



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ  
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ «ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ»

ΜΠΑΤΖΑΚΑ Π.ΡΟΖΑ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΑΓΙΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ  
ΕΠΑΝΕΠΙΧΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ  
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΡΙΝΘΟΥ-ΠΑΤΡΩΝ.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ  
2019

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΜΠΑΤΖΑΚΑ ΡΟΖΑ



ΜΠΑΤΖΑΚΑ Π.ΡΟΖΑ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΑΓΙΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ  
ΕΠΑΝΕΠΙΧΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ  
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΡΙΝΘΟΥ-ΠΑΤΡΩΝ.

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας  
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

**Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:**

Αναπληρωτής Καθηγητής ΑΠΘ Βασίλειος Μαρίνος, Επιβλέπων

Καθηγητής ΑΠΘ Βασίλειος Χρηστάρας, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Δρ. Μακεδών Θωμάς, Ε.ΔΙ.Π. Α.Π.Θ., Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΠΑΤΖΑΚΑ ΡΟΖΑ

[2]



©Μπατζάκα Π. Ρόζα , Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, 2018.  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΑΓΙΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ  
ΕΠΑΝΕΠΙΧΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ  
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΡΙΝΘΟΥ-ΠΑΤΡΩΝ.

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 την 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 στους συγγραφείς.

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

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΠΑΤΖΑΚΑ ΡΟΖΑ

[3]



## Πρόλογος

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η τεχνικογεωλογική αξιολόγηση και μελέτη της κατασκευής της σήραγγας Αγίου Βασιλείου, που θα κατασκευαστεί με την μέθοδο Cover-and-Cut κατά μήκος της νέας σιδηροδρομικής γραμμής Κορίνθου-Πατρών. Η παρούσα εργασία αξιολογεί τα αποτελέσματα των γεωερευνητικών εργασιών υπαίθρου και εργαστηριακών δοκιμών, που εκτελέστηκαν για την μελέτη του τεχνικού έργου.

Η ανάθεση του θέματος της μεταπτυχιακής εργασίας έγινε από τον καθηγητή κ. Βασίλη Μαρίνο Αν. Καθηγητή του Α.Π.Θ. τον οποίο ευχαριστώ θερμά για τη συνεχή καθοδήγηση σε όλα τα στάδια εκτέλεσης της , καθώς και για τις συμβουλές που μου έδωσε κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Χρηστάρα Βασίλειο για τη συμμετοχή του στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή.

Θερμές ευχαριστίες εκφράζω στον Δρα Γεωλόγο Θωμά Μακεδόνα για την βοήθεια που μου προσέφερε κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρία Μηχανική Α.Ε. για την χορηγία της βοήθειας και την παραχώρηση δεδομένων, τα οποία συντέλεσαν καθοριστικά στην εκπόνηση της εργασίας, καθώς και τις εταιρείες BUNG Ingenieure AG, Γενική Μελετών ΕΠΕ και την Ingenieurbüro EDR GmbH , οι οποίες εκπόνησαν την γεωτεχνική και την τεχνική μελέτη , οι οποίες έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την στήριξή τους σε εμένα όλα αυτά τα χρόνια, για την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφεραν και για την δύναμη και το κουράγιο που μου δίνουν για την συνέχεια. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που με πλαισίωσαν με την στήριξή τους σε όλο το διάστημα εκπόνησης της εργασίας.



«ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΑΓΙΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ  
ΕΠΑΝΕΠΙΧΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ  
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΡΙΝΘΟΥ-ΠΑΤΡΩΝ.»

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η γεωλογική και τεχνικογεωλογική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των γεωερευνητικών εργασιών υπαίθρου και εργαστηριακών δοκιμών, που εκτελέστηκαν για την κατασκευή της σήραγγας του Αγίου Βασιλείου με τη μέθοδο επανεπίχωσης και εκσκαφής, κατά μήκος της νέας σιδηροδρομικής γραμμής Κορίνθου-Πατρών. Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της στρωματογραφίας του υπεδάφους, ο προσδιορισμός των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφικών σχηματισμών, ο προσδιορισμός της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και γενικά όλων των τεχνικογεωλογικών παραμέτρων και πληροφοριών που απαιτούνται για το γεωτεχνικό σχεδιασμό του Cover-and-Cut. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκαν γραφήματα που απεικονίζουν τις μεταβολές των αποτελεσμάτων, όπως των δοκιμών  $N_{spt}$  και της κοκκομετρικής ανάλυσης κ.α., τα οποία προβάλλονται σε σχήματα, όπου δείχνουν ανάλογα με το βάθος την ποιότητα του εδαφικού υλικού. Το υπό μελέτη τμήμα της σιδηροδρομικής γραμμής, αναπτύσσεται εντός της κατοικημένης περιοχής του Αγ. Βασιλείου, όπου η χάραξη σε γενικές γραμμές ακολουθεί την υφιστάμενη υπέργεια σιδηροδρομική γραμμή Πάτρα – Πύργος του Ο.Σ.Ε. Το τεχνικό εντοπίζεται από τη Χ.Θ. 115+935 έως και τη Χ.Θ. 116+500 και αφορά το Cover-and-Cut Αγ. Βασιλείου. Η περιοχή του τεχνικού χαρακτηρίζεται από ήπιο πεδινό ανάγλυφο και το υπέδαφος αποτελείται γενικά από ποταμοχειμάρειες και θαλάσσιες αποθέσεις του Τεταρτογενούς, όπως άμμοι, άργιλοι και χάλικες. Η ποιότητα των εδαφικών σχηματισμών ανήκει στην κατηγορία της πυκνής έως πολύ πυκνής απόθεσης στα αμμώδη υλικά και στιφρής έως πού στιφρής στα αργιλικά υλικά. Τα υλικά αυτά μπορούν να προκαλέσουν σοβαρούς κινδύνους για την θεμελίωση μίας υπόγειας σήραγγας, γι' αυτό είναι αναγκαία η γνώση του βαθμού συνεκτικότητας της φύσης των αργιλικών υλικών, της αντοχής, της φέρουσας ικανότητας και της διαπερατότητας των σχηματισμών. Εξαιτίας της στρωματογραφίας, η περατότητα του νερού χαρακτηρίζεται ως υψηλή, γι' αυτό και προτείνονται αποστραγγιστικά έργα με σκοπό να ανακουφίσουν το έργο από τις προβλεπόμενες πιέσεις πόρων. Για τον σκοπό αυτό, συνίστανται οι δοκιμές μεταβλητού φορτίου (Maag) και σταθερής στάθμης (Δοκιμές Lefranc). Τέλος, γίνεται μία αναφορά στον σχεδιασμό του Cover-and-Cut, που περιγράφει τις φάσεις κατασκευής και τον υδραυλικό σχεδιασμό του τεχνικού.



## ABSTRACT

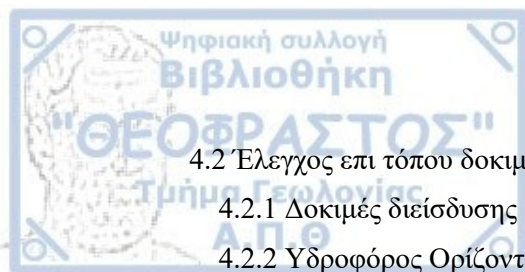
### « ENGINEERING GEOLOGICAL ASSESSMENT FOR THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE AGIOS VASILIOS TUNNEL WITH THE METHOD OF COVER AND CUT ALONG THE NEW CORINTH-PATRAS RAILWAY LINE. »

The present diploma thesis presents the geological and technological assessment of the results of the field research and laboratory tests carried out for the construction of the Agios Vasiliou tunnel with the Cover-and-Cut method along the new Corinth-Patras railway line. The aim of the thesis is to investigate the substratum stratigraphy, to determine the physical and mechanical properties of the soil formations, to specify the groundwater level and all the engineering geological parameters and information required for the Cover-and-Cut design. For this purpose, graphs were made to illustrate the changes in test results, such as Nspt and granulometric analysis, etc., which are plotted in figures, and show depending on the depth the quality of the soil material. The section under study of the railway line, is being developed within the Ag. Vasiliou residential area, where generally the layout follows the existing Patras – Pirgos OSE railway line. The engineering structure is located by the KP. 115 + 935 up to KP. 116 + 500 and has to do with the Ag. Vasiliou Cover-and-Cut. The area of the engineering structure is characterized by mild flat terrain and the subsoil is generally composed of river and marine deposits of the Quaternary, such as sands, clay and gravel. The quality of the soil formations belongs to the category of dense to very dense deposition in the sandy materials and stiff to very stiff deposition in the clay materials. These materials can cause serious risks for the foundation of an underground tunnel, so it is necessary to know the degree of consistency of the nature of the clay materials, the strength, the bearing capacity and the permeability of the formations. Due to the stratigraphy, water permeability is high, so drainage works are proposed to relieve the structure from predicted strain pores. For this purpose Variable Load Tests (Maag) and Stable Level Tests (Lefranc Tests), are recommended. Finally, a reference is made to the Cover-and-Cut design, which describes the construction phases and hydraulic design of the engineering structure.

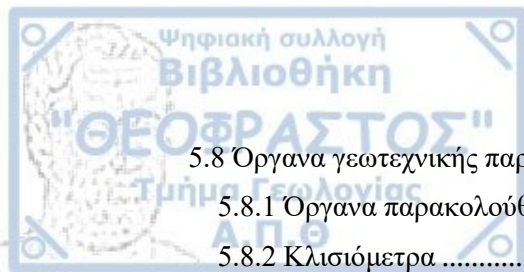


## Περιεχόμενα

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Πρόλογος.....                                                          | 4         |
| Περίληψη.....                                                          | 5         |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....                                             | 10        |
| 1.1 Αντικείμενο .....                                                  | 10        |
| 1.2 Σκοπός και σημασία της εργασίας.....                               | 10        |
| 1.3 Χαρακτηριστικά έργου .....                                         | 11        |
| 1.4 Μεθοδολογία εργασίας.....                                          | 13        |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΣΚΑΦΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΕΠΙΧΩΣΗ..       | 14        |
| 2.1 Γενικά χαρακτηριστικά .....                                        | 14        |
| 2.1.1 Πεδίο εφαρμογής.....                                             | 15        |
| 2.2 Η τεχνική Cut and Cover.....                                       | 18        |
| 2.3 Η τεχνική Cover and Cut.....                                       | 19        |
| 2.4 Επισκόπηση κατασκευής.....                                         | 22        |
| 2.5 Χαρακτηριστικά σχεδιασμού "Cover and Cut" .....                    | 23        |
| 2.6 Μηχανικές ιδιότητες των εδαφών .....                               | 26        |
| <i>Επίδραση της κατασκευής .....</i>                                   | <i>26</i> |
| <i>Χαρακτηριστικά τάσης-παραμόρφωσης.....</i>                          | <i>26</i> |
| 2.7 Case Studies .....                                                 | 29        |
| <i>Το στόμιο "Cover and Cut" της σήραγγας T6 .....</i>                 | <i>29</i> |
| <i>Η επένδυση σήραγγας T105 "Cover and Cut".....</i>                   | <i>30</i> |
| 2.8 Σύνοψη .....                                                       | 31        |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....                           | 32        |
| 3.1 Ζώνη Τριπόλης - Γαβρόβου. ....                                     | 32        |
| 3.2 Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη.....                                   | 33        |
| 3.3 Οι Πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις.....                             | 34        |
| 3.4 Τεκτονική .....                                                    | 37        |
| 3.5 Νεοτεκτονική.....                                                  | 37        |
| 3.6 Τεχνικογεωλογικός χάρτης του νομού Αχαΐας, κλίμακας 1:100.000..... | 40        |
| 3.7 Γεωλογία -Γεωμορφολογία της στενής περιοχής έδρασης του έργου..... | 44        |
| Γεωμορφολογία .....                                                    | 44        |
| Γεωλογία.....                                                          | 44        |
| 3.8 Σεισμικότητα .....                                                 | 45        |
| Σεισμολογικά στοιχεία .....                                            | 45        |
| 3.9 Υδρογραφικό δίκτυο .....                                           | 46        |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....                            | 47        |
| 4.1 Μεθοδολογία αξιολόγησης Τεχνικογεωλογικών συνθηκών .....           | 47        |



|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2 Έλεγχος επι τόπου δοκιμών.....                                              | 47 |
| 4.2.1 Δοκιμές διείσδυσης SPT.....                                               | 47 |
| 4.2.2 Υδροφόρος Ορίζοντας.....                                                  | 51 |
| 4.2.3 Δοκιμές Διαπερατότητας.....                                               | 52 |
| 4.2.4 Κατακόρυφος συντελεστής διαπερατότητας.....                               | 54 |
| 4.3 Εργαστηριακή έρευνα .....                                                   | 55 |
| 4.3.1 Δοκιμές Εδαφομηχανικής.....                                               | 55 |
| 4.4 Τεχνικογεωλογικές Ενότητες .....                                            | 67 |
| 4.5 Τεχνικογεωλογική Ενότητα I .....                                            | 74 |
| 4.5.1 Γενικά .....                                                              | 74 |
| 4.5.2 Φυσικά χαρακτηριστικά ενότητας.....                                       | 74 |
| 4.5.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά ενότητας .....                                    | 75 |
| 4.5.4 Συνοπτικές παράμετροι σχεδιασμού .....                                    | 77 |
| 4.6 Τεχνικογεωλογική Ενότητα II .....                                           | 78 |
| 4.6.1 Γενικά .....                                                              | 78 |
| 4.6.2 Φυσικά χαρακτηριστικά ενότητας.....                                       | 78 |
| 4.6.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά ενότητας .....                                    | 79 |
| 4.6.4 Συνοπτικές παράμετροι σχεδιασμού .....                                    | 80 |
| 4.7 Τεχνικογεωλογική Ενότητα III.....                                           | 81 |
| 4.7.1 Γενικά .....                                                              | 81 |
| 4.7.2 Φυσικά χαρακτηριστικά ενότητας.....                                       | 81 |
| 4.7.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά ενότητας .....                                    | 82 |
| 4.7.4 Συνοπτικές παράμετροι σχεδιασμού .....                                    | 86 |
| 4.8 3D Μοντέλο.....                                                             | 86 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ COVER & CUT.....                                        | 89 |
| 5.1 Εισαγωγή.....                                                               | 89 |
| 5.2 Περιγραφή τεχνικού έργου.....                                               | 89 |
| 5.3 Διατομές σχεδιασμού .....                                                   | 89 |
| 5.4 Φορέας τεχνικού.....                                                        | 92 |
| 5.5 Φάσεις κατασκευής .....                                                     | 95 |
| 5.6 Υδραυλικός σχεδιασμός .....                                                 | 97 |
| 5.6.1 Γενικά .....                                                              | 97 |
| 5.6.2 Τεκμηρίωση τοποθέτησης πλάκας πυθμένα.....                                | 97 |
| 5.7 Ανάλυση του φορέα .....                                                     | 98 |
| 5.7.1 Ανάλυση του φορέα κατά τη φάση κατασκευής .....                           | 98 |
| 5.7.2 Έλεγχος θραύσης του πυθμένα της εκσκαφής λόγω διασωλήνωσης (Piping) ..... | 98 |
| 5.7.3 Έλεγχος του σκεπασμένου ορύγματος έναντι άνωσης.....                      | 99 |



|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.8 Όργανα γεωτεχνικής παρακολούθησης.....                                                    | 99  |
| 5.8.1 Όργανα παρακολούθησης .....                                                             | 100 |
| 5.8.2 Κλισιόμετρα .....                                                                       | 100 |
| 5.8.3 Μάρτυρες παρακολούθησης μετακινήσεων σε παρακείμενες κατασκευές και μικροπασσάλους..... | 100 |
| 5.8.4 Πιεζόμετρα .....                                                                        | 101 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....                                                                               | 102 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....                                                                             | 102 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....                                                                               | 106 |



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Αντικείμενο

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο υπόγεια έργα κατασκευάζονται, ειδικότερα στον τομέα των Σιδηροδρομικών μεταφορών, όπου οι σύγχρονες ανάγκες για δημιουργία αξόνων υψηλών ταχυτήτων, επιβάλλουν δύσκαμπτα γεωμετρικά χαρακτηριστικά χάραξης, με τεχνικές λύσεις που θα ελαχιστοποιούν τις επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Η ανάγκη αυτή αυξάνεται όλο και περισσότερο στη χώρα μας εξαιτίας του έντονου ανάγλυφου της μορφολογίας του εδάφους. Η αύξηση των πιστώσεων που διατέθηκαν για τους σιδηροδρόμους έδωσαν τη δυνατότητα στον ΟΣΕ να συμπεριλάβει στον προγραμματισμό του κατασκευές σημαντικού μήκους σηράγγων και σιδηροδρόμων.

Αντικείμενο της εργασίας είναι και η κατασκευή της νέας σιδηροδρομικής γραμμής μεταξύ Κορίνθου και Πάτρας, όπου στην παρούσα εργασία θα γίνει αξιολόγηση ενός τμήματος της και συγκεκριμένα, η κατασκευή της νέας σιδηροδρομικής γραμμής με τη μέθοδο επανεπίχωσης και εκσκαφής (Cover and Cut) στην περιοχή του Αγίου Βασιλείου.

### 1.2 Σκοπός και σημασία της εργασίας

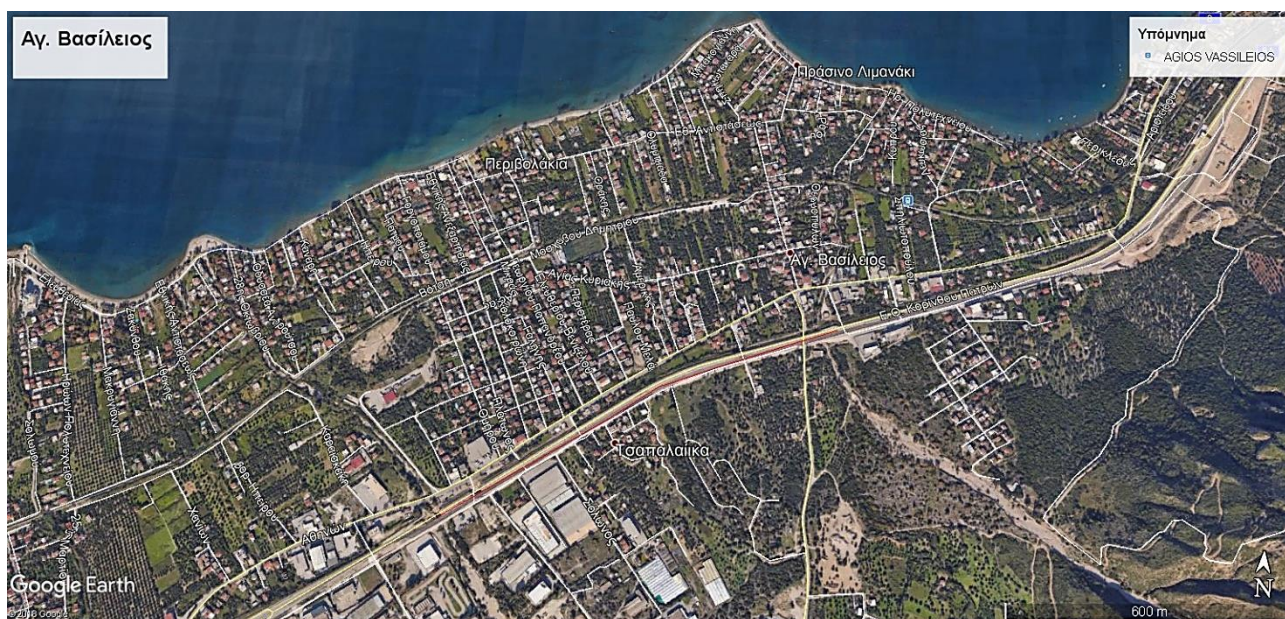
Ο σκοπός της παρούσας διπλωματική εργασίας είναι η γεωλογική και τεχνικογεωλογική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των γεωερευνητικών εργασιών υπαίθρου και εργαστηριακών δοκιμών, που εκτελέστηκαν για την κατασκευής της σήραγγας του Αγίου Βασιλείου.

Από τα αποτελέσματα των γεωερευνητικών εργασιών υπαίθρου και εργαστηριακών δοκιμών, δόθηκε η στρωματογραφία του υπεδάφους, προσδιορίστηκαν οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των εδαφικών σχηματισμών και η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Με βάσει τα αποτελέσματα αυτά λοιπόν, γίνεται μία αξιολόγηση της ποιότητας των εδαφικών σχηματισμών και στην συνέχεια προσδιορίζονται οι πιθανές αστοχίες που μπορεί να προκληθούν κατά την κατασκευή του έργου.



### 1.3 Χαρακτηριστικά έργου

Η έδραση της σήραγγας με την μέθοδο της επανεπίχωσης και εκσκαφής (Cover and Cut) , πραγματοποιείται εντός της κατοικημένης περιοχής του Αγ. Βασιλείου, όπου η χάραξη σε γενικές γραμμές ακολουθεί την υφιστάμενη υπέργεια σιδηροδρομική γραμμή Πάτρα – Πύργος του Ο.Σ.Ε. Στην λήψη της εικόνας Google Earth 1.1, απεικονίζεται ένα τμήμα της χάραξης του έργου, του οποίου η μηκοτομή απεικονίζεται στην εικόνα 1.2. Στην συνέχεια ακολουθείται φωτογραφικό υλικό Εικόνα 1.3 που απεικονίζει την κατασκευή του έργου , στην οποία είναι εμφανής η απόσταση των κτιρίων με το έργο.

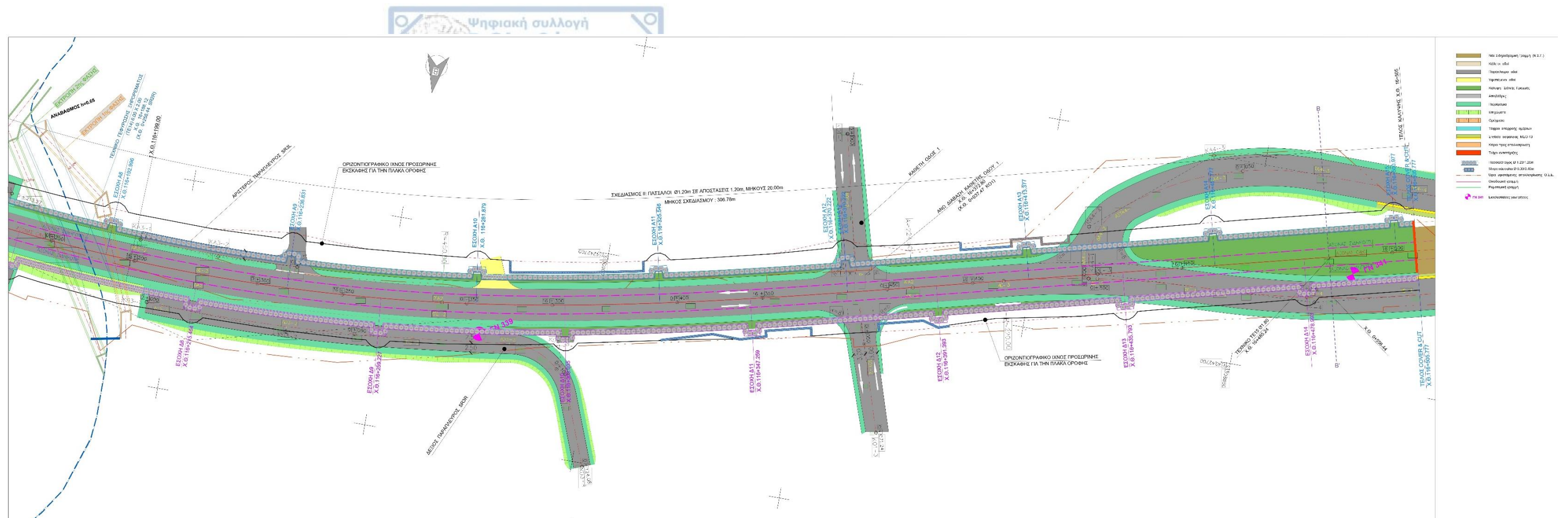


Εικόνα 1.1: Τμήμα της χάραξης του έργου από λήψη Google Earth.

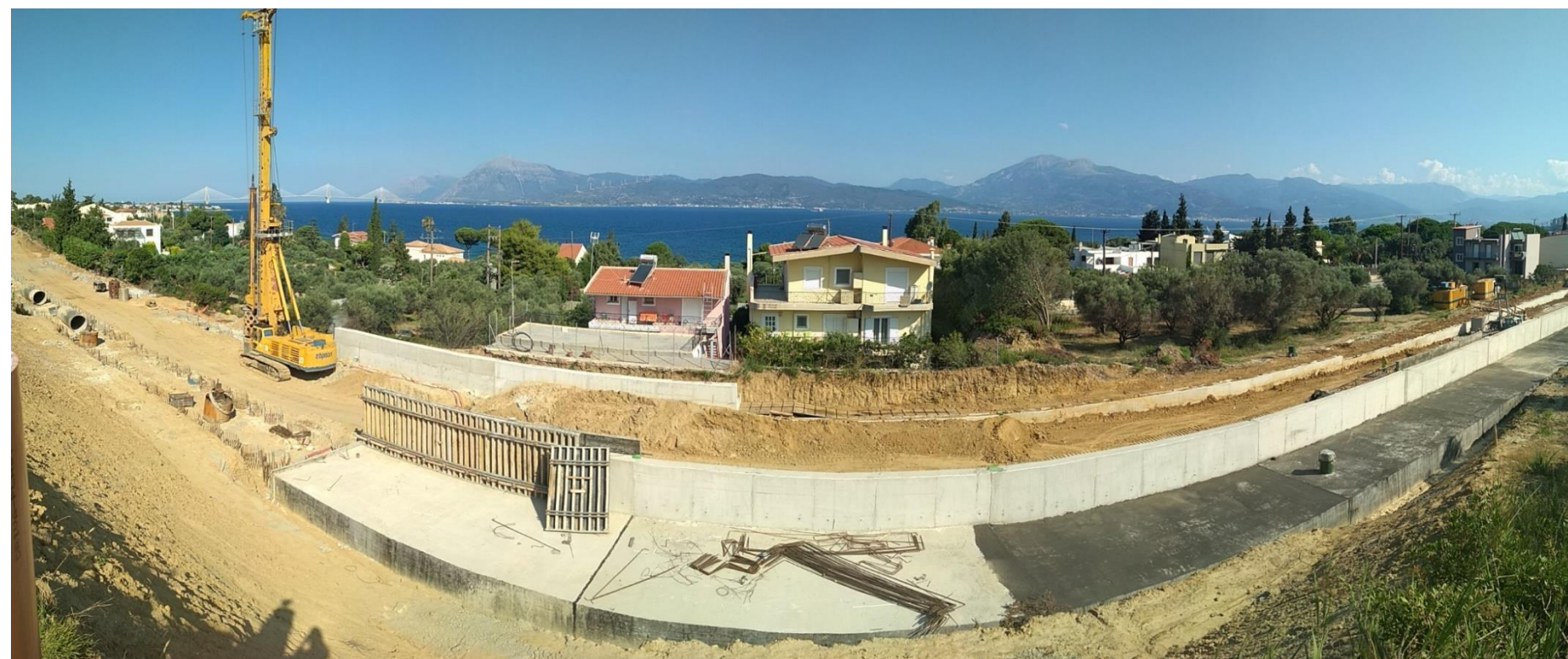
Χαρακτηριστικό του έργου, είναι η έδραση του Cover-and-Cut, μέσα σε Τεταρτογενείς σχηματισμούς και πιο συγκεκριμένα σε ποταμοχειμάρειες αποθέσεις με υψηλό ποσοστό χαλίκων. Τα υλικά αυτά, αποτελούν υλικά με φτωχές γεωτεχνικές ιδιότητες και είναι υδροπερατά, με αποτέλεσμα να υπάρχουν εισροές νερού και να ασκούνται πιέσεις πόρων στα πιο αργιλικά τμήματα.

Εύκολα λοιπόν, μπορεί να συμπεράνει κανείς πως η επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων, που προέρχονται από τις ερευνητικές γεωτρήσεις, τις εργαστηριακές δοκιμές και τη βιβλιογραφία κρίνονται απαραίτητα. Τμήμα των στοιχείων αυτών προέρχεται από την εταιρεία Μηχανική Α.Ε. , για την οποία οι ανάδοχοι μελετητικές εταιρείες (BUNG Ingenieure AG, Γενική Μελετών ΕΠΕ και την Ingenieurbüro EDR GmbH) ανέλαβαν τις γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες , για την σωστή και ολοκληρωμένη κατασκευή του Cover-and-Cut.





Εικόνα 1.2: Μηκοτομή της σήραγγας Cover and Cut.



Εικόνα 1.3: Κατασκευή της σήραγγας Cover and Cut.



#### 1.4 Μεθοδολογία εργασίας

Η μεθοδολογία που ακολουθεί η διπλωματική εργασία, είναι αρχικά να εισάγει τον αναγνώστη στα γενικά χαρακτηριστικά του τεχνικού Cover-and-Cut, σε δεύτερο στάδιο να ερευνηθεί η στρωματογραφία και η γεωλογική δομή της περιοχής, καθώς και η τεκτονική και η σεισμικότητα της περιοχής και σε τρίτο στάδιο να εκτιμηθούν τα αποτελέσματα των επιτόπιων και εργαστηριακών δοκιμών και να προσδιοριστεί το τεχνικογεωλογικό μοντέλο της περιοχής. Στο στάδιο αυτό, γίνεται εκτίμηση των SPT δοκιμών, αξιολογούνται οι δοκιμές κατάταξης για τον προσδιορισμό των φυσικών παραμέτρων και οι δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών και γίνεται εκτίμηση της περατότητας βάσει των επιτόπιων δοκιμών Lefranc και Maag.

Παρουσιάζονται, γραφήματα που απεικονίζουν τις μεταβολές των αποτελεσμάτων, όπως των δοκιμών Nspt και της κοκκομετρικής ανάλυσης κ.α., τα οποία προβάλλονται σε σχήματα, όπου δείχνουν ανάλογα με το βάθος την ποιότητα του εδαφικού υλικού. Με βάσει τα παραπάνω, γίνεται μία εκτίμηση των πιθανών αστοχιών που μπορεί να προκληθούν στο έργο, εξαιτίας των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδαφικού σχηματισμού, των εισροών νερού και των πιέσεων πόρων.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία πινάκων και γραφημάτων πάρθηκαν από την γεωτεχνική μελέτη, που εκπονήθηκε από τις μελετητικές εταιρείες BUNG Ingenieure AG, Γενική Μελετών ΕΠΕ και την Ingenieurburo EDR GmbH. Τέλος, γίνεται μία αναφορά στον σχεδιασμό του Cover-and-Cut, που περιγράφει τις φάσεις κατασκευής και τον υδραυλικό σχεδιασμό του τεχνικού.

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα αναλυτικά φύλλα των ερευνητικών γεωτρήσεων, τα αποτελέσματα των επιτόπιων δοκιμών και εργαστηριακών δοκιμών, καθώς και ο γεωλογικός και τεχνικογεωλογικός χάρτης της περιοχής έδρασης του τεχνικού. Τα παραπάνω στοιχεία αξιοποιήθηκαν για την σχεδίαση της γεωλογικής, τεχνικογεωλογικής και 3D τομής, από τα προγράμματα RockWorks 2006 και Autocad 2016.

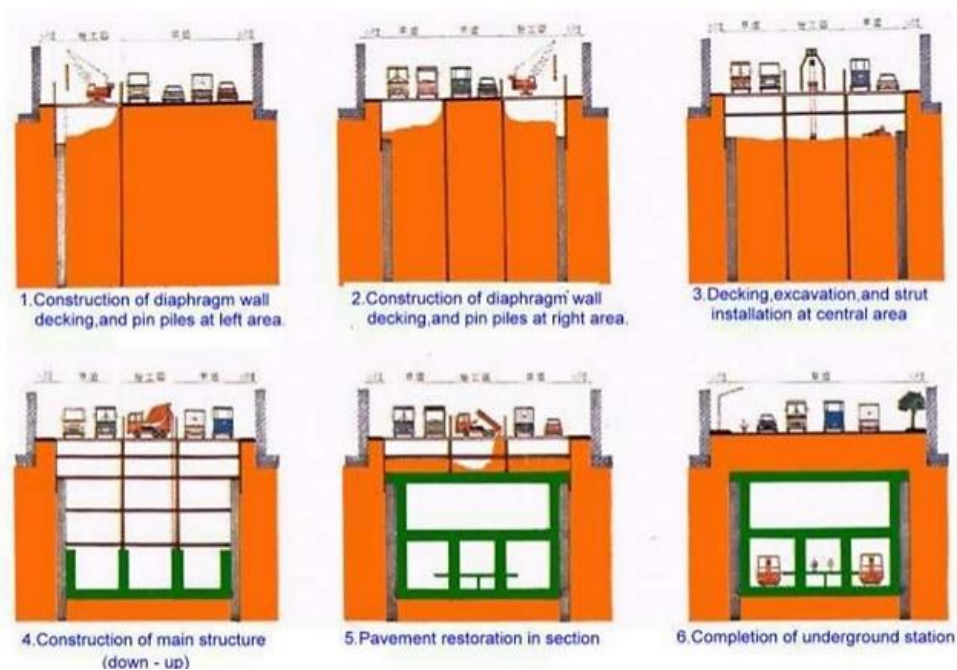
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΣΚΑΦΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΕΠΙΧΩΣΗ

### 2.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Οι μέθοδοι 'Εκσκαφή και Επανεπίχωση' (Cut and Cover) και 'Επανεπίχωση και Εκσκαφή' (Cover and Cut) είναι προηγμένες μηχανικές τεχνικές για την κατασκευή σήραγγων σε αστικές και υπεραστικές περιοχές. Η μέθοδος "Cut and Cover" για την κατασκευή σήραγγας, είχε αρχικά αναπτυχθεί για τις αστικές κατασκευές του μετρό, όπου απαιτείται η ελάχιστη δυνατή διακοπή της κυκλοφορίας.

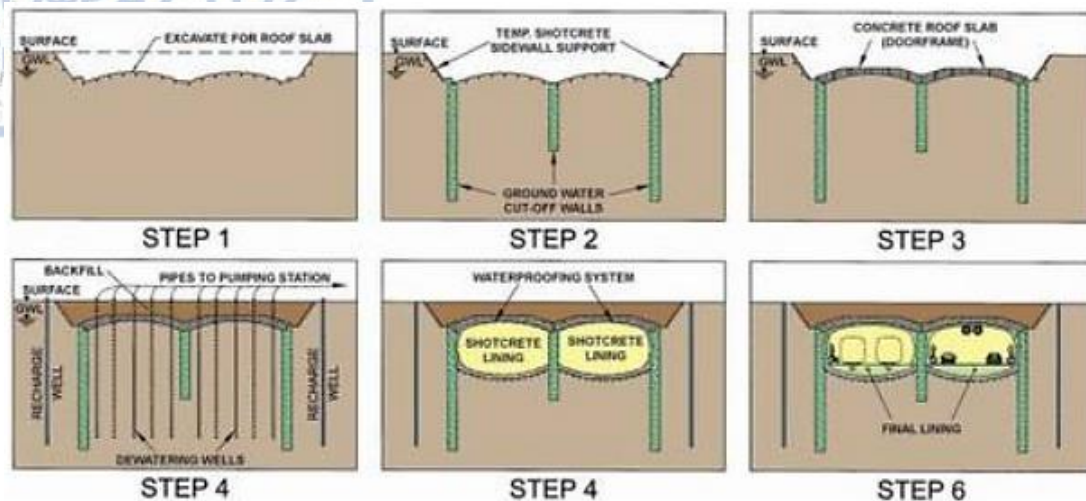
Εφαρμόζεται σε εδαφικούς σχηματισμούς, όταν το έργο είναι σε μικρό βάθος. Η μέθοδος περιλαμβάνει σε πρώτο στάδιο την εκσκαφή μέχρι το επίπεδο της σήραγγας που θα κατασκευαστεί και αφαίρεση του υλικού που θα προκύψει από την εκσκαφή. Σε δεύτερο στάδιο την αντιστήριξη των πλευρικών πρανών, ώστε να είναι ευσταθή προσωρινά. Έπειτα την κατασκευή του κελύφους με την χρήση σκυροδέματος και σιδερών και τέλος την επανεπίχωση της σήραγγας με τα υλικά της αρχικής εκσκαφής, για την αποκατάσταση του αρχικού ανάγλυφου της περιοχής.

### Cut and Cover Construction Illustration



Εικόνα 2.1 : Εφαρμογή της μεθόδου Cut and Cover.

Η μέθοδος "Cover and Cut" (Εικόνα 2.2) αναπτύχθηκε αρχικά για την κατασκευή ρηχών υπόγειων κατασκευών σε αστικές περιοχές με συμφόρηση, όπου οι ανοιχτές τεχνικές εκσκαφής θα προκαλούσαν σημαντική διακοπή της κυκλοφορίας. Η θεμελιώδης ιδέα της μεθόδου περιλαμβάνει ένα πρώτο στάδιο κατασκευής της "επανεπίχωσης-Cover", ενός κελύφους από σκυρόδεμα και σίδερα, όπου περιλαμβάνονται ο θόλος και οι πλευρές, το οποίο ακολουθεί το δεύτερο στάδιο, η λειτουργία "εκσκαφής-Cut", όπου γίνεται εκσκαφή κάτω από το προηγούμενως κατασκευασμένο "κάλυμμα" και η εκσκαφή ξεκινάει από σημείο που βρίσκεται πιο πίσω από το έργο. (Μουρατίδης, 2008)



Εικόνα 2.2 : Εφαρμογή της μεθόδου Cover and Cut.

