγραμμα: «Έρευνα επί της συμπεριφοράς των γεωυλικών κατά την κατασκευή των σηράγγων της Εγνατίας οδού και επί των παραγόντων διαμόρφωσης του τελικού κόστους κατασκευής» (Τελική έκθεση-Τεύχος Ι).Γεωτεχνικός Τομέας της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Μουντράκης Δ.Μ., (2010), «Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας», University Studio Press.

Μουντράκης Δ., Κίλιας Α., Παυλίδης Σ., Σωτηριάδης Α., Ψιλοβίκος Α., Αστάρης Θ., Βαβλιάκης Ε., Κουφός Γ., Δημόπουλος Γ., Σούλιος Γ., Χρηστάρας Β., Σκορδύλης Μ., Τρανός Μ., Σπυρόπουλος Μ., Πάτρας Δ., Συρίδης Γ., Λαμπρινός Ν., Λαγγάλη Θ. (1996), «Νεοτεκτονικός Χάρτης της Ελλάδας», Κλίμακας 1:100.000, Φύλλα: Θεσσαλονίκη, Θέρμη Ο.Α.Σ.Π. (1996).

ΟΜΕΤΕ Εδαφοστατική Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε. Γεωλογική Μελέτη Μετρό Θεσσαλονίκης: Νεός Σιδηροδρομικός Σταθμός-Σταθμός Ν. Ελβετία Και Αμαξοστάσιο Πυλαίας (2008).

Πανοζάχου Κ., (2013), «Σχεδιάζοντας για μια πιο ασφαλή πόλη. Ένα πολεοδομικό σχέδιο πρόληψης και διαχείρισης σεισμικών καταστροφών για το Δήμο Θεσσαλονίκης» Διπλωματική εργασία, Α.Π.Θ.

Παπαχαρίσης Ν., Πενέλης Γ. (1992), «Εδαφοτεχνικό προφίλ διαδρομής ελαφρού Μετρό». Πρακτικά 2^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής, τόμος 1

Παυλίδης Σ.Β., (2007), «Γεωλογία των Σεισμών, Εισαγωγή στην νεοτεκτονική, μορφοτεκτονική και παλαιοσεισμολογία», University Studio Press.

Πιτιλάκης Κ. και Συνεργάτες (2004), «Μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας και προσδιορισμός των παραμέτρων της ισχυρής εδαφικής κίνησης σχεδιασμού κατά μήκος του άξονα χάραξης του Μετρό Θεσσαλονίκης». Αττικό Μετρό Α.Ε.

Ρόζος Δ., Χατζηνάκος Ι., Αποστολίδης Ε., (1998), «Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πόλης Θεσσαλονίκης», Κλίμακας 1:25.000. Ι.Γ.Μ.Ε.

Σαπουντζής Η.Σ., (1969), «Πετρογραφία και γεωλογική τοποθέτηση των πράσινων γνεύσιων της Θεσσαλονίκης», Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ.

Συρίδης Γ.Ε., (1990), «Λιθοστρωματογραφική, βιοστρωματογραφική και παλαιογεωγραφική μελέτη των Νεογενών – Τεταρτογενών ιζηματογενών σχηματισμών της χερσονήσου Χαλκιδικής», Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ.

Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής Τμ. Πολ. Μηχ., (1985), «Γεωτεχνική μελέτη περιοχής Θεσσαλονίκης», Α.Π.Θ.

Χατζηγώγος, Ν.Θ., Μακεδών, Θ.Κ., Τσιντάρης, Γ.Ε., Τσότσος, Σ.Χ., Χρηστάρας, Β.Χ. (2014), «Εκτίμηση της επιδεκτικότητας σε υδροστερεοποίηση των τεχνητών επιχωματώσεων του ιστορικού κέντρου της Θεσσαλονίκης», 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής.

Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (GR10), Π.1.17, Έκθεση Επισκόπησης Σημαντικών Ζητημάτων Διαχείρισης Υδάτων (2012), ΥΠΕΚΑ.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Anastasiadis An., Raptakis D., Pitilakis K., (2001), «Thessaloniki's Detailed Microzoning: Subsurface Structure as Basis for Site Response Analysis», Pure and Applied Geophysics, 158 2597-2633.

Becker C., «Choice between EPB and Slurry shield, selection criteria by practical examples», (Proc. Rapid Excavation and Tunneling Conference, San Francisco, 1995, pp. 479-492)

Chmelina K., Rabensteiner K., Krusche G., (2012), «A Tunnel Information System for the Management and Utilization of Geo-Engineering Data in Urban Tunnel Projects», Geotechnical and Geological Engineering (2013), Vol 31, pg:845–859.

Clogging risks for TBM drives in clay, Tunnels and Tunnelling International, (June, 2004)

Feasibility study for tunneling method for Attiko Metro extension of line 3 to Egaleo, Part A: Review of alternative construction methods (September, 1995), Geodata S.p.A, Torino, Italy

Hiroaki Todo, Koji Yamamoto, Mamoru Mimura, Susumu Yasuda, (2013), «Japan's Nation-Wide Electronic Geotechnical Database Systems by Japanese Geotechnical Society», Geotechnical and Geological Engineering (2013), Vol 31, pg: 941–963.

Lamberti Spa, Tunneling Applications, «Product Sheet: earth pressure balance shield condition agents»

Marinos P. G., Novack M., Benissi M., Panteliadou M., Papouli D., Stoumpos G., Marinos V., Korkaris K., (2008), «Ground Information and Selection of TBM for the Thessaloniki Metro», Greece Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XIV, No. 1, pp. 17–30

Marinos V., Marinos P., Prountzopoulos G., Fortsakis P., Korkaris K., Mirmiris K., Papouli D., (2010), «TIAS database: A tunnel information and analysis system», 11th International congress of IAEG, Auckland.

Marinos V., Prountzopoulos G., Fortsakis P., Koumoutsakos D., Korkaris K., Papouli D., (2012), «Tunnel Information and Analysis System: A Geotechnical Database for Tunnels», Geotechnical and Geological Engineering (2013), Vol 31, no 3:891–910.

Mercier J.L., Sorel D., Vergely P., Simeakis K., (1989), «Extensional tectonic regimes in the Aegean basins during the Cenozoic», Basin Research, Vol.2, Iss.1, pp.49-71.

Pavlidis S.B., Kondopoulou D.P., Kiliass A.A., Westphal M., (1988), «Complex rotational deformations in the Serbo-Macedonian massif (north Greece): structural and paleomagnetic evidence», Tectonophysics, 145, pp.329-335.

Rick P. LOVAT, P., «TBM Design Considerations: Selection of Earth Pressure Balance or Slurry Pressure Balance Tunnel Boring Machines»

Rozos D., Apostolidis E. Hadzinakos I. (2004). «Engineering-geological map of the wider Thessaloniki area, Greece» ,Bulletin of Engineering Geology and the Environment Vol. 63, Iss. 2, pp.103-108.

Suwansawat S., «Earth Pressure Balance (EPB) shield tunneling in Bangkok: ground response and prediction of surface settlements using artificial neural networks», (Phd thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2002)

Tranos M., Papadimitriou A., Kiliass A., (2003), «Thessaloniki-Gerakarou fault zone (TGFZ): the western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (northern Greece) and seismic hazard assessment», Journal of Structural Geology, 25, 2003, pp.2109-2123.

Vittorio Guglielmetti, Piergiorgio Grasso, Ashraf Mahtab & Shulin Xu, «Mechanized tunneling in urban areas, design methodology and construction control», Geodata S.p.A., Turin, Italy

Voidomatis P.S., Pavlides S.B., Papadopoulos G.A. (1990), «Active deformation and seismic potential in the Serbomacedonian zone, northern Greece», Tectonophysics 179, pp.1-9.