Σε αστικές περιοχές, το κριτήριο της διαταραχής της κυκλοφορίας είναι αποφασιστικής σημασίας και υπαγορεύει τη χρήση της μεθόδου "Cover and Cut", όταν δεν ισχύουν συμβατικές μέθοδοι τούνελ (TBM ή άλλες). Αντιστρόφως, στις αγροτικές περιοχές, ο κίνδυνος κατολίσθησης οδηγεί στη τεχνική "Cover and Cut", ως επίλυση του προβλήματος. Σε σπάνιες περιπτώσεις, τα κτίρια, οι εγκαταστάσεις και τα φυσικά εμπόδια κοντά στην ευρύτερη περιοχή των προβλεπόμενων δραστηριοτήτων εκσκαφής προβλέπουν την εφαρμογή αυτής της μεθόδου, αντί για τις συνήθεις "μη διατηρούμενες" εκσκαφές. (Μουρατίδης, 2008)

### 2.1.1 Πεδίο εφαρμογής

Οι μέθοδοι "Cut and Cover" και "Cover and Cut" είναι τεχνικές κατασκευής σήραγγας που εφαρμόζονται στην αστική και υπεραστική οδική μηχανική. Στην πραγματικότητα, αυτές οι μέθοδοι κατασκευής είναι "ενδιάμεσες" τεχνικές μεταξύ της επιλογής της σήραγγας που προορίζεται για ένα "βαθύ" προφίλ διαδρομής και η ανοικτή εκσκαφή προορίζεται για ένα "ρηχό" προφίλ διαδρομής. (Μουρατίδης, 2008)

Είναι γνωστό ότι μια επιλογή σήραγγας είναι μια σχετικά δαπανηρή λύση που επιφυλάσσεται σε περιπτώσεις βαθιάς υπερφόρτωσης και ευαίσθητου περιβάλλοντος. Αντίθετα, μια παραδοσιακή ανοικτή εκσκαφή είναι μια τεχνική χαμηλού κόστους που επηρεάζει σημαντικά το περιβάλλον. Οι δύο μέθοδοι "C & C" συνιστώνται για εφαρμογή σε περίπτωση ενδιάμεσου βάθους υπερύψωσης και αρκετά ευαίσθητου περιβάλλοντος. Οι γενικές συνθήκες εφαρμογής για κάθε τεχνική συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1. (Μουρατίδης, 2008)

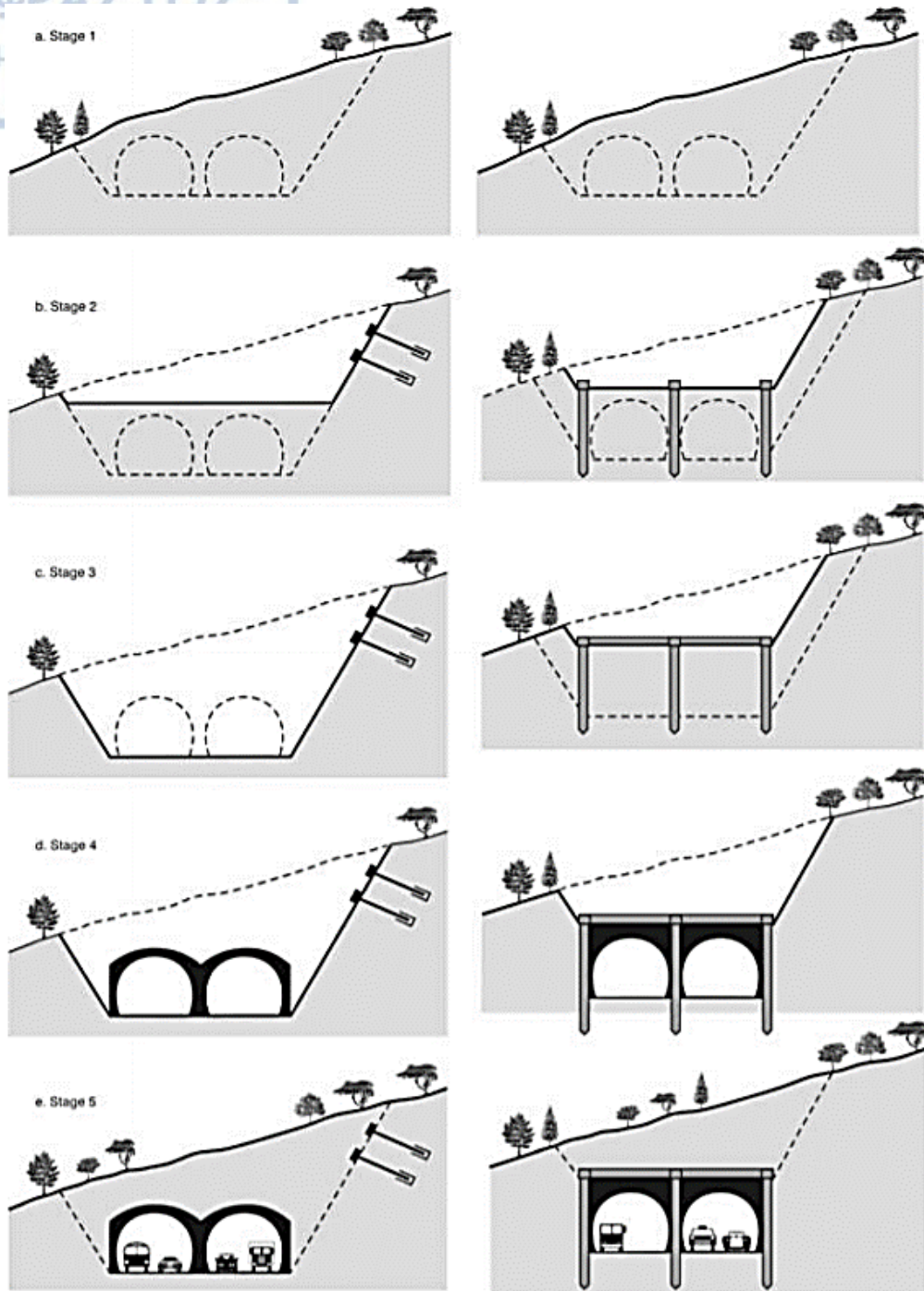
| Conditions               | Open Cutting              | Cut & Cover               | Cover & Cut                 | Drill & Blast Tunnel   |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Cutting or Tunnel length | Unlimited                 | Limited, L<300m           | Short, L<150m               | Significant, L>150m    |
| Depth of Grade Line      | Limited, H<30m            | Intermediate H<50m        | Small, H<15m                | Great H>30m            |
| Environment              | Indifferent Context       | Fairly Sensitive Areas    | Sensitive Areas             | Highly Sensitive Areas |
| Geology                  | Soils, Gravels, Soft Rock | Soils, Gravels, Soft Rock | Loose Sands, Unstable Soils | Soft and Hard Rock     |

Πίνακας 2.1: Πεδίο εφαρμογής των μεθόδων "C & C" (Μουρατίδης,2008)

Η μέθοδος "Cut and Cover" προτιμάται από την παραδοσιακή ανοιχτή εκσκαφή που οδηγεί σε τμήματα εκσκαφής για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος και γεωτεχνικής σταθερότητας. Η αποκατάσταση των υφισταμένων εγκάρσιων τοπικών δικτύων μπορεί επίσης να αποτελέσει λόγο εφαρμογής της τεχνικής παρά το κόστος κατασκευής της σήραγγας. (Μουρατίδης,2008)

Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι δύο μέθοδοι "C & C" βρίσκονται μεταξύ των κατασκευών με την απειροελάχιστη επιζήμια επίπτωση της ανοικτής εκσκαφής. Η τεχνική "Cover and Cut" είναι ακόμη λιγότερο επιβλαβής, αφού μόνο οι εργασίες της ρηχής ταξινόμησης εκτελούνται εν όψει της κατασκευής του καλύμματος. (Μουρατίδης,2008)





Εικόνα 2.3 : Στάδια Κατασκευής για τις "Τεχνικές C & C ( Cut and Cover στα αριστερά, Cover and Cut δεξιά) (Μουρατίδης,2008)

Συμπερασματικά, η μέθοδος "Cut and Cover" εφαρμόζεται συνήθως στην Οδοποιία (Εικ. 2.3), στην περίπτωση: (Μουρατίδης,2008)

- Περιορισμένου βάθους (<50m) σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές, αντί για ανοιχτά ορύγματα.
- Περιορισμένο βάθος σε περιοχές όπου τα τοπικά δίκτυα και εγκαταστάσεις μπορούν να μεταγκατασταθούν προσωρινά, αντί για ανοικτές εκσκαφές
- Ανεπιθύμητες γεωτεχνικές συνθήκες, βλάβες και χαλαρά υλικά, αντί για σήραγγες μικρού μήκους

Ομοίως, συνιστάται η εφαρμογή "Cover and Cut" (Εικόνα 2.3), στην περίπτωση όπου έχουμε: (Μουρατίδης,2008)

- Ρηχά υπερκείμενα στρώματα σε εξαιρετικά ευαίσθητο περιβάλλον αντί για "Cut and Cover" ή ανοιχτή εκσκαφή
- Ρηχά υπερκείμενα στρώματα σε συνδυασμό με δίκτυα, υπηρεσίες κοινής ωφέλειας και εγκαταστάσεις που δεν μπορούν να μεταφερθούν ή να αφαιρεθούν, αντί για "Cut and Cover" ή ανοιχτή εκσκαφή
- Μεγάλος κίνδυνος αστοχιών που σχετίζονται με τις εργασίες εκσκαφής, αντί για "Cut and Cover"

## 2.2 Η τεχνική Cut and Cover

Η τεχνική εκσκαφής και επανεπίχωσης, 'Cut and Cover' όπως ήδη προαναφέρθηκε είναι μία μέθοδος κατασκευής που εφαρμόζεται τόσο σε αστικές όσο και σε αγροτικές περιοχές. Εφαρμόζεται σε μαλακούς εδαφικούς σχηματισμούς όταν το έργο είναι σε μικρό βάθος ή σε σχηματισμούς που επικρατούν αδύναμες μηχανικές συνθήκες. Η μέθοδος Cut and Cover (Εικόνα 2.1) , εφαρμόζεται με διαφορετικό τρόπο σε ακατοίκητες , απ' ότι σε κατοικημένες περιοχές. Σε ακατοίκητες περιοχές η εκσκαφή γίνεται από την επιφάνεια του εδάφους , μέχρι το βάθος στο οποίο θα εδρασθεί το έργο , δεν γίνεται αντιστήριξη των παρειών της εκσκαφής , καθώς διαμορφώνονται με την κλίση που επιτρέπει το έδαφος και η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου υποβιβάζεται μέχρι να κατασκευαστεί το έργο. (Μαραγκός,1997)

Σε κατοικημένες περιοχές , επειδή η κατασκευή των έργων δεν πρέπει να προκαλέσει προβλήματα στην κυκλοφορία και ζημιές στα γειτονικά κτίρια και κατασκευές, όπως υπόγειους αγωγούς και καλώδια, θα πρέπει να εφαρμοστεί η κατάλληλη μέθοδος κατασκευής του Cut and Cover .

Σε κατοικημένες περιοχές λοιπόν, γίνεται εκσκαφή από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι το βάθος στο οποίο θα εδρασθεί το έργο , κατασκευάζεται η αντιστήριξη (διαφραγματικοί τοίχοι, πασσαλοσανίδες) πάνω στην οποία τοποθετείται προσωρινή κάλυψη ή μόνιμη πλάκα κάλυψης για την γρήγορη αποκατάσταση της κυκλοφορίας . Γίνεται σκυροδέτηση της πλάκας και κατασκευή έργων πεζοδρόμησης. Η εκσκαφή στην συνέχεια συνεχίζεται κάτω και υπό την κυκλοφορία της κάλυψης , όπου χρησιμοποιείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για την εξομάλυνση των επιφανειών των πασσαλοσυτοιχιών και κατασκευή του δαπέδου και των κατακόρυφων τοίχων.

Επιπλέον θα μπορούσε να κατασκευάζεται η μισή διατομή, ώστε να είναι δυνατή η κυκλοφορία στο υπόλοιπο χώρο της οδού. Σε αυτή την περίπτωση η εκσκαφή αντιστηρίζεται με διαφραγματικούς τοίχους ή με πασσαλοσανίδες , ώστε να αποτραπούν ζημιές στις γειτονικές κατασκευές. (Μαραγκός,1997)

Επίσης η εφαρμογή της μεθόδου "Cut and Cover" συνίσταται στα στόμια της σήραγγας όπου οι μέθοδοι συγκράτησης της γης που εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής, δεν επαρκούν για να αντιμετωπίσουν μικρής κλίμακας και καλά καθορισμένα προβλήματα αστάθειας. Η γεωτεχνική ανησυχία της προσέγγισης "Cut and Cover" είναι να παρέχει ασφαλή είσοδο στο υπόγειο έργο κατά τη διάρκεια της κατασκευής και πλήρη γεωτεχνική σταθερότητα κατά τη λειτουργία. Η διατήρηση του περιβάλλοντος, η μειωμένη προσπάθεια στην κατασκευή επένδυσης και οι ασφαλείς γεωτεχνικές συνθήκες αποτελούν τα κύρια πλεονεκτήματα της τεχνικής. (Μουρατίδης,2008)

Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος "εκσκαφής και επανεπίχωσης" είναι εφικτή και επωφελής όταν:

- Υπόγειες εκσκαφές σε αδύναμους εδαφικούς σχηματισμούς με χαμηλό υπερκείμενο μπορεί να προκαλέσει αστάθεια πάνω από τα στόμια.
- Αναμένεται ολίσθηση ή καταπτώσεις βραχομάζας , πάνω από τα στόμια, ανεξάρτητα από την ποιότητα του βράχου.
- Πλευρικές ολισθήσεις είναι δυνατές, λόγω δυσμενούς προσανατολισμού ασυνεχειών ή / και φτωχών γεωτεχνικών συνθηκών .

### 2.3 Η τεχνική Cover and Cut

Το κύριο πεδίο εφαρμογής της μεθόδου "Cover and Cut" είναι η κατασκευή υπόγειων δομών σε αστικές περιοχές. Παρόλο που φαίνεται ότι πρόσφατα επικρατεί η μέθοδος άμεσης υπόγειας διάτρησης (TBM) στην κατασκευή του υπόγειου δρόμου, σε ορισμένες περιπτώσεις, ειδικά για ρηχές εκσκαφές, η μέθοδος "Cover and Cut" μπορεί να αποδειχθεί αποτελεσματικότερη, όπως είναι η κατασκευή υπόγειων σταθμών. (Μουρατίδης,2008).

Επιπλέον, στα έργα αυτοκινητοδρόμων, είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος "Cover and Cut" σε περιπτώσεις αστάθειας των πρανών της γης στα στόμια . Συνήθως, τα στόμια της σήραγγας κατασκευάζονται σε αποσαθρωμένο και κερματισμένο βράχο που απαιτεί ειδικές διατάξεις για υποστήριξη και προστασία.

Σε περιπτώσεις αστάθειας πρανών της γης στα στόμια, μια εκτεταμένη 'μη-συγκρατημένη' εκσκαφή (χωρίς μέτρα συγκράτησης κατά την εκσκαφή) μπορεί να ενεργοποιήσει αστάθεια και θα αποδειχθεί μη εφαρμόσιμη (Εικ. 2.4). Η πιο γνωστή τεχνική κατασκευής της μεθόδου "Cut and Cover" μπορεί να εφαρμοστεί στα στόμια της σήραγγας, όταν τα προβλήματα αστάθειας του εδάφους είναι περιορισμένα και καλά καθορισμένα. Αυτή η τεχνική για τα στόμια της σήραγγας είναι ελαφρώς διαφορετική από την τεχνική μη-συγκρατημένης εκσκαφής, καθώς λόγω των εκτεταμένων εργασιών χωματουργίας, ενδέχεται να απαιτούνται πλάγια τοιχώματα συγκράτησης και προβλέπεται πάντοτε η επανεπίχωση του στομίου. (Μουρατίδης,2008)

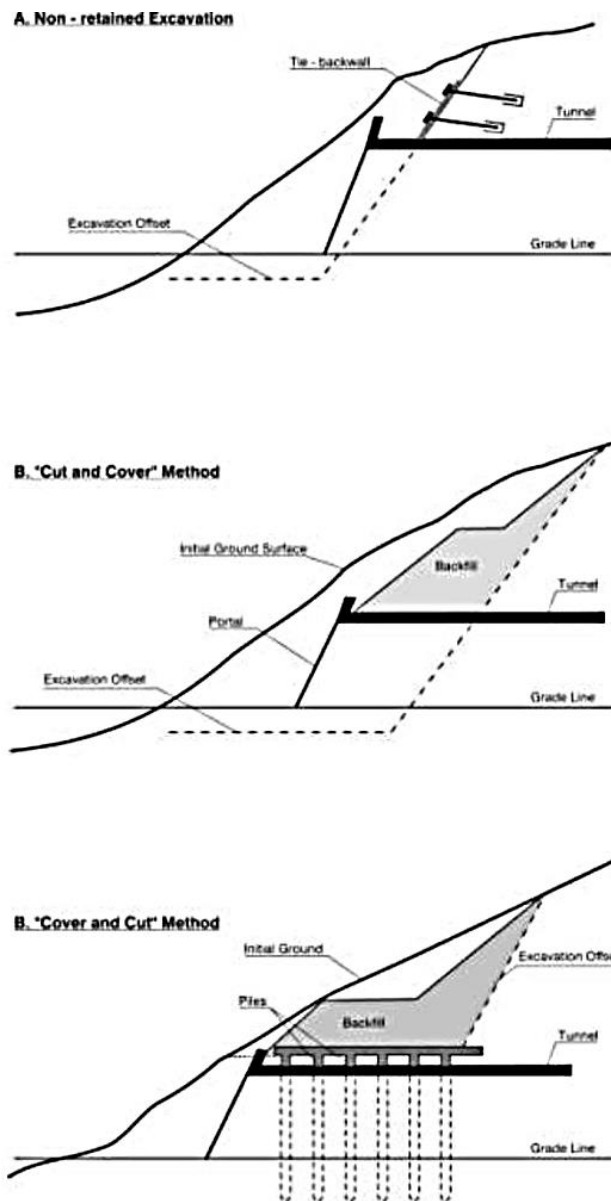
Όταν ο κίνδυνος επιφανειακών ολισθήσεων, βράχων ή βαθιών κατολισθήσεων είναι σημαντικός, η μέθοδος "Cut and Cover" δεν είναι κατάλληλη για εφαρμογή. Η ζώνη εκσκαφής πρέπει να μειωθεί στο ελάχιστο δυνατό και να υποστηριχθεί πλήρως για να διευκολυνθούν οι απαιτούμενες εργασίες χωματουργικών εργασιών.

Αυτές οι απαιτήσεις επιτυγχάνονται υιοθετώντας τη μέθοδο "Cover and Cut", η οποία παρέχει πλήρες τσιμεντένιο περίβλημα για κάθε οπή σήραγγας (σε περίπτωση δίδυμων σηράγγων) πριν από την εκσκαφή. Αυτό το προστατευτικό κέλυφος αποτελείται από πασσάλους διάτρητους και χυτούς στη θέση τους, οι οποίοι υποστηρίζουν μια οριζόντια πλάκα, η οποία στη συνέχεια χυτεύεται στην επιφάνεια του εδάφους και συνδέεται με τους πασσάλους, με τρόπο ώστε να σχηματίζεται το κάλυμμα. Η εκσκαφή κάτω από αυτό το προστατευτικό σκυρόδεμα είναι παρόμοια με την εκσκαφή σε σωστά επενδυμένη σήραγγα και είναι απολύτως ασφαλή.

Η μέθοδος "Cover and Cut" για την κατασκευή των στομίων των σηράγγων προτιμάται από οποιαδήποτε άλλη παρόμοια τεχνική όταν(Μουρατίδης,2008):

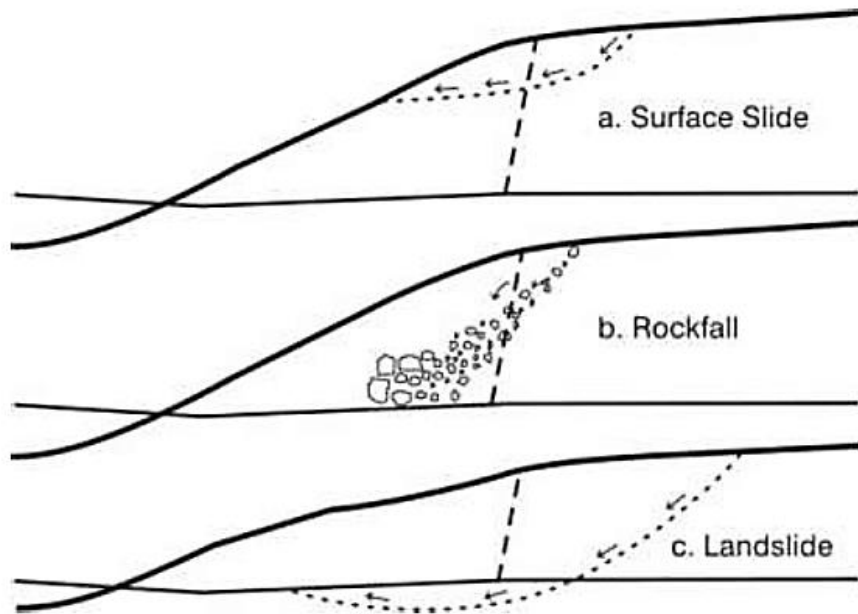
- Υπάρχει κίνδυνος βράχων ή επιφανειακών ολισθήσεων σε κατεύθυνση παράλληλη με την ευθυγράμμιση του δρόμου (Εικόνα 2.5).
- Υπάρχει κίνδυνος βαθιάς ολίσθησης στην εγκάρσια κατεύθυνση .

- Υπάρχει κίνδυνος μεγάλης κατολίσθησης λόγω της εκτεταμένης εκσκαφής, στην εγκάρσια κατεύθυνση (κάθετη στην οδική ευθυγράμμιση) (Εικόνα 2.5).
- Οι εκτεταμένες ανοιχτές εκσκαφές εμποδίζονται από υπάρχουσες εγκαταστάσεις ή απαγορεύονται από οικολογικούς περιορισμούς.



Εικόνα 2.4 : Μέθοδοι κατασκευής των στομών των σηράγγων. (Μουρατίδης,2008)





Εικόνα 2.5: Κίνδυνος αστοχίας σε στόμια σήραγγων. (Μουρατίδης,2008)

Η θεμελιώδης έννοια της μεθόδου, συνιστά την ελαχιστοποίηση της έκτασης της μη-συγκρατημένης εκσκαφής και την πλήρη κάλυψη της οπής της σήραγγας από κάτω. Το πρώτο στάδιο της ανοιχτής εκσκαφής προς τα κάτω σταματά σε επίπεδο πολύ υψηλότερο από αυτό που προβλέπεται για τη μη συγκρατημένη εκσκαφή, (Εικ. 2.6) μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο αστάθειας. Κατά τη διαμήκη κατεύθυνση, η μέθοδος εφαρμόζεται εφ' όσον εκτείνονται οι ασταθείς σχηματισμοί του εδάφους.

Η διαδικασία κατασκευής περιλαμβάνει έξι ξεχωριστά στάδια, συμπεριλαμβανομένων των χωματουργικών εργασιών, γεώτρησης και χύτευσης πασσάλων, κατασκευής πλακών, απομάκρυνσης γαιών και εναπόθεσης (Σχήμα 2.6) (Μουρατίδης,2008):

**Στάδιο I:** Εκτελείται προκαταρκτική εκσκαφή και ταξινόμηση. Το επίπεδο του εδάφους ρυθμίζεται κατά τρόπο που να επιτρέπει την πρόσβαση και την κίνηση του εξοπλισμού για τη γεώτρηση και την κατασκευή πλακών. Σε πολλές περιπτώσεις, η εναπόθεση μπορεί να απαιτηθεί τοπικά για να παρέχει ομοιόμορφη οριζόντια επιφάνεια εδάφους. Οι κεφαλές πασσάλων πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, ώστε να δένονται από μια οριζόντια δοκό κεφαλής.

**Στάδιο II:** Μια σειρά πασσάλων και από τις δύο πλευρές του τμήματος της σήραγγας τοποθετούνται μέσα στις οπές που άνοιξε το γεωτρήπανο. Το διάκενο των πασσάλων είναι συνήθως ίσο με 2D, όπου D είναι η διάμετρος των πασσάλων.

**Στάδιο III:** Στο στάδιο III κατασκευάζονται οι δοκοί κεφαλής και η πλάκα σκυροδέματος.

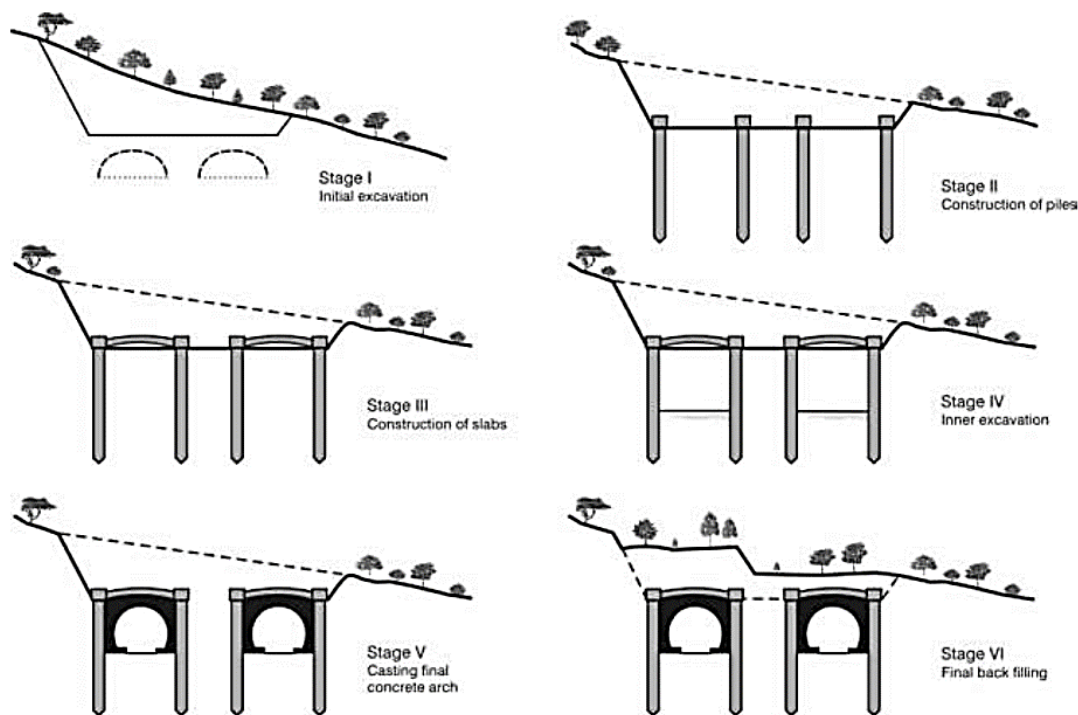
**Στάδιο IV:** Στο στάδιο IV η "κάτω" εκσκαφή εκτελείται, απόλυτα προστατευμένη από την πλάκα σκυροδέματος. Το οπλισμένο σκυρόδεμα απλώνεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, ανάμεσα στους πασσάλους.

**Στάδιο V:** Στο στάδιο V κατασκευάζεται η εσωτερική επένδυση της σήραγγας.

**Στάδιο VI:** Οι εργασίες εναπόθεσης συνήθως πραγματοποιούνται στο στάδιο VI είτε για περιβαλλοντικούς λόγους είτε για λόγους αποκατάστασης δικτύου.

Οι διαφραγματικοί τοίχοι προστατεύουν από τις παραμορφώσεις του εδάφους που συντελούνται από πίσω τους. Οι καθιζήσεις εκτείνονται σε 1 με 2 μέτρα πίσω από τους τοίχους και είναι συνάρτηση του

ολικού βάθους της εκσκαφής. Στα αργιλικά εδάφη οι καθιζήσεις μπορεί να είναι μεγάλες, της τάξης του 1 έως 2% του ολικού βάθους της εκσκαφής, ενώ σε αμμώδη εδάφη ανέρχονται στο ήμισυ των παραπάνω τιμών, ενώ σε πυκνές άμμους είναι αμελητέες. Θα πρέπει να ληφθούν όλα τα κατάλληλα μέτρα αντιστήριξης των διαφραγματικών τοίχων και οι εκσκαφές να γίνονται προσεκτικά, ώστε οι καθιζήσεις του εδάφους να έχουν ασήμαντες επιπτώσεις στην συμπεριφορά των θεμελιώσεων των γειτονικών κατασκευών. (Βαλαλάς, 1984, από Μαραγκός, 1997).



Εικόνα 2.6 :Στάδια κατασκευής της μεθόδου "cover and cut".(Μουρατίδης, 2008)

## 2.4 Επισκόπηση κατασκευής

Οι κατασκευές "Cover and Cut" σε ένα σιδηρόδρομο είναι τεράστιες δομές. Η κατασκευή τέτοιων δομών είναι γενικά πολύπλοκη και λαμβάνει χώρα σε περιορισμένες, συχνά δύσκολες και μεταβλητές συνθήκες εδάφους και, πάντοτε, πρέπει να διεξάγεται σε προσεκτικά στάδια. Εκτός αυτού, μπορεί να κατασκευάζεται σε σχετικά μακρά περίοδο, κατά την οποία η κατασκευή να παραμένει εκτεθειμένη και, ενδεχομένως, ευαίσθητη στην επίδραση των εξωτερικών στοιχείων. (Krishan Kaul, 2010)

Εξάλλου, όσον αφορά τις δομές Cover and Cut, φαίνεται να υπάρχει μια εμφανής απουσία μιας ενιαίας προσέγγισης στον σχεδιασμό. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο γεγονός ότι ο σχεδιασμός τέτοιων κατασκευών συνδέεται στενά με την ακολουθία της κατασκευής τους η οποία, για μια δεδομένη δομή, μπορεί να μην είναι μοναδική αλλά, ενδεχομένως, να περιλαμβάνει μια ποικιλία πιθανών διαφορετικών ακολουθιών και συνδυασμών. (Krishan Kaul, 2010)

Ωστόσο, επιλέγοντας μια Cover and Cut κατασκευή που ταιριάζει περισσότερο σε ένα δεδομένο σύνολο συνθηκών και περιορισμών, είναι συχνά χρήσιμο να πραγματοποιηθεί μια συγκριτική μελέτη των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των διαφόρων διαθέσιμων επιλογών, συμπεριλαμβανομένης της εξέτασης των περιορισμών τους και τις επιπτώσεις του σχεδιασμού και του κόστους. (Krishan Kaul, 2010)

Το περιβάλλον έδαφος, λόγω της στενής επαφής του με τη δομή του Cover and Cut, παράγει πλευρικές πιέσεις που συνιστούν το κύριο φορτίο που επενεργεί σε αυτό. Παρέχει επίσης στρογγυλή στήριξη και σταθερότητα στη δομή. Το μέγεθος των παραγόμενων εδαφικών πιέσεων και η έκταση της διαθέσιμης στήριξης εδάφους όσον αφορά τις πιέσεις που αντιδρούν και κινητοποιούνται ανά πάσα στιγμή είναι στενά αλληλένδετα. Συνεπώς, καθώς η γεωμετρία και οι οριακές συνθήκες της κατασκευής αλλάζουν από το ένα στάδιο κατασκευής στο επόμενο, έτσι και η έκταση της στήριξης του εδάφους θα εξαρτάται από την έκταση της εκσκαφής και την κατάσταση ολοκλήρωσης της δομής που έχει επιτευχθεί σε αυτό το στάδιο. (Krishan Kaul, 2010)

Κατά συνέπεια, για να επιτευχθεί μια ικανοποιητική λύση σχεδιασμού, είναι σημαντικό να αναπτυχθεί μια σαφής κατανόηση σχετικά με την προτιμώμενη μέθοδο, την αλληλουχία με την οποία πρόκειται να πραγματοποιηθεί η εκσκαφή καθώς και τη δομή που πρόκειται να κατασκευαστεί. Είναι εξίσου σημαντικό, να έχουμε μια εκτίμηση των επιπτώσεων που μπορούν να προκληθούν, ανάλογα με τον σχεδιασμό που θα επιλέξουμε. (Krishan Kaul, 2010)

## 2.5 Χαρακτηριστικά σχεδιασμού "Cover and Cut"

Όπως συμβαίνει με κάθε έργο τοποθέτησης σήραγγας, είναι αναγκαία μια σειρά μελετών για την ασφαλή κατασκευή και λειτουργία μιας σήραγγας "Cover and Cut", όπως η εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η γεωτεχνική μελέτη, η εκσκαφή και ο σχεδιασμός υποστήριξης, η δομική και στατική μελέτη, ο τελικός σχεδιασμός επενδύσεων κλπ. (Μουρατίδης, 2008)

Η γεωτεχνική μελέτη είναι εξαιρετικά σημαντική καθώς αξιολογεί τη θεμελιώδη συνεισφορά για τον στατικό υπολογισμό της σήραγγας. Με βάση τις επιτόπιες και εργαστηριακές δοκιμές προσδιορίζονται οι παράμετροι της μάζας γης, δηλαδή το φαινόμενο βάρος, ο πίνακας των υπόγειων υδάτων, η γωνία τριβής, η συνοχή και τα κατακόρυφα φορτία στο επίπεδο θεμελίωσης.

Προκειμένου να απλουστευθούν οι αναλυτικοί υπολογισμοί, εξετάζονται δύο διαφορετικά στάδια της κατασκευής "Cover and Cut" και τα αντίστοιχα συστήματα φόρτωσης. Στο στάδιο Α, οι πάσσαλοι είναι διάτρητοι και φυτεμένοι στη θέση τους και στη συνέχεια η πλάκα σκυροδέματος κατασκευάζεται στην έτοιμη επιφάνεια του εδάφους. Στην παρούσα φάση ασκείται αμελητέα φόρτιση στους πασσάλους ή στην πλάκα (Σχήμα 2.7). Η απομάκρυνση της γης κάτω από την πλάκα γίνεται με συμβατικές μεθόδους εκσκαφής, ακολουθούμενες από την τελική επένδυση της σήραγγας, με τη συνολική διαδικασία να αποτελεί το στάδιο Β. (Μουρατίδης, 2008)

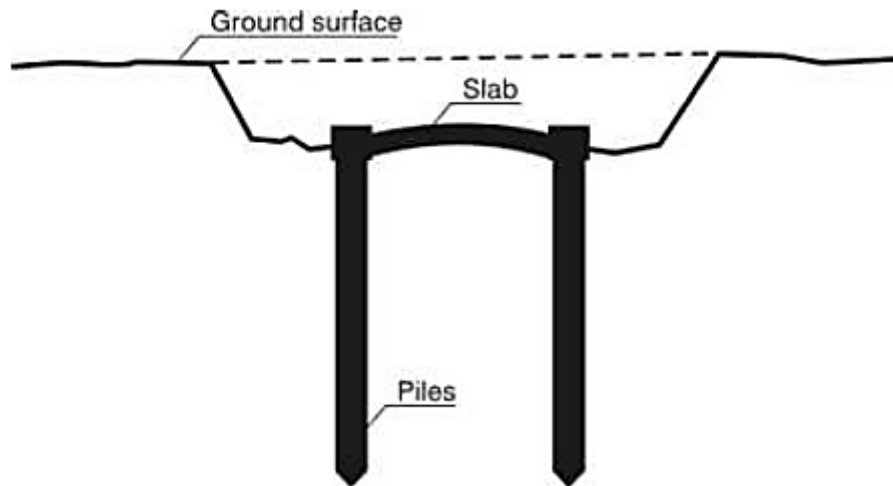
Η συνολική σταθερότητα των πασσάλων, το σημείο περιστροφής και το μήκος της εγκοπής αξιολογούνται μέσω μιας συμβατικής ανάλυσης της κατανομής ενεργής και παθητικής τάσης στους πασσάλους (Σχήμα 2.8). Η πίεση της γης στους πασσάλους προσδιορίζεται σε σχέση με τα χαρακτηριστικά διατρητικής αντοχής των γύρω σχηματισμών του εδάφους και των πετρωμάτων. Αυτή η κατάσταση τάσεων που αντιστοιχεί στο στάδιο Β, συγκρατεί το σχεδιασμό της δομής "δοκός - πλάκα κεφαλής". Για λόγους σχεδιασμού πασσάλων, η πίεση της γης σε κατάσταση ηρεμίας, θεωρείται ότι εφαρμόζεται κατά μήκος της εξωτερικής πλευράς κάθε σειράς πασσάλων, αντί της ενεργού πίεσης, για να ληφθεί υπόψη η ασφάλεια σε όλους τους αριθμητικούς υπολογισμούς. (Μουρατίδης, 2008)

Συνήθως ένας συντελεστής ασφαλείας 1,3-1,5 εφαρμόζεται στην ανάλυση του απαιτούμενου βάθους τοποθέτησης. Οι τρέχοντες παράγοντες ασφαλείας για το σχεδιασμό πασσάλων,  $SF = 1,5$  για στατική φόρτωση και  $SF = 1,2$  για σεισμική φόρτιση ενσωματώνονται στη διαδικασία σχεδιασμού όσον αφορά τις επιτρεπόμενες τάσεις.

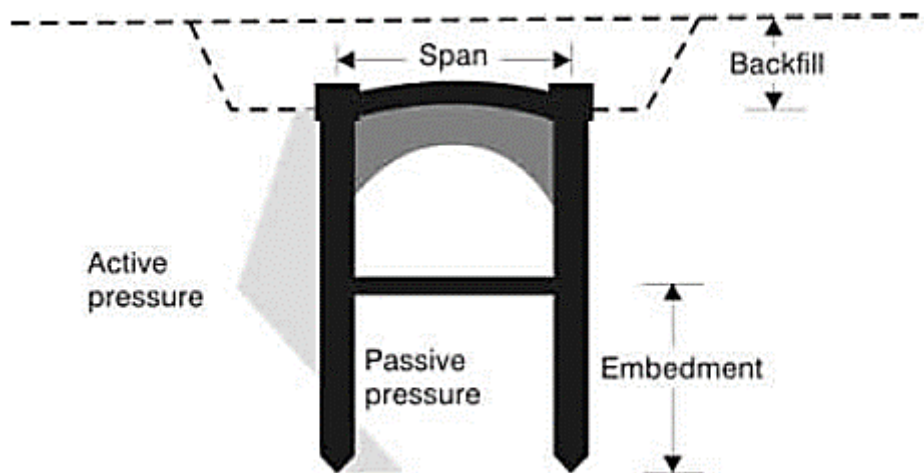
Συχνά, πρέπει να αναμένεται χαμηλή δύναμη διάτμησης κατά μήκος των επιφανειακών στρωμάτων γύρω από την περιοχή της πύλης που δικαιολογούν τη χρήση της μεθόδου "Cover and Cut". Η

αριθμητική ανάλυση στο Στάδιο Β επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλων προγραμμάτων λογισμικού για στατικά και δυναμικά φορτία.

Σε περιπτώσεις δίδυμων σιράγγων, το βάθος της ενσωμάτωσης ποικίλει από το  $\frac{1}{3}$  έως το  $\frac{1}{2}$  του συνολικού μήκους των πασσάλων, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά μάζας βράχου. Οι πλάκες που καλύπτουν, δίδυμες σήραγγες αυτοκινητοδρόμων, έχουν συνήθως ένα εύρος από 11.50 - 13.00 m.



Εικόνα 2.7: Στάδιο μηδενικής τάσης (Στάδιο Α) (Α. Μουρατίδης, 2008)



Εικόνα 2.8: Δομή κατά την φόρτιση (Στάδιο Β). (Μουρατίδης, 2008)

Οι βασικές εκτιμήσεις για τον σχεδιασμό τέτοιων δομών πρέπει να περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τα αποτελέσματα των ακόλουθων: (Krishan Kaul, 2010)

- Πλευρικά πρνή και υδροστατικές πιέσεις που λειτουργούν ως στοιχεία συγκράτησης.





- Πλευρικές πιέσεις στα δομικά στοιχεία του δαπέδου που λειτουργούν ως οριζόντιες μόνιμες αντηρίδες.
- Κατακόρυφα φορτία (προς τα κάτω και προς τα πάνω ,ανάλογα με την περίπτωση) στα οριζόντια στοιχεία δαπέδου και τα κάθετα στοιχεία στήριξης όπως οι κολώνες και οι τοίχοι.
- Σεισμικά φορτία
- Πλεονεκτήματα για τη σταθερότητα της δομής στο σύνολό της

Ο σχεδιασμός μιας υπερυψωμένης κατασκευής βασίζεται γενικά σε καλά καθορισμένες παραμέτρους και καθιερωμένες αρχές. Τα φορτία μπορούν επίσης να υπολογιστούν με ακρίβεια και να εφαρμοστούν σε γνωστές θέσεις και σε καθορισμένες κατευθύνσεις. Οι οριακές συνθήκες και η απόκριση της δομής στα εφαρμοζόμενα φορτία και στους διάφορους συνδυασμούς φορτίων μπορούν να καθοριστούν με εύλογο βαθμό βεβαιότητας. Ωστόσο, ο σχεδιασμός μιας υπόγειας δομής πρέπει γενικά να βασίζεται σε παραμέτρους που είναι απίθανο να ποσοτικοποιηθούν με ακρίβεια. Για παράδειγμα, σε ένα δεδομένο περιβάλλον εδάφους, η συμπεριφορά του εδάφους μπορεί να ποικίλει από μη γραμμική, σε γραμμική-ελαστική έως πλαστική. ( Krishan Kaul,2010)

Η καταπόνηση, η ανισοτροπία, η ετερογένεια, τα χαρακτηριστικά αποστράγγισης και τα μεταβαλλόμενα όρια των πιέσεων πόρων κατά τη διάρκεια των διαφόρων σταδίων κατασκευής είναι επίσης μερικοί από τους παράγοντες που είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν με ακρίβεια. Αυτό κάνει την ανάλυση προσεγγιστική και λιγότερο ελκυστική σε σύγκριση με αυτή των υπερκείμενων κατασκευών. ( Krishan Kaul,2010)

Η υπερβολή ή υποεκτίμηση των εφαρμοζόμενων φορτίων και η υπερεκτίμηση της αντοχής σε διάτμηση του εδάφους με το χρόνο μπορούν να περιπλέξουν περαιτέρω τους υπολογισμούς και να καταστήσει δυσκολότερη τη μοντελοποίηση της αλληλεπίδρασης εδάφους-δομής. Εκτός αυτού, τα δείγματα εδάφους είναι συχνά μικρά και ενδεχομένως μη αντιπροσωπευτικά της μάζας του εδάφους στο οποίο πρόκειται να εκτελεστούν τα έργα. Μετά από όλες αυτές τις αβεβαιότητες, ο σχεδιασμός βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε ορισμένες εξιδανικεύσεις και σε ένα βαθμό εμπειρίας, που απαιτεί την εμπιστοσύνη και την αξιοποίηση της προηγούμενης εμπειρίας του σχεδιασμού και της κατασκευής παρόμοιων δομών σε παρόμοια περιβάλλοντα. (Krishan Kaul,2010)

Η κατασκευή μιας τυπικής Cover and Cut δομής θα διαταράξει την περιβάλλουσα πίεση και το καθεστώς πίεσης του πορώδους νερού στην υπάρχουσα μάζα του εδάφους. Σε μεγάλο βαθμό, η εν λόγω διαταραχή εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από το είδος του εδάφους, από το εάν έχει αποστραγγιστεί ελεύθερα, εάν χαρακτηρίζεται ως λεπτόκοκκο ή ενδιάμεσο, καθώς και με τη σειρά κατασκευής των προσωρινών και μόνιμων έργων . Με τα σχετικά ελεύθερα αποστραγγιζόμενα εδάφη, όπως άμμοι και χαλίκια, οι επιπτώσεις των διαφόρων σταδίων κατασκευής είναι πιθανόν να είναι άμεσες. Στην περίπτωση λεπτόκοκκων εδαφών όπως αργίλων, από την άλλη πλευρά, λόγω της δυσκολίας της ελεύθερης ροής του νερού, τα αποτελέσματα αναμένεται να εξαρτώνται από το χρόνο. Εντούτοις, με τα ενδιάμεσα εδάφη, όπως τις ιλύς, η απόκριση είναι πιθανόν να είναι ενδιάμεση, δηλαδή τόσο βραχυπρόθεσμα (μη στραγγιζόμενα εδάφη) όσο και μακροχρόνια (στραγγιζόμενα εδάφη).

Ξεκινώντας από τις επι τόπου πιέσεις, οι πιέσεις του εδάφους θα παρουσιάσουν πτώση των τιμών τους λόγω χαλάρωσης του εδάφους κατά την εκσκαφή, ακολουθούμενη από αναδιανομή των τάσεων κατά τα διάφορα στάδια κατασκευής των προσωρινών και μόνιμων έργων. Στη συνέχεια, μπορεί να αναμένεται μια σταδιακή αύξηση προς τις ενδεχόμενες τιμές τους. Ο σχεδιασμός πρέπει να αποδεικνύει ότι η δομή μπορεί να αντέξει ικανοποιητικά αυτόν τον κύκλο αλλαγής της πίεσης του εδάφους σε συνδυασμό με όλα τα άλλα φορτία που είναι πιθανόν να δράσουν τόσο κατά τη διάρκεια των σταδίων κατασκευής όσο και κατά τη διάρκεια λειτουργίας του. ( Krishan Kaul,2010)

Υπό το πρίσμα των όσων έχουν συζητηθεί μέχρι τώρα, είναι σαφές ότι, ειδικά στην περίπτωση των δομών Cover and Cut, ο σχεδιασμός και η κατασκευή είναι αλληλένδετα μεταξύ τους και δεν μπορούν να απομονωθούν το ένα από το άλλο. Κατά συνέπεια, για την επίτευξη μιας ικανοποιητικής λύσης

δομικού σχεδιασμού, είναι επίσης απαραίτητη η σωστή γνώση των πτυχών της κατασκευής. Δεν πρέπει να υπάρχει μόνο μια καλή γνώση των διαφόρων μεθόδων και τεχνικών κατασκευής, αλλά και μια σαφή κατανόηση των αρχών του εδάφους και της δομικής συμπεριφοράς καθώς και της αλληλεπίδρασης εδάφους-δομής, αλλά και μια διεξοδική εκτίμηση των επιπτώσεών τους στο σχεδιασμό.

## 2.6 Μηχανικές ιδιότητες των εδαφών

Στην περίπτωση μιας τυπικής cover-and-cut δομής, το περιβάλλον έδαφος αντιπροσωπεύει την κύρια πηγή φορτίου και το μέσο, μέσω του οποίου εφαρμόζονται άλλα δευτερεύοντα φορτία στη δομή. Ωστόσο, παρέχει τα πιο άμεσα μέσα υποστήριξης και σταθερότητας στη δομή. Ο ρυθμός της μετακίνησης του εδάφους, η δυνατότητα παραμόρφωσης του, είναι επίσης, μεταξύ άλλων, συνάρτηση του ρυθμού με τον οποίο λαμβάνει χώρα η μετακίνηση του πορώδους ύδατος εντός της μάζας του εδάφους. Σε σχέση με τις δομές cover-and-cut, η παραμορφωσιμότητα, η αντοχή και η διαπερατότητα αντιπροσωπεύουν τα τρία πιο σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Για την ικανοποιητική σχεδίαση και την ασφαλή και επιτυχημένη κατασκευή μιας τυπικής δομής cover-and-cut, είναι απαραίτητη η ορθή εκτίμηση αυτών των χαρακτηριστικών και η κατανόηση της αλληλεξάρτησής τους. (Krishan Kaul, 2010)

### *Επίδραση της κατασκευής*

Η κατασκευή μιας τυπικής δομής cover-and-cut περιλαμβάνει την απομάκρυνση μεγάλου όγκου εδάφους μέσω εκσκαφών σε διαφορετικά στάδια. Επιπλέον, για να καταστεί δυνατή η εκσκαφή και άλλες εργασίες κατασκευής σε ακόρεστη κατάσταση, συνεπάγεται με την απομάκρυνση σημαντικού όγκου νερού. Η προκύπτουσα απώλεια βάρους μέσω μιας τέτοιας απομάκρυνσης υλικού μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της πίεσης στον σχηματισμό. (Krishan Kaul, 2010)

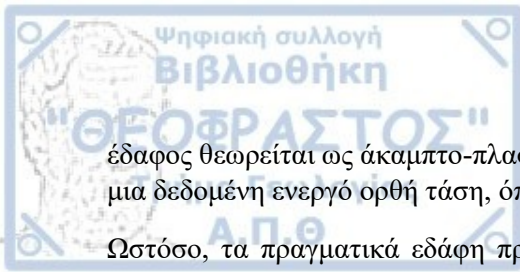
Το καθαρό βάρος του υλικού που πιθανόν να απομακρυνθεί για να γίνει η κατασκευή της δομής cover-and-cut, αναπόφευκτα θα υπερβαίνει το βάρος που μπορεί να αντικατασταθεί από τη δομή όταν θα είναι στη θέση της. Με άλλα λόγια, η κατασκευή της δομής και η επανεπίχωσή της, αναμένεται να αποκαταστήσει μόνο ένα μέρος της απώλειας βάρους στο υπόβαθρο. Συνεπώς, κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ζωής της δομής, το υπόβαθρο πιθανόν να παραμένει υπό καθαρή ανακούφιση της πίεσης. (Krishan Kaul, 2010)

### *Χαρακτηριστικά τάσης-παραμόρφωσης*

Κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή δομών cover-and-cut, πρέπει να κατανοηθούν σαφώς δύο πτυχές όσον αφορά τη συμπεριφορά των εδαφών (Εικ. 2.9). Αυτά αφορούν: (Krishan Kaul, 2010)

- Κατανομή πίεσης και παραμόρφωση
- Ευστάθεια

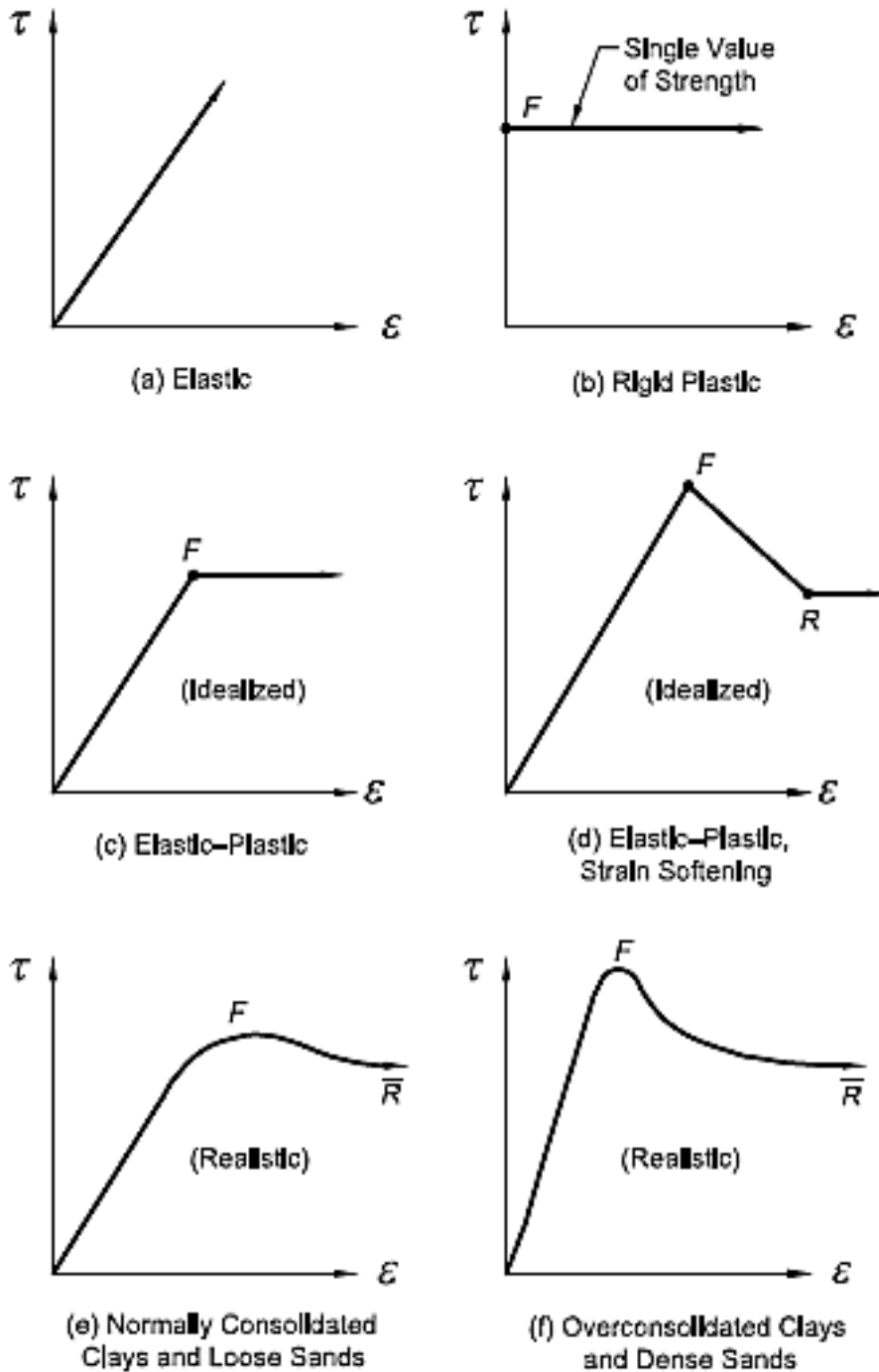
Στην κλασσική μηχανική, τα προβλήματα σχετικά με την κατανομή και παραμόρφωση της πίεσης εξετάζονται γενικά με βάσει ένα ιδεατό ελαστικό έδαφος, όπου οι ιδιότητες καθορίζονται από ένα μονό συντελεστή παραμόρφωσης (Menzies, 1973), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9 (α). Για την επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με τη σταθερότητα ή την οριακή ισορροπία, από την άλλη πλευρά, το



έδαφος θεωρείται ως άκαμπτο-πλαστικό και οι ιδιότητες ορίζονται από μία μοναδική τιμή αντοχής για μια δεδομένη ενεργό ορθή τάση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9(b). (Krishan Kaul,2010)

Ωστόσο, τα πραγματικά εδάφη προσεγγίζουν περισσότερο την ελαστο-πλαστική συμπεριφορά του σχήματος 2.9 (c). Στο σχήμα, το σημείο F αντιπροσωπεύει την αστοχία. Η οριζόντια επέκταση πέραν αυτού του σημείου υποδηλώνει ότι το έδαφος συνεχίζει να αποδίδει σε συνεχή τάση μετά από την αστοχία. Ανεξάρτητα από το εάν οι συνθήκες είναι στραγγισμένες ή μη, αυτές ακολουθούν μια σχέση παραμόρφωσης που χαρακτηρίζεται από μια κορυφή που ακολουθείται από μία πτώση της αντοχής η οποία συνεχίζεται μέχρις ότου σταθεροποιηθεί σε μια τελική υπολειμματική τιμή όπως παριστάνεται από το σημείο R στο σχήμα 2.9(d) . (Krishan Kaul,2010)

Οι άργιλοι μπορούν κανονικά να στερεοποιηθούν ή να υπερστερεοποιηθούν. Σε κανονικά στερεοποιημένες αργίλους και χαλαρές άμμους, η συμπεριφορά τάσης-καταπόνησης είναι παρόμοια με το προφίλ που φαίνεται στο σχήμα 2.9(e), υποδεικνύοντας μια πολύ ελαφρά πτώση από την κορυφή στην υπολειμματική τιμή . Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να προσεγγίζει την ελαστο-πλαστική εξιδανίκευση όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.9(c). Εντούτοις, σε έντονα υπερστερεοποιημένες αργίλους και πυκνή άμμο, η πτώση από την κορυφή στην υπολειπόμενη τιμή είναι πολύ απότομη, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9(f), η οποία είναι επίσης ενδεικτική της εύθραυστης συμπεριφοράς. Αυτή η συμπεριφορά μαλάκωσης του εδάφους μπορεί να προσεγγιστεί με την ελαστο-πλαστική ιδεατή κατάσταση που φαίνεται στο σχήμα 2.9(d). (Krishan Kaul,2010)



Εικόνα 2.9 : Ρεαλιστικές και μη σχέσεις Τάσης-Παραμόρφωσης. (Krishan Kaul, 2010)



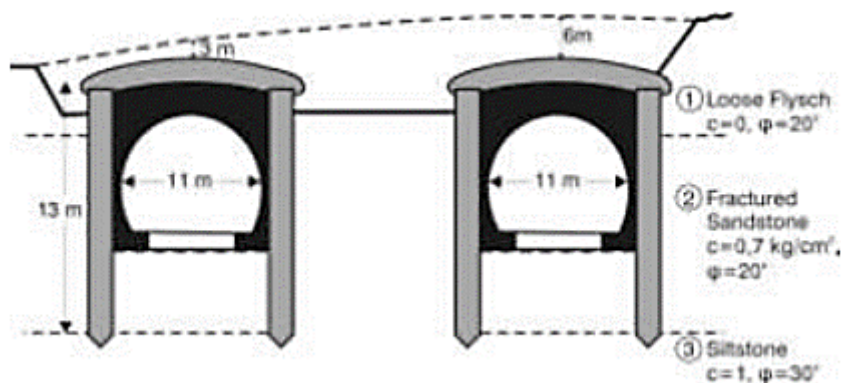
## 2.7 Case Studies

### Το στόμιο "Cover and Cut" της σήραγγας T6

Η μέθοδος "Cover and Cut" εφαρμόστηκε σε συγκεκριμένες περιπτώσεις για την κατασκευή στομίων σήραγγας κατά μήκος της Εγνατίας Οδού. Το 2002, στο ανατολικό στόμιο της σήραγγας T6 (Σχήμα 2.10), στην Ήπειρο, η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για να διευκολύνει την κατασκευή μέσω φλύσχη με φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά.

Η γεωτεχνική μελέτη ανέφερε ένα χαλαρό σχηματισμό επιφάνειας που ποικίλλει σε βάθος από 5 έως 8 μέτρα, που βρίσκεται σε κερματισμένο ψαμμίτη χαμηλής αντοχής σε βάθος 12-15m. Το υποκείμενο ισχυρότερο υπόστρωμα συνίσταται από ελαφρώς αποσαθρωμένο ιλυόλιθο μέσης αντοχής.

Η κατασκευή, προηγήθηκε από ρηχές εκσκαφές (σε βάθος 3-6 μέτρων), όπου πραγματοποιήθηκαν σταδιακά. Πάσσαλοι διαμέτρου  $D = 1,20\text{m}$  κατασκευάστηκαν σε βάθος 13m. Το πάχος της πλάκας κάλυψης κυμαινόταν από 0,80 έως 1,80 m. Η τελική επένδυση πραγματοποιήθηκε μετά από εκσκαφές κάτω από την προστατευτική πλάκα. (Μουρατίδης, 2008)



Εικόνα 2.10: Κατασκευή του στομίου "Cover and Cut".(Μουρατίδης, 2008)

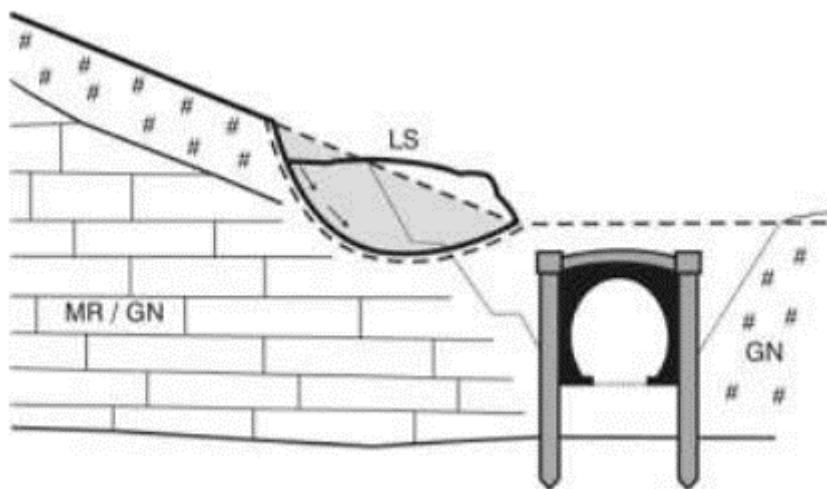
*Η επένδυση σήραγγας T105 "Cover and Cut"*

Η ασταθής εκσκαφή ( $h = 10-20\text{m}$ ), σε οδικό τμήμα του αυτοκινητόδρομου της Ανατολικής Μακεδονίας (κοντά στην Αμφίπολη), διαταράχθηκε από μια εκτεταμένη κατολίσθηση σε πρανή από μαλακή ιλύ. Ο κερματισμένος γνεύσιος (GN) και τα μάρμαρα (MR) αποτελούσαν τα υλικά του υποβάθρου.

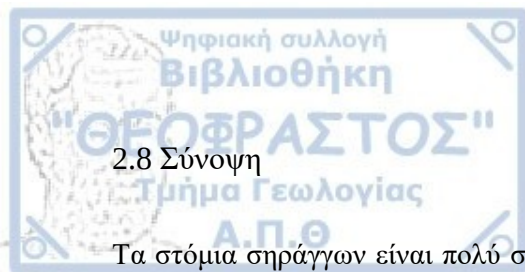
Κατά τη διάρκεια των πρώτων σταδίων της διαδικασίας της εκσκαφής και πριν την έδραση της πλάκας κάλυψης, έγινε μια κατολίσθηση κατά μήκος ολόκληρου του οδικού τμήματος (Εικ.2.11). Η αστοχία συνέβη όταν η γραμμή ολίσθησης του χαλαρού σχηματισμού συναντήθηκε και αφαιρέθηκε. Η διαδικασία εκσκαφών σταμάτησε και η επιλογή ανοιχτής εκσκαφής εγκαταλείφθηκε, υπέρ μιας σήραγγας μήκους 150 μέτρων με τη χρήση της μεθόδου "Cover and Cut".

Πάσσαλοι διαμέτρου 80cm χρησιμοποιήθηκαν σε απόσταση 100cm. Το μήκος του πασσάλου ήταν 14,10 m. και το βάθος της βάσης ήταν 6,60 m. Ειδικά μέτρα αποστράγγισης και επικάλυψης πραγματοποιήθηκαν στον ενδιάμεσο χώρο ανάμεσα στους πασσάλους. Οι πάσσαλοι και η πλάκα κάλυψης χυτεύθηκαν στη θέση τους μετά από μια αρχική ταξινόμηση.

Διεξήχθησαν εκσκαφές σε βάθος 3-6 μέτρων αλλά και αραιές επανεπιχώσεις, προκειμένου να κατασκευαστεί ένα δάπεδο εργασίας, κατάλληλη για την κίνηση εξοπλισμού γεώτρησης και σκυροδέτησης. Η επένδυση της σήραγγας σκυροδετήθηκε μετά την εκσκαφή κάτω από το προστατευτικό σκυρόδεμα. Η συμπλήρωση πάνω από την προστατευτική πλάκα τοποθετήθηκε στο τέλος του σταδίου κατασκευής, ακολουθούμενη από μέτρα αποκατάστασης περιβάλλοντος. (Μουρατίδης,2008)



Εικόνα 2.11: Γεωτεχνική αστάθεια (Μουρατίδης,2008)



## 2.8 Σύνοψη

Τα στόμια σηράγγων είναι πολύ συχνά ευαίσθητες περιοχές εκσκαφής, δεδομένου ότι το συστατικό υλικό είναι εδαφικής προέλευσης και αρκετά ασταθές. Τα σοβαρά προβλήματα αστάθειας, δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν μέσω της κοινής διαδικασίας εκσκαφής ή της τεχνικής "Cut and Cover". Απαιτείται λοιπόν, μια πιο αποτελεσματική και με λιγότερους κινδύνους μέθοδος.

Η λύση παρέχεται με τη μέθοδο Cover and Cut, η οποία εξασφαλίζει πλήρη προστασία κατά τη διάρκεια της κατασκευής και του σταδίου λειτουργίας. Η μέθοδος χαρακτηρίζεται από ταχύτητα και ακρίβεια και μπορεί να εφαρμοστεί σε τμήματα μικρού μήκους (συνήθως 10-20 m) στις εισόδους της σήραγγας. Σε όλες τις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε περιπτώσεις κατασκευής αυτοκινητοδρόμων, η τεχνική αποδείχθηκε ασφαλής και αποτελεσματική.

Παρ' όλα αυτά, στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων, όπου ο παράγοντας "κόστους" είναι κρίσιμης σημασίας, η μέθοδος θα πρέπει να περιορίζεται σε περιπτώσεις που τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εδαφικού σχηματισμού είναι χαμηλά, η σήραγγα είναι να κατασκευαστεί σε μικρό βάθος από την επιφάνεια την εδάφους και σε περιπτώσεις όπου μπορεί να υπάρξει κίνδυνος κατολίσθησης.

Δεδομένου ότι η μέθοδος προβλέπει μια "διπλή επένδυση σκυροδέματος", το κόστος κατασκευής είναι σχετικά υψηλό σε σύγκριση με τα αντίστοιχα στοιχεία του προϋπολογισμού των συμβατικών μεθόδων. Αυτό είναι σίγουρα ένα μειονέκτημα, αλλά είναι μάλλον δευτερεύουσας σημασίας εάν η εφαρμογή είναι περιορισμένης έκτασης, όπως στην περίπτωση των στομιών σηράγγων. Από την άλλη πλευρά, όταν η μέθοδος προτιμάται από την τρέχουσα "ασταθή εκσκαφή" για πλήρη κατασκευή σήραγγας, είναι βέβαιο ότι η αποτελεσματικότητα στη διαχείριση των γεωτεχνικών προβλημάτων εντάσσεται στην οικονομία και τη συντήρηση του περιβάλλοντος, μέσω μιας απλής και ασφαλούς διαδικασίας κατασκευής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

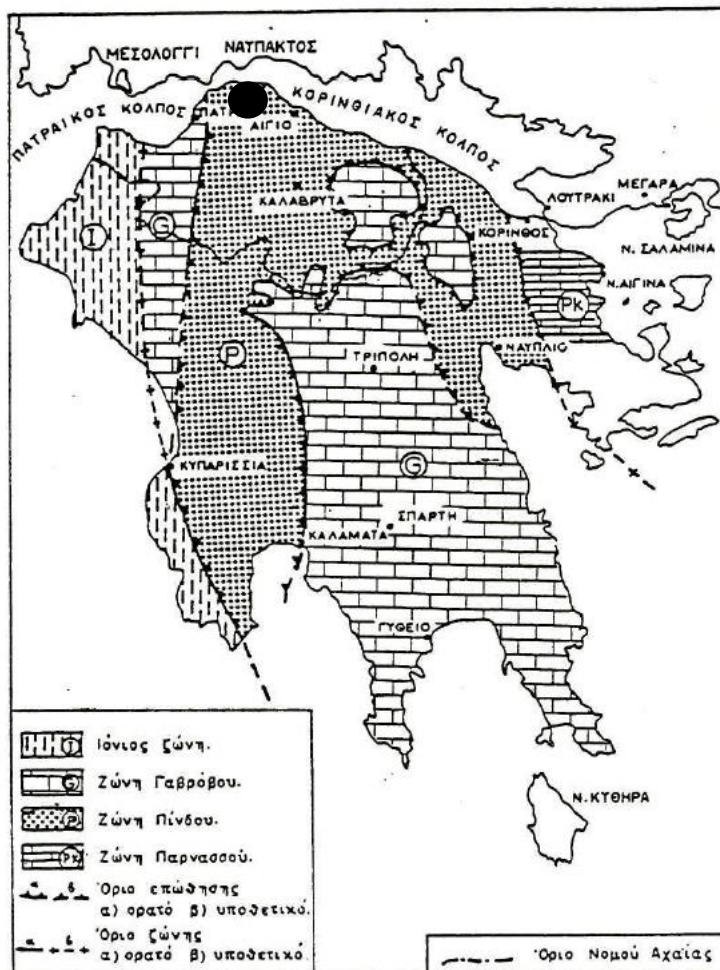
### 3.1 Ζώνη Τριπόλης - Γαβρόβου.

Η κατασκευή του έργου λαμβάνει χώρα στη ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, η οποία συμμετέχει στη γεωλογική δομή του Νομού Αχαΐας με το ημιμεταμορφωμένο υπόβαθρο και την ιζηματογενή σειρά. Η ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης βρίσκεται ανατολικά της Ιόνιας ζώνης και εμφανίζεται κυρίως υπό μορφή τεκτονικών παραθύρων καθώς εφφιπεύεται από τη ζώνη της Πίνδου. Θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει τμήμα της παλιάς αλπικής ηπειρωτικής πλατφόρμας με νηριτική ανθρακική ιζηματογένεση. Η πλατφόρμα αυτή ήταν η Απούλια πλάκα που αποσπάστηκε από την Γκοντβάνα και δέχθηκε νηριτική αλπική ιζηματογένεση.(Μουντράκης,2010). Με μαύρο κύκλο προβάλλεται η περιοχή μελέτης της εργασίας.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα (3.1), στη γεωλογική δομή του Νομού Αχαΐας λαμβάνουν χώρα σχηματισμοί από τις εξής ζώνες (από δυτικά προς ανατολικά).

- Ιόνιος ή Ανδριατικοϊόνιος,
- Τριπόλης - Γαβρόβου,
- Ωλονού - Πίνδου,

που κατά θέσεις καλύπτονται ασύμφωνα από Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις.



Εικόνα 3.1: Σκαρίφημα των Ελληνίδων ζωνών, από τις οποίες δομείται η Πελοπόννησος, κατά Sebriei,1977,(από Ρόζο,1989)



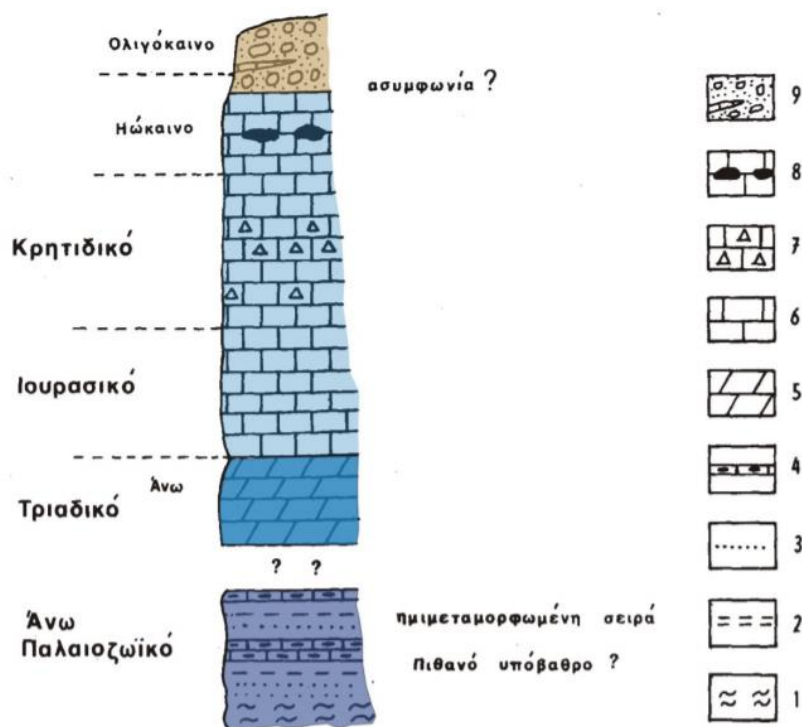
Στην συγκεκριμένη μελέτη θα μας απασχολήσει η γεωτεκτονική εξέλιξη και τα προβλήματα που ανακύπτουν, μόνο στη ζώνη Τρίπολης- Γαβρόβου.

### 3.2 Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη

Η ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης είναι γνωστή για τη συνεχή νηριτική ιζηματογένεση της κατά τους αλπικούς χρόνους από το Τριαδικό μέχρι το Ολιγόκαινο που απέθεσε μία σειρά ανθρακικών πετρωμάτων, χωρίς να παρεμβάλλονται αργιλικές ή πυριτικές ενστρώσεις. (Εικόνα 3.2)

Η ιζηματογένεση άρχισε στο Άνω Τριαδικό με δολομίτες και συνεχίστηκε σε όλο το Μεσοζωικό και Τριτογενές με την απόθεση νηριτικών ασβεστολίθων. Από το Ανώτερο Ηώκαινο άρχισε η απόθεση του μαργαϊκού-ψαμμιτικού φλύσχη που σταμάτησε στο τέλος του Ολιγοκαίνου, με την πτύχωση και την τελική ανάδυση της ζώνης.

Στην Πελοπόννησο και την Κρήτη εμφανίζονται μεταμορφωμένα και ημι-μεταμορφωμένα πετρώματα (Παλαιοζωϊκοί σχηματισμοί), οι οποίοι αποτελούνται από φυλλίτες, μεταψαμμίτες, χαλαζίτες και πλακώδεις ανακρυσταλλωμένους ασβεστολίθους, οι οποίοι είναι γνωστοί με τον όρο 'Plattenkalk'. (Μουντράκης, 2010)



Εικόνα 3.2: Σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη της ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης. 1:σερικιτικοί σχιστόλιθοι, 2:φυλλίτες, 3:χαλαζίτες, 4:ασβεστολιθικές ενστρώσεις, 5: δολομίτες, 6: μαύροι ασβεστόλιθοι, 7: λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, 8: βωξιτική εμφάνιση, 9: φλύσχη. (Μουντράκης, 2010)

### 3.3 Οι Πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις

Τα Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα και οι αλλουβιακές αποθέσεις λαμβάνουν χώρα σε μεγάλο τμήμα της περιοχής έρευνας. Τα Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα αποτελούνται από θαλάσσιους, λιμνοθαλάσσιους, λιμναίους και χερσαίους σχηματισμούς

Οι Doutsos et. al., (1987), Poulirnenos et. al., (1989) ξεχωρίζουν τα χερσαία κροκαλοπαγή σε αποθέσεις ανώτερου και κατώτερου δικτυωτού ποταμού και σε αλλουβιακές ριπιδιακές αποθέσεις με μέγιστο πάχος της ενότητας αυτής 500 m.

Οι Zelilidiis-Koukouvelas et. Al., (1988) διέκριναν προς την πλευρά του Πατραϊκού κόλπου, τις εξής πέντε κύριες λιθοφάσεις στα ιζήματα (Σχ. 3.3) :

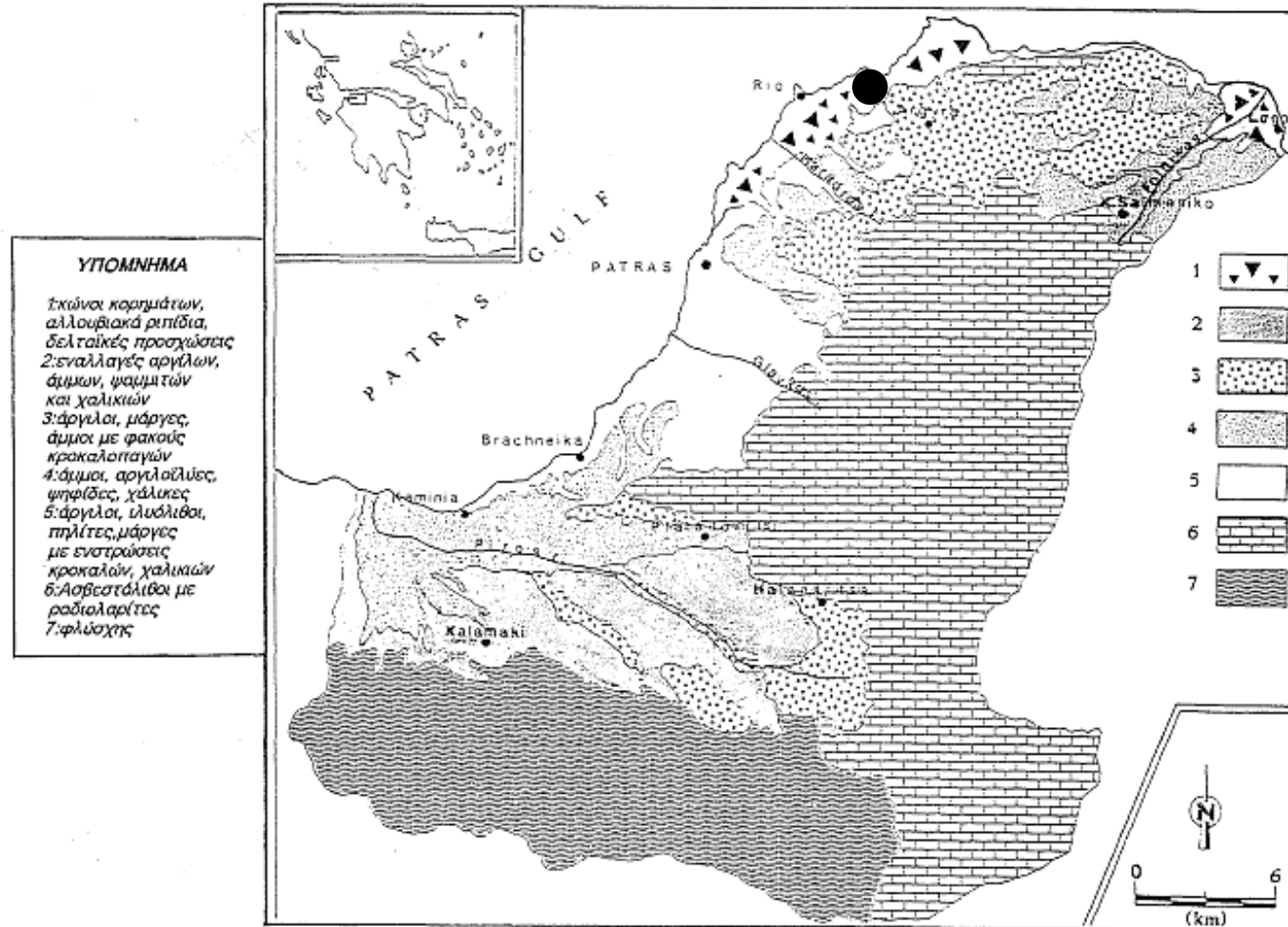
1. Λιθόφαση Α: που αποτελεί τη βάση της λιθοστρωματογραφικής διαδοχής Ανω Πλειοκαινικής ηλικίας και δομείται από φαιόχρωμες θαλάσσιες αποθέσεις (εναλλαγές πηλού και πηλούχου αργίλου). Εμφανίζεται στην περιοχή Καμίνια- Βραχνέϊκα.
2. Λιθόφαση Β: που είναι λιμναίας προέλευσης και αποτελείται από στρώματα άμμου, αμμούχου πηλού και πηλού τα οποία παρουσιάζουν λαμίνωση.
3. Λιθόφαση C: που αποτελείται από κροκαλοπαγή, κίτρινου χρώματος, ποταμο-χερσαίας προέλευσης. Οι παραπάνω λιθοφάσεις καλύπτονται από αλλουβιακές και ποτάμιες σύγχρονες αποθέσεις (δύο λιθοφάσεις: D και E),
4. Λιθόφαση D: στην οποία λαμβάνουν χώρα αποθέσεις αλλουβιακών ριπιδίων (κροκάλες, χάλικες).
5. Λιθόφαση E: που δομείται από κοκκινωπές, χερσαίες, ποτάμιες αποθέσεις (άμμο, πηλό και κροκαλοπαγή).

Τέλος ο Ρόζος, (1989) υποδιαιρεί το χώρο ανάπτυξης των Πλειο-πλειστοκαινικών ιζημάτων του νομού Αχαΐας σε τρεις υποπεριοχές (λεκάνες): α) του Πατραϊκού, β) του Κορινθιακού και γ) του Λεοντίου.

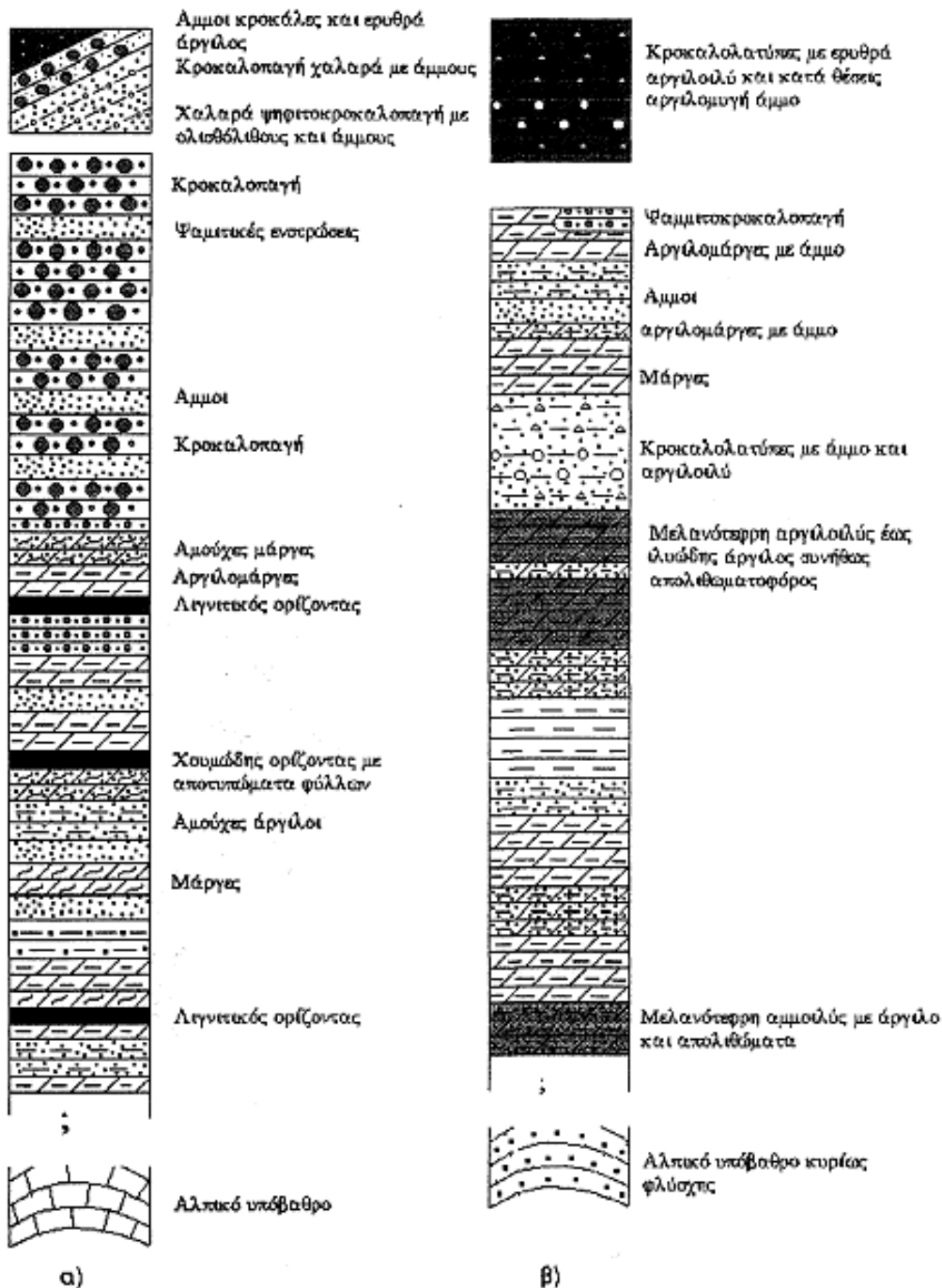
Στην περιοχή έρευνας λαμβάνει χώρα η πρώτη λεκάνη, η λεκάνη του Πατραϊκού. Η λεκάνη ιζηματογένεσης του Πατραϊκού εκτείνεται Δ/κά του Παναχαϊκού και προς Νότο περιορίζεται από το φλύσχη της ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης. Τα ιζήματα χωρίζονται σε δύο ενότητες: 1) Την κατώτερη που συνίσταται από ιλυώδης αργίλους και αμμούχους ιλύες. Εντοπίζεται στην περιοχή της Κάτω Αχαΐας σε μικρά σχετικά βάθη και 2) Την ανώτερη που αποτελείται από εναλλαγές αργιλομαργών, άμμων, αργιλοϊλύων με φακούς κροκαλοπαγών (Εικ. 3.4 (α)).(Βουδούρης, 1995)

Τα ιζήματα της λεκάνης του Κορινθιακού χωρίζονται σε δύο κύριες ενότητες: (Βουδούρης, 1995)

- a) Την κατώτερη που αποτελείται από αργίλους, μάργες και άμμους σε εναλλαγές,
- b) Την ανώτερη που συνίσταται από κροκαλοπαγή κερματισμένα με συνέπεια την ανάπτυξη δευτερογενούς περατότητας (Εικ. 3.4 (β)).



Εικόνα 3.3: Λιθοφασικός χάρτης των μεταλλικών ιζημάτων της περιοχής έρευνας (Δούτσος, 1989 από Βουδούρης 1995)



Εικόνα 3.4: Σχηματική λιθολογική τομή των Πλειο-πλειστοκαινικών ιζημάτων των λεκανών  
α) Πατραϊκού, β) Κορινθιακού (Ρόζος, 1989).



### 3.4 Τεκτονική

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το αλπικά πτυχωμένο υπόβαθρο της περιοχής έρευνας συνίσταται από δύο επιμήκεις ζώνες: τη ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης και τη ζώνη της Πίνδου. Η ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, είναι τμήμα των άνω δυτικών Ελληνικών καλυμμάτων και αποτελεί μία μεγάλη ασβεστολιθική πλατφόρμα (από Jacobshagen, 1977, αναφέρεται σε Βουδούρης, 1995), ενώ αντίθετα η ζώνη της Πίνδου αποτελεί τμήμα των κεντρικών Ελληνικών καλυμμάτων.

Στο Ανώτερο Λιάσιο η ενιαία ανθρακική πλατφόρμα της Ιόνιας ζώνης και Γαβρόβου- Τρίπολης επηρεάστηκε από την έντονο ρηγματογόνο τεκτονική (block faulting) η οποία είχε εφελκυστικό χαρακτήρα και οδήγησε στη διάρρηξη της πλατφόρμας (από Παπανικολάου, 1986, Underhill, 1989, αναφέρεται σε Βουδούρης, 1995).

Η περιοχή της Πινδικής αύλακας άρχισε να πτυχώνεται (από Χριστοδούλου, 1982, Jacobshagen, 1977, αναφέρεται σε Βουδούρης, 1995) και στη συνέχεια να αναδύεται και να επωθείται προς τα Δυτικά, μετά το τέλος του Ηώκαινου. Έτσι οι μεγάλοι πάχους Πινδικοί σχηματισμοί επωθούνται με τη μορφή καλύμματος και φθάσανε στην περιοχή του νομού Αχαΐας στο τέλος του Ολιγοκαίνου πάνω από τους σχηματισμούς της ζώνης Γαβρόβου-Τριπόλεως (από Κατσικάτσος, 1991, αναφέρεται σε Βουδούρης, 1995).

Οι γενικοί άξονες των πτυχώσεων, όπως και τα μέτωπα των επωθήσεων, που βρίσκονται μεταξύ των λεπιών έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και έχουν άμεση σχέση με την πλειονότητα των καρστικών πηγών . ( Βουδούρης, 1995)

### 3.5 Νεοτεκτονική

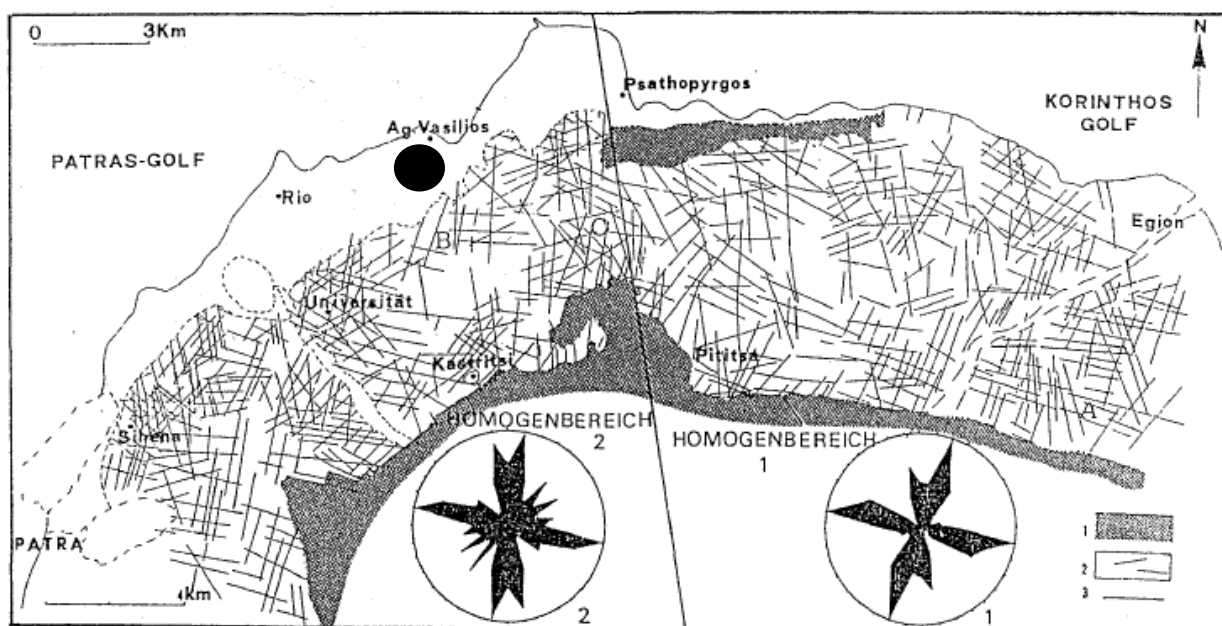
Οι Doutsos et al., (1987) (Βουδούρης, 1995) (Εικ.3.6) απέδειξαν ότι, οι τάφροι του Κορινθιακού και του Πατραϊκού, δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια διαστολής στην περιθωριακή λεκάνη του Αιγαίου τόξου και πως η τάφρος του Ρίου-Αντιρρίου συνδέει τις τάφρους σαν ζώνη μετασχηματισμού (transfer zone). Η συνολική αυτή εξέλιξη φανερώνεται, με τη γέννησή δύο συστημάτων ρηγμάτων, τα οποία παρουσιάζουν ορθογώνιο σχέδιο (fault pattern) επιφανειακής εξάπλωσης μεταξύ τους: Ένα κύριο ΔΒΔ/κής διεύθυνσης σύστημα κανονικών ρηγμάτων και ΒΒΑ/κών ρηγμάτων μετασχηματισμού που σχετίζονται με την διαστολή της περιθωριακής λεκάνης του Αιγαίου και ένα δευτερεύον σύστημα ΑΒΑ/κών κανονικών ρηγμάτων και ΒΒΔ/κών ρηγμάτων μετασχηματισμού, που συνδέεται με τη μεταορογενετική ανύψωση της περιοχής όπισθεν του Ελληνικού τόξου. Με μαύρο χρώμα απεικονίζεται η περιοχή όπου κατασκευάζεται το έργο.

Οι Zelilidls et al, (1988), (Βουδούρης, 1995) απέδειξαν ότι, στην περιοχή του Πατραϊκού εμφανίζεται ένα ρομβοειδές σύστημα ρηγμάτωσης με μεγάλης κλίσης κανονικά ρήγματα ΑΒΑ/κής και ΔΒΔ/κής διεύθυνσης (Εικ. 3.5). Το σύστημα των ανωτέρω ρηγμάτων ταυτοποιείται με δύο κύριες ρηξιγενείς ζώνες: Η πρώτη ζώνη εκτείνεται από το χωριό Κάτω Αλισσός περνά μέσα από το Χαϊκάλι και συνεχίζει δυτικότερα έως την περιοχή της Θέας. Η δεύτερη ζώνη εκτείνεται από το ακρωτήριο του Αράξου προς το χωριό Ελληνικό και συνεχίζει ανατολικότερα στο πρωτογενές υπόβαθρο. Στη ζώνη αυτή η κλίση των ρηγμάτων αλλάζει βαθμιαία κατά μήκος της διεύθυνσης. Και οι δύο αυτές ρηγματογενείς ζώνες περιλαμβάνουν μικρότερα ρήγματα μήκους 1-5 Km και παρουσιάζουν σεισμική δραστηριότητα .

Στην Εικόνα 3.7 απεικονίζονται οι ασυνέχειες, οι οποίες καταγράφηκαν στα Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα, καθώς και η γεωλογική διάρθρωση, σε γενικές γραμμές, του χώρου ανάπτυξης αυτών (Αλπικό υπόβαθρο, Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα, Τεταρτογενείς αποθέσεις). (από Ρόζο, 1989)

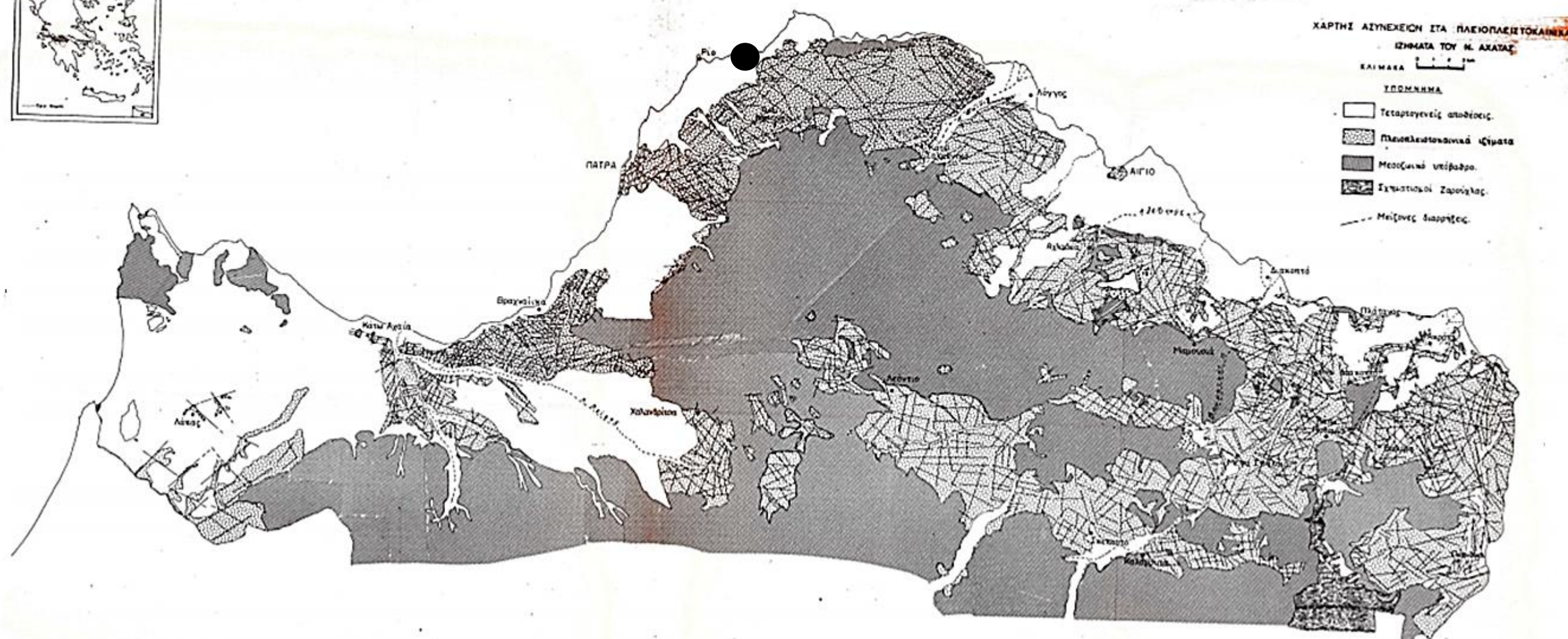


Εικόνα 3.5: Ρήγματα της περιοχής του Πατραϊκού κόλπου, όπως προέκυψαν από την ανάλυση αεροφωτογραφιών (από Zelilidis, 1988, αναφέρεται σε Βουδούρης, 1995)



Εικόνα 3.6: Ρήγματα της περιοχής του Κορινθιακού κόλπου, όπως προέκυψαν από την ανάλυση αεροφωτογραφιών (από Doutsos, 1988, αναφέρεται σε Βουδούρης, 1995)





ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### 3.6 Τεχνικογεωλογικός χάρτης του νομού Αχαΐας, κλίμακας 1:100.000

Ο τεχνικογεωλογικός χάρτης του νομού Αχαΐας είναι μικρής κλίμακας χάρτης (1:100.000), που δημιουργήθηκε με σκοπό να δώσει πληροφορίες που καλύπτουν πολλά τεχνικογεωλογικά αντικείμενα, προς την κατεύθυνση του γενικού σχεδιασμού και της περιφερειακής ανάπτυξης. Όσο αναφορά το περιεχόμενο του, περιγράφονται όλες οι βασικές πτυχές του τεχνικογεωλογικού περιβάλλοντος, όπως αυτές προκύπτουν από τη γεωδυναμική - γεωμορφολογική εξέλιξη του χώρου και τους φυσικομηχανικούς χαρακτήρες των σχηματισμών που απαντούν στην περιοχή (συνοπτικός -χάρτης). Πρόκειται για έναν Τεχνικογεωλογικό χάρτη πολλαπλού σκοπού, συνοπτικού χαρακτήρα και μικρής κλίμακας, που περιέχει δέκα οκτώ (18) Λιθολογικές ενότητες (LC). Με μαύρο χρώμα φαίνεται η περιοχή όπου κατασκευάζεται το έργο.

Οι δεκαοκτώ (18) λιθολογικές ενότητες που περιλαμβάνονται στο χάρτη, είναι οι ακόλουθες: (από Ρόζο, 1989) (Εικόνα 3.8)

#### - Τεταρτογενείς σχηματισμοί:

1. Χαλαρές λεπτομερείς αποθέσεις (sd)/(Q f-1)
2. Χαλαρές αδρομερείς αποθέσεις (Qc-1)
3. Χαλαρές αποθέσεις μικτών φάσεων (Qf,c-1)
4. Συνεκτικοί αδρομερείς σχηματισμοί (Qc-cm)
5. Συνεκτικοί σχηματισμοί μικτών φάσεων (Qf,c-cra)

#### - Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα:

6. Ιζήματα αδρομερή (Pic)
7. Ιζήματα κυρίως λεπτομερή (PLf-c)

#### - Φλύσσης:

8. Φλύσσης Δυτικής Ελλάδας (Fw)
9. Φλύσσης Κεντρικής Ελλάδας (Fe)

#### - Ανθρακικά πετρώματα (Ασβεστόλιθοι - Δολομίτες):

10. Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού - Ηωκαίνου Δυτικής Ελλάδας (Lw-C)
11. Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού Κεντρικής Ελλάδας (Lc-C)
12. Ασβεστόλιθοι Τριαδικού - Ιουρασικού Δυτικής Ελλάδας (Lw-Tj)
13. Ασβεστόλιθοι Τριαδικού - Ιουρασικού Κεντρικής Ελλάδας (Lc-Tj)
14. Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι - δολομίτες, Ιουρασικού – Κρητιδικού (Ld-D).

#### - Σχιστοψαμμιτοκερατόλιθοι :

15. Σχιστοψαμμιτοκερατόλιθικά ιζήματα (Sh)

#### - Τεκτονοίζηματογενές σύμπλεγμα:

16. Ετερομετρικός σχηματισμός (G)

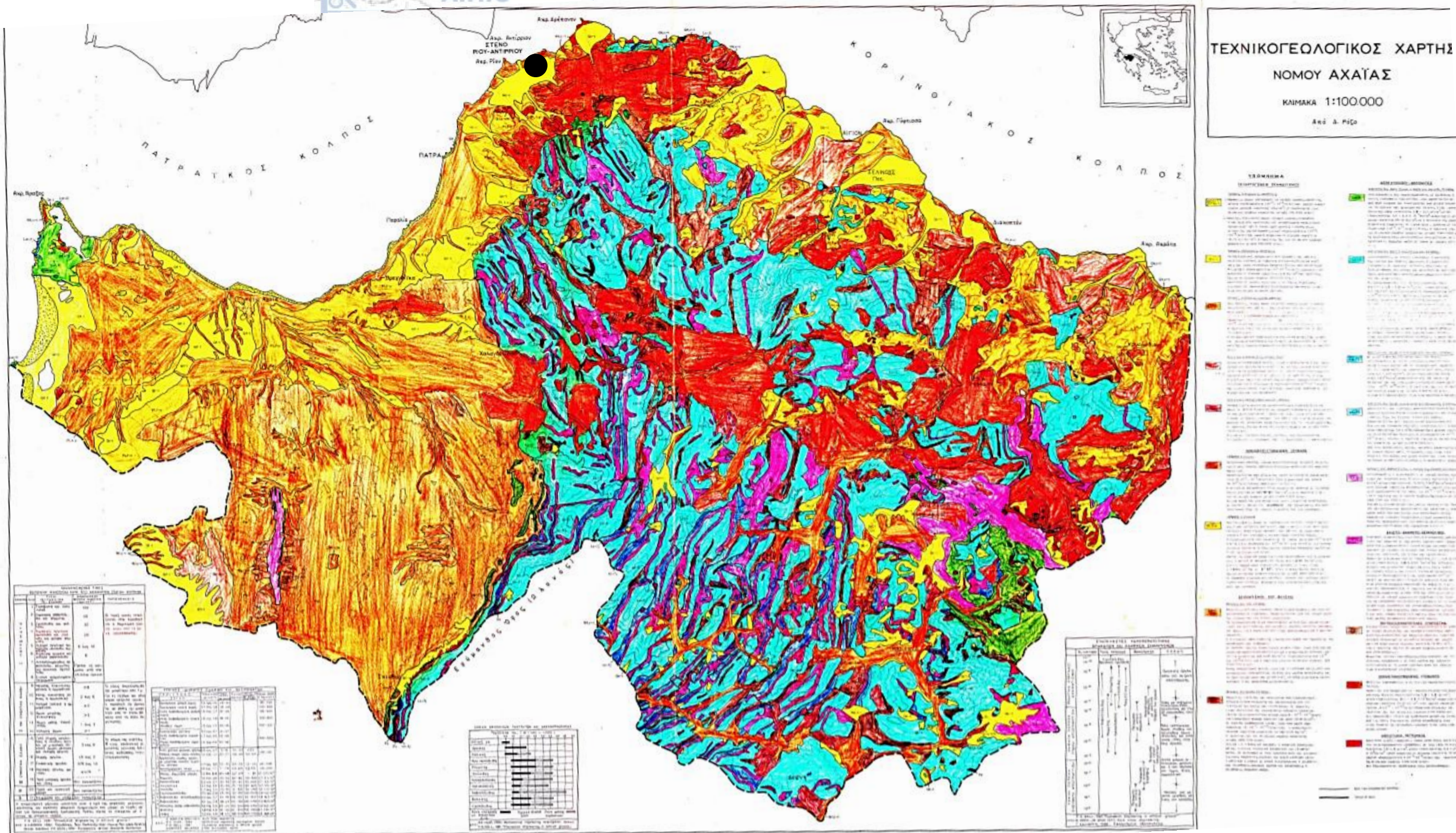
#### - Σχηματισμοί του ημιμεταμορφωμένου υποβάθρου:

17. Σχιστώδεις σχηματισμοί (φυλλίτες) (Ph)

#### - Ηφαιστειακά πετρώματα:

18. Λάβες (v).





Εικόνα 3.8: Τεχνικογεωλογικός χάρτης νομού Αχαΐας (από Ρόζο,1989)



Καθώς το έργο κατασκευάζεται πάνω σε Τεταρτογενή υλικά, θα ήταν σκόπιμο να γίνει μία πιο αναλυτική διάρθρωση των ενότητων αυτών, οι οποίοι έχουν ως εξής: (από Ρόζο, 1989)

- **Τεταρτογενείς σχηματισμοί**

**a) Χαλαρές λεπτομερείς αποθέσεις**

- a. Παράκτιες άμμοι ( sd ) . Εμφανίζονται στα ΒΔ/κα παράλια του νομού, όπου έχουν την μορφή θινών, συχνά με εύρος 50-2.000 m. και ύψος μέχρι 10 m. Είναι κυρίως φτωχά διαβαθμισμένες, χαλαρές (χαμηλή σχετική πυκνότητα), με μεγάλο πορώδες, υψηλή έως μέτρια υδροπερατότητα ( $10^{-1} - 10^{-2}$  cm/sec) και χαμηλή αναμενόμενη φέρουσα ικανότητα ( $1 \text{ Kg/cm}^2$  ). Η ταχύτητα των επιμηκών σεισμικών κυμάτων ( $V_p$  ) βρίσκεται μεταξύ 500-1.500 m/sec.
- b. Άργιλοι , ιλύες, πηλοί και άμμοι ποταμολιμναίας προέλευσης, αρνιλομιγείς άμμοι αιολικής προέλευσης και αποσθρωμένοι σχηματισμοί παλιότερων δομών ( Qf-1 ) . Πάχος ιζημάτων από μερικά μέτρα μέχρι και 50 m. Πρόκειται για υλικά με καλή διαβάθμιση, μέτριο έως χαμηλό πορώδες, μικρή υδροπερατότητα ( $10^{-2} - 10^{-4}$  cm/sec) και χαμηλή αναμενόμενη φέρουσα ικανότητα ( $0,75 - 1,5 \text{ Kg/cm}^2$  ). Η ταχύτητα των επιμηκών σεισμικών κυμάτων ( $V_p$  ) κυμαίνεται μεταξύ 500- 2.000 m/sec.

**b) Χαλαρές αδρομερείς αποθέσεις (Qc-I).**

- a. Κροκάλες και χάλικες ποικίλου μεγέθους, που εμφανίζονται κυρίως στο βόρειο τμήμα του Νομού, όπου είτε καλύπτουν τις κοίτες ποταμών και χειμάρρων, είτε σχηματίζουν εκτεταμένα ριπίδια τα οποία αποτελούν το έδαφος θεμελίωσης οικιστικών περιοχών. Επίσης, πλευρικά κορήματα, κυρίως ασβεστολιθικά, που εμφανίζονται στους πρόποδες πρανών με ισχυρή κλίση, καθώς και κώνοι κορημάτων. Σχηματισμοί χονδροκλαστικοί με ελάχιστο ποσοστό άμμου και λεπτομερών υλικών, που χαρακτηρίζονται από υψηλό πορώδες, μεγάλη υδροπερατότητα ( $10^0 - 10^{-2}$  cm/sec) και σημαντική αναμενόμενη φέρουσα ικανότητα ( $2-8 \text{ Kg/cm}^2$  ). Το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά μέχρι αρκετές δεκάδες μέτρα και η ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων ( $V_p$  ) στα υλικά αυτά κυμαίνονται μεταξύ 400-1.500 m/sec. Γενικά, οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζουν προβλήματα μετακινήσεων, ιδιαίτερα μετά από σεισμική φόρτιση και ειδικά σε περιοχές με έντονες μορφολογικές κλίσεις .

**c) Χαλαρές αποθέσεις μικτών φάσεων (Qf,c-1).**

- a. Αργιλοϊλύες, πηλοί, άμμοι ποικίλης κοκκομετρικής σύστασης, ψηφίδες και χάλικες. Αποτελούν σύγχρονες προσχώσεις ή και αποθέσεις κοιλάδων, καλύπτουν δε σημαντικές εκτάσεις στο πεδινό (δυτικό) τμήμα του Νομού και είναι κυμαινόμενου πάχους , από μερικά μέτρα έως αρκετές δεκάδες μέτρα. Η ταχύτατη εναλλαγή των φάσεων, τόσο κατά την οριζόντια, όσο και την κατακόρυφη εξάπλωση τους, προσδίδει έντονη ετερογένεια στα υλικά αυτά και δικαιολογεί την ανομοιομορφη μηχανική συμπεριφορά (διαφορικές καθιζήσεις ακόμα και στη ζώνη ενός κτιρίου). Χαρακτηρίζονται, επίσης, από μέση έως υψηλή υδροπερατότητα ( $10^{-2} - 10^{-4}$  cm/sec) με συχνές εποχιακές διακυμάνσεις της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και ικανοποιητική αναμενόμενη φέρουσα ικανότητα ( $1,5 - 6 \text{ Kg/cm}^2$  ), ενώ η ταχύτητα των επιμηκών σεισμικών κυμάτων ( $V_p$  ) αναμένεται μεταξύ 500 και 1.800 m/sec. Η κατασκευαστική δραστηριότητα στους σχηματισμούς αυτούς είναι μεγάλη, τα προβλήματα δε που παρουσιάζονται αναφέρονται σε καθιζήσεις, κυρίως διαφορικές, ρευστοποιήσεις ή και εδαφικές μετακινήσει.

**d) Συνεκτικοί αδρομερείς σχηματισμοί (Qc - cm)**

a. Κροκαλοπαγή, με φτωχή συνήθως διαβάθμιση ή λατυποπαγή κλιτύων. Τα κροκαλοπαγή λαμβάνουν χώρα στο βόρειο και ανατολικό τμήμα του Νομού, παρουσιάζουν πάχος μέχρι 100 m και το συνδετικό υλικό είναι ψαμμιτομαργαϊκό (ισχυρή συγκόλληση) ή αργιλικό (ασθενής έως μέτρια συγκόλληση). Στην περίπτωση που έχουμε αργιλική συνδετική ύλη, σε περιοχές με μικρή κλίση, τα κροκαλοπαγή καλύπτονται από έναν παχύ μανδύα αποσάθρωσης, που περιλαμβάνει ερυθρή άργιλο και κροκάλες. Τα λατυποπαγή είναι συνήθως ισχυρά συγκολλημένα, με ροδόχρουν αργιλομαργαϊκό υλικό και εντοπίζονται σε πρηνή με μέτρια έως ισχυρή κλίση. Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζουν ικανοποιητικές αντοχές και υδροπερατότητα, από  $10^{-2}$ - $10^{-5}$  cm/sec, ανάλογα με το βαθμό κερματισμού (δευτερογενής υδροπερατότητα). Τέλος, η αναμενόμενη ταχύτητα των επιμηκών σεισμικών κυμάτων ( $V_p$ ) είναι μεταξύ 800-2.000 m/sec, ενώ η φέρουσα ικανότητα, λόγω του κερματισμού και της αποσάθρωσης, είναι δυνατόν να υπολογισθεί μόνο μετά από επιτόπια εξέταση.

**e) Συνεκτικοί σχηματισμοί μικτών φάσεων (Qf,c - cm)**

a. Πρόκειται για χαλαρά έως ημισυνεκτικά κροκαλοπαγή, αργιλομαργαϊκά υλικά, άμμους με ασθενή διαγένεση και λατυποπαγή. Είναι ετερογενείς σχηματισμοί με συχνές εναλλαγές των φάσεων και ευρεία κύμανση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών και της υδροπερατότητας, ενώ το πάχος τους κυμαίνεται από λίγα μέτρα μέχρι μερικές δεκάδες μέτρα. Η ετερογένεια και ο ρυθμός συγκόλλησης, έχουν σαν αποτέλεσμα να υπάρχει ισχυρή ανισοτροπία στη μηχανική συμπεριφορά του σχηματισμού, χωρίς σημαντικά προβλήματα σε περιοχές με ήπιες κλίσεις. Η ταχύτητα,  $V_p$ , των σεισμικών κυμάτων κυμαίνεται μεταξύ 1000 και 2000 m/sec. Γενικά, οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες που δημιουργούνται, διευκολύνουν τις υποσκαφές και τις καταπτώσεις σε πρηνή με μεγάλες κλίσεις.

### 3.7 Γεωλογία -Γεωμορφολογία της στενής περιοχής έδρασης του έργου

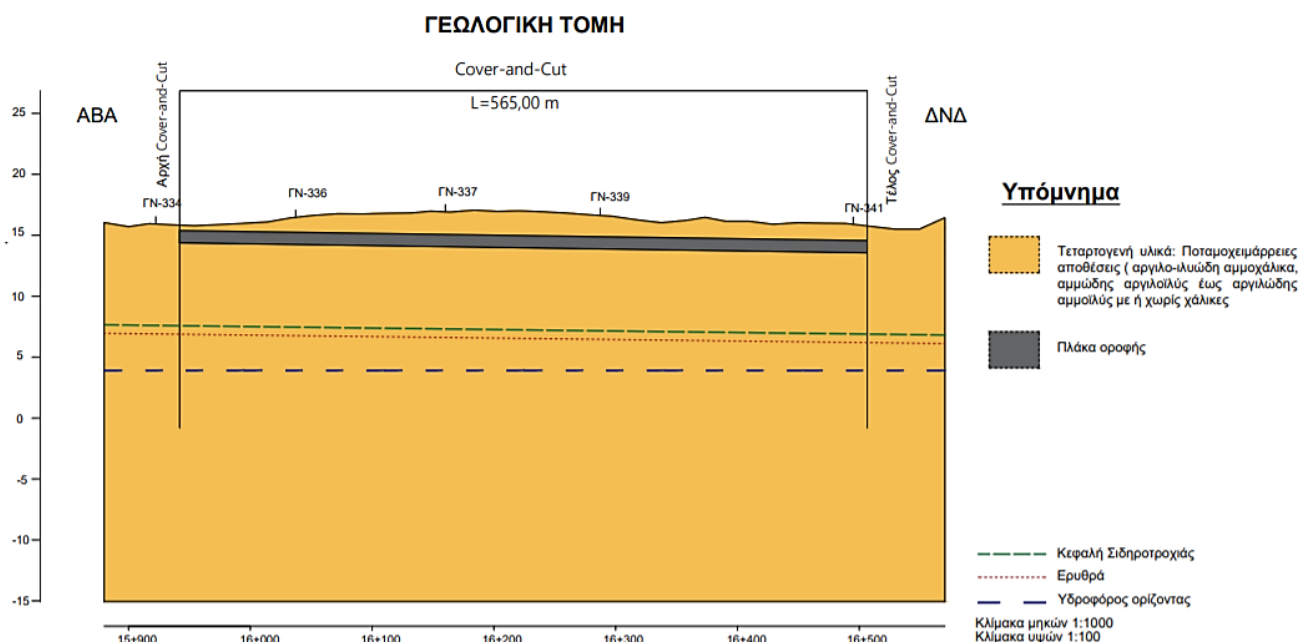
Η ευρύτερη περιοχή της χάραξης, στο σύνολό της αντιμετωπίζεται ως μορφολογικά ενιαίο τμήμα και χαρακτηρίζεται γενικά από ομαλό και επίπεδο ανάγλυφο το οποίο προέρχεται από τις προσχώσεις των χειμάρρων που δημιουργούν τις αποθέσεις των εκτεταμένων αλλουβιακών ριπιδίων. Αναλυτικότερα, στην άμεση περιοχή ενδιαφέροντος η χάραξη πλησιάζει πολύ κοντά στην παράκτια ζώνη, σε υψόμετρο περίπου +10m έως +15m.

#### Γεωλογία

Η περιοχή ενδιαφέροντος αποτελείται από παλαιότερες και νεότερες ποταμοχειμάρριες αποθέσεις του πλούσιου υδρογραφικού δικτύου (ποταμοί, χειμάρροι και ρυάκια) που διαρρέουν τα βόρεια παράλια της ΒΔ Πελοποννήσου. Οι ποταμοχειμάρριες αποθέσεις αποτελούνται από κλαστικό υλικό ποικίλης σύστασης και κοκκομετρικής διαβάθμισης. Η σύσταση των αποθέσεων αυτών ποικίλει σημαντικά από θέση σε θέση ενώ υπάρχουν μεταβάσεις και εναλλαγές τόσο προς την κατακόρυφο όσο και προς την οριζόντια εξάπλωση αυτών.

Στις γεωτρήσεις της έρευνας συναντήθηκαν κυρίως στρώματα αργιλο - ιλυωδών αμμοχάλικων και τεμαχών (έως 10cm), αμμόδους αργιλοίλου έως αργιλώδους αμμοίλου με ή χωρίς χάλικες και μέσο-χονδρόκοκκης άμμου.

Εκτιμάται ότι τόσο η στρωματογραφία όσο και το καθεστώς των υπογείων υδάτων στην περιοχή του μελετώμενου τεχνικού έργου, θα είναι επηρεασμένη από την δράση του ποταμού Ξηρορέματος. Κατά συνέπεια αναμένεται μηκοτομική ανομοιομορφία στην στρωματογραφία, ενώ η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα ενδέχεται να παρουσιάζει εποχιακή διακύμανση.



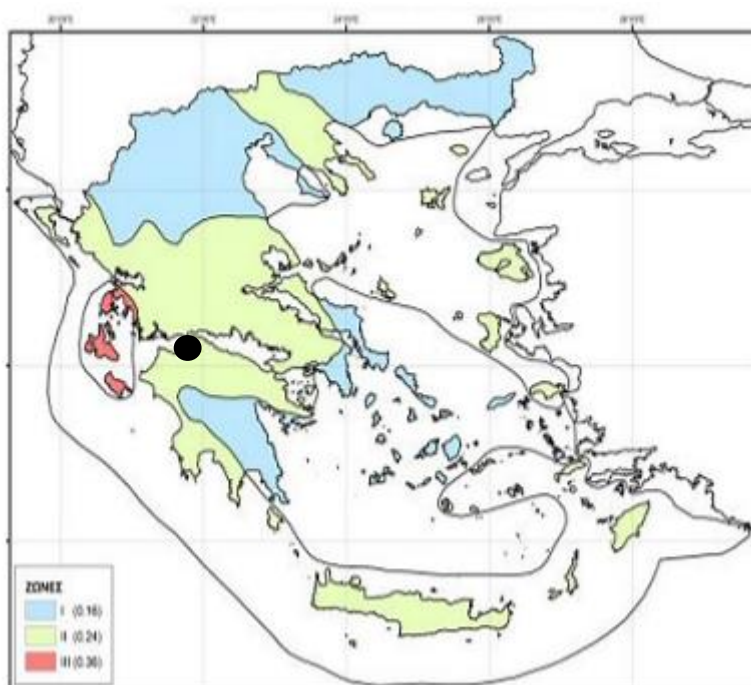


### 3.8 Σεισμικότητα

Η άμεση γειννίαση του νομού Αχαΐας με τεκτονικές τάφρους που χαρακτηρίζονται από σύγχρονη γεωδυναμική εξέλιξη, όπως η Ελληνική διάυλος από δυτικά και η τάφρος του Κορινθιακού κόλπου από βόρεια, έχει σαν αποτέλεσμα την εκδήλωση αυξημένης σεισμικής δραστηριότητας στην περιοχή. Η δυναμική φόρτιση που επιφέρουν οι συχνοί, ως επί το πλείστον αβαθείς και συνήθως μεγάλοι μεγέθους σεισμοί στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς που δομούν την Αχαΐα, εκτός από τα άμεσα αποτελέσματα στις κατασκευές, προκαλεί συχνά και την εκδήλωση δευτερογενών φαινομένων (κατολισθήσεις, καταπτώσεις, ρευστοποιήσεις κ.λ.π.) που ενδιαφέρουν από γεωτεχνικής πλευράς, καθώς πλήττουν οικισμούς και διάφορα τεχνικά έργα.

#### Σεισμολογικά στοιχεία

Σύμφωνα με την αναθεώρηση του Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας (ΦΕΚ 1154/Β/12- 8-2003) του ισχύοντα Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ 2000), ο οποίος φαίνεται στην Εικόνα 3.9 , η περιοχή του τεχνικού έργου εντάσσεται όσον αφορά τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας στην κατηγορία II με σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού για το έδαφος  $A=0,24g$ . Σύμφωνα με την ειδική εδαφοδυναμική μελέτη που εκπονήθηκε για την περιοχή του Cover & Cut από Χ.Θ. 126+400 έως 132+000, η μέγιστη επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους δίνεται ίση με  $A_{max} = 0,39g$ , ενώ η επιτάχυνση σχεδιασμού στην επιφάνεια του εδάφους δίνεται ίση με  $0,26g$ . Ως ενεργός επιτάχυνση σχεδιασμού για τη περιοχή του υπό μελέτη τεχνικού θα ληφθεί η τιμή  $A = 0,26g$ , ενώ ως μέγιστη επιτάχυνση η τιμή  $A_{max} = 0,39g$ . Με μαύρο χρώμα φαίνεται η περιοχή όπου κατασκευάζεται το έργο.



Εικόνα 3.9: Νέος Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί κατατάσσονται σε κατηγορίες εδάφους, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα (3.1):

| Γεωτεχνική Ενότητα | Κατηγορία | Χαρακτηριστικές Περίοδοι |                      |
|--------------------|-----------|--------------------------|----------------------|
|                    |           | T <sub>1</sub> (sec)     | T <sub>2</sub> (sec) |
| I                  | A         | 0,10                     | 0,40                 |
| II                 | A         | 0,10                     | 0,40                 |
| III                | Γ         | 0,20                     | 0,80                 |

Πίνακας 3.1: Σεισμολογική Κατάταξη Στρώσεων

### 3.9 Υδρογραφικό δίκτυο

Το υδρογραφικό δίκτυο μιας λεκάνης συνίσταται από το σύνολο των χειμάρρων, των παραποτάμων και ποταμών, των ρυακιών τα οποία διαρρέουν και αποστραγγίζουν τη λεκάνη αυτή. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου διαμορφώνεται με βάσει την λιθολογική σύσταση, το μορφολογικό ανάγλυφο, τη τεκτονική, καθώς και τους κλιματικούς παράγοντες της συγκεκριμένης περιοχής.

Το υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής, περιγράφεται ως πλούσιο και καλά ανεπτυγμένο, δενδροειδούς μορφής, που εκ φορτίζει τις βόρειες υπώρειες του όρους Παναχαϊκό προς τον Πατραϊκό κόλπο, με γενική διεύθυνση ροής από νότο προς βορρά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

### 4.1 Μεθοδολογία αξιολόγησης Τεχνικογεωλογικών συνθηκών

Η περιοχή στην οποία θα κατασκευαστεί το Cover-and-Cut, αποτελείται από πρόσφατες ιζηματογενείς αποθέσεις, δηλαδή από τεταρτογενείς ηλικίας υλικά κορημάτων και ποταμοχειμάρια υλικά (άμμοι, χαλικά, άργιλοι). Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μία καταγραφή των τεχνικογεωλογικών συνθηκών, με σκοπό να προσδιοριστούν και να αξιολογηθούν τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν επί τόπου δοκιμές, όπως δοκιμές υδροπερατότητας και πρότυπη δοκιμή διείσδυσης. Οι ταξινομήσεις κατά S.P.T. φανερώνουν τύπο εδάφους διαφορετικής πυκνότητας, υλικά με φτωχές έως μέτριες γεωτεχνικές ιδιότητες, καθώς και τη λεπτόκοκκη φύση του υλικού. Τα αποτελέσματα του υπολογισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών για τις διάφορες τεχνικογεωλογικές ενότητες, θα καθορίσουν τα κριτήρια σχεδιασμού και θα οδηγήσουν στον καθορισμό των γεωτεχνικών παραμέτρων.

### 4.2 Έλεγχος επι τόπου δοκιμών

#### 4.2.1 Δοκιμές διείσδυσης SPT

Κατά την διάρκεια της διάτρησης, για τον προσδιορισμό της συνεκτικότητας των αργιλικών εδαφών ή της πυκνότητας των αμμωδών εδαφών, εκτελέστηκαν επί τόπου δοκιμές πρότυπης διείσδυσης (S.P.T.). Στη δοκιμή πρότυπης διείσδυσης, ένα πρότυπο αντίβαρο βάρους 63,5 kg, πέφτει ελεύθερα από ύψος 76cm με αυτόματο μηχανισμό και καταγράφεται ο αριθμός των κτύπων για διείσδυση του στελέχους κατά 15cm στο έδαφος (ένα στάδιο). Η παραπάνω διαδικασία, γίνεται μέχρι η συνολική διείσδυση του στελέχους φθάσει στα 45cm (τρία στάδια - τρεις τιμές). Το άθροισμα των δύο τελευταίων σταδίων αποτελεί τον αριθμό NSPT, που χρησιμοποιείται και για τον χαρακτηρισμό των εδαφικών υλικών, βάσει του Πίνακα 4.1 που ακολουθεί.

| ΚΟΚΚΩΔΗ ΕΔΑΦΗ<br>(ΑΜΜΟΙ) |                      | ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ<br>(ΑΡΓΙΛΟΙ) |             |
|--------------------------|----------------------|------------------------------|-------------|
| 0 - 4                    | Πολύ Χαλαρό          | <2                           | Πολύ Μαλακή |
| 4 - 10                   | Χαλαρό               | 2 - 4                        | Μαλακή      |
| 10 - 30                  | Μέσης πυκνότητας     | 4 - 8                        | Μέση Στιφρή |
| 30 - 50                  | Πυκνής απόθεσης      | 8 - 15                       | Στιφρή      |
| >50                      | Πολύ Πυκνής απόθεσης | 15 - 30                      | Πολύ Στιφρή |
|                          |                      | >30                          | Σκληρή      |

Πίνακας 4.1: Κατάταξη Εδαφών βάσει της Δοκιμής Πρότυπης Διείσδυσης (NSPT)

Σε περίπτωση πολύ συνεκτικών εδαφών ή αμμοχάλικων με κροκάλες αν στις πενήντα (50) κρούσεις δεν έχει πραγματοποιηθεί διείσδυση του δειγματολήπτη κατά 15 cm (Άρνηση), τότε σημειώνονται οι πενήντα κρούσεις και η αντίστοιχη διείσδυση του δειγματολήπτη στο έδαφος.

Δεδομένης της φύσης των εδαφών που διατρήθηκαν (αμμοχάλικα / χάλικες), χρησιμοποιήθηκε εναλλακτικά κώνος για την εκτέλεση των δοκιμών στα αμμοχάλικα.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των παραπάνω δοκιμών, παρουσιάζονται αναλυτικά στους συγκεντρωτικούς πίνακες που ακολουθούν ( Πίν. 4.2, 4.3):

| ΓΕΩΤΡΗΣΗ | ΒΑΘΟΣ<br>ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ | ΚΡΟΥΣΕΙΣ / 15<br>cm | NSPT   | ΕΙΔΟΣ   |
|----------|--------------------|---------------------|--------|---------|
| ΓΝ334    | 2.60-2.82          | 29-50/7             | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 5.40-5.53          | 50/13               | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 7.60-8.03          | 12-35-50/13         | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 10.30-10.57        | 27-50/12            | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 12.70-12.94        | 21-50/9             | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 14.80-15.08        | 19-50/13            | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 18.60-19.05        | 7-11-13             | 24     | ΤΕΡΖΑΓΗ |
|          | 21.50-21.95        | 5-7-8               | 15     | ΤΕΡΖΑΓΗ |
|          | 24.40-24.85        | 12-19-31            | 50     | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 26.70-26.97        | 22-50/12            | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 28.40-28.62        | 23-50/7             | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          |                    |                     |        |         |
| ΓΝ336    | 3.00-3.28          | 19-50/13            | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 5.20-5.57          | 14-28-50/7          | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 8.30-8.56          | 23-50/11            | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 10.30-10.68        | 13-26-50/8          | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 12.90-13.17        | 21-50/12            | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 15.10-15.48        | 14-27-50/8          | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 18.00-18.29        | 24-50/14            | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 20.30-20.75        | 6-7-8               | 15     | ΤΕΡΖΑΓΗ |
|          | 23.00-23.26        | 18-50/11            | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 25.50-25.71        | 32-50/6             | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 27.60-27.83        | 17-50/8             | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          |                    |                     |        |         |
| ΓΝ337    | 2.50-2.78          | 23-50/13            | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 5.90-6.16          | 28-50/11            | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 7.80-8.25          | 17-26-38            | 64     | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 10.30-10.57        | 32-50/12            | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 12.50-12.74        | 32-50/9             | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 14.60-15.05        | 12-14-23            | 37     | ΤΕΡΖΑΓΗ |
|          | 17.30-17.75        | 11-16-22            | 38     | ΤΕΡΖΑΓΗ |
|          | 20.20-20.65        | 5-7-9               | 16     | ΤΕΡΖΑΓΗ |
|          | 22.40-22.85        | 7-10-15             | 25     | ΤΕΡΖΑΓΗ |
|          | 25.30-25.57        | 26-50/12            | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 27.30-27.44        | 50/14               | ΑΡΝΗΣΗ | ΚΩΝΟΣ   |
|          |                    |                     |        |         |

Πίνακας 4.2: Δοκιμές Πρότυπης Διείσδυσης SPT στις Γεωτρήσεις ΓΝ 334, ΓΝ 336 και ΓΝ 337

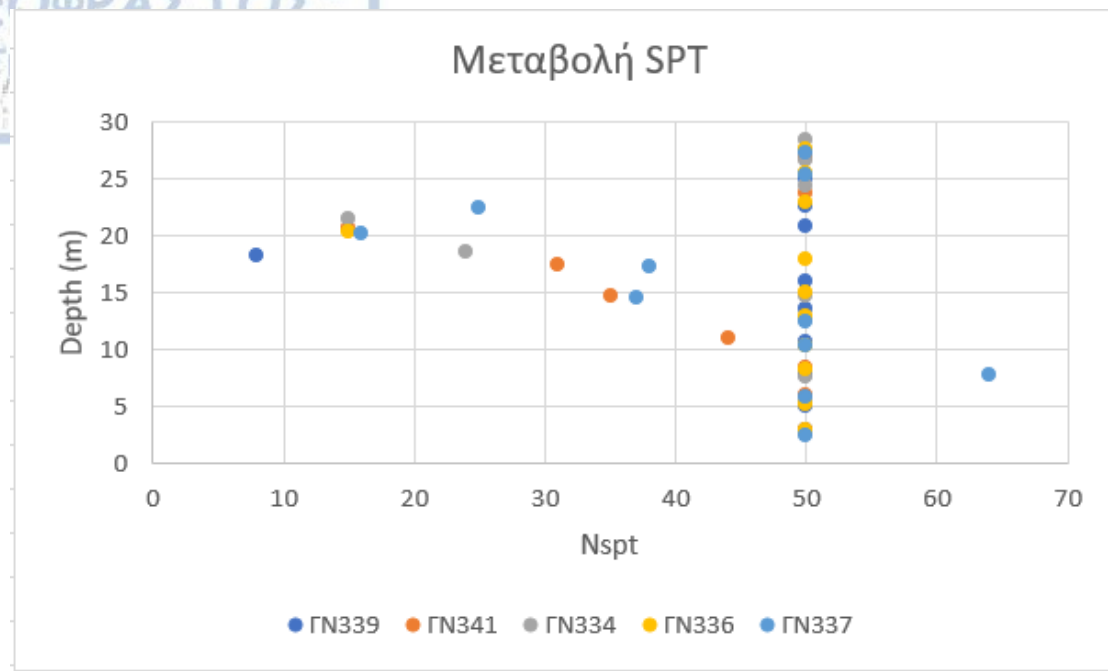


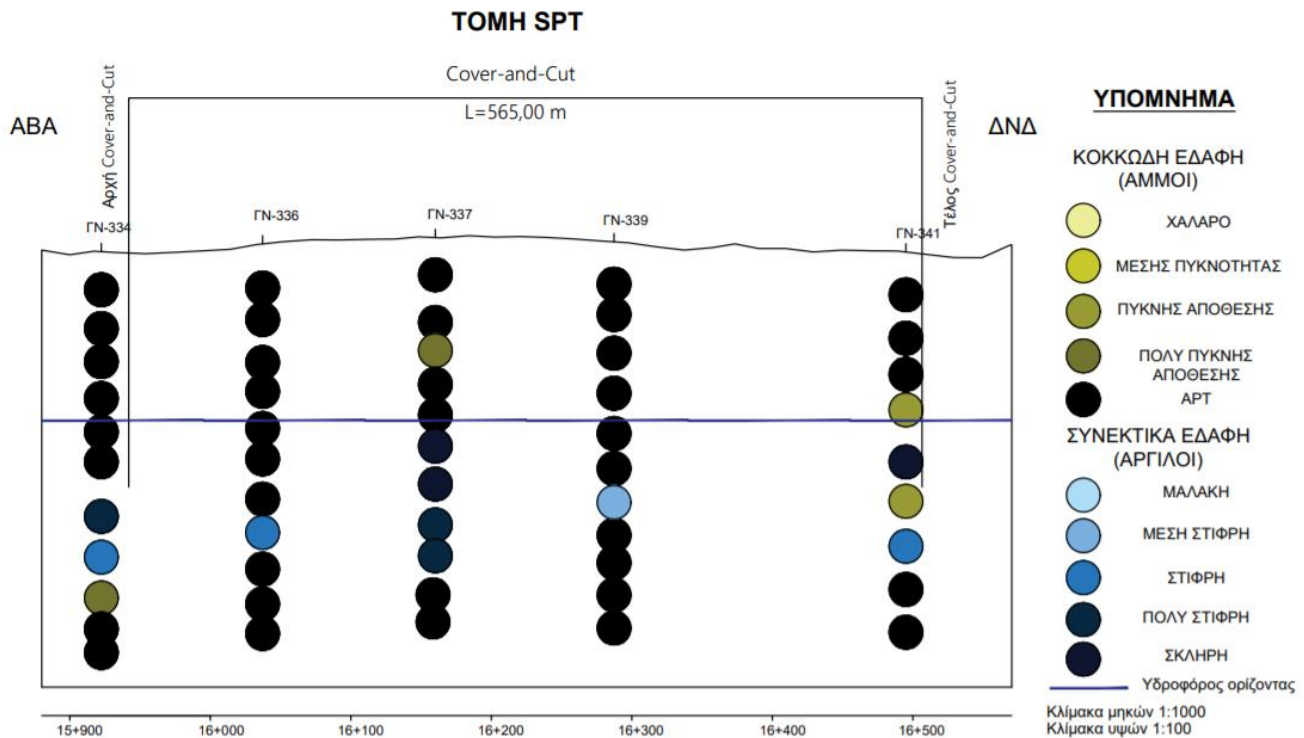
| ΓΕΩΤΡΗΣΗ | ΒΑΘΟΣ<br>ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ | ΚΡΟΥΣΕΙΣ / 15<br>cm | N <sub>SPT</sub> | ΕΙΔΟΣ   |
|----------|--------------------|---------------------|------------------|---------|
| ΓΝ339    | 2.90-3.12          | 32-50/7             | ΑΡΝΗΣΗ           | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 5.10-5.23          | 50/13               | ΑΡΝΗΣΗ           | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 7.80-8.04          | 28-50/9             | ΑΡΝΗΣΗ           | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 10.70-10.84        | 50/14               | ΑΡΝΗΣΗ           | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 13.60-13.72        | 50/12               | ΑΡΝΗΣΗ           | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 16.00-16.26        | 28-50/11            | ΑΡΝΗΣΗ           | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 18.30-18.75        | 3-4-4               | 8                | ΤΕΡΖΑΓΗ |
|          | 20.80-20.93        | 50/13               | ΑΡΝΗΣΗ           | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 22.70-22.94        | 36-50/9             | ΑΡΝΗΣΗ           | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 25.00-25.24        | 32-50/9             | ΑΡΝΗΣΗ           | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 27.40-27.54        | 50/14               | ΑΡΝΗΣΗ           | ΚΩΝΟΣ   |
|          |                    |                     |                  |         |
| ΓΝ341    | 2.90-3.18          | 19-50/13            | ΑΡΝΗΣΗ           | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 6.00-6.25          | 29-50/10            | ΑΡΝΗΣΗ           | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 8.50-8.89          | 14-31-50/9          | ΑΡΝΗΣΗ           | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 11.00-11.45        | 13-18-26            | 44               | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 14.70-15.15        | 8 -14- 21           | 35               | ΤΕΡΖΑΓΗ |
|          | 17.50-17.95        | 11-14-17            | 31               | ΚΩΝΟΣ   |
|          | 20.70-21.15        | 4-7-8               | 15               | ΤΕΡΖΑΓΗ |
|          | 23.80-24.21        | 14-37-50/11         | ΑΡΝΗΣΗ           | ΤΕΡΖΑΓΗ |
|          | 26.90-27.18        | 29-50/13            | ΑΡΝΗΣΗ           | ΚΩΝΟΣ   |

Πίνακας 4.3: Δοκιμές Πρότυπης Διείσδυσης SPT στις Γεωτρήσεις ΓΝ 339 και ΓΝ 341

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 53 δοκιμές SPT εκ των οποίων οι 39 παρουσίασαν άρνηση ( $N_{SPT} > 50$ ) ενώ οι υπόλοιπες 14 εμφάνισαν τιμές που κυμαίνονται από 8 έως 60 κρούσεις.

Στο Γράφημα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή του αριθμού κρούσεων  $N_{SPT}$  με το βάθος για την περιοχή του Αγίου Βασιλείου. Στις περιπτώσεις που καταγράφηκε άρνηση η τιμή  $N_{SPT}$  δίνεται ίση με 50.





Τομή 4.1: Αποτελέσματα δοκιμών Πρότυπης Διείσδυσης SPT, προβαλλόμενα σε τομή.

#### 4.2.2 Υδροφόρος Ορίζοντας

Στην περιοχή πραγματοποίησης των γεωτρήσεων μετρήθηκαν οι στάθμες του υδροφόρου ορίζοντα κατά την διάρκεια των εργασιών. Σύμφωνα με αυτές τις μετρήσεις, η στάθμη παρουσιάζεται σε βάθη της τάξης των 10 - 21 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους. Επιπλέον, στη γεώτρηση ΓΝ 339 ο υδροφόρος ορίζοντας συναντήθηκε σε βάθος 15,0 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους αμέσως μετά το πέρας τις γεώτρησης. Οι μετρήσεις αυτές δεν θεωρούνται ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικές, καθώς είναι πιθανή η επιρροή τους, από νερά που χρησιμοποιήθηκαν για τη διάνοιξη της κάθε γεώτρησης.

Στις γεωτρήσεις ΓΝ 334, ΓΝ 337 και ΓΝ 341 τοποθετήθηκαν πιεζομετρικοί σωλήνες. Η μέτρηση των πιεζόμετρων έδωσε τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα σε βάθος 11,2 - 13,10 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους, μέτρηση πιο αξιόπιστη, καθώς κατά την λήψη τους τα υπόγεια νερά βρίσκονται πλέον σε ηρεμία. Η εκτίμηση που έγινε, θεωρεί πως ο υδροφόρος ορίζοντας θα συναντηθεί σε βάθος 12,0 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους. Από τα στοιχεία των γεωτρήσεων, (στρωματογραφική αλληλουχία-παρατηρήσεις υπαίθρου) προκύπτει η πιθανότητα ανόδου της στάθμης των υπογείων υδάτων εντός των πιο επιφανειακών στρωμάτων άμμου – χαλίκων κατά τους χειμερινούς μήνες, καθώς υπάρχει αυξημένη ποσότητα ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Η απόφαση να πραγματοποιηθούν επιπλέον μετρήσεις των πιεζόμετρων, θα βοηθήσουν σε μια καλύτερη εκτίμηση της στάθμης των υπογείων υδάτων.

#### 4.2.3 Δοκιμές Διαπερατότητας

Κατά την διάρκεια διάτρησης των ερευνητικών γεωτρήσεων, εκτελέστηκαν επιτόπου δοκιμές διαπερατότητας με τη μέθοδο του μεταβλητού φορτίου (Δοκιμές Maag) καθώς και με τη μέθοδο σε σταθερή στάθμη (Δοκιμές Lefranc). Η δοκιμή Lefranc πραγματοποιήθηκε σε εδάφη καλής περατότητας (άμμοι, χαλίκια), ενώ η δοκιμή Maag πραγματοποιήθηκε σε εδάφη μικρής περατότητας (άργιλοι).

Με βάσει δοκιμές Maag και Lugeon που πραγματοποιήθηκαν έγινε χαρακτηρισμός των Ενοτήτων Ι, ΙΙ και ΙΙΙ σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 4.4 κατά Terzaghi and Peck (1967) καθώς και τον Πίνακα 4.6 Casagrande. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5 που ακολουθεί, καθώς προβάλλονται και στην Τομή 4.2.

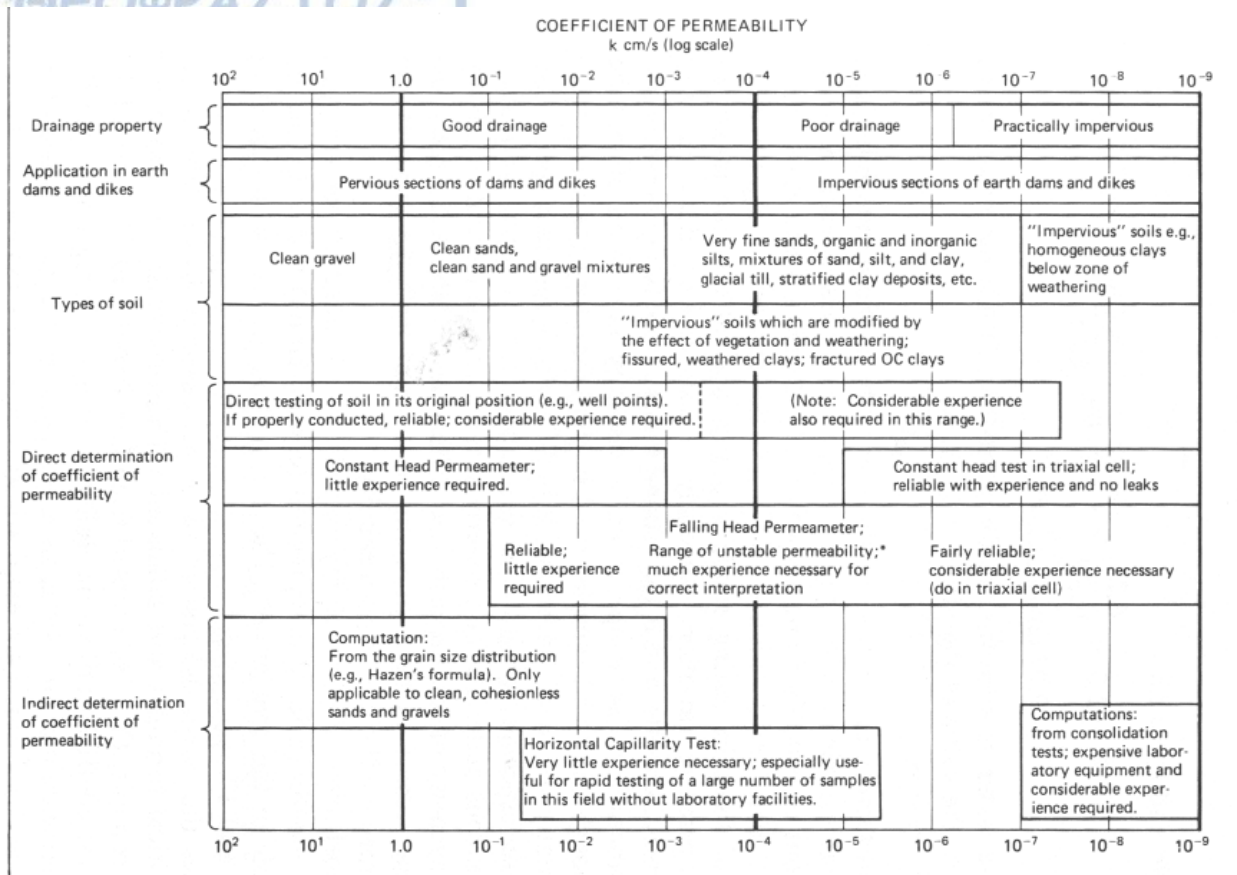
| Χαρακτηρισμός       | Διακύμανση $K(\text{cm/sec})$ |
|---------------------|-------------------------------|
| ΥΨΗΛΗ               | $K \geq 10^{-1}$              |
| ΜΕΣΗ                | $10^{-3} \leq K \leq 10^{-1}$ |
| ΧΑΜΗΛΗ              | $10^{-5} \leq K \leq 10^{-3}$ |
| ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ         | $10^{-7} \leq K \leq 10^{-5}$ |
| ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΣ | $K < 10^{-7}$                 |

Πίνακας 4.4: Χαρακτηρισμός διακύμανσης υδροπερατότητας. (Terzaghi and Peck, 1967)

| ΓΕΩΤΡΗΣΗ | ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m) | ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ $k (\text{cm/sec})$              | ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ |
|----------|-------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------|---------------|
| ΓΝ334    | 10.60-10.60       | 10min                    | 2.7E-03                                                  | MAAG          |
|          | 20.00-20.40       | 10min                    | 6.83E-04                                                 | LEFRANC       |
|          | 29.20-30.40       | 10min                    | 6.46E-04                                                 | LEFRANC       |
| ΓΝ336    | 10.00-10.30       | 10min                    | 1.46E-03                                                 | LEFRANC       |
|          | 20.00-20.30       | 10min                    | 7.6E-05                                                  | MAAG          |
|          | 30.20-30.80       | 10min                    | 1.8E-03                                                  | LEFRANC       |
| ΓΝ337    | 10.30-10.57       | 10min                    | 8.6E-04                                                  | MAAG          |
|          | 21.70-22.40       | 10min                    | 1.66E-03                                                 | LEFRANC       |
|          | 30.00-30.40       | 10min                    | 2.14E-03                                                 | LEFRANC       |
| ΓΝ339    | 10.00-10.20       | 10min                    | 3.9E-04                                                  | MAAG          |
|          | 21.40-21.60       | 10min                    | 1.6E-03                                                  | MAAG          |
|          | 29.00-30.00       | 20min                    | Σε 20 min απορροφήθηκε $1\text{m}^3$ εισπιεζόμενου νερού | LEFRANC       |
| ΓΝ341    | 9.00-9.40         | 10min                    | 2.3E-04                                                  | MAAG          |
|          | 20.50-20.70       | 10min                    | 3.7E-04                                                  | MAAG          |
|          | 29.00-29.40       | 10min                    | 7.1E-04                                                  | MAAG          |

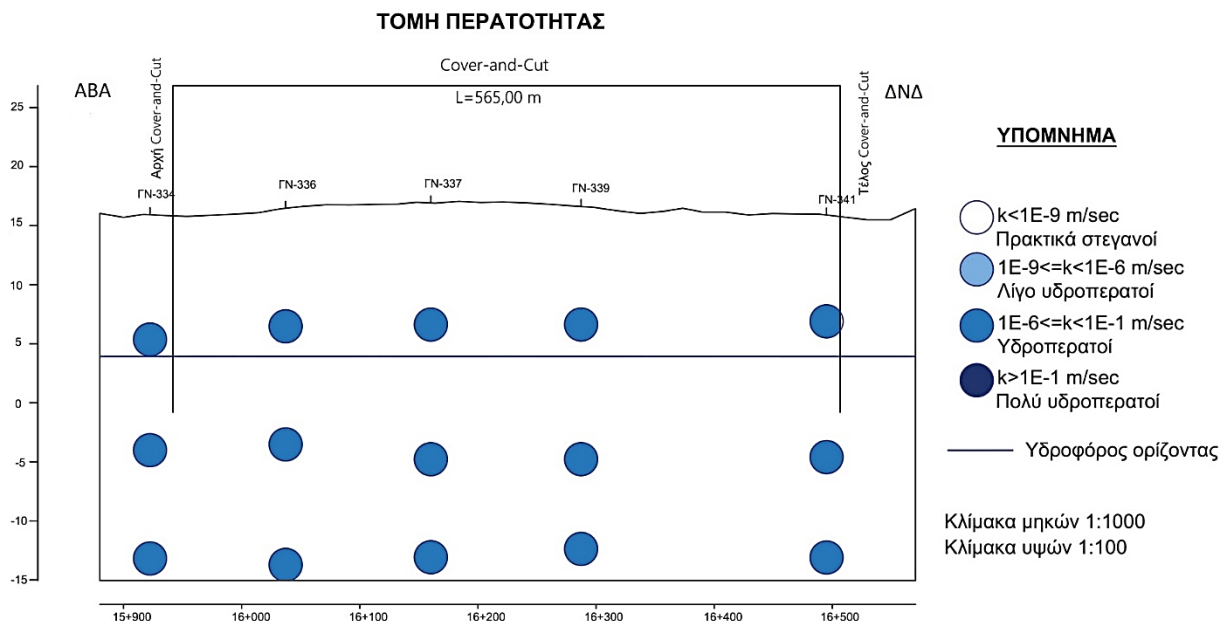
Πίνακας 4.5: Δοκιμές Υδροπερατότητας με τις Μεθόδους Maag – Lefranc





\*Due to migration of fines, channels, and air in voids.

Πίνακας 4.6: Πίνακας Casagrande ( από Introduction to Geotechnical Engineering" by Holtz R.D, Kovacs W.D,1938)



Τομή 4.2: Αποτελέσματα δοκιμών Περρατότητας, προβαλλόμενα σε τομή.

#### 4.2.4 Κατακόρυφος συντελεστής διαπερατότητας

Οι συντελεστές  $K$  που μετρήθηκαν επί τόπου ήταν οι οριζόντιοι συντελεστές διαπερατότητας. Δεδομένου ότι οι σχηματισμοί της περιοχής είναι ιζηματογενείς με οριζόντια ή/και παραοριζόντια απόθεση, εκτιμάται με πολύ καλή προσέγγιση ότι οι κατακόρυφοι συντελεστές διαπερατότητας θα είναι σαφώς χαμηλότεροι από τους οριζόντιους. Η σχέση κατακόρυφου προς οριζόντιο συντελεστή διαπερατότητας  $K_h / K_v$  εξαρτάται κυρίως από τον τρόπο απόθεσης των σχηματισμών. Έτσι, σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 4.7 (Γ. Μπουκοβάλας "Ειδικά Θέματα Θεμελιώσεων" Μέρος III, Κεφ. 4):

| Τύπος Αργίλου                                                                                          | $K_h/K_v$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Ομοιογενείς αποθέσεις                                                                                  | 1.0-1.5   |
| Προσχωσιγενείς αργλικές αποθέσεις με διακοπτόμενες ενστρώσεις και φακούς μεγαλύτερης διαπερατότητας    | 2.0-4.0   |
| Στρωσιγενείς άργιλοι και άλλες αποθέσεις με ενδιάμεσες (πρακτικά συνεχείς) στρώσεις διαπερατού υλικού. | 3.0-15.0  |

Πίνακας 4.7: Σχέση οριζόντιου προς κατακόρυφου συντελεστή διαπερατότητας

Για Αμμώδης αργιλοϊλός έως αργιλώδης αμμοϊλός με κατά θέσεις χάλικες έχουμε  $K_h/K_v \approx 3$

Εν προκειμένω μπορούμε να δεχθούμε ότι η παραπάνω περιγραφή αντιστοιχεί στα ιζήματα της Ενότητας III με σχετική ακρίβεια, αφού πρόκειται πράγματι για αργλικές στρώσεις με τοπικές ασυνέχειες μεγαλύτερης διαπερατότητας, όπως ενστρώσεις αργιλωδών / ιλυωδών άμμων και χαλίκων.

Επομένως ο λόγος  $K_h / K_v$  μπορεί να ληφθεί στην Ενότητα III ίσος προς περίπου 3, δίνοντας  $k_v = 2.3 \times 10^{-4}$  cm/sec ( μέτρια διαπερατότητα).

#### 4.3 Εργαστηριακή έρευνα

Οι εργαστηριακές δοκιμές, που πραγματοποιήθηκαν, αξιολογήθηκαν και μετά από στατιστική επεξεργασία, προσδιορίστηκαν: η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση κάθε παραμέτρου των Τ.Ενοτήτων Ι, ΙΙ και ΙΙΙ. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας δίνονται στους παρακάτω συγκεντρωτικούς Πίνακες (4.8, 4.9, 4.10, 4.11). Η εργαστηριακή έρευνα περιλάμβανε δοκιμές εδαφομηχανικής για την κατάταξη των δειγμάτων και τον προσδιορισμό των μηχανικών στους ιδιοτήτων.

##### 4.3.1 Δοκιμές Εδαφομηχανικής

Οι δοκιμές περιλάμβαναν δοκιμές στα εδαφικά δείγματα των γεωτρήσεων και δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών.

Στα εδαφικά δείγματα των ερευνητικών γεωτρήσεων έγιναν :

- δοκιμές κατάταξης, για τον προσδιορισμό των φυσικών παραμέτρων :
  1. Όρια Atterberg : όριο υδαρότητας LL και όριο πλαστικότητας PL,
  2. κοκκομετρική διαβάθμιση με κόσκινα και αραιόμετρο,
  3. φυσική υγρασία,
  4. φαινόμενο βάρος,
  5. ειδικό βάρος

Με βάσει τις παραπάνω δοκιμές κατάταξης, τα δείγματα κατατάσσονται σύμφωνα με το Αμερικανικό σύστημα κατάταξης Unified Soils Classification System (USCS).

Οι δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών που πραγματοποιήθηκαν είναι οι εξής:

- δοκιμές μονοδιάστατης στερεοποίησης
- δοκιμές βραδείας διάτμησης στερεοποιημένου δοκιμίου με αποστράγγιση (CD)
- δοκιμές τριαξονικής θλίψης με στερεοποίηση και στράγγιση.

Τα συνοπτικά αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών παρουσιάζονται στους παρακάτω συγκεντρωτικούς πίνακες.

| ΓΝ334                             | Δοκιμές Ταξινόμησης Εδάφους |      |      |      |                |      |      |       |                   |                   |                | ΚΑΤΑΤΑΞΗ<br>AUSCS<br>CLASSIFICATION |
|-----------------------------------|-----------------------------|------|------|------|----------------|------|------|-------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------------------------|
|                                   | Κοκκομετρική<br>ανάλυση     |      |      |      | Όρια Atterberg |      |      |       |                   |                   |                |                                     |
|                                   | G                           | S    | M    | C    | L.L            | P.L  | P.I  | W     | γ                 | γ <sub>d</sub>    | G <sub>s</sub> |                                     |
| ΓΕΩΤΡΗΣΗ<br>Η<br>ΒΑΘΟΣ<br>ΔΟΚΙΜΗΣ | %                           | %    | %    | %    | %              | %    | %    | %     | kN/m <sub>3</sub> | kN/m <sub>3</sub> | -              |                                     |
| 3.20-3.70                         | 58.6                        | 26.9 | 14.5 |      | 17.9           | 12.9 | 5.1  |       |                   |                   |                | GC-GM                               |
| 6.20-6.70                         | 55.3                        | 35.7 | 9.0  |      | N.P.           |      |      |       |                   |                   |                | GP-GC                               |
| 9.20-9.70                         | 53.1                        | 38.1 | 8.9  |      | N.P.           |      |      |       |                   |                   |                | GP-GC                               |
| 14.20-14.70                       | 32.4                        | 58.4 | 9.2  |      | N.P.           |      |      |       |                   |                   |                | SP-SC                               |
| 16.70-16.90                       | 0.9                         | 25.3 | 73.8 |      | N.P.           |      |      |       |                   |                   |                | ML                                  |
| 17.90-18.30                       | 22.7                        | 33.1 | 44.2 | 0.0  | 21.5           | 16.7 | 4.8  | 17.70 | 21.08             | 17.91             | 2.7            | SC-SM                               |
| 18.30-18.60                       | 3.5                         | 21.6 | 69.0 | 6.0  | 27.4           | 16.1 | 11.3 | 21.45 | 19.18             | 15.79             | 2.75           | CL                                  |
| 22.30-22.50                       | 0.4                         | 27.8 | 62.3 | 9.4  | 26.8           | 15.8 | 11.0 |       |                   |                   | 2.75           | CL                                  |
| 25.40-25.90                       | 36.1                        | 51.8 | 12.1 |      | N.P.           |      |      |       |                   |                   |                | SM                                  |
| 28.00-28.40                       | 27.1                        | 48.0 | 24.9 |      | 19.0           | 10.9 | 8.2  |       |                   |                   |                | SC                                  |
| ΓΝ336                             | Δοκιμές Ταξινόμησης Εδάφους |      |      |      |                |      |      |       |                   |                   |                | ΚΑΤΑΤΑΞΗ<br>AUSCS<br>CLASSIFICATION |
|                                   | Κοκκομετρική<br>ανάλυση     |      |      |      | Όρια Atterberg |      |      |       |                   |                   |                |                                     |
|                                   | G                           | S    | M    | C    | L.L            | P.L  | P.I  | W     | γ                 | γ <sub>d</sub>    | G <sub>s</sub> |                                     |
| ΓΕΩΤΡΗΣΗ<br>Η<br>ΒΑΘΟΣ<br>ΔΟΚΙΜΗΣ | %                           | %    | %    | %    | %              | %    | %    | %     | kN/m <sub>3</sub> | kN/m <sub>3</sub> | -              |                                     |
| 2.30-3.00                         | 59.2                        | 27.6 | 13.2 |      | 24             | 14   | 10   |       |                   |                   |                | GC                                  |
| 6.20-6.60                         | 47.8                        | 38.6 | 13.6 |      | 21             | 13   | 8    |       |                   |                   |                | GC                                  |
| 9.50-10.00                        | 20.0                        | 67.7 | 12.3 |      | 22             | 17   | 5    |       |                   |                   |                | SC-SM                               |
| 13.60-14.10                       | 47.4                        | 42.4 | 10.2 |      | 23             | 17   | 6    |       |                   |                   |                | GP-(GC-GM)                          |
| 19.20-19.40                       | 1.6                         | 37.2 | 42.2 | 19.0 | 28             | 18   | 10   |       |                   |                   | 2.73           | CL                                  |
| 22.00-22.20                       | 26.7                        | 41.0 | 32.3 |      | 27             | 14   | 13   |       |                   |                   |                | SC                                  |
| 25.00-25.50                       | 26.7                        | 57.6 | 15.7 |      | 22             | 18   | 4    |       |                   |                   |                | SC-SM                               |
| 29.50-30.00                       | 15.3                        | 72.2 | 12.5 |      | N.P.           |      |      |       |                   |                   |                | SM                                  |



| ΓΝ337                             | Δοκιμές Ταξινόμησης Εδάφους |      |      |      |                |      |      |      |                   |                   |                | ΚΑΤΑΤΑΞΗ<br>AUSCS<br>CLASSIFICATION |
|-----------------------------------|-----------------------------|------|------|------|----------------|------|------|------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------------------------|
|                                   | Κοκκομετρική<br>ανάλυση     |      |      |      | Όρια Atterberg |      |      |      |                   |                   |                |                                     |
|                                   | G                           | S    | M    | C    | L.L            | P.L  | P.I  | W    | γ                 | γ <sub>d</sub>    | G <sub>s</sub> |                                     |
| ΓΕΩΤΡΗΣΗ<br>Η<br>ΒΑΘΟΣ<br>ΔΟΚΙΜΗΣ | %                           | %    | %    | %    | %              | %    | %    | %    | kN/m <sub>3</sub> | kN/m <sub>3</sub> | -              |                                     |
| 3.20-3.70                         | 53.7                        | 31.3 | 15.0 |      | N.P.           |      |      |      |                   |                   |                | GC                                  |
| 6.60-7.00                         | 49.1                        | 35.4 | 15.5 |      | N.P.           |      |      |      |                   |                   |                | GC                                  |
| 11.60-12.10                       | 30.5                        | 58.5 | 11.1 |      | N.P.           |      |      |      |                   |                   |                | SP-SC                               |
| 13.90-14.60                       | 0.8                         | 31.8 | 61.6 | 5.7  | 26.9           | 16.6 | 10.3 | 22.0 | 19.88             | 16.29             | 2.64           | CL                                  |
| 15.70-16.20                       | 17.0                        | 45.1 | 38.0 |      | N.P.           |      |      |      |                   |                   |                | SM                                  |
| 19.80-20.00                       | 0.7                         | 33.5 | 65.8 | 0.0  | 22.7           | 16.7 | 6.1  |      |                   |                   | 2.72           | CL-ML                               |
| 22.20-22.40                       | 28.7                        | 25.6 | 45.7 |      | 22.6           | 16.2 | 6.4  |      |                   |                   |                | GC-GM                               |
| 25.80-26.30                       | 32.6                        | 35.3 | 32.1 |      | 20.8           | 14.8 | 6.1  |      |                   |                   |                | SC-SM                               |
| 27.90-28.00                       | 16.3                        | 44.5 | 38.1 | 1.2  | 17.7           | 16.6 | 1.1  |      |                   |                   | 2.74           | SM                                  |
| 29.70-30.20                       | 23.4                        | 60.9 | 15.8 |      | N.P.           |      |      |      |                   |                   |                | SM                                  |
| ΓΝ339                             | Δοκιμές Ταξινόμησης Εδάφους |      |      |      |                |      |      |      |                   |                   |                | ΚΑΤΑΤΑΞΗ<br>AUSCS<br>CLASSIFICATION |
|                                   | Κοκκομετρική<br>ανάλυση     |      |      |      | Όρια Atterberg |      |      |      |                   |                   |                |                                     |
|                                   | G                           | S    | M    | C    | L.L            | P.L  | P.I  | W    | γ                 | γ <sub>d</sub>    | G <sub>s</sub> |                                     |
| ΓΕΩΤΡΗΣΗ<br>Η<br>ΒΑΘΟΣ<br>ΔΟΚΙΜΗΣ | %                           | %    | %    | %    | %              | %    | %    | %    | kN/m <sub>3</sub> | kN/m <sub>3</sub> | -              |                                     |
| 2.30-2.50                         | 72.0                        | 18.1 | 9.9  |      | 25             | 17   | 8    |      |                   |                   |                | GP-GC                               |
| 6.00-6.30                         | 36.7                        | 47.7 | 15.6 |      | N.P.           |      |      |      |                   |                   |                | SM                                  |
| 8.90-9.10                         | 12.6                        | 30.2 | 40.2 | 17.0 | 27             | 19   | 8    |      |                   |                   | 2.64           | CL                                  |
| 11.30-11.50                       | 44.1                        | 43.4 | 12.5 |      | 24             | 16   | 8    |      |                   |                   |                | GC                                  |
| 14.50-14.70                       | 52.3                        | 33.2 | 7.5  | 7.0  | 25             | 1    | 9    |      |                   |                   | 2.68           | GC                                  |
| 16.50-16.70                       | 40.6                        | 46.9 | 12.5 |      | 22             | 18   | 4    |      |                   |                   |                | SC-SM                               |
| 20.40-20.60                       | 1.7                         | 42.4 | 37.9 | 18.0 | 29             | 18   | 11   |      | 21.55             | 18.89             | 2.67           | CL                                  |
| 22.10-22.30                       | 30.8                        | 48.2 | 21.0 |      | 25             | 19   | 6    |      |                   |                   |                | SC-SM                               |
| 25.90-26.10                       | 48.4                        | 35.1 | 16.5 |      | 24             | 17   | 7    |      |                   |                   |                | GC-GM                               |
| 28.70-28.90                       | 42.5                        | 45.1 | 12.4 |      | N.P.           |      |      |      |                   |                   |                | SM                                  |
|                                   | Δοκιμές Ταξινόμησης Εδάφους |      |      |      |                |      |      |      |                   |                   |                |                                     |

| ΓΝ341<br>ΓΕΩΤΡΗΣΗ<br>Η<br>ΒΑΘΟΣ<br>ΔΟΚΙΜΗΣ | Κοκκομετρική<br>ανάλυση |      |      |      | Όρια Atterberg |     |     |   |                   |                   |                | ΚΑΤΑΤΑΞΗ<br>AUSCS<br>CLASSIFICATION |
|--------------------------------------------|-------------------------|------|------|------|----------------|-----|-----|---|-------------------|-------------------|----------------|-------------------------------------|
|                                            | G                       | S    | M    | C    | L.L            | P.L | P.I | W | γ                 | γ <sub>d</sub>    | G <sub>s</sub> |                                     |
|                                            | %                       | %    | %    | %    | %              | %   | %   | % | kN/m <sub>3</sub> | kN/m <sub>3</sub> | -              |                                     |
| 2.40-2.60                                  | 12.5                    | 36.2 | 51.3 |      | 27             | 17  | 10  |   |                   |                   |                | CL                                  |
| 5.20-5.40                                  | 34.7                    | 40.6 | 24.7 |      | 24             | 16  | 8   |   |                   |                   |                | SC                                  |
| 6.90-7.10                                  | 8.5                     | 35.0 | 32.5 | 24.0 | 31             | 14  | 17  |   |                   |                   | 2.68           | CL                                  |
| 9.40-9.60                                  | 36.9                    | 50.8 | 12.3 |      | N.P.           |     |     |   |                   |                   |                | SM                                  |
| 12.30-12.80                                | 44.4                    | 38.6 | 17.0 |      | 22             | 15  | 7   |   |                   |                   |                | GC-GM                               |
| 15.80-16.00                                | 2.0                     | 36.1 | 61.9 |      | 27             | 19  | 8   |   |                   |                   |                | CL                                  |
| 17.00-17.30                                | 0.0                     | 22.2 | 63.8 | 14.0 | 28             | 21  | 7   |   | 20.66             | 17.48             | 2.68           | CL-ML                               |
| 20.40-20.70                                | 0.0                     | 13.2 | 54.8 | 32.0 | 36             | 17  | 19  |   |                   |                   | 2.66           | CL                                  |
| 21.60-21.80                                | 0.0                     | 17.7 | 55.3 | 27.0 | 33             | 17  | 16  |   |                   |                   | 2.67           | CL                                  |
| 24.20-24.50                                | 0.0                     | 39.6 | 49.4 | 11.0 | 24             | 20  | 4   |   |                   |                   | 2.66           | CL-ML                               |
| 26.60-26.90                                | 11.7                    | 45.5 | 42.8 |      | 26             | 16  | 10  |   |                   |                   |                | SC                                  |
| 30.00-30.20                                | 32.0                    | 46.5 | 21.5 |      | 24             | 16  | 8   |   |                   |                   |                | SC                                  |

Πίνακας 4.8: Δοκιμές κατάταξης, για τον προσδιορισμό των φυσικών παραμέτρων.

| ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ<br>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΑΣ Ι |                  |
|----------------------------------------------------------------|------------------|
| ΒΑΘΟΣ(m)                                                       | N <sub>SPT</sub> |
| ΓΝ-334                                                         |                  |
| 2.60-2.82                                                      | 50               |
| 5.40-5.53                                                      | 50               |
| 7.60-8.03                                                      | 50               |
| 10.30-10.57                                                    | 50               |
|                                                                |                  |
| Πλήθος                                                         | 4                |
| Max                                                            | 50               |
| Min                                                            | 50               |
| Μέσος                                                          | 50               |
| Απόκλιση                                                       | -                |
| ΓΝ-336                                                         |                  |
| 3.0-3.28                                                       | 50               |
| 5.20-5.57                                                      | 50               |
|                                                                |                  |
| Πλήθος                                                         | 2                |
| Max                                                            | 50               |
| Min                                                            | 50               |
| Μέσος                                                          | 50               |
| Απόκλιση                                                       | -                |
| ΓΝ-337                                                         |                  |
| 2.5-2.78                                                       | 50               |
| 5.90-6.16                                                      | 50               |
| 7.80-8.25                                                      | 64               |
|                                                                |                  |
| Πλήθος                                                         | 3                |
| Max                                                            | 64               |
| Min                                                            | 50               |
| Μέσος                                                          | 55               |
| Απόκλιση                                                       | 8.08             |
| ΓΝ-339                                                         |                  |
| 2.90-3.12                                                      | 50               |
| 13.60-13.72                                                    | 50               |
|                                                                |                  |
| Πλήθος                                                         | 2                |
| Max                                                            | 50               |
| Min                                                            | 50               |
| Μέσος                                                          | 50               |
| Απόκλιση                                                       | -                |
| ΓΝ-341                                                         |                  |

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 11.0-11.45                 | 44   |
| 14.70-15.15                | 35   |
| Πλήθος                     | 2    |
| Max                        | 44   |
| Min                        | 35   |
| Μέσος                      | 40   |
| Απόκλιση                   | 6,36 |
| ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ Ι |      |
| Πλήθος                     | 13   |
| Max                        | 64   |
| Min                        | 35   |
| Μέσος                      | 49.4 |
| Απόκλιση                   | 6.30 |

Πίνακας 4.9: Δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών Ενότητας Ι.

| ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ<br>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΙΙ |                  |
|-----------------------------------------------------------------|------------------|
| ΓΝ-334                                                          |                  |
| ΒΑΘΟΣ(m)                                                        | N <sub>SPT</sub> |
| 12.70-12.94                                                     | 50               |
| 14.80-15.08                                                     | 50               |
| 24.40-24.85                                                     | 50               |
| 26.70-26.97                                                     | 50               |
| 28.40-28.62                                                     | 50               |
| Πλήθος                                                          | 5                |
| Max                                                             | 50               |
| Min                                                             | 50               |
| Μέσος                                                           | 50               |
| Απόκλιση                                                        | -                |
| ΓΝ-336                                                          |                  |
| 8.30-8.56                                                       | 50               |
| 10.30-10.68                                                     | 50               |
| 12.90-13.17                                                     | 50               |
| 15.10-15.48                                                     | 50               |
| 18.0-18.29                                                      | 50               |
| 23.0-23.26                                                      | 50               |
| 25.50-25.71                                                     | 50               |
| 27.60-27.83                                                     | 50               |
| Πλήθος                                                          | 8                |
| Max                                                             | 50               |
| Min                                                             | 50               |



|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| Μέσος                       | 50    |
| Απόκλιση                    | -     |
| ΓΝ-337                      |       |
| 10.30-10.57                 | 50    |
| 12.50-12.74                 | 50    |
| 17.30-17.75                 | 38    |
| 25.30-25.57                 | 50    |
| 27.30-27.44                 | 50    |
|                             |       |
| Πλήθος                      | 5     |
| Max                         | 50    |
| Min                         | 38    |
| Μέσος                       | 47.6  |
| Απόκλιση                    | 5.36  |
| ΓΝ-339                      |       |
| 5.10-5.23                   | 50    |
| 10.70-10.84                 | 50    |
| 16.00-16.26                 | 50    |
| 20.8-20.93                  | 50    |
| 22.70-22.94                 | 50    |
| 25.00-25.24                 | 50    |
| 27.40-27.54                 | 50    |
|                             |       |
| Πλήθος                      | 7     |
| Max                         | 50    |
| Min                         | 50    |
| Μέσος                       | 50    |
| Απόκλιση                    | -     |
| ΓΝ-341                      |       |
| 2.9-3.12                    | 50    |
| 5.10-5.23                   | 50    |
| 7.80-8.04                   | 50    |
| 27.40-27.54                 | 50    |
|                             |       |
| Πλήθος                      | 4     |
| Max                         | 50    |
| Min                         | 50    |
| Μέσος                       | 50    |
| Απόκλιση                    | -     |
| ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ II |       |
| Πλήθος                      | 29    |
| Max                         | 50    |
| Min                         | 38    |
| Μέσος                       | 49,5  |
| Απόκλιση                    | 16.63 |

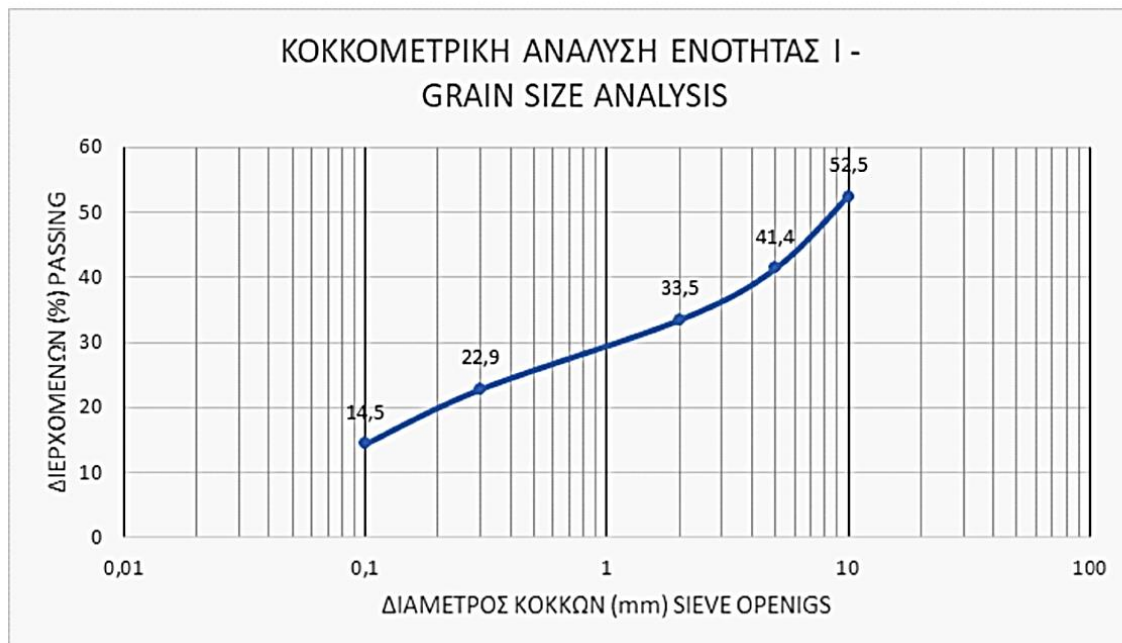
Πίνακας 4.10: Δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών για την Ενότητα II.

| ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΑΣ III |                  |                      |                         |                                                           |                               |      |                                |       |
|---------------------------------------------------------------|------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|------|--------------------------------|-------|
| ΓΝ-334                                                        |                  |                      |                         |                                                           |                               |      |                                |       |
| ΒΑΘΟΣ(m)                                                      | N <sub>SPT</sub> | q <sub>u</sub> (kPa) | Δοκιμή<br>Στερεοποίησης |                                                           | Δοκιμή<br>Άμεσης<br>Διάτμησης |      | Δοκιμή Τριαξονικής<br>Φόρτισης |       |
|                                                               |                  |                      | C <sub>c</sub>          | C <sub>v</sub> (x10 <sup>-4</sup><br>m <sup>2</sup> /min) | c(kPa)                        | φ(°) | c'(kPa)                        | φ'(°) |
| 18.30-18.60                                                   | -                | -                    | 0.153                   | 0.03                                                      | 4.9                           | 21.9 | -                              | -     |
| 21.50-21.95                                                   | 15               |                      |                         |                                                           |                               |      |                                |       |
| 28.40-28.62                                                   | 50               |                      |                         |                                                           |                               |      |                                |       |
|                                                               |                  |                      |                         |                                                           |                               |      |                                |       |
| Πλήθος                                                        | 2                | -                    | 1                       | 1                                                         | 1                             | 1    | -                              | -     |
| Max                                                           | 50               | -                    | 0.153                   | 0.03                                                      | 4.9                           | 21.9 | -                              | -     |
| Min                                                           | 15               | -                    | 0.153                   | 0.03                                                      | 4.9                           | 21.9 | -                              | -     |
| Μέσος                                                         | 32.5             | -                    | -                       | -                                                         | -                             | -    | -                              | -     |
| Απόκλιση                                                      | 24,74            | -                    | -                       | -                                                         | -                             | -    | -                              | -     |
| ΓΝ-336                                                        |                  |                      |                         |                                                           |                               |      |                                |       |
| ΒΑΘΟΣ(m)                                                      | N <sub>SPT</sub> | q <sub>u</sub> (kPa) | Δοκιμή<br>Στερεοποίησης |                                                           | Δοκιμή<br>Άμεσης<br>Διάτμησης |      | Δοκιμή Τριαξονικής<br>Φόρτισης |       |
|                                                               |                  |                      | C <sub>c</sub>          | C <sub>v</sub> (x10 <sup>-4</sup><br>m <sup>2</sup> /min) | c(kPa)                        | φ(°) | c'(kPa)                        | φ'(°) |
| 18.00-18.29                                                   | 50               | -                    | -                       | -                                                         | -                             | -    | -                              | -     |
| 20.30-20.75                                                   | 15               | -                    | -                       | -                                                         | -                             | -    | -                              | -     |
|                                                               |                  |                      |                         |                                                           |                               |      |                                |       |
| Πλήθος                                                        | 2                | -                    | -                       | -                                                         | -                             | -    | -                              | -     |
| Max                                                           | 50               | -                    | -                       | -                                                         | -                             | -    | -                              | -     |
| Min                                                           | 15               | -                    | -                       | -                                                         | -                             | -    | -                              | -     |
| Μέσος                                                         | 32.5             | -                    | -                       | -                                                         | -                             | -    | -                              | -     |
| Απόκλιση                                                      | 24.74            | -                    | -                       | -                                                         | -                             | -    | -                              | -     |
| ΓΝ-337                                                        |                  |                      |                         |                                                           |                               |      |                                |       |
| ΒΑΘΟΣ(m)                                                      | N <sub>SPT</sub> | q <sub>u</sub> (kPa) | Δοκιμή<br>Στερεοποίησης |                                                           | Δοκιμή<br>Άμεσης<br>Διάτμησης |      | Δοκιμή Τριαξονικής<br>Φόρτισης |       |
|                                                               |                  |                      | C <sub>c</sub>          | C <sub>v</sub> (x10 <sup>-4</sup><br>m <sup>2</sup> /min) | c(kPa)                        | φ(°) | c'(kPa)                        | φ'(°) |
| 13.90-14.60                                                   | -                | -                    | 0.154                   | 0.01                                                      | -                             | -    | 4.70                           | 32.9  |
| 14.60-15.05                                                   | 37               | -                    | -                       | -                                                         | -                             | -    | -                              | -     |
| 20.20-20.65                                                   | 16               |                      |                         |                                                           |                               |      |                                |       |
| 22.40-22.85                                                   | 25               |                      |                         |                                                           |                               |      |                                |       |
|                                                               |                  |                      |                         |                                                           |                               |      |                                |       |
| Πλήθος                                                        | 3                | -                    | 1                       | 1                                                         | -                             | -    | 1                              | 1     |
| Max                                                           | 37               | -                    | 0.154                   | 0.01                                                      | -                             | -    | 4.70                           | 32.9  |
| Min                                                           | 16               | -                    | 0.154                   | 0.01                                                      | -                             | -    | 4.70                           | 32.9  |

| Μέσος                        | 26               | -                    | -                    | -                                                      | -                       | -     | -                           | -     |
|------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| Απόκλιση                     | 10.53            | -                    | -                    | -                                                      | -                       | -     | -                           | -     |
| ΓΝ-339                       |                  |                      |                      |                                                        |                         |       |                             |       |
| ΒΑΘΟΣ(m)                     | N <sub>SPT</sub> | q <sub>u</sub> (kPa) | Δοκιμή Στερεοποίησης |                                                        | Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης |       | Δοκιμή Τριαξονικής Φόρτισης |       |
|                              |                  |                      | C <sub>c</sub>       | C <sub>v</sub> (x10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /min) | c(kPa)                  | φ(°)  | c'(kPa)                     | φ'(°) |
| 18.30-18.75                  | 8                | -                    | -                    | -                                                      | -                       | -     | -                           | -     |
| 20.80-20.93                  | 50               | -                    | -                    | -                                                      | -                       | -     | -                           | -     |
|                              |                  |                      |                      |                                                        |                         |       |                             |       |
| Πλήθος                       | 2                | -                    | -                    | -                                                      | -                       | -     | -                           | -     |
| Max                          | 50               | -                    | -                    | -                                                      | -                       | -     | -                           | -     |
| Min                          | 8                | -                    | -                    | -                                                      | -                       | -     | -                           | -     |
| Μέσος                        | 29               | -                    | -                    | -                                                      | -                       | -     | -                           | -     |
| Απόκλιση                     | 29.69            | -                    | -                    | -                                                      | -                       | -     | -                           | -     |
| ΓΝ-341                       |                  |                      |                      |                                                        |                         |       |                             |       |
| ΒΑΘΟΣ(m)                     | N <sub>SPT</sub> | q <sub>u</sub> (kPa) | Δοκιμή Στερεοποίησης |                                                        | Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης |       | Δοκιμή Τριαξονικής Φόρτισης |       |
|                              |                  |                      | C <sub>c</sub>       | C <sub>v</sub> (x10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /min) | c(kPa)                  | φ(°)  | c'(kPa)                     | φ'(°) |
| 17.0-17.30                   | -                | -                    | -                    | -                                                      | 40.7                    | 26.4  | -                           | -     |
| 17.50-17.95                  | 31               | -                    | -                    | -                                                      | -                       | -     | -                           | -     |
| 20.70-21.15                  | 15               | -                    | -                    | -                                                      | -                       | -     | -                           | -     |
| 21.60-21.80                  | -                | -                    | -                    | -                                                      | 40.8                    | 48.7  | -                           | -     |
| 23.80-24.21                  | 50               | -                    | -                    | -                                                      | -                       | -     | -                           | -     |
|                              |                  |                      |                      |                                                        |                         |       |                             |       |
| Πλήθος                       | 3                | -                    | -                    | -                                                      | 2                       | 2     | -                           | -     |
| Max                          | 50               | -                    | -                    | -                                                      | 40.8                    | 48.7  | -                           | -     |
| Min                          | 15               | -                    | -                    | -                                                      | 40.7                    | 26.4  | -                           | -     |
| Μέσος                        | 32               | -                    | -                    | -                                                      | 40.75                   | 37.55 | -                           | -     |
| Απόκλιση                     | 17.52            | -                    | -                    | -                                                      | 0.07                    | 15.76 | -                           | -     |
| ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ ΙΙΙ |                  |                      |                      |                                                        |                         |       |                             |       |
| Πλήθος                       | 12               | -                    | 2                    | 2                                                      | 3                       | 3     | -                           | -     |
| Max                          | 50               | -                    | 0,154                | 0.03                                                   | 40.8                    | 48.7  | -                           | -     |
| Min                          | 8                | -                    | 0,153                | 0.01                                                   | 4.9                     | 21.9  | -                           | -     |
| Μέσος                        | 30.1             | -                    | 0,1535               | 0.025                                                  | 28.8                    | 32.3  | -                           | -     |
| Απόκλιση                     | 16.59            |                      | 0.0007               | 0.015                                                  | 20.52                   | 14.35 |                             |       |

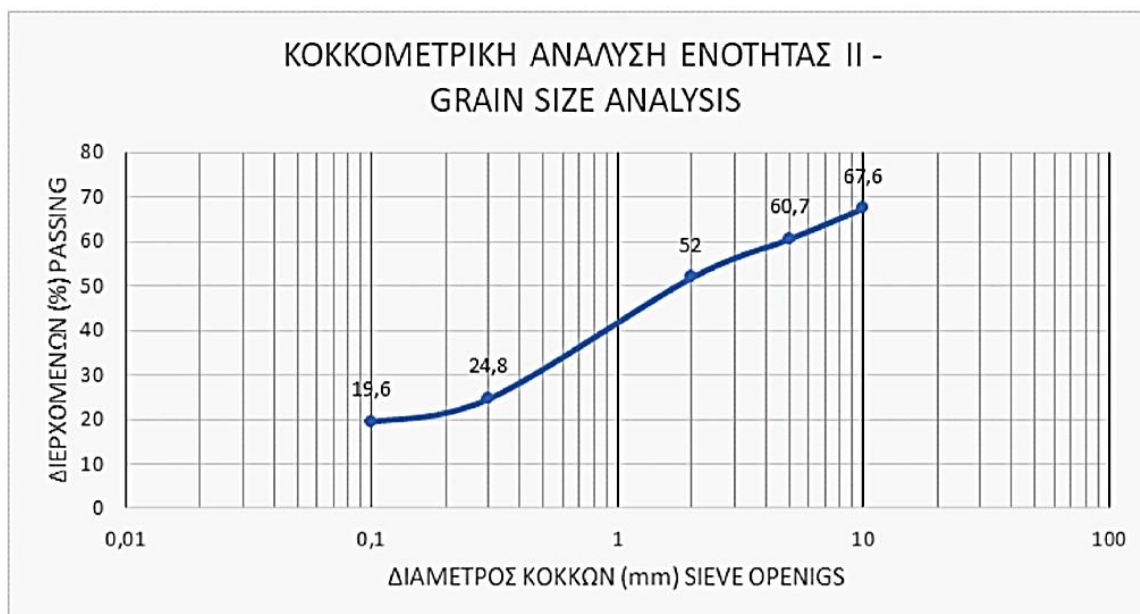
Πίνακας 4.11: Δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών της Ενότητας ΙΙΙ.

Στα Γραφήματα που ακολουθούν δίνονται για τις Ενότητες Ι, ΙΙ και ΙΙΙ η μεταβολή των ορίων Atterberg με το βάθος.



| CLAY | SILT | SAND |        |        | GRAVEL |        | GOBBLES |
|------|------|------|--------|--------|--------|--------|---------|
|      |      | FINE | MEDIUM | COARSE | FINE   | COARSE |         |

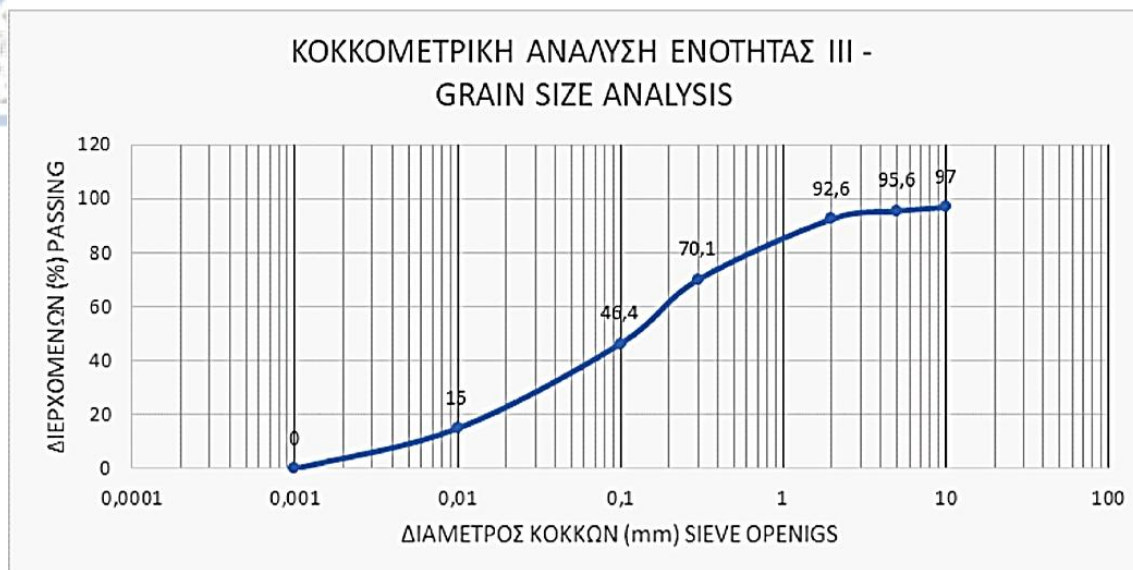
Γράφημα 4.2: Κοκκομετρική ανάλυση Ενότητας Ι.



| CLAY | SILT | SAND |        |        | GRAVEL |        | GOBBLES |
|------|------|------|--------|--------|--------|--------|---------|
|      |      | FINE | MEDIUM | COARSE | FINE   | COARSE |         |

Γράφημα 4.3: Κοκκομετρική ανάλυση Ενότητας ΙΙ.

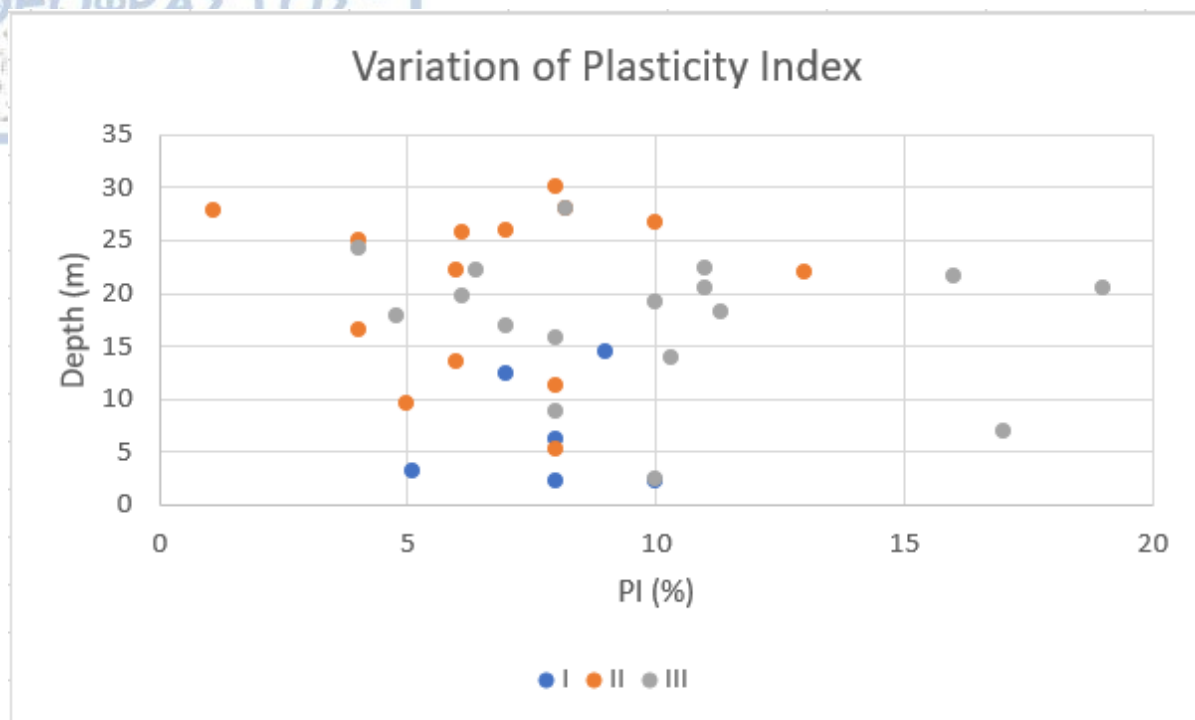




| CLAY | SILT | SAND |        |        | GRAVEL |        | GOBBLES |
|------|------|------|--------|--------|--------|--------|---------|
|      |      | FINE | MEDIUM | COARSE | FINE   | COARSE |         |

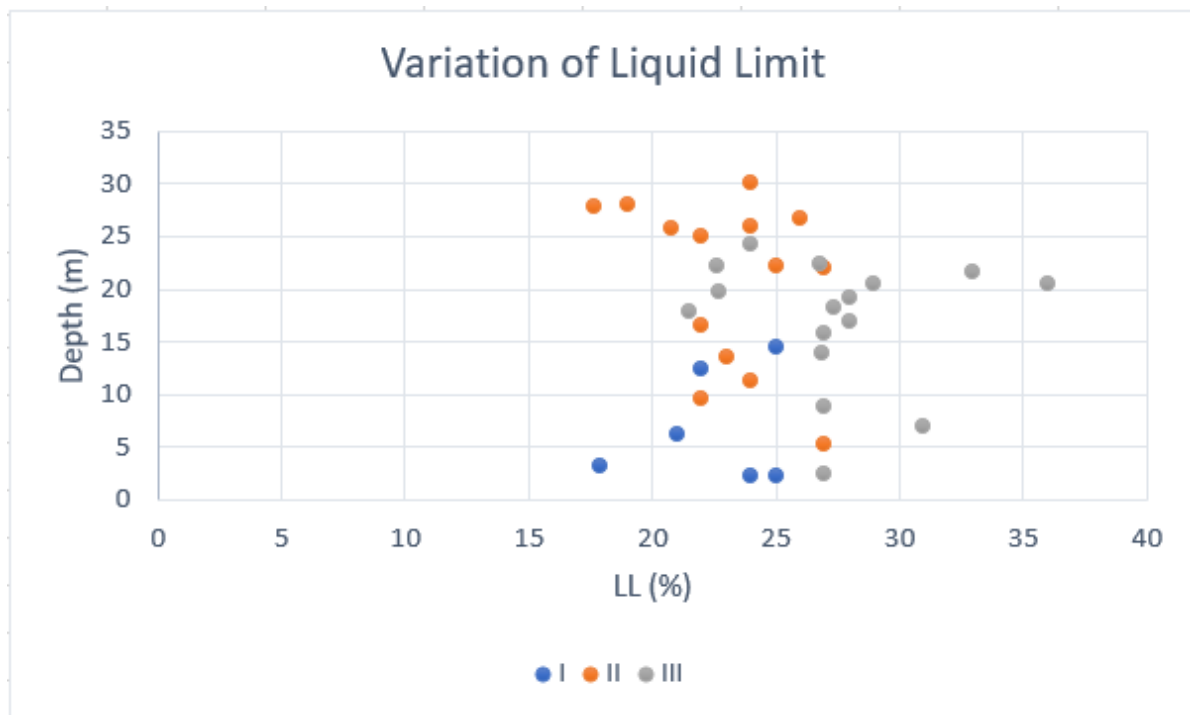
Γράφημα 4.4: Κοκκομετρική ανάλυση Ενότητας III.

Από τις κοκκομετρικές αναλύσεις και των 3 ενότητων, με βάσει την κλίση της κοκκομετρικής καμπύλης μεταξύ των διαμέτρων  $d_{60}$  και  $d_{10}$  των κόκκων σε ποσοστά διερχόμενων αντίστοιχα 60% και 10% του βάρους πάνω στην κοκκομετρική καμπύλη, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι το έδαφος χαρακτηρίζεται ως ανομοιόμορφο, κάτι που είναι λογικό αφού μιλάμε για Τεταρτογενή υλικά και πιο συγκεκριμένα για άμμους, ιλύς και χάλικες. Παρόλα αυτά, από τα γραφήματα των κοκκομετρικών αναλύσεων I και II, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το έδαφος έχει κακή διαβάθμιση, καθώς στερείται κόκκων με διαμέτρους που να καλύπτουν μεγάλο εύρος. Το τμήμα των κόκκων που απουσιάζει ανήκει στην κατηγορία της ιλύς και της αργίλου, πράγμα που σημαίνει ότι οι ενότητες αυτές θα παρουσιάζουν μικρή πλαστικότητα. Σε αντίθεση με τις ενότητες I και II, η ενότητα III με βάση τη μορφή της καμπύλης παρουσιάζει έδαφος καλά διαβαθμισμένο που αυτό σημαίνει ότι οι λεπτοί κόκκοι εισχωρούν στα κενά μεταξύ των μεγαλύτερων κόκκων με αποτέλεσμα το έδαφος να έχει αντοχή στη διάβρωση, να μπορεί να συμπυκνώνεται καλά, να παρουσιάζει μεγάλη αντοχή και να παραμορφώνεται λίγο.



Γράφημα 4.5: Μεταβολή δείκτη πλαστικότητας- PI σε σχέση με το βάθος.

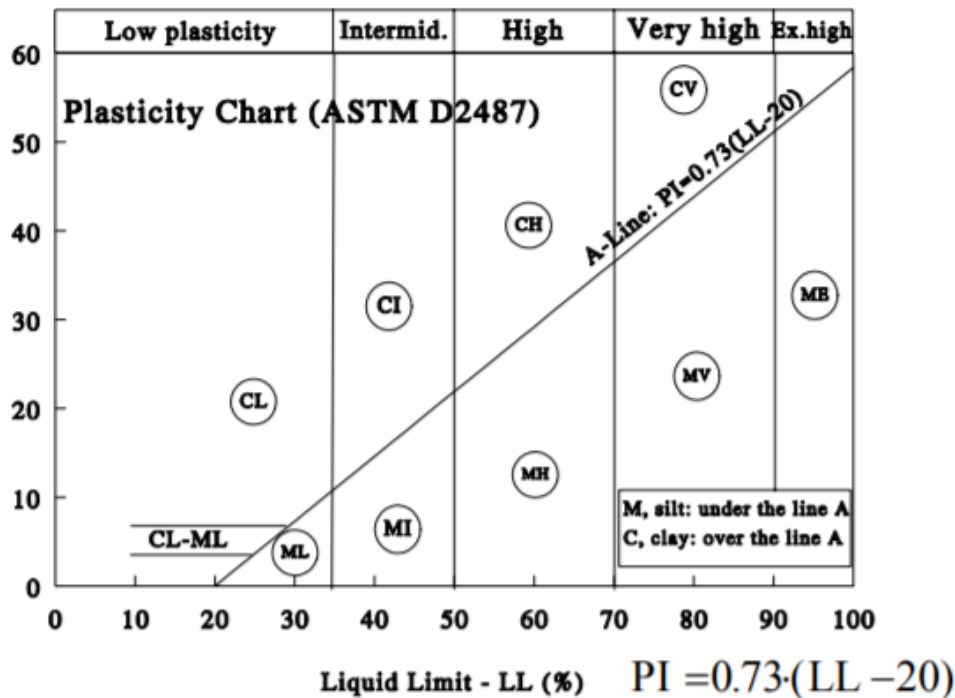
Όπως φαίνεται στο Γράφημα 4.5 ο δείκτης πλαστικότητας της ενότητας I είναι μεγαλύτερος αυτού της II, παρόλο που αυτός μπορεί να ξεπερνάει σε ορισμένα βάθη τον δείκτη πλαστικότητας της ενότητας I. Και στις δύο ενότητες όμως ο δείκτης πλαστικότητας είναι μικρός καθώς δεν έχουμε την παρουσία λεπτόκοκκων υλικών. Η Ενότητα III παρουσιάζει εύλογα υψηλότερο δείκτη πλαστικότητας από τις δύο προηγούμενες ενότητες, καθώς έχουμε την παρουσία αργιλικού υλικού, άρα συγκρατείται μεγαλύτερη ποσότητα νερού και συνεπώς έχουμε μεγαλύτερες μεταβολές όγκου, από τις άλλες ενότητες.



Γράφημα 4.6: Μεταβολή ορίου υδαρότητας- LL σε σχέση με το βάθος.

Όπως φαίνεται στο Γράφημά 4.6, η Ενότητα III παρουσιάζει όριο υδαρότητας μεγαλύτερο από το όριο ( $LL=27\%$ ) μεταξύ χαμηλής και μέσης πλαστικότητας, σε αντίθεση με τις I και II ενότητες οι οποίες είναι χαμηλής πλαστικότητας.

Από το Γράφημα 4.6 σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του γραφήματος 4.5 φαίνεται ότι το ποσοστό των συνεκτικών εδαφών και των 3 ενότητων με βάσει το σχήμα (4.1) ανήκουν στην κατηγορία CL ή ML, όπου χαρακτηρίζονται ως αργιλοαμμώδης ιλύς χαμηλής πλαστικότητας .



Σχήμα 4.1 : Διάγραμμα κατάταξης λεπτόκοκκων εδαφών κατά Casagrande.(Χρηστάρας,2011)

#### 4.4 Τεχνικογεωλογικές Ενότητες

Στην ενότητα αυτή επιχειρείται να οριστούν οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που εντοπίζονται στην περιοχή του άξονα του τεχνικού έργου cover-and-cut. Ο διαχωρισμός των ενότητων γίνεται με βάσει την λιθολογία, τα μηχανικά χαρακτηριστικά και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που συστήνουν την περιοχή τεχνικού έργου Cover-and-Cut.

Για τη διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών στην περιοχή του Cover & Cut Αγ. Βασιλείου, πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις ΓΝ-334, ΓΝ-336, ΓΝ-337, ΓΝ-339 και ΓΝ-341.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών η στρωματογραφία του υπεδάφους στην περιοχή του εν λόγω τεχνικού αποτελείται από εδαφικούς σχηματισμούς. Πιο συγκεκριμένα το τεχνικογεωλογικό προφίλ περιλαμβάνει αργίλους και αμμοχάλικα που αποτελούν πρόσφατες αποθέσεις. Η στρωματογραφία της περιοχής στο βάθος που θα επηρεάσει το τεχνικό έργο μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις τεχνικογεωλογικές ενότητες ως ακολούθως:

| Τ. Ενότητα     | Γεωλικά                                                          | Χαρακτηριστικά                                                                                                                                                                                                       |
|----------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Τ. Ενότητα I   | Ιλυώδες –αργιλώδες αμμοχάλικο με τεμάχη                          | Η Τεχνικογεωλογική ενότητα I αποτελείται από Ιλυώδες-αργιλώδες αμμοχάλικο (GP-GC) και τεμάχη πυκνής απόθεσης, ποικίλου χρώματος και πετρογραφικής σύστασης.                                                          |
| Τ. Ενότητα II  | Ιλυώδης – αργιλώδης άμμος, πολύ πυκνής απόθεσης, με χάλικες      | Η Τεχνικογεωλογική ενότητα II αποτελείται από μεσόκοκκη έως χονδρόκοκκη ιλυώδη-αργιλώδη άμμο (SC-SM) πολύ πυκνής απόθεσης, με χάλικες, ποικίλου χρώματος και πετρογραφικής σύστασης.                                 |
| Τ. Ενότητα III | Αμμόδης αργιλοΐλυσ έως αργιλώδης αμμοΐλυσ με κατά θέσεις χάλικες | Η Τεχνικογεωλογική ενότητα III αποτελείται από κυανοπράσινη μέχρι καστανή αμμόδης αργιλοΐλ (ML) πολύ πυκνής απόθεσης, μέτρια στιφρή έως στιφρή και χαμηλής πλαστικότητας και αργιλώδη αμμοΐλ (CL), μέσης πυκνότητας. |

Πίνακας 4.12: Χαρακτηριστικά Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων

Επισημαίνεται ότι στο τμήμα Αγ.Βασιλείου δεν εντοπίστηκε Ενότητα Τεχνητών Επιχώσεων.

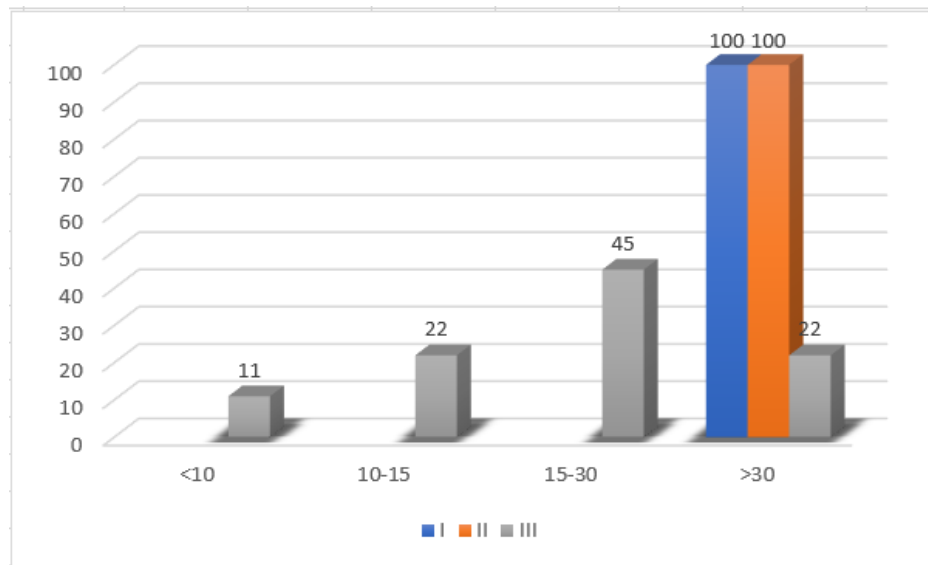
Αναφορικά με τις συνθήκες των υπόγειων υδάτων, μετρήθηκαν επί τόπου υψηλοί συντελεστές διαπερατότητας στους σχηματισμούς της Τ. Ενότητας II και III, ενώ όσον αφορά στην στάθμη του υπόγειου νερού, αυτή εντοπίζεται κατά μέσο όρο στα 12,7 m.

| ΓΕΩΤΡΗΣΗ | ΒΑΘΟΣ (m) ΑΝΑ ΕΝΟΤΗΤΑ |                                               |                                                |
|----------|-----------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
|          | I                     | II                                            | III                                            |
| ΓΝ-334   | 0,2-12,0              | 12,0-15,5<br>19,6-21,2<br>24,1-28,6           | 0,0-0,2<br>15,5-19,6<br>21,2-24,1<br>28,6-30,4 |
| ΓΝ-336   | 1,5-7,1               | 7,1-18,4<br>21,0-30,8                         | 0,0-1,5<br>18,4-21,0                           |
| ΓΝ-337   | 0,0-10,3              | 10,3-13,2<br>15,0-18,5<br>23,5-30,4           | 13,2-15,0<br>18,5-23,5                         |
| ΓΝ-339   | 1,0-4,5<br>12,5-15,5  | 4,5-8,2<br>9,6-12,5<br>15,5-17,4<br>20,8-30,0 | 0,0-1,0<br>8,2-9,6<br>17,4-20,8                |
| ΓΝ-341   | 10,0-15,0             | 2,6-6,4<br>7,8-10,0<br>26,1-30,2              | 0,0-2,6<br>6,4-7,8<br>15,0-26,1                |



Πίνακας 4.13: Βάθη εμφάνισης τεχνικογεωλογικών ενοτήτων ανά γεώτρηση

Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών πρότυπης διείδυσης (S.P.T) που πραγματοποιήθηκαν η διακύμανση των τιμών  $N_{SPT}$  με βάση την κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα που αναγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.2.1 συνοψίζεται στο παρακάτω Γράφημα 4.7.



Γράφημα 4.7: Με I,II,III χαρακτηρίζονται οι 3 Τεχνικογεωλογικές ενότητες.

Όπου με βάσει το παραπάνω Γράφημα ,εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα για κάθε μία εκ των Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων I, II και III:

#### Τ.Ενότητα I:

- Το 100% των υλικών που εμφανίζονται χαρακτηρίζονται ως “πυκνής απόθεσης υλικά”

#### Τ.Ενότητα II:

- Το 100% των υλικών που εμφανίζονται χαρακτηρίζονται ως “πολύ πυκνής απόθεσης υλικά”

#### Τ.Ενότητα III:

- Το 11% των υλικών που εμφανίζονται χαρακτηρίζονται ως “ μέσης στιφρής έως στιφρής απόθεσης”
- Το 22% των υλικών που εμφανίζονται χαρακτηρίζονται ως “ στιφρής απόθεσης”
- Το 45% των υλικών που εμφανίζονται χαρακτηρίζονται ως “στιφρής έως πολύ στιφρής απόθεσης”
- Το 22% των υλικών που εμφανίζονται χαρακτηρίζονται ως “ πολύ στιφρής έως σκληρής απόθεσης”

Σύμφωνα με τις δοκιμές Maag και Lugeon που πραγματοποιήθηκαν, στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα (Πίν. 4.14):

| ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ | ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K(cm/sec)                                                                                                                                                           | ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (ΜΕΣΗ) K(cm/sec) |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| I                        | $2.7 \times 10^{-3}$                                                                                                                                                                                           | $2.7 \times 10^{-3}$              |
| II                       | $6.8 \times 10^{-4}$ , $1.46 \times 10^{-3}$ , $1.8 \times 10^{-3}$ , $8.6 \times 10^{-4}$ , $2.14 \times 10^{-3}$ , $3.9 \times 10^{-4}$ , $1.6 \times 10^{-3}$ , $2.3 \times 10^{-4}$ , $7.1 \times 10^{-4}$ | $1.09 \times 10^{-3}$             |
| III                      | $6.46 \times 10^{-4}$ , $7.6 \times 10^{-5}$ , $1.66 \times 10^{-3}$ , $3.7 \times 10^{-4}$                                                                                                                    | $6.88 \times 10^{-4}$             |

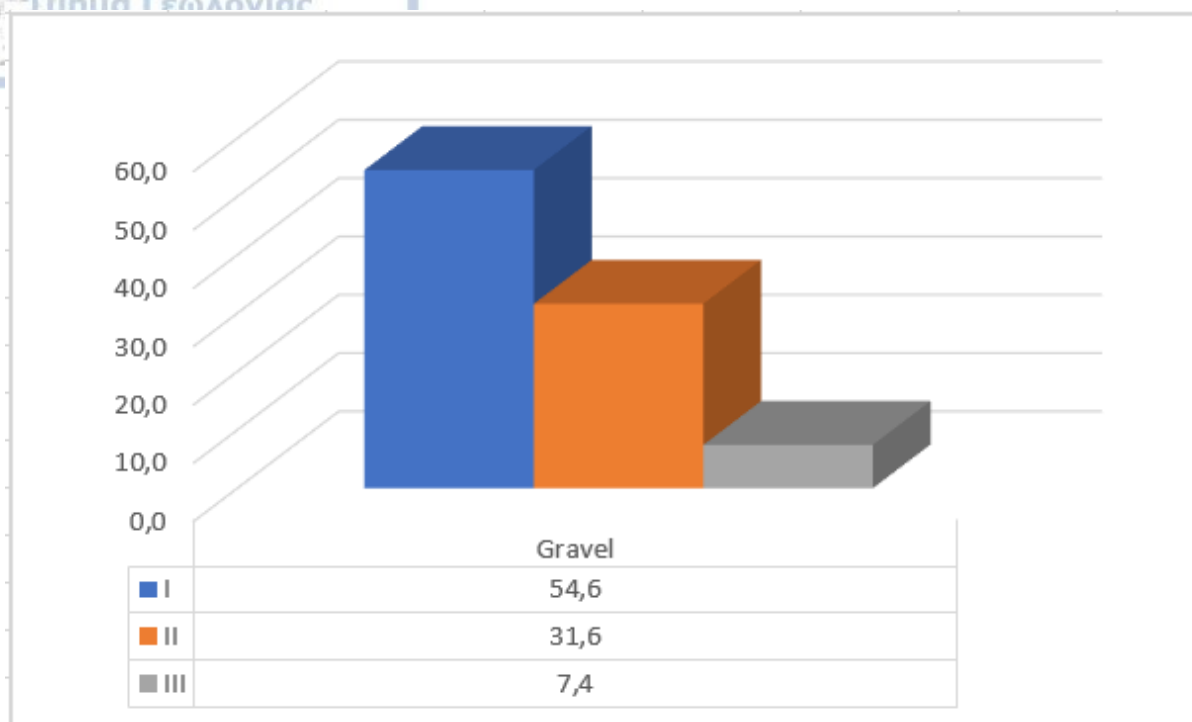
Πίνακας 4.14: Τιμές οριζόντιου συντελεστή διαπερατότητας k (cm/sec)

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα των Πινάκων (4.4, 4.6, 4.14) είναι τα εξής:

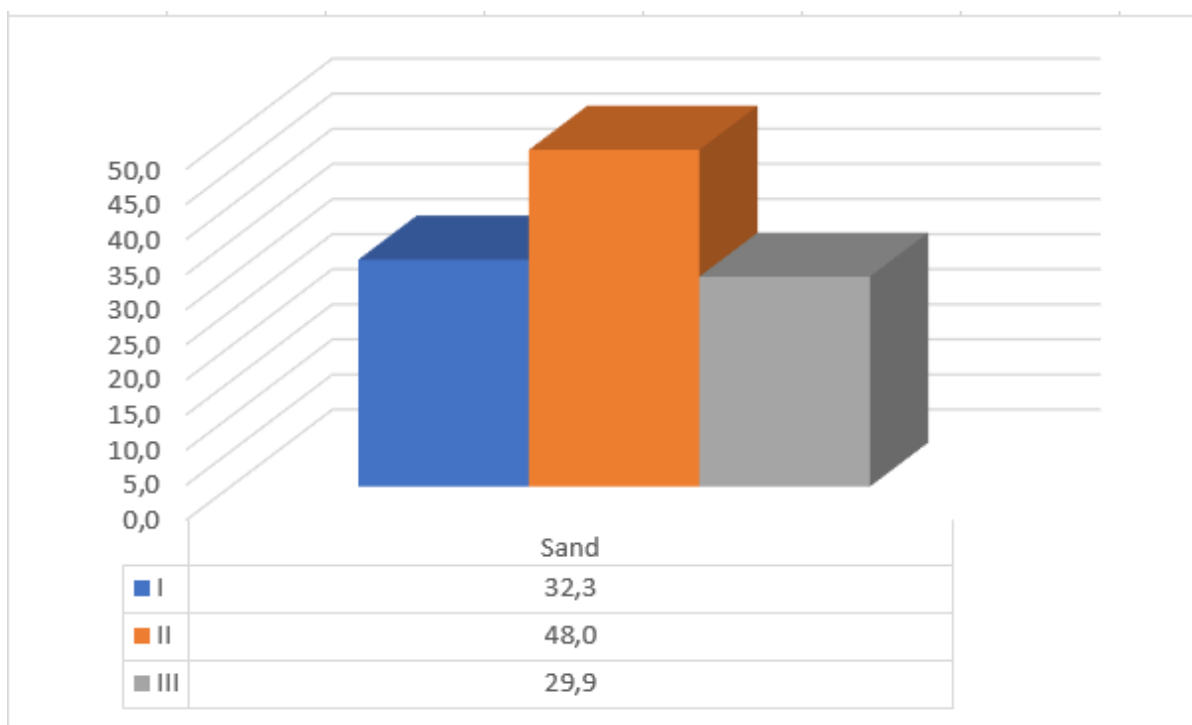
- Ο συντελεστής διαπερατότητας της Ενότητας III είναι κατά μία τάξη μεγέθους χαμηλότερος από αυτούς των Ενότητων I και II, το οποίο οφείλεται τόσο στο αυξημένο ποσοστό λεπτοκόκκων που παρουσιάζει όσο και στο βαθμό στερεοποίησης των σχηματισμών της που μειώνουν το πρωτογενές πορώδες. Όσον αφορά τις Ενότητες I και II, η δεύτερη εύλογα παρουσιάζει κατά περίπου μισή τάξη μεγέθους χαμηλότερο συντελεστή διαπερατότητας από την πρώτη, καθώς το ποσοστό λεπτοκόκκων της βρίσκεται περί το 42,8% έναντι του μόλις 17% της ενότητας I.
- Συμπερασματικά, και οι τρεις Τεχνικογεωλογικές Ενότητες I, II και III, εντός των οποίων θα κατασκευαστεί το Cover and Cut του Αγίου Βασιλείου, χαρακτηρίζονται ως “υδροδιαπερατοί” βάσει των συντελεστών που προσδιορίστηκαν. Σύμφωνα με τον Πίνακα Casagrande, αλλά και το υψηλό ποσοστό αργλικού κλάσματος (~32%) που παρουσιάζει η Ενότητα III εκτιμάται ότι κατά τόπους μπορεί να υπάρχουν και ως “αδιαπέρατα” τμήματα.

Από τις εργαστηριακές δοκιμές που διεξάχθηκαν και πιο συγκεκριμένα την κοκκομετρική ανάλυση, παρουσιάζονται στην συνέχεια τα ποσοστά της άμμου, των χαλικιών και της αργίλου για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα. Όπως παρατηρείται από τα γραφήματα, στην Τ.Ε I το μεγαλύτερο ποσοστό το κατέχουν τα χαλίκια, το οποίο έρχεται σε συμφωνία με τον συντελεστή διαπερατότητας της ενότητας αυτής, που είναι αρκετά υψηλός. Στο γράφημα 4.9 παρατηρείται πως η Τ.Ε. II περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό άμμου, με την Τ.Ε. I να έχει σειρά, ενώ στο γράφημα 4.10 παρατηρείται πως η Τ.Ε. III έχει με διαφορά το μεγαλύτερο ποσοστό ιλύς σε σχέση με τις άλλες Τεχνικογεωλογικές ενότητες, το οποίο επίσης έρχεται σε συμφωνία με τον συντελεστή διαπερατότητας που είναι κατά μία τάξη μικρότερος από τον συντελεστή διαπερατότητας των υπολοίπων Τεχνικογεωλογικών ενότητων.

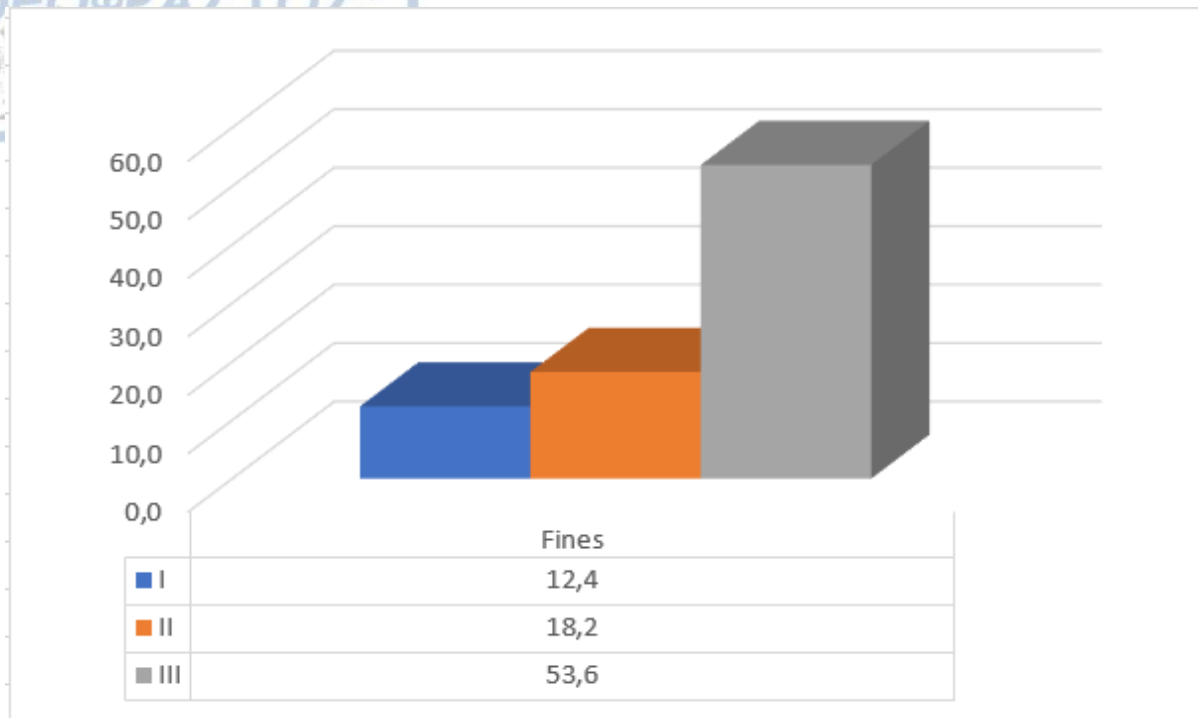
Γραφήματα 4.8,4.9,4.10 : Κοκκομετρική ανάλυση Τεχνικογεωλογικών ενότητων I, II, III.



Γράφημα 4.8: Ποσοστά χαλικιών στις Ενότητες I, II, III.



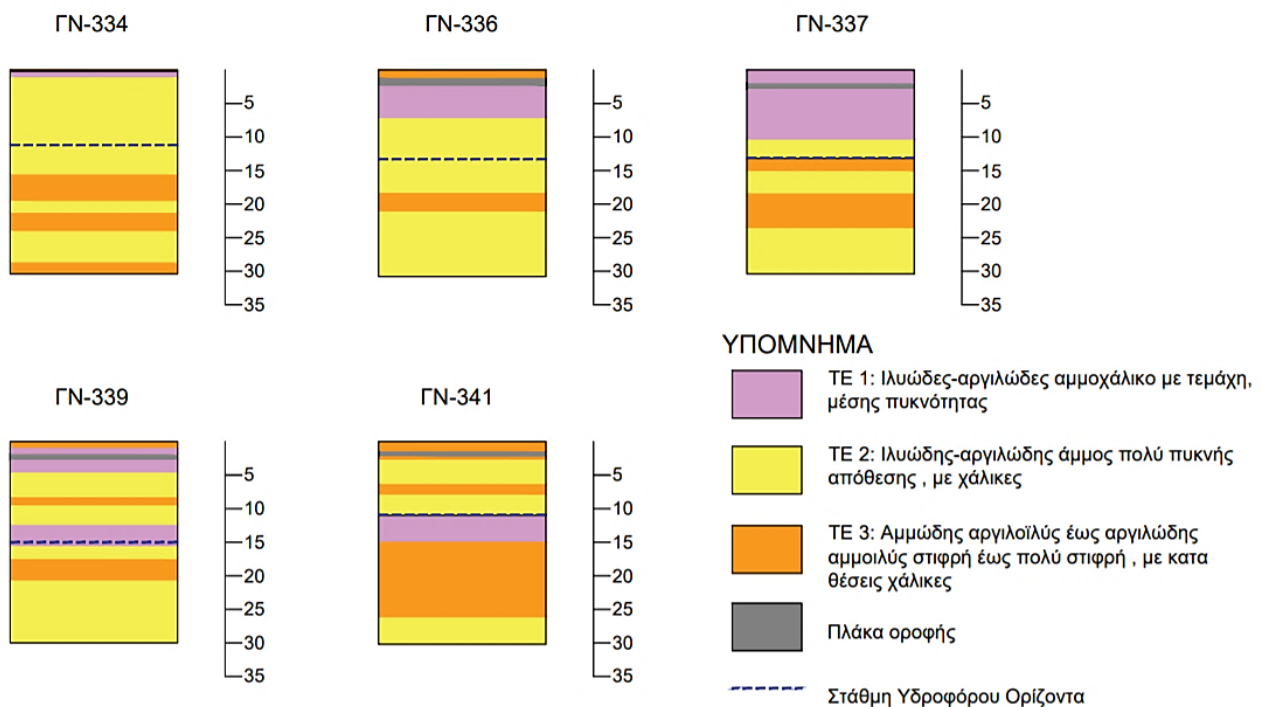
Γράφημα 4.9: Ποσοστά άμμου στις Ενότητες I, II, III.



Γράφημα 4.10: Ποσοστά ιλύων στις Ενότητες I, II, III.

Με βάσει τα αναλυτικά φύλλα των ερευνητικών γεωτρήσεων σχεδιάζονται οι τεχνικογεωλογικές διατομές (τομή 4.3) και η τεχνικογεωλογική τομή, με τα μηχανικά χαρακτηριστικά του κάθε σχηματισμού να αναγράφονται αναλυτικά στο υπόμνημα (τομή 4.4).

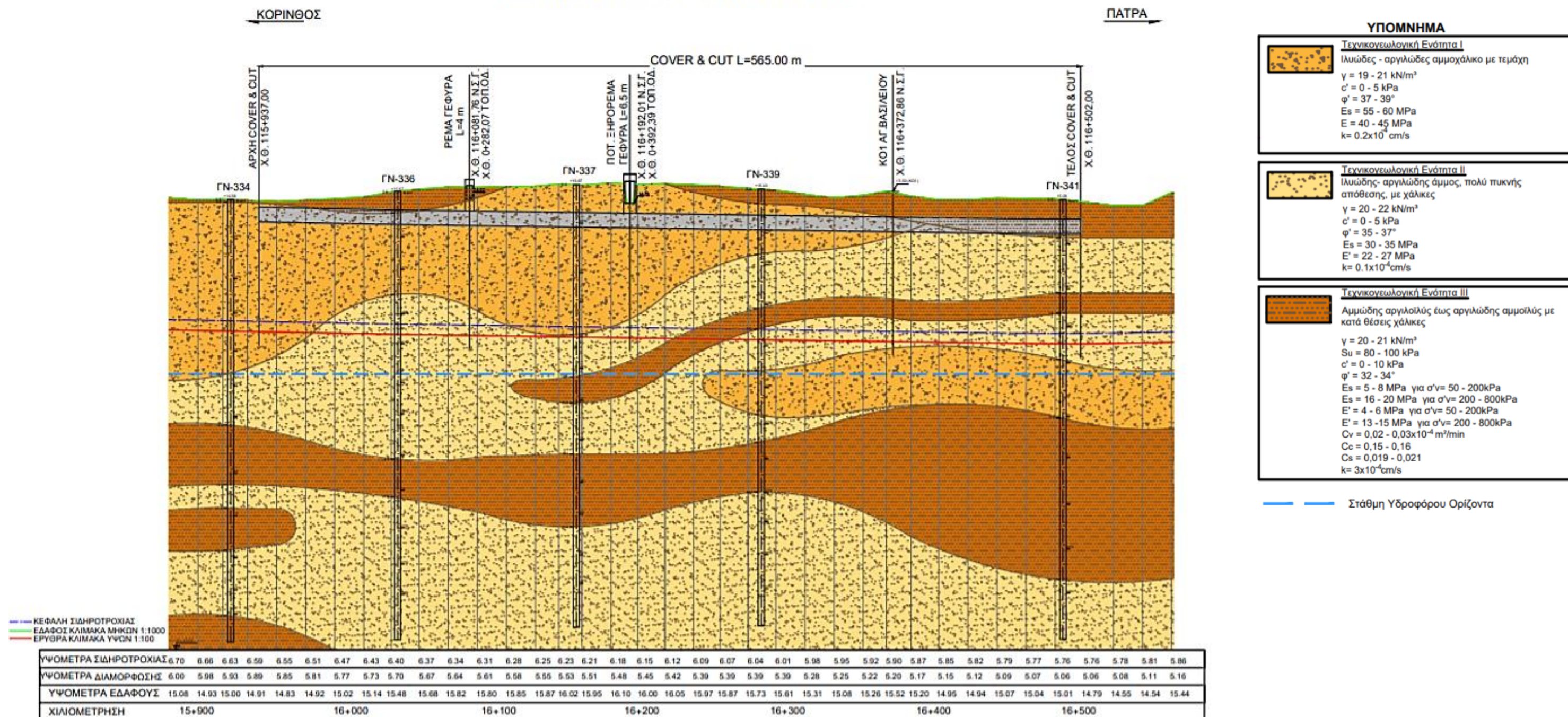
## ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ



Τομή 4.3: Τεχνικογεωλογικές διατομές της περιοχής έδρασης του Cover-and-Cut.



# ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ



Τομή 4.4: Τεχνικογεωλογική τομή της περιοχής έδρασης του έργου. (τροποποιημένη από μελέτη)



Το υλικό της Τ. Ενότητας Ι αποτελείται από ιλυώδης - αργιλώδης χάλικες και τεμάχη, ποικίλου χρώματος και πετρογραφικής σύστασης, πυκνής έως πολύ πυκνής απόθεσης. Στην Ενότητα αυτή, έχουμε την παρουσία Τεταρτογενών αποθέσεων, οι οποίες φτάνουν μέχρι το βάθος των 15,5 m. Πιο συγκεκριμένα οι ιλυώδης- αργιλώδης χάλικες εμφανίζονται και στις 5 γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Στη γεώτρηση ΓΝ-334 λαμβάνουν χώρα από το βάθος των 0,2 m μέχρι το βάθος των 12 m, στη γεώτρηση ΓΝ-336 από το βάθος των 1,5 m μέχρι τα 7,1 m, στην ΓΝ-337 από την επιφάνεια μέχρι τα 10,3 m, στην ΓΝ-339 από το 1 m μέχρι τα 4,5 m και από τα 12,5 m μέχρι τα 15,5 m και τέλος στην ΓΝ-341 που βρίσκεται από τα 10 m μέχρι τα 15 m. Οι ιλυώδης- αργιλώδης χάλικες λαμβάνουν χώρα στο τμήμα από την χιλιομετρική θέση 15+880 μέχρι τη θέση 16+400, καθώς και 16+240 μέχρι την θέση 16+560. Τα πάχη της ενότητας αυτής κυμαίνονται από 3 μέχρι 11,8 m. Οι τιμές SPT είναι υψηλές και οι περισσότερες είναι αρνητικές καθώς η δοκιμή Terzaghi βρίσκει αρκετές κροκάλες. Η περατότητα των σχηματισμών είναι μεγάλη καθώς αναπτύσσονται άμμοι και χάλικες.

#### 4.5.2 Φυσικά χαρακτηριστικά ενότητας

Στον παρακάτω πίνακα 4.15 παρουσιάζονται τα φυσικά χαρακτηριστικά της ενότητας όπως προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα που ανήκουν στη Τεχνικογεωλογική ενότητα Ι.

| Φυσικά χαρακτηριστικά          | Διακύμανση τιμής |      | Πλήθος τιμών | Μέση τιμή | Τυπική απόκλιση |
|--------------------------------|------------------|------|--------------|-----------|-----------------|
|                                | Min              | Max  |              |           |                 |
| Όριο Υδαρότητας (LL) [%]       | 18               | 25   | 6            | 22        | 2,77            |
| Όριο πλαστικότητας (PL) [%]    | 13               | 17   | 6            | 15        | 1,65            |
| Δείκτης Πλαστικότητας (PI) [%] | 5                | 10   | 6            | 8         | 1,69            |
| Ποσοστό Χαλικιών (G) [%]       | 44,4             | 72,0 | 10           | 54,6      | 7,67            |
| Ποσοστό Άμμου (S) [%]          | 18,1             | 38,6 | 10           | 32,4      | 6,57            |
| Ποσοστό Ιλύος (M) [%]          | 7,5              | 7,5  | 1            | 7,5       | -               |
| Ποσοστό Αργίλου (C) [%]        | 7,0              | 7,0  | 1            | 7,0       | -               |
| Ποσοστό Λεπτόκοκκων (F) [%]    | 8,9              | 17   | 10           | 13,1      | 2,86            |
| Ειδικό Βάρος Στερεών (Gs) [-]  | 2,68             | 2,68 | 1            | 2,68      | -               |

Πίνακας 4.15: Φυσικά χαρακτηριστικά τεχνικογεωλογικής ενότητας Ι

Το υλικό κατατάσσεται κατά USCS ως GP-GC και GC - GM, χάλικες πτωχής διαβάθμισης με αργιλοίλυ και άμμο, ιλυώδης –αργιλώδης χάλικες με άμμο.

#### 4.5.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά ενότητας

Επειδή η λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων μη συνεκτικού εδάφους είναι εξαιρετικά δύσκολη, έχουν γίνει πολλές προσπάθειες να καθοριστούν οι παράμετροι του εδάφους με δοκιμές επί τόπου. Από τις διάφορες αυτές μεθόδους διακρίνεται η πρότυπη δοκιμή διείδυσης (S.P.T.). Αυτή η δοκιμή εφαρμόζεται τόσο σε συνεκτικά εδάφη ( $\phi - c$ ) όσο και σε μη συνεκτικά εδάφη.

Εξαιτίας της φύσεως του υλικού δεν κατέστη δυνατή η εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών μηχανικής αντοχής. Για τον υπολογισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών εκτελέστηκαν δώδεκα συνολικά επί τόπου δοκιμές τυποποιημένης διείδυσης, από τις οποίες οι έντεκα έδωσαν άρνηση. Καθώς οι πληροφορίες που δίνονται από την άρνηση είναι ασαφείς εκτιμάται για τη συγκεκριμένη περίπτωση να θεωρηθεί τιμή  $N_{SPT}=50$  για τις τιμές που έδωσαν άρνηση. Τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών συνοψίζονται στον πίνακα 4.16 που ακολουθεί.

| Δοκιμή                                    | Διακύμανση τιμής |     | Πλήθος τιμών | Μέση τιμή | Τυπική απόκλιση |
|-------------------------------------------|------------------|-----|--------------|-----------|-----------------|
|                                           | Min              | Max |              |           |                 |
| Τυποποιημένης διείδυσης ( $N_{SPT}$ ) [-] | 44               | 50  | 12           | 47        | 1,73            |

Πίνακας 4.16: Δοκιμή Πρότυπης Διείδυσης SPT

Σύμφωνα με πίνακα συσχετισμών για μη συνεκτικά εδάφη του Bowles (1982) (Πίνακας 4.17), που συσχετίζει τις ιδιότητες των χονδρόκοκκων εδαφών με τον αριθμό  $N_{SPT}=47$  το μη συνεκτικό έδαφος θεωρείται πολύ πυκνό με σχετική πυκνότητα  $D_r > 85\%$  και ενεργό γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi'$  μεγαλύτερη από  $38^\circ$ .

Εμπειρικός πίνακας συσχετισμών για κοκκώδη εδάφη των Terzaghi and Peck (1967) (Πίνακας 4.18) για  $N_{SPT}=47$  προτείνει τιμή για τη γωνία διατμητικής αντοχής  $\phi'$ :  $38-43^\circ$ .

| Περιγραφή υλικού             | Πολύ χαλαρό   | Χαλαρό        | Μέσης Πυκνότητας | Πυκνό         | Πολύ πυκνό    |
|------------------------------|---------------|---------------|------------------|---------------|---------------|
| Σχετική πυκνότητα            | 0-15          | 15-35         | 35-65            | 65-85         | 85-100        |
| $N_{SPT}$                    | 5-10          | 8-15          | 10-40            | 25-70         | >35           |
| Γωνία $\Phi$                 | $25-30^\circ$ | $27-32^\circ$ | $30-35^\circ$    | $35-40^\circ$ | $38-45^\circ$ |
| Φαινόμενο Βάρος ( $KN/m^3$ ) | 12-16         | 14-18         | 17-20            | 17-22         | 20-23         |

Πίνακας 4.17: Εμπειρικοί συσχετισμοί ιδιοτήτων αμμοδών εδαφών (Bowles,1982)

| N       | Χαρακτηρισμός | $\varphi^0$ |
|---------|---------------|-------------|
| 0 - 4   | πολύ χαλαρή   | 27 - 32     |
| 4 - 10  | χαλαρή        | 30 - 35     |
| 10 - 30 | μέση          | 35 - 40     |
| 30 - 50 | πυκνή         | 38 - 43     |
| >50     | πολύ πυκνή    | >40         |

Πίνακας 4.18 : Εμπειρικοί συσχετισμοί ιδιοτήτων αμμοδών εδαφών (Terzaghi and Peck, 1967)

Επιλέγεται για τη γωνία διατμητικής αντοχής  $\phi' = 37^\circ - 39^\circ$ , δεδομένου ότι η περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκο κλάσμα είναι κατά θέσεις αυξημένη, γεγονός που διαφοροποιεί μερικώς το υλικό από τα θεωρούμενα για τους παραπάνω χρησιμοποιούμενους εμπειρικούς συσχετισμούς, που ισχύουν για αμιγώς κοκκώδη υλικά. Αντίστοιχα λόγω του περιεχόμενου ποσοστού λεπτόκοκκων θα θεωρηθεί τιμή ενεργού συνοχής,  $c' = 0 - 5$  kPa.

Για τον προσδιορισμό του μέτρου συμπιεστότητας θα θεωρηθεί τιμή NSPT=47 για χρήση σε εμπειρικούς συσχετισμούς. Σύμφωνα με τους Τάσσιο και Αναγνωστόπουλο (1974), το μέτρο συμπιεστότητας  $E_s$  συσχετίζεται με τον αριθμό κρούσεων  $N$  σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$E_s = [\alpha + C \cdot (N \pm 6)] \cdot 98,066 \text{ (kPa)}$$

Όπου:

$$\alpha = 40 \text{ για } N > 15$$

| N        | $\alpha$      |
|----------|---------------|
| $N < 15$ | $\alpha = 0$  |
| $N > 15$ | $\alpha = 40$ |

Πίνακας 4.19: Συντελεστής συμπιεστότητας ( Tassios & Anagnostopoulos ,1974)

$C = 12$  για χαλίκια με άμμο

| Είδος εδάφους     | C   |
|-------------------|-----|
| Ιλυώδης άμμος     | 3   |
| Λεπτόκοκκη άμμος  | 3.5 |
| Μεσόκοκκη άμμος   | 4.5 |
| Χονδρόκοκκη άμμος | 7   |
| Χαλικώδης άμμος   | 10  |
| Αμμώδεις χάλικες  | 12  |

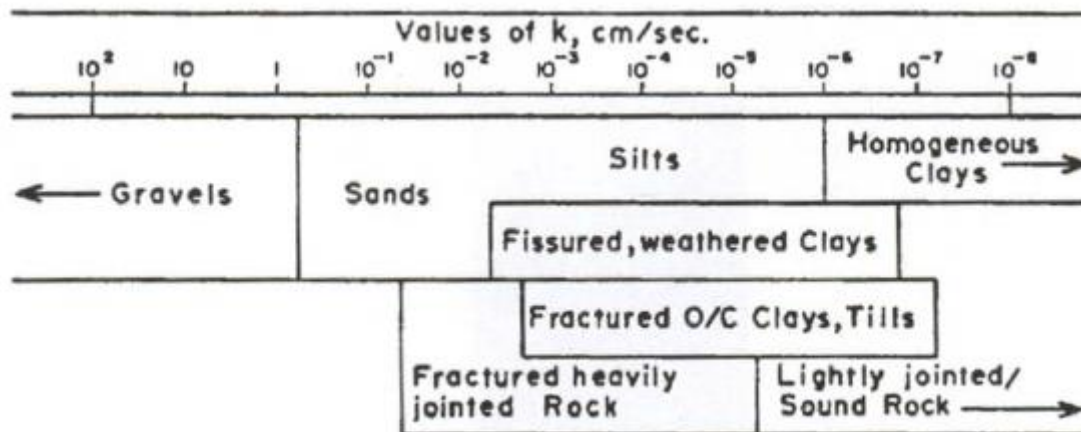
Πίνακας 4.20: Δείκτης συμπίεσης ( Tassios & Anagnostopoulos ,1974)

Οπότε για την τιμή NSPT = 47 το μέτρο συμπίεσης υπολογίζεται ως  $E_s = 55 - 60$  MPa.

Βάσει των ως άνω συσχετισμών και της μορφής του υλικού επιλέγεται  $E_s = 55 - 60$  MPa, από το οποίο προκύπτει μέτρο ελαστικότητας (Young)  $E = 40 - 45$  MPa με θεώρηση λόγου Poisson 0,3.

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή περατότητας εκτελέστηκε μία επιτόπου δοκιμή διαπερατότητας με τη μέθοδο του μεταβλητού φορτίου (Δοκιμές Maag) από την οποία προέκυψε τιμή συντελεστή περατότητας  $k = 2,7 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ .

Με βάσει τα παραπάνω επιλέγεται τιμή συντελεστή περατότητας  $k = 2 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ , η οποία όπως φαίνεται από το Σχήμα 4.2 είναι τυπική τιμή για αμμώδεις σχηματισμούς και δικαιολογείται λόγω του κλάσματος άμμου και λεπτόκοκκων που περιέχεται στη συγκεκριμένη ενότητα.



Σχήμα 4.2 : Τιμές συντελεστή διαπερατότητας για διάφορους εδαφικούς σχηματισμούς. (από μελέτη)

#### 4.5.4 Συνοπτικές παράμετροι σχεδιασμού

Ως παράμετροι σχεδιασμού της ενότητας επιλέγονται οι τιμές του ακόλουθου πίνακα για γεωτεχνικούς υπολογισμούς:

| Παράμετροι Σχεδιασμού             | Τιμή                               |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Φαινόμενο Βάρος                   | $\gamma = 19 - 21 \text{ kN/m}^3$  |
| Ενεργός συνοχή                    | $c' = 0 - 5 \text{ kPa}$           |
| Ενεργός Γωνία διατμητικής αντοχής | $\phi' = 37^\circ - 39^\circ$      |
| Μέτρο συμπίεστότητας              | $E_s = 55 - 60 \text{ MPa}$        |
| Μέτρο ελαστικότητας               | $E = 40 - 45 \text{ MPa}$          |
| Συντελεστής περατότητας           | $k = 2 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$ |

Πίνακας 4.21 : Παράμετροι σχεδιασμού



#### 4.6 Τεχνικογεωλογική Ενότητα II

##### 4.6.1 Γενικά

Το υλικό της υπ' όψη τεχνικογεωλογικής ενότητας αποτελείται από ιλυώδη έως αργιλώδη άμμο, πυκνής έως πολύ πυκνής απόθεσης, με αυξομειώσεις στα ποσοστά χαλίκων και λεπτόκοκκων υλικών. Στην Ενότητα αυτή, έχουμε την παρουσία Τεταρτογενών αποθέσεων, οι οποίες φτάνουν μέχρι το βάθος των 30,8 m. Πιο συγκεκριμένα η ιλυώδης- αργιλώδης άμμος εμφανίζεται και στις 5 γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Στη γεώτρηση ΓΝ-334 λαμβάνουν χώρα από το βάθος των 12 m μέχρι το βάθος των 15,5 m, από το βάθος των 19,6 m μέχρι τα 21,2 m και από το βάθος των 24,1 m μέχρι τα 28,6 m στη γεώτρηση ΓΝ-336 από το βάθος των 7,1 m μέχρι τα 18,4 m και από τα 21 m μέχρι τα 30,8 m, στην ΓΝ-337 από τα 10,3 μέχρι τα 13,2 m, από τα 15 m μέχρι τα 18,5 m και από τα 23,5 m μέχρι τα 30,4 m, στην ΓΝ-339 από τα 4,5 m μέχρι τα 8,2 m, από τα 9,6 m μέχρι τα 12,5 m, από τα 15,5 m μέχρι τα 17,4 m και από τα 20,8 m μέχρι τα 30 m και τέλος στην ΓΝ-341 που βρίσκεται από τα 2,6 m μέχρι τα 6,4 m, από τα 7,8 m μέχρι τα 10 m και από τα 26,1 m μέχρι τα 30,2 m. Η ιλυώδης- αργιλώδης άμμος, λαμβάνει χώρα σε όλο το τμήμα του έργου, δηλαδή από την χιλιομετρική θέση 15+880 μέχρι τη θέση 16+560. Τα πάχη της ενότητας αυτής κυμαίνονται από 1,6 μέχρι 11,3 m. Οι τιμές SPT είναι υψηλές και οι περισσότερες είναι αρνητικές καθώς η δοκιμή Terzaghi βρίσκει αρκετές κροκάλες. Η περατότητα των σχηματισμών είναι μεγάλη καθώς αναπτύσσονται άμμοι και χάλικες.

##### 4.6.2 Φυσικά χαρακτηριστικά ενότητας

Στον παρακάτω πίνακα (4.22) παρουσιάζονται τα φυσικά χαρακτηριστικά της ενότητας όπως προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα που ανήκουν στη τεχνικογεωλογική ενότητα II.

| Φυσικά χαρακτηριστικά          | Διακύμανση τιμής |      | Πλήθος τιμών | Μέση τιμή | Τυπική απόκλιση |
|--------------------------------|------------------|------|--------------|-----------|-----------------|
|                                | Min              | Max  |              |           |                 |
| Όριο Υδαρότητας (LL) [%]       | 18               | 27   | 14           | 23        | 2,55            |
| Όριο πλαστικότητας (PL) [%]    | 11               | 19   | 14           | 16        | 1,99            |
| Δείκτης Πλαστικότητας (PI) [%] | 1                | 13   | 14           | 7         | 2,88            |
| Ποσοστό Χαλίκων (G) [%]        | 11,7             | 48,4 | 23           | 30,9      | 10,32           |
| Ποσοστό Άμμου (S) [%]          | 35,1             | 72,2 | 23           | 49,3      | 9,44            |
| Ποσοστό Ιλύος (M) [%]          | 38,1             | 38,1 | 1            | 38,1      | -               |
| Ποσοστό Αργίλου (C) [%]        | 1,2              | 1,2  | 1            | 1,2       | -               |
| Ποσοστό Λεπτόκοκκων (F) [%]    | 9,2              | 42,8 | 23           | 19,9      | 10,29           |
| Ειδικό Βάρος Στερεών (Gs) [-]  | 2,47             | 2,74 | 1            | 2,74      | -               |

Πίνακας 4.22: Φυσικά χαρακτηριστικά Τεχνικογεωλογικής Ενότητας II

Όσον αφορά στις δοκιμές πλαστικότητας σημειώνεται ότι στις εννιά από τις εικοσιτρείς συνολικά εκτελεσθείσες, το υλικό βρέθηκε μη πλαστικό.

Το υλικό κατατάσσεται κατά USCS ως SC – SM, ιλυώδης – αργιλώδης άμμος, με χάλικες.

#### 4.6.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά ενότητας

Εκτελέστηκαν τριάντα συνολικά επί τόπου δοκιμές τυποποιημένης διείδυσης, από τις οποίες οι εικοσιεννιά έδωσαν άρνηση. Καθώς οι πληροφορίες που δίνονται από την άρνηση είναι ασαφείς εκτιμάται για τη συγκεκριμένη περίπτωση να θεωρηθεί τιμή  $N_{SPT}=50$  για τις τιμές που έδωσαν άρνηση. Τα αποτελέσματα των ως άνω δοκιμών συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.23).

| Δοκιμή                                    | Διακύμανση τιμής |     | Πλήθος τιμών | Μέση τιμή | Τυπική απόκλιση |
|-------------------------------------------|------------------|-----|--------------|-----------|-----------------|
|                                           | Min              | Max |              |           |                 |
| Τυποποιημένης διείδυσης ( $N_{SPT}$ ) [-] | 38               | 50  | 30           | 44        | 2,19            |

Πίνακας 4.23: Δοκιμή Πρότυπης Διείδυσης SPT

Σύμφωνα με πίνακα συσχετισμών για μη συνεκτικά εδάφη του Bowles (1982) (Πίνακας 4.17), που συσχετίζει τις ιδιότητες των αμμοδών εδαφών με τον αριθμό  $N_{SPT}=44$  το μη συνεκτικό έδαφος θεωρείται πολύ πυκνό με σχετική πυκνότητα  $D_r > 85\%$  και ενεργό γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi'$  μεγαλύτερη από  $38^\circ$ .

Εμπειρικός πίνακας συσχετισμών για κοκκώδη εδάφη των Terzaghi and Peck (1967) (Πίνακας 4.18) για  $N_{SPT}=50$  προτείνει τιμή για τη γωνία διατμητικής αντοχής  $\phi'$ :  $38-43^\circ$ .

Επιλέγεται για τις παραμέτρους αντοχής  $\phi'=35^\circ - 37^\circ$  και μηδενική έως πολύ μικρή τιμή ενεργού συνοχής,  $c'=0 - 5$  kPa. Η τιμή αυτή συνοχής δικαιολογείται από την παρουσία στη μάζα της ενότητας μικρού κλάσματος λεπτόκοκκων υλικών (σε ποσοστό 19,9% κατά μέσο όρο).

Για τον προσδιορισμό του μέτρου συμπίεστότητας θα θεωρηθεί τιμή  $N_{SPT}=44$  για χρήση σε εμπειρικούς συσχετισμούς. Σύμφωνα με τους Τάσσιο και Αναγνωστόπουλο (1974), το μέτρο συμπίεστότητας  $E_s$  συσχετίζεται με τον αριθμό κρούσεων  $N$  σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$E_s = [\alpha + C \cdot (N \pm 6)] \cdot 98,066 \text{ (kPa)}$$

Όπου:

$$\alpha = 40 \text{ για } N > 15$$

$$C = 4,5 \text{ έως } 7 \text{ για μέση έως χονδρή άμμο}$$

Οπότε για την τιμή  $N_{SPT} = 44$  το μέτρο συμπίεσης υπολογίζεται ως  $E_s=26 - 37$  MPa.

Σύμφωνα με τους Παπαδόπουλο και Αναγνωστόπουλο (1987) (Πίνακας 4.24), το μέτρο συμπίεστότητας  $E_s$  συσχετίζεται με τον αριθμό κρούσεων  $N$  σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$E_s = C_1 + C_2 \cdot N$$

Όπου:

$$C_1 = 2,60 \text{ για ιλυώδης άμμους}$$

$$C_2 = 0,69 \text{ για ιλυώδης άμμους}$$

| Είδος εδάφους    | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> |
|------------------|----------------|----------------|
| Αμμώδης ιλύς     | 3.2            | 0.49           |
| Ιλυώδης άμμος    | 2.6            | 0.69           |
| Λεπτόκοκκη άμμος | 7.5            | 0.80           |

Πίνακας 4.24: Δείκτες συμπίεσης (Παπαδόπουλο και Αναγνωστόπουλο ,1987)

Οπότε για την τιμή  $N_{SPT} = 44$  το μέτρο συμπίεσης υπολογίζεται ως  $E_s = 37$  MPa.

Βάσει των ως άνω συσχετισμών και της μορφής του υλικού επιλέγεται  $E_s = 30 - 35$  MPa, από το οποίο προκύπτει μέτρο ελαστικότητας (Young)  $E' = 22 - 27$  MPa με θεώρηση λόγου Poisson 0,3.

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή περατότητας εκτελέστηκαν επιτόπου δοκιμές διαπερατότητας με τη μέθοδο του μεταβλητού φορτίου (Δοκιμές Maag) και τη μέθοδο σταθερού φορτίου (Δοκιμές Lefranc). Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

| Δοκιμή                                         | Διακύμανση τιμής |      | Πλήθος τιμών | Μέση τιμή | Τυπική απόκλιση |
|------------------------------------------------|------------------|------|--------------|-----------|-----------------|
|                                                | Min              | Max  |              |           |                 |
| Συντελεστής Περαιτότητας (k) [ $10^{-4}$ cm/s] | 2.3              | 21.4 | 9            | 11        | 6.7             |

Πίνακας 4.24 : Επιτόπου δοκιμές διαπερατότητας

Με βάσει τα αποτελέσματα των δοκιμών επιλέγεται τιμή συντελεστή περατότητας  $k = 10^{-3}$  cm/s, η οποία όπως φαίνεται από το Σχήμα ( 4.2) είναι τυπική τιμή για ιλυώδης άμμους.

#### 4.6.4 Συνοπτικές παράμετροι σχεδιασμού

Ως παράμετροι σχεδιασμού της ενότητας επιλέγονται οι τιμές του ακόλουθου πίνακα για γεωτεχνικούς υπολογισμούς:

| Παράμετροι Σχεδιασμού             | Τιμή                                 |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Φαινόμενο Βάρος                   | $\gamma = 20 - 22$ kN/m <sup>3</sup> |
| Ενεργός συνοχή                    | $c' = 0 - 5$ kPa                     |
| Ενεργός Γωνία Διατμητικής Αντοχής | $\phi' = 35 - 37^\circ$              |
| Μέτρο Συμπίεστότητας              | $E_s = 30 - 35$ MPa                  |
| Μέτρο Ελαστικότητας (Young)       | $E' = 22 - 27$ MPa                   |
| Συντελεστής περατότητας           | $k = 10^{-3}$ cm/s                   |

Πίνακας 4.25: Συνοπτικές παράμετροι σχεδιασμού γεωτεχνικής ενότητας II

#### 4.7 Τεχνικογεωλογική Ενότητα III

##### 4.7.1 Γενικά

Το υλικό της υπ' όψη τεχνικογεωλογικής ενότητας αποτελείται από καστανή έως κυανόφαιη αργιλώδη αμμοιλύ έως αμμόδη αργιλοϊλύ, στιφρή έως πολύ στιφρή και χαμηλής πλαστικότητας, με κατά θέσεις χάλικες. Είναι πιθανό να συναντηθούν ορίζοντες άμμου και χάλικων αλλά και φάσεις της ενότητας III στις οποίες εμφανίζεται μαλακή η αργιλοϊλύ. Στην Ενότητα αυτή, έχουμε την παρουσία Τεταρτογενών αποθέσεων, οι οποίες φτάνουν μέχρι το βάθος των 30,4 m. Πιο συγκεκριμένα η αργιλώδη αμμοιλύ έως αμμόδη αργιλοϊλύ εμφανίζεται και στις 5 γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Στη γεώτρηση ΓΝ-334 λαμβάνει χώρα από την επιφάνεια έως τα 0,2 m, από το βάθος των 15,5 m μέχρι τα 19,6 m, από το βάθος των 21,2 m μέχρι τα 24,1 m και από το βάθος των 28,6 m μέχρι το βάθος των 30,4 m, στη γεώτρηση ΓΝ-336 από την επιφάνεια μέχρι τα 18,4 m και από τα 18,4 m μέχρι τα 21 m, στην ΓΝ-337 από τα 13,2 μέχρι τα 15 m και από τα 18,5 m μέχρι τα 23,5 m, στην ΓΝ-339 από την επιφάνειά του εδάφους μέχρι το 1 m, από τα 8,2 m μέχρι τα 9,6 m και από τα 17,4 m μέχρι τα 20,8 m και τέλος στην ΓΝ-341 που βρίσκεται από την επιφάνεια μέχρι τα 2,6 m, από τα 6,4 m μέχρι τα 7,8 m και από τα 15 m μέχρι τα 26,1 m. Η αργιλώδης αμμοιλύς έως αμμόδης αργιλοϊλούς, λαμβάνει χώρα σε όλο το τμήμα του έργου, δηλαδή από την χιλιομετρική θέση 15+880 μέχρι τη θέση 16+560 και σε μικρότερα τμήματα του έργου τα οποία προβάλλονται με λεπτομέρεια Τεχνικογεωλογική τομή. Τα πάχη της ενότητας αυτής κυμαίνονται από 0,2 μέχρι 11,1 m. Οι τιμές SPT είναι υψηλές και οι περισσότερες είναι αρνητικές καθώς η δοκιμή Terzaghi βρίσκει αρκετές κροκάλες. Η περατότητα των σχηματισμών είναι μέτρια προς μεγάλη καθώς αναπτύσσονται άμμοι και χάλικες.

##### 4.7.2 Φυσικά χαρακτηριστικά ενότητας

Στον παρακάτω πίνακα 4.26 παρουσιάζονται τα φυσικά χαρακτηριστικά της ενότητας όπως προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα που ανήκουν στη γεωτεχνική ενότητα III.

| Φυσικά χαρακτηριστικά                                       | Διακύμανση τιμής |       | Πλήθος τιμών | Μέση τιμή | Τυπική απόκλιση |
|-------------------------------------------------------------|------------------|-------|--------------|-----------|-----------------|
|                                                             | Min              | Max   |              |           |                 |
| Όριο Υδαρότητας (LL) [%]                                    | 21,5             | 36    | 16           | 27        | 3,78            |
| Όριο πλαστικότητας (PL) [%]                                 | 14               | 21    | 16           | 17        | 1,73            |
| Δείκτης Πλαστικότητας (PI) [%]                              | 4                | 19    | 16           | 10        | 4,30            |
| Φυσική Υγρασία (w) [%]                                      | 17,7             | 22    | 3            | 20,4      | 2,34            |
| Ποσοστό Χαλικιών (G) [%]                                    | 0,0              | 28,7  | 17           | 5,7       | 8,66            |
| Ποσοστό Άμμου (S) [%]                                       | 13,2             | 42,4  | 17           | 29,9      | 8,04            |
| Ποσοστό Ιλύος (M) [%]                                       | 32,5             | 69,0  | 13           | 52,2      | 11,96           |
| Ποσοστό Αργίλου (C) [%]                                     | 0,0              | 32,0  | 13           | 14,1      | 9,99            |
| Ποσοστό Λεπτόκοκκων (F) [%]                                 | 44,2             | 86,8  | 17           | 64,4      | 12,28           |
| Φαινόμενο Βάρος (γ) [kN/m <sup>3</sup> ]                    | 19,8             | 21,55 | 5            | 20,47     | 0,95            |
| Ξηρό Φαινόμενο Βάρος (γ <sub>d</sub> ) [kN/m <sup>3</sup> ] | 15,79            | 18,89 | 5            | 17,27     | 1,25            |
| Ειδικό Βάρος Στερεών (Gs) [-]                               | 2,64             | 2,75  | 13           | 2,69      | 0,04            |

Πίνακας 4.26: Φυσικά χαρακτηριστικά Τεχνικογεωλογικής Ενότητας III

Το υλικό κατατάσσεται κατά USCS ως CL ή ML, αργιλοαμμόδης ιλύς χαμηλής πλαστικότητας.



#### 4.7.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά ενότητας

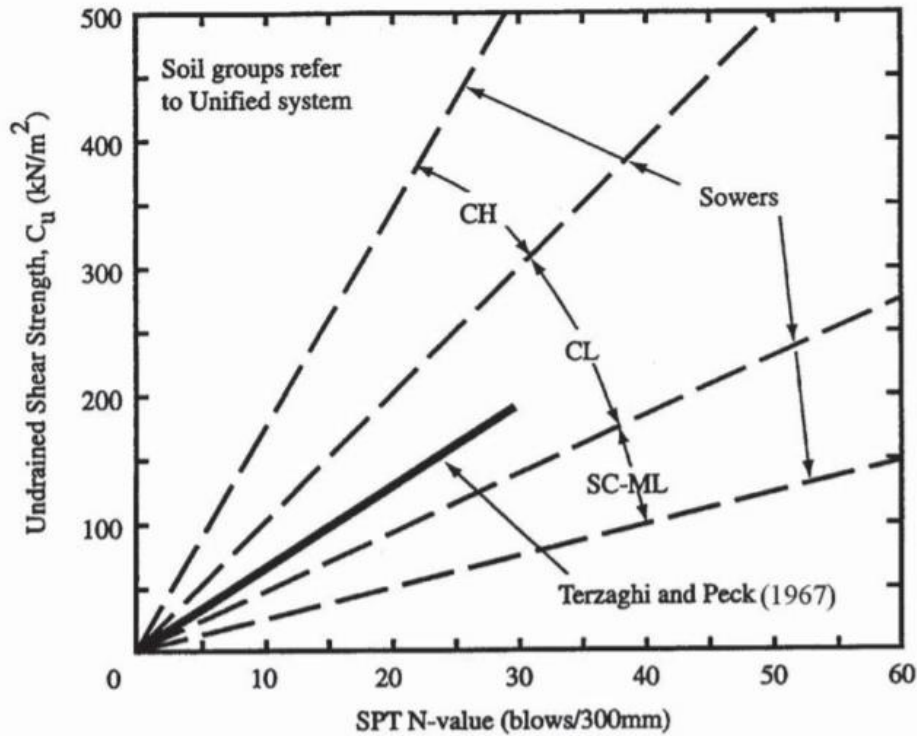
Όσον αφορά τις εργαστηριακές δοκιμές μηχανικής συμπεριφοράς, εκτελέστηκαν τρεις δοκιμές βραδείας διάτμησης CD, μία δοκιμή τριαξονικής θλίψης CD και δύο δοκιμές μονοδιάστατης στερεοποίησης. Επίσης εκτελέστηκαν έντεκα συνολικά επί τόπου δοκιμές τυποποιημένης διείδυσης, εκ των οποίων οι τρεις απορριφθήκαν ως μη αντιπροσωπευτικές της συγκεκριμένης ενότητας λόγω των ιδιαίτερα αυξημένων τιμών που εμφάνισαν. Τα αποτελέσματα των ως άνω δοκιμών συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

| Δοκιμή                                                       | Διακύμανση τιμής |       | Πλήθος τιμών | Μέση τιμή | Τυπική απόκλιση |
|--------------------------------------------------------------|------------------|-------|--------------|-----------|-----------------|
|                                                              | Min              | Max   |              |           |                 |
| Τυποποιημένης διείδυσης ( $N_{SPT}$ ) [-]                    | 8                | 31    | 8            | 19        | 7,39            |
| Άμεσης διάτμησης (CD)<br>Συνοχή $c'$ [kPa]                   | 4,7              | 4,7   | 1            | 4,7       | -               |
| Γωνία διατμητικής αντοχής $\phi'$ [°]                        | 32,9             | 32,9  | 1            | 32,9      | -               |
| Μονοδιάστατης στερεοποίησης                                  |                  |       |              |           |                 |
| Δείκτης συμπίεσότητας $C_c$ [-]                              | 0,153            | 0,154 | 2            | 0,154     | 0,001           |
| Δείκτης διόγκωσης $C_s$ [-]                                  | 0,020            | 0,021 | 2            | 0,021     | 0,000           |
| Συντ/σής στερ/σης $C_v \times 10^{-4}$ [m <sup>2</sup> /min] | 0,015            | 0,034 | 2            | 0,025     | 0,013           |
| Τάση προστερεοποίησης $\sigma_p$ [kPa]                       | 400              | 400   | 2            | 400       | 0               |
| 50-100 kPa<br>Μέτρο συμπίεσης $E_s$ [MPa]                    | 3,06             | 4,06  | 2            | 3,56      | 0,71            |
| 100-200 kPa<br>Μέτρο συμπίεσης $E_s$ [MPa]                   | 4,75             | 6,38  | 2            | 5,57      | 1,15            |
| 200-400 kPa<br>Μέτρο συμπίεσης $E_s$ [MPa]                   | 8,50             | 10,93 | 2            | 9,72      | 1,72            |
| 400-800 kPa<br>Μέτρο συμπίεσης $E_s$ [MPa]                   | 15,16            | 18,0  | 2            | 16,58     | 2,01            |
| 800-1600 kPa<br>Μέτρο συμπίεσης $E_s$ [MPa]                  | 29,91            | 32,37 | 2            | 31,14     | 1,74            |

Πίνακας 4.27: Δοκιμές μηχανικών χαρακτηριστικών

Η τιμή της  $C_u$  θα προσδιοριστεί βάσει βιβλιογραφικών αναφορών, ως συνάρτηση του αριθμού  $N_{SPT}$  της δοκιμής πρότυπης διείδυσης.

Σύμφωνα με νομοδιάγραμμα κατά Sowers (1979) για  $N_{SPT}=19$  και υλικό CL, η τιμή της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής προσδιορίζεται στα 90 - 150 kPa. (Σχήμα 4.3)



Σχήμα 4.3 : Κατά προσέγγιση συσχέτιση μεταξύ της διατμητικής αντοχής και των τιμών SPT.  
(Sowers, 1979)

Σύμφωνα με εμπειρικό συσχετισμό του Stroud (1974) για δείκτη πλαστικότητας  $PI=10$  και  $N_{SPT}=19$ , προκύπτει  $C_u=130$  kPa. (Πίνακας 4.28)

#### $c_u$ for Clays based on SPT results

$c_u$  Cohesion kN/sq m

$$c_u = f_1 \cdot N$$

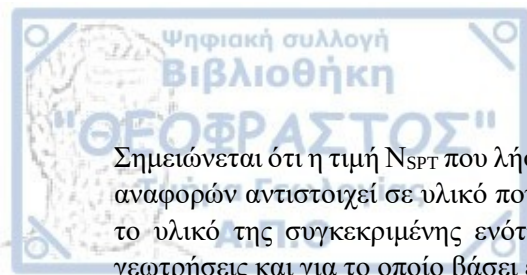
$f_1$  depends on Plastic Index  $PI\%$

$N$ = No of Blows

| $PI\%$ | 15%   | 20%   | 25%   | 30%   | 35%   | $\geq 40\%$ |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| $f_1$  | 6.5   | 5.5   | 5     | 4.8   | 4.5   | 4.4         |
| $N$    | $C_u$ | $C_u$ | $C_u$ | $C_u$ | $C_u$ | $C_u$       |
| 5      | 33    | 28    | 25    | 24    | 23    | 22          |
| 10     | 65    | 55    | 50    | 48    | 45    | 44          |
| 15     | 98    | 83    | 75    | 72    | 68    | 66          |
| 20     | 130   | 110   | 100   | 96    | 90    | 88          |
| 25     | 163   | 138   | 125   | 120   | 113   | 110         |
| 30     | 195   | 165   | 150   | 144   | 135   | 132         |
| 35     | 228   | 193   | 175   | 168   | 158   | 154         |
| 40     | 260   | 220   | 200   | 192   | 180   | 176         |

Πίνακας 4.28: Συσχέτιση του δείκτη πλαστικότητας  $C_u$  με το  $N_{SPT}$  (Stroud, 1974)

Σύμφωνα με τη σχέση των Terzaghi & Peck, (1967) η αστράγγιστη διατμητική αντοχή  $C_u$  συνδέεται με τον αριθμό των κρούσεων ως  $C_u = 6.2 N_{SPT}$ . Βάσει της παραπάνω σχέσης και για  $N_{SPT}=19$  η αστράγγιστη διατμητική αντοχή της Ενότητας III προκύπτει  $C_u=118$  kPa.



Σημειώνεται ότι η τιμή  $N_{SPT}$  που λήφθηκε για τον προσδιορισμό της τιμής της  $C_u$  βάσει βιβλιογραφικών αναφορών αντιστοιχεί σε υλικό που έχει σχετικά υψηλό κλάσμα άμμου. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι το υλικό της συγκεκριμένης ενότητας είναι όμοιο με εκείνο που έχει συναντηθεί στις γειτονικές γεωτρήσεις και για το οποίο βάσει εργαστηριακών δοκιμών έχει ληφθεί μέση τιμή  $C_u=80$  kPa. Από τα παραπάνω στοιχεία εκτιμάται ως αστράγγιστη διατμητική αντοχή για την ενότητα III η τιμή  $C_u= 80 - 100$  kPa.

Για την εκτίμηση των ενεργών παραμέτρων  $c'$ ,  $\phi'$  εκτελέστηκαν τρεις δοκιμές βραδείας (CD) διάτμησης οι οποίες έδωσαν ενεργό συνοχή  $c'= 28,8$  kPa και ενεργό γωνία διατμητικής αντοχής  $\phi'= 32,3^\circ$  και μια δοκιμή τριαξονικής θλίψης (CD) που έδωσε ενεργό συνοχή  $c'= 4,7$  kPa και ενεργό γωνία διατμητικής αντοχής  $\phi'= 32,9^\circ$ .

Επιλέγεται για την ενότητα γωνία διατμητικής αντοχής  $\phi'=32 - 34^\circ$  και τιμή συνοχής  $c'=0 - 10$  kPa.

Οι δοκιμές μονοδιάστατης συμπίεσης έδωσαν μέσους όρους τιμών του μέτρου συμπίεσης μεταξύ 3,56 και 31,14 MPa ανάλογα με τη βαθμίδα φόρτισης. Σύμφωνα με το διάγραμμα του Stroud (1974) και για  $PI=10$  και  $NSPT = 19$  προκύπτει  $E_s = 10,5$  MPa.

Το μέτρο ελαστικότητας μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση του Stroud(1989) για αργίλους :

$$\frac{E'}{N} = 0,9$$

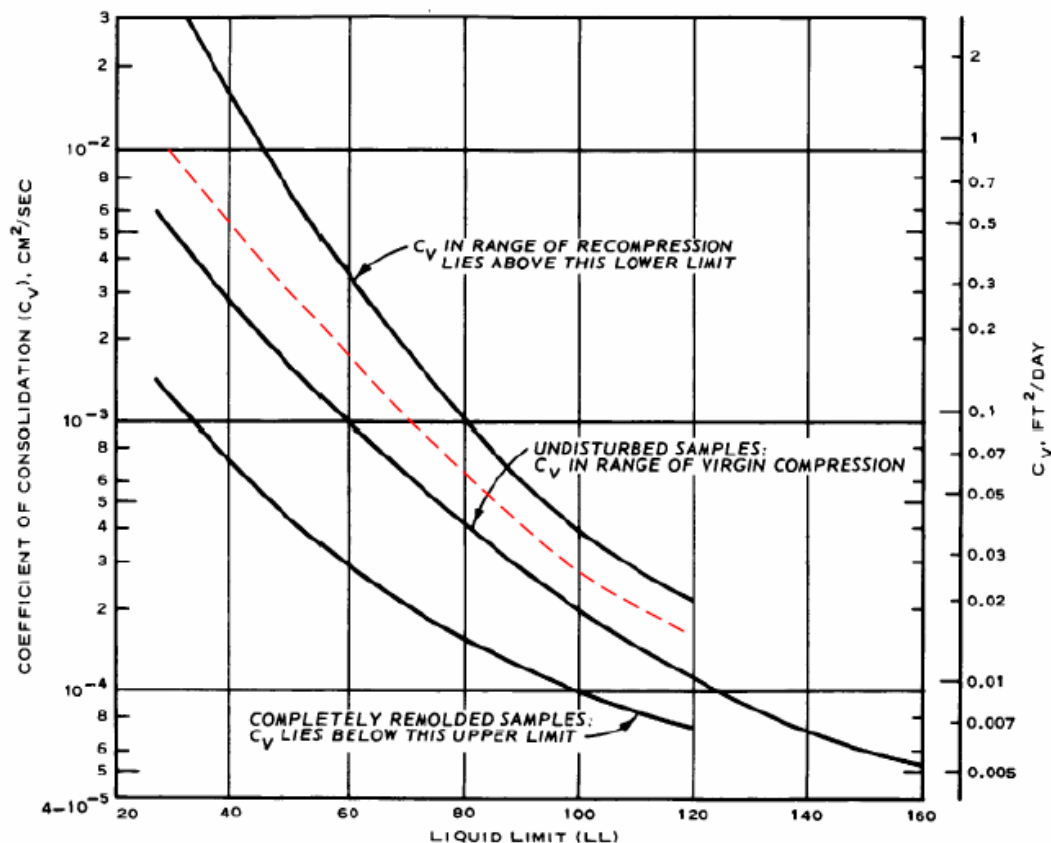
Από τη σχέση αυτή και για  $N=19$ , προκύπτει τιμή μέτρου ελαστικότητας  $E' = 17,1$  MPa.

Για το επίπεδο των τάσεων μεταξύ 50 και 200 kPa από τις δοκιμές μονοδιάστατης στερεοποίησης προκύπτει τιμή  $E_s = 3,5 - 5,5$  Mpa. Επιλέγεται  $E_s = 5 - 8$  MPa από το οποίο προκύπτει μέτρο ελαστικότητας (Young)  $E' = 4 - 6$  MPa με θεώρηση λόγου Poisson 0,3.

Για το επίπεδο των τάσεων μεταξύ 200 και 800 kPa από τις δοκιμές μονοδιάστατης στερεοποίησης προκύπτει τιμή  $E_s = 9,7 - 16,6$  MPa. Τελικά επιλέγεται  $E_s = 16 - 20$  Mpa από το οποίο προκύπτει μέτρο ελαστικότητας (Young)  $E' = 13 - 15$  MPa με θεώρηση λόγου Poisson 0,3.

Για τον συντελεστή στερεοποίησης  $C_v$  προκύπτει από τις δοκιμές μονοδιάστατης στερεοποίησης εύρος τιμών μεταξύ  $0,015$  και  $0,034 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/min.

Στις οδηγίες του NAVFAC DM-7 ref. A-1, προτείνεται αντίστοιχος εμπειρικός συσχετισμός του  $C_v$  με το όριο υδαρότητας. Ο συσχετισμός αυτός αποδίδεται με τη μορφή νομογραφήματος που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.4: Νομογράφημα του NAVFAC με τιμές του  $C_v$  συναρτήσει του ορίου υδαρότητας.

Βάσει του διαγράμματος του NAVFAC (Σχήμα 4.4) και για μέση τιμή του ορίου υδαρότητας  $LL=27\%$  προκύπτει  $C_v=2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec} = 0,12 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{min}$ . Με βάσει τα παραπάνω και με κύριο βάρος στα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών, επιλέγεται ένα εύρος τιμών μεταξύ 0,02 και  $0,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{min}$ .

Όσον αφορά τον δείκτη συμπίεστότητας  $C_c$ , προκύπτει από τις δοκιμές μονοδιάστατης στερεοποίησης ένα εύρος τιμών μεταξύ 0,153 και 0,154. Επιλέγεται, ως χαρακτηριστική για το υλικό της ενότητας στο σύνολό της τιμή  $C_c = 0,15-0,16$ .

Για τον δείκτη αποφόρτισης  $C_s$ , έχει βρεθεί ότι συνδέεται με τον δείκτη συμπίεστότητας με τη σχέση  $C_s = (1/10 - 1/5) \times C_c$  (Das, 1990), από όπου προκύπτει  $C_s = 0,020 - 0,021$ . Επιλέγεται τελικώς για τον δείκτη επαναφόρτισης τιμή  $C_s = 0,019-0,021$ .

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή περατότητας εκτελέστηκαν επιτόπου δοκιμές διαπερατότητας με τη μέθοδο του μεταβλητού φορτίου (Δοκιμές Maag) και δοκιμές σταθερού φορτίου (Δοκιμές Lefranc) Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

| Δοκιμή                                                  | Διακύμανση τιμής |      | Πλήθος τιμών | Μέση τιμή | Τυπική απόκλιση |
|---------------------------------------------------------|------------------|------|--------------|-----------|-----------------|
|                                                         | Min              | Max  |              |           |                 |
| Συντελεστής Περαιτότητας (k) [ $10^{-4} \text{ cm/s}$ ] | 0.76             | 6.46 | 3            | 3.64      | 2.85            |

Πίνακας 4.29 : Επιτόπου δοκιμές διαπερατότητας

Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών (Σχήμα 4.2) επιλέγεται τιμή συντελεστή περατότητας  $k = 3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ , η οποία όπως φαίνεται από το Σχήμα είναι τυπική τιμή για ιλύωδεις σχηματισμούς.



#### 4.7.4 Συνοπτικές παράμετροι σχεδιασμού

Ως παράμετροι σχεδιασμού της ενότητας για γεωτεχνικούς υπολογισμούς επιλέγονται οι τιμές του ακόλουθου πίνακα:

| Παράμετροι Σχεδιασμού             | Τιμή                                                                                                                                |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Φαινόμενο Βάρος                   | $\gamma = 20 - 21 \text{ kN/m}^3$                                                                                                   |
| Αστράγγιστη Διατμητική Αντοχή     | $C_u = 80 - 100 \text{ kPa}$                                                                                                        |
| Ενεργός συνοχή                    | $c' = 0 - 10 \text{ kPa}$                                                                                                           |
| Ενεργός Γωνία Διατμητικής Αντοχής | $\phi' = 32 - 34^\circ$                                                                                                             |
| Μέτρο Συμπίεστότητας              | $E_s = 30 - 35 \text{ Mpa}$                                                                                                         |
| Μέτρο Συμπίεστότητας              | $E_s = 5 - 8 \text{ Mpa}$ για $\sigma_v' = 50-200 \text{ kPa}$<br>$E_s = 16 - 20 \text{ Mpa}$ για $\sigma_v' = 200-800 \text{ kPa}$ |
| Μέτρο Ελαστικότητας (Young)       | $E' = 4 - 6 \text{ Mpa}$ για $\sigma_v' = 50-200 \text{ kPa}$<br>$E' = 13 - 15 \text{ Mpa}$ για $\sigma_v' = 200-800 \text{ kPa}$   |
| Συντελεστής στερεοποίησης         | $C_v = 0,02 - 0,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{min}$                                                                           |
| Δείκτης συμπίεστότητας            | $C_c = 0,15 - 0,16$                                                                                                                 |
| Δείκτης επαναφόρτισης             | $C_s = 0,019 - 0,021$                                                                                                               |
| Συντελεστής περατότητας           | $k = 3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$                                                                                                 |

Πίνακας 4.30: Συνοπτικές παράμετροι σχεδιασμού γεωτεχνικής ενότητας III

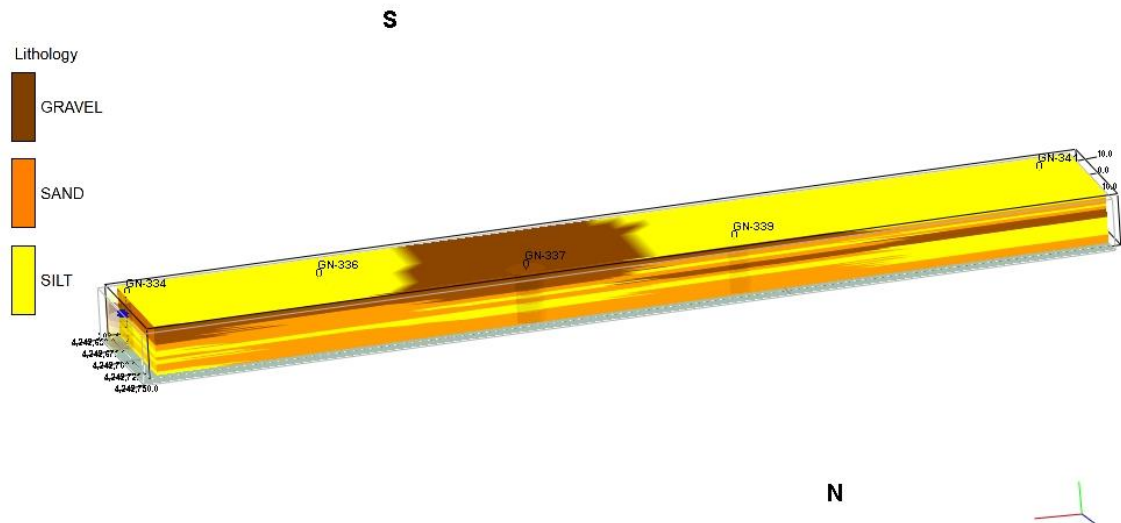
#### 4.8 3D Μοντέλο

Η τρισδιάστατη γεωλογική προσομοίωση (3D geological modelling), με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, δίνει την ώθηση στην εφαρμογή σχεδιαστικών μεθόδων. Η γεωλογική μοντελοποίηση πραγματοποιείται με τη χρήση εξειδικευμένων πακέτων λογισμικού (π.χ. Rockwork, κ.α.), όπου εκτός από σχεδιαστικό πυρήνα, συμπεριλαμβάνουν τμήματα στατιστικής επεξεργασίας και γεωστατιστικής μοντελοποίησης για την αξιολόγηση των ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών, από εξειδικευμένη βάση δεδομένων για γεωτρήσεις, από χαρτογραφικό τμήμα και από ειδικό λογισμικό παρουσίασης.

Κατά τη γεωμετρική προσομοίωση μιας γεωλογικής δομής μεταφέρεται το γεωλογικό ομοίωμα (geological model) σε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό γεωμετρικό ομοίωμα. Τα δεδομένα που αξιοποιούνται για την κατασκευή αυτού του μοντέλου είναι η τοπογραφία, η γεωλογική χαρτογράφηση, οι γεωλογικές τομές,

Το κύριο πλεονέκτημα που παρουσιάζει η μέθοδος αυτή είναι πως η κατασκευή του μελετητή παρουσιάζει ένα λογικά ορθό πρότυπο. Σφάλματα γίνονται εμφανή κατά τη διαδικασία της γεωμετρικής προσομοίωσης και μπορούν να διορθωθούν.

Σύμφωνα με τα παραπάνω και με βάση τα φύλλα των ερευνητικών γεωτρήσεων, προκύπτει ένα 3D μοντέλο από το πρόγραμμα RockWorks 2006 (σχήμα 4.5) και ένα 3D μοντέλο από το πρόγραμμα AutoCAD 2016 (σχήμα 4.6), που αξιοποίησε ως πρότυπο μοντέλο το μοντέλο του RockWorks. Επιπλέον στο 3D μοντέλο που σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα AutoCAD 2016, παρατίθενται όλα τα μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφικών σχηματισμών, καθώς και πληροφορίες για το τεχνικό έργο.



Σχήμα 4.5: 3D μοντέλο από το πρόγραμμα RockWorks 2006

| Τύπος Κατασκευής                                                         | Cover and Cut               |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Μέγιστο βάθος από επιφάνεια εδάφους μέχρι κάτω παρειά πλάκας οροφής (m)  | 3,30 m                      |
| Μέγιστο βάθος από επιφάνεια εδάφους μέχρι κάτω παρειά πλάκας πυθμένα (m) | 12,25 (με υπερεκσκαφή 0,5m) |

#### Τεχνικογεωλογική Ενότητα I

Πυλώδες- Αργιλώδες αμμοχάλικο με τεμάχη

- $\gamma = 19 - 21 \text{ kN/m}^3$
- $c' = 0 - 5 \text{ kPa}$
- $\phi' = 37 - 39^\circ$
- $E_s = 55 - 60 \text{ Mpa}$
- $E = 40 - 45 \text{ Mpa}$
- $k = 0,2 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$

#### Τεχνικογεωλογική Ενότητα II

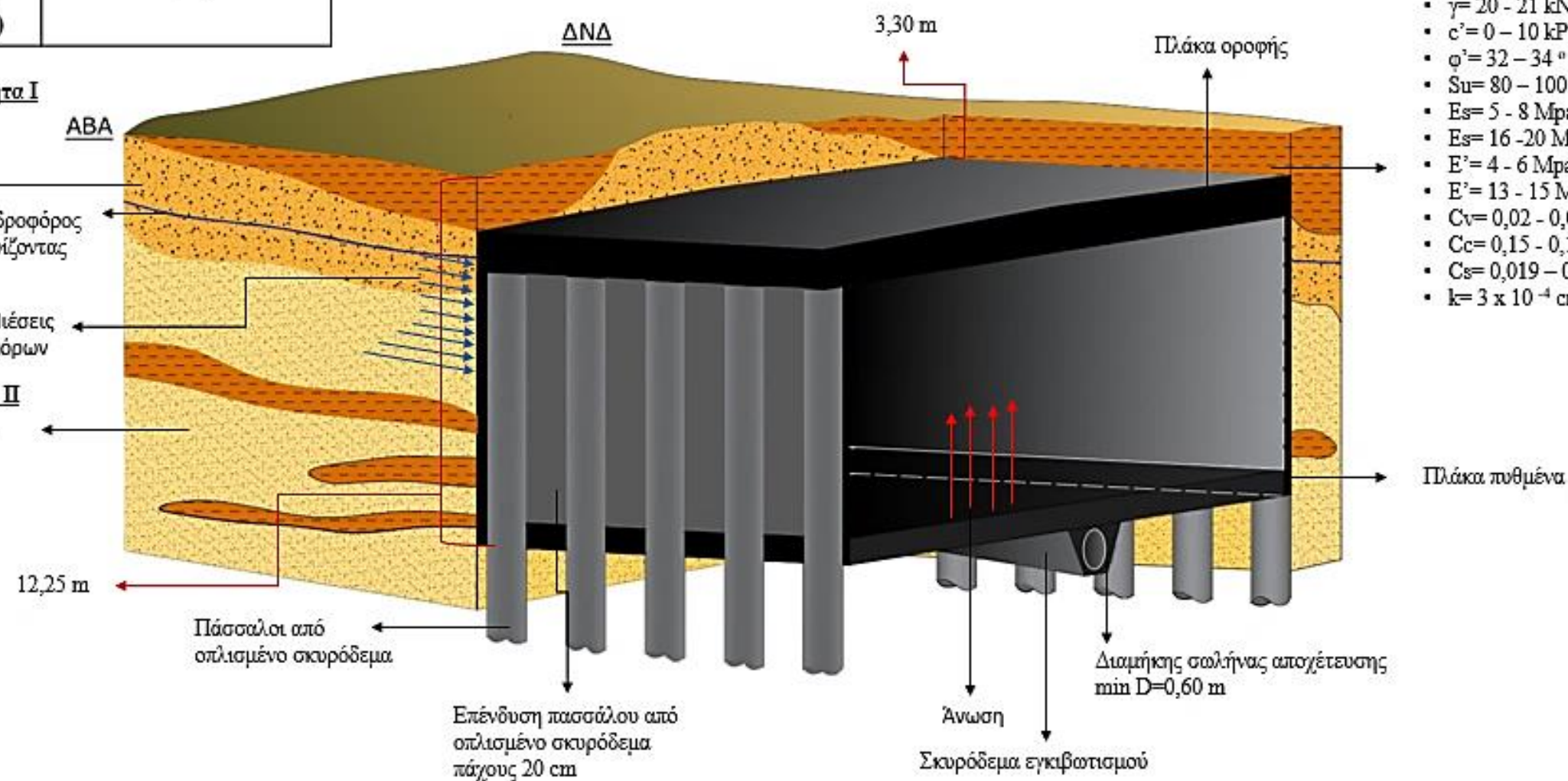
Πυλώδες- Αργιλώδες άμμος, πολύ πυκνής απόθεσης με χάλικες

- $\gamma = 20 - 22 \text{ kN/m}^3$
- $c' = 0 - 5 \text{ kPa}$
- $\phi' = 35 - 37^\circ$
- $E_s = 30 - 35 \text{ Mpa}$
- $E = 22 - 27 \text{ Mpa}$
- $k = 0,1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$

#### Τεχνικογεωλογική Ενότητα III

Αμμόδης αργιλοίλος έως αργιλώδης αμμοίλος με κατά θέσεις χάλικες

- $\gamma = 20 - 21 \text{ kN/m}^3$
- $c' = 0 - 10 \text{ kPa}$
- $\phi' = 32 - 34^\circ$
- $S_u = 80 - 100 \text{ kPa}$
- $E_s = 5 - 8 \text{ Mpa}$  για  $\sigma'_v = 50 - 200 \text{ kPa}$
- $E_s = 16 - 20 \text{ Mpa}$  για  $\sigma'_v = 200 - 800 \text{ kPa}$
- $E' = 4 - 6 \text{ Mpa}$  για  $\sigma'_v = 50 - 200 \text{ kPa}$
- $E' = 13 - 15 \text{ Mpa}$  για  $\sigma'_v = 200 - 800 \text{ kPa}$
- $C_v = 0,02 - 0,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{min}$
- $C_c = 0,15 - 0,16$
- $C_s = 0,019 - 0,021$
- $k = 3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$



Σχήμα 4.6: 3D μοντέλο σχεδιασμένο από το πρόγραμμα AutoCAD 2016, στο οποίο παρατίθενται πληροφορίες για το τεχνικό και για την γεωλογία της περιοχής έδρασης.

### 5.1 Εισαγωγή

Για τον καθορισμό του σχεδιασμού του έργου, βάσει τα προβλήματα ασταθειών που μπορεί να προκύψουν , αρχικά προσδιορίστηκε η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και ο συντελεστής ωθήσεων για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα, πραγματοποιήθηκε επιλογή διατομής ελέγχου με βάσει το δυσμενέστερο αντιπροσωπευτικό της ζώνης σχεδιασμού γεωτεχνικό προφίλ, για το μέγιστο βάθος εκσκαφής. Τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν είναι θραύση του πυθμένα της εκσκαφής λόγω διασωλήνωσης (Piping), άνωση στον πυθμένα, εξαιτίας του υδραυλικού φορτίου, εφόσον δεν υπάρξει κατάλληλη αποστράγγιση του νερού, πιέσεις πόρων στον αργιλικό σχηματισμό καθώς βρίσκεται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα και τέλος έλεγχος ευστάθειας του σκεπασμένου ορύγματος εξαιτίας των φορτίων που προκύπτουν κατά τη φάση κατασκευής.

### 5.2 Περιγραφή τεχνικού έργου

Για τη διερεύνηση των γεωτεχνικών συνθηκών στην περιοχή του C&C Αγ. Βασιλείου πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις ΓΝ-334, ΓΝ-336, ΓΝ-337, ΓΝ-339 και ΓΝ-341. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών η στρωματογραφία του υπεδάφους στην περιοχή του εν λόγω τεχνικού αποτελείται από εδαφικούς σχηματισμούς. Πιο συγκεκριμένα, το γεωτεχνικό προφίλ περιλαμβάνει αργίλους, άμμους και αμμοχάλικα που αποτελούν πρόσφατες αποθέσεις.

Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα λήφθηκε σε βάθος 7,5 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους. Βάσει των μετρήσεων του πιεζομέτρου που λήφθηκαν στα πλαίσια της γεωτεχνικής έρευνας τον Ιούλιο και Αύγουστο του 2007, η στάθμη βρέθηκε σε βάθος 10 έως 12 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους ενώ τον Μάρτιο του 2008, η ανώτερη στάθμη των υπόγειων νερών βρέθηκε σε βάθος 8,6 μέτρων. Εξαιτίας αυτών και των μελλοντικών διακυμάνσεων των υπόγειων υδάτων, η στάθμη σχεδιασμού του υδροφόρου ορίζοντα λήφθηκε 1,0 μέτρο υψηλότερα της δυσμενέστερης μέτρησης, δηλαδή στα 7,5 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους.

Όσον αφορά στη διεξαγωγή των συντελεστών ωθήσεων σε ηρεμία ( $K_0$ ), οι ενότητες I και II θεωρήθηκαν κανονικά στερεοποιημένες και ο υπολογισμός του  $K_0$  έγινε με τη σχέση του Jaky (1944):

$$K_0 = 1 - \sin \phi'$$

Η άργιλος της γεωτεχνικής ενότητας III θεωρείται ελαφρώς υπερστερεοποιημένη, με  $OCR=1,35$ , τιμή που υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων των δοκιμών στερεοποίησης που εκτελέστηκαν σε δοκίμια της εν λόγω ενότητας. Η τιμή του  $K_0$  υπολογίστηκε βάσει της σχέσης:

$$K_0 = (1 - \sin \phi') OCR^{0,5} \quad (\text{Mayne \& Kulhawy, 1982})$$

### 5.3 Διατομές σχεδιασμού

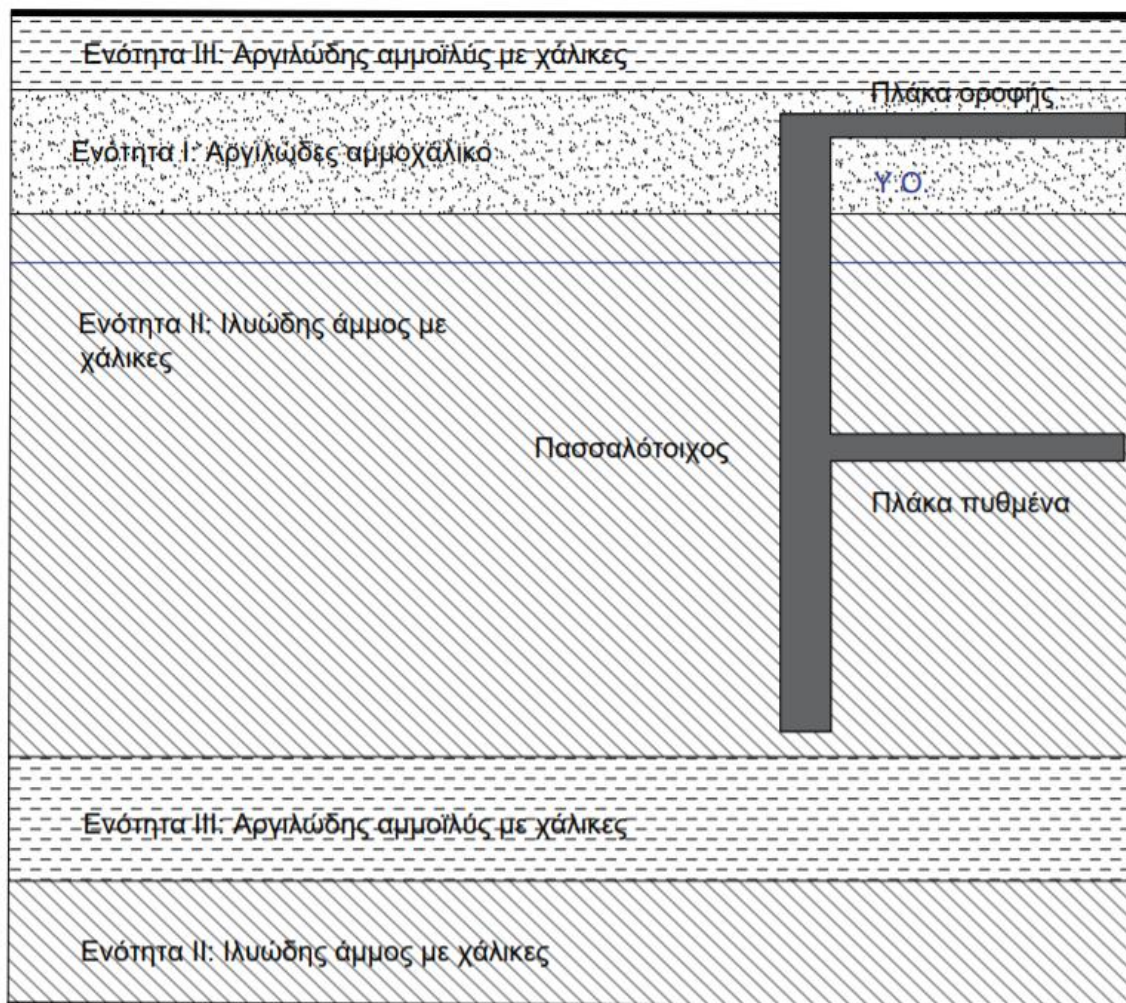
Με βάσει τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των γεωτεχνικών ερευνών, τη θεωρηθείσα στρωματογραφία, τη μορφολογία του εδάφους θεμελίωσης και το βάθος εκσκαφής, επιλέχθηκαν δύο διατομές ελέγχου για τη διενέργεια των αναλυτικών υπολογισμών. Συγκεκριμένα, οι διατομές με τα στοιχεία τους και το προφίλ σχεδιασμού τους παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 5.1). Στην κάθε διατομή εφαρμόστηκε το δυσμενέστερο αντιπροσωπευτικό της ζώνης σχεδιασμού γεωτεχνικό προφίλ, για το μέγιστο βάθος εκσκαφής.



| Κατηγορία Σχεδιασμού | Εύρος Εφαρμογής (Χ.Θ. αρχής-τέλους) | Διατομή Ελέγχου – Χ.Θ. Διατομής | Γεωτεχνικό προφίλ    |            | Μέγιστο βάθος από επιφάνεια εδάφους μέχρι κάτω παρειά πλάκας οροφής (m) | Μέγιστο βάθος από επιφάνεια εδάφους μέχρι κάτω παρειά πλάκας πυθμένα (m) |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|                      |                                     |                                 | Γεωτεχνικές Ενότητες | Βάθος (m)  |                                                                         |                                                                          |
| I                    | 115+879,802-116+198,798             | Α-Α' (116+028,50)               | III                  | 0,0-1,5    | 3,30                                                                    | 12,5(με υπερ-εκσκαφή 0,5m)                                               |
|                      |                                     |                                 | I                    | 1,5-7,1    |                                                                         |                                                                          |
|                      |                                     |                                 | II                   | 7,1-18,5   |                                                                         |                                                                          |
|                      |                                     |                                 | III                  | 18,5-23,5  |                                                                         |                                                                          |
|                      |                                     |                                 | II                   | 23,5-τέλος |                                                                         |                                                                          |
| II                   | 116+198,798-116+505,777             | Β-Β' (116+484,89)               | III                  | 0,0-2,6    | 3,60                                                                    | 12,55(με υπερ-εκσκαφή 0,5m)                                              |
|                      |                                     |                                 | II                   | 2,6-6,4    |                                                                         |                                                                          |
|                      |                                     |                                 | III                  | 6,4-7,8    |                                                                         |                                                                          |
|                      |                                     |                                 | II                   | 7,8-15,0   |                                                                         |                                                                          |
|                      |                                     |                                 | III                  | 15,0-26,0  |                                                                         |                                                                          |
|                      |                                     |                                 | II                   | 26,0-τέλος |                                                                         |                                                                          |

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά διατομών ελέγχου σχεδιασμού

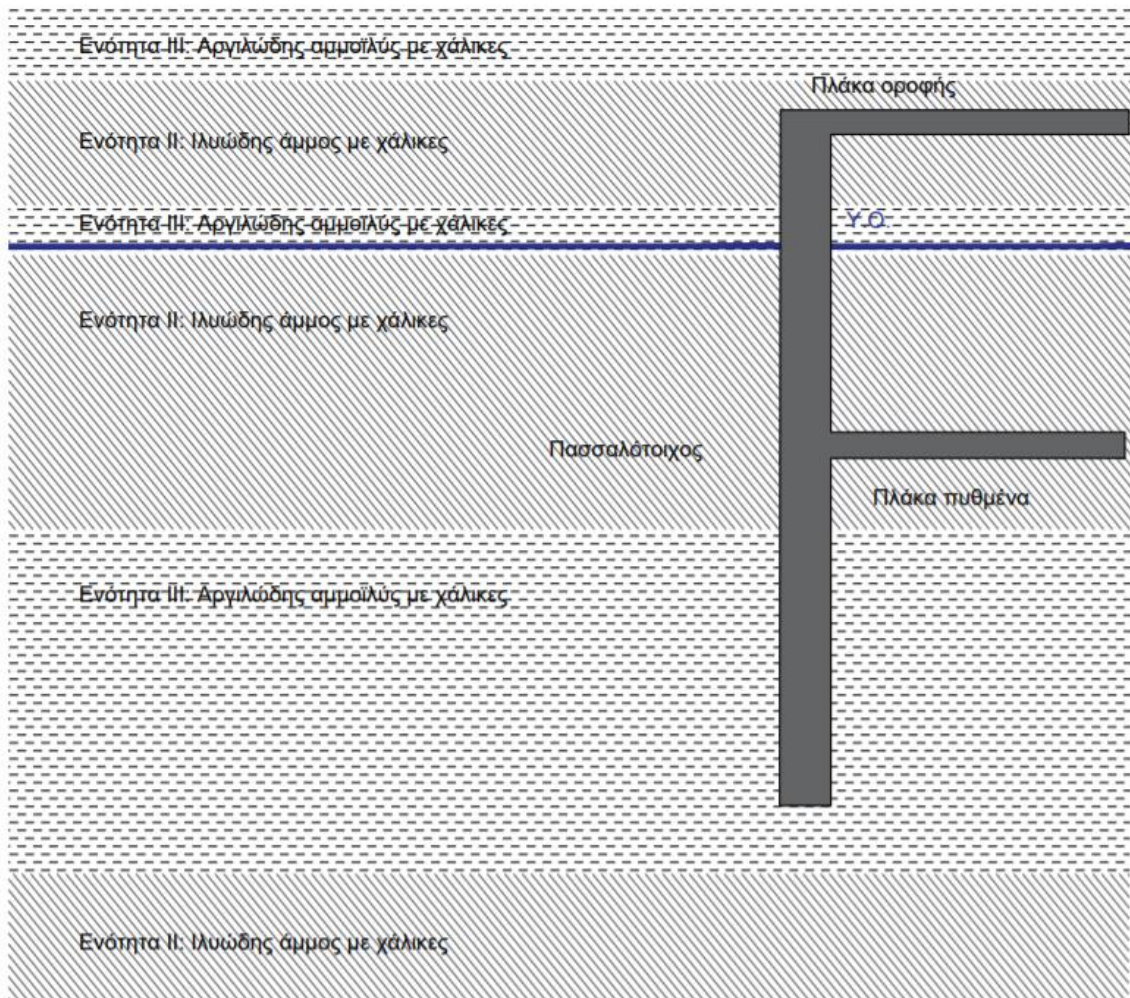
Η στρωματογραφία σε κάθε διατομή ελέγχου παρουσιάζεται και στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 5.1 : Γεωτεχνικό Προφίλ Σχεδιασμού για τη Διατομή Ελέγχου Α'-Α

Το γεωλογικό προφίλ του Σχεδιασμού Ι (Διατομή Α'-Α) (σχήμα 5.1) λήφθηκε σύμφωνα με τη γεώτρηση ΓΝ-336, με τη διαφορά ότι το πάχος της αργιλικής στρώσης της Ενότητας ΙΙΙ λήφθηκε από τη Γεώτρηση ΓΝ-337, που είναι δυσμενέστερο. Το μέγιστο βάθος εκσκαφής υπολογίστηκε ίσο με 3,30m .





Σχήμα 5.2 : Γεωτεχνικό Προφίλ Σχεδιασμού για τη Διατομή Ελέγχου Β'-Β

Το γεωλογικό προφίλ του Σχεδιασμού II (Διατομή Β'-Β) (Σχήμα 5.2) λήφθηκε σύμφωνα με τη γεώτρηση ΓΝ-341. Η γεωτεχνική ενότητα I μεταξύ των βαθών 11,0 και 15,0 m από την επιφάνεια του εδάφους, θεωρήθηκε στους υπολογισμούς ως γεωτεχνική ενότητα II, καθώς η ενότητα I δεν εκτείνεται σε όλο το μήκος του Σχεδιασμού II. Η ενότητα II έχει συναφή φυσικά χαρακτηριστικά με την ενότητα I, ελαφρώς μικρότερες παραμέτρους αντοχής και μικρότερη συμπιεστότητα από την ενότητα I, οπότε η παραπάνω παραδοχή είναι συντηρητική, προς την πλευρά της ασφάλειας. Το μέγιστο βάθος εκσκαφής υπολογίστηκε ίσο με 3,60m.

#### 5.4 Φορέας τεχνικού

Το μελετώμενο τμήμα της Νέας Σιδηροδρομικής Γραμμής βρίσκεται μεταξύ των Χ.Θ. 115+879,802 και 116+505,777 και έχει συνολικό μήκος 625,975m. Στο τμήμα αυτό η χάραξη της Νέας Σιδηροδρομικής Γραμμής ακολουθεί την παλαιά χάραξη, διερχόμενη όμως υπογείως. Η ερυθρά της χάραξης τοποθετείται σε βάθος 8,97 – 10,63m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ τα υψόμετρα εδάφους κυμαίνονται μεταξύ 14,79m και 16,10m. Η απόσταση του υπό εξέταση τμήματος της χάραξης από τη θάλασσα κυμαίνεται μεταξύ 260 και 500m περίπου.

Ο άξονας της χάραξης στο εν λόγω τμήμα τέμνεται από την Κάθετη Οδό 14 (ΚΟ14) στη Χ.Θ. 115+930, τον άξονα της κοίτης του ποταμού Ξηρορέματος στη Χ.Θ. 116+188, και από την Κάθετη Οδό 1 (ΚΟ1 - Οδός Αγίου Βασιλείου) στη Χ.Θ. 116+373. Στη θέση του ποταμού Ξηρορέματος προβλέπεται να κατασκευαστεί μικρό τεχνικό για την αποκατάσταση της ροής των υδάτων. Στα όρια της νέας χάραξης υπάρχουν επίσης κτίσματα, κυρίως στο δεύτερο μισό του τμήματος, όπου αναπτύσσεται ο οικισμός του Αγίου Βασιλείου. Το τεχνικό έργο χαρακτηρίζεται ως τεχνικό σκεπασμένου ορύγματος με επανεπίχωση και εκσκαφή ( Cover & Cut). Οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή φορέα Cover & Cut έναντι φορέα Cut & Cover αναπτύσσονται αναλυτικά στην Παράγραφο 5.4. Το τεχνικό έργο περιγράφεται ως εξής:

Δύο σειρές φρεατοπασσάλων θα δημιουργήσουν δύο παράλληλα πετάσματα, τα οποία θα οριοθετήσουν την εκσκαφή και θα λειτουργήσουν ως στοιχεία του μόνιμου φορέα. Το καθαρό άνοιγμα μεταξύ των επενδύσεων των φρεατοπασσάλων θα είναι 11,50m. Στο καθαρό άνοιγμα συμπεριλαμβάνεται επιπρόσθετος χώρος 25cm εκατέρωθεν για μελλοντική χρήση και κατασκευαστικές ανοχές των φρεατοπασσάλων. Οι φρεατοπάσσαλοι θα είναι εφεπτόμενοι, διαμέτρου 1,20 m, σε αξονική απόσταση 1,20m και θα είναι κατασκευασμένοι από οπλισμένο έγχυτο σκυρόδεμα.

Οι φρεατοπάσσαλοι θα κατασκευαστούν αφού έχει προηγηθεί εκσκαφή μέχρι την κάτω παρειά της πλάκας οροφής με προσωρινά πρηνή και στις δύο παρειές και με κλίση 1:1. Στο μεγαλύτερο τμήμα της χάραξης, τα πρηνή διαμορφώνονται είτε σε χώρο που απαλλοτριώνεται είτε μέσα σε ιδιοκτησίες, στις οποίες θα χρειαστεί να γίνει προσωρινή κατάληψη χώρου με κατεδάφιση των φραχτών τους και των υπαίθριων κατασκευών. Για την εφαρμογή της λύσης είναι αναγκαία σε συγκεκριμένες θέσεις η απαλλοτρίωση κτιρίων, ώστε να μορφωθούν τα προσωρινά πρηνή που απαιτούνται αλλά και να δημιουργηθεί ικανός χώρος για την κατασκευή των πασσάλων.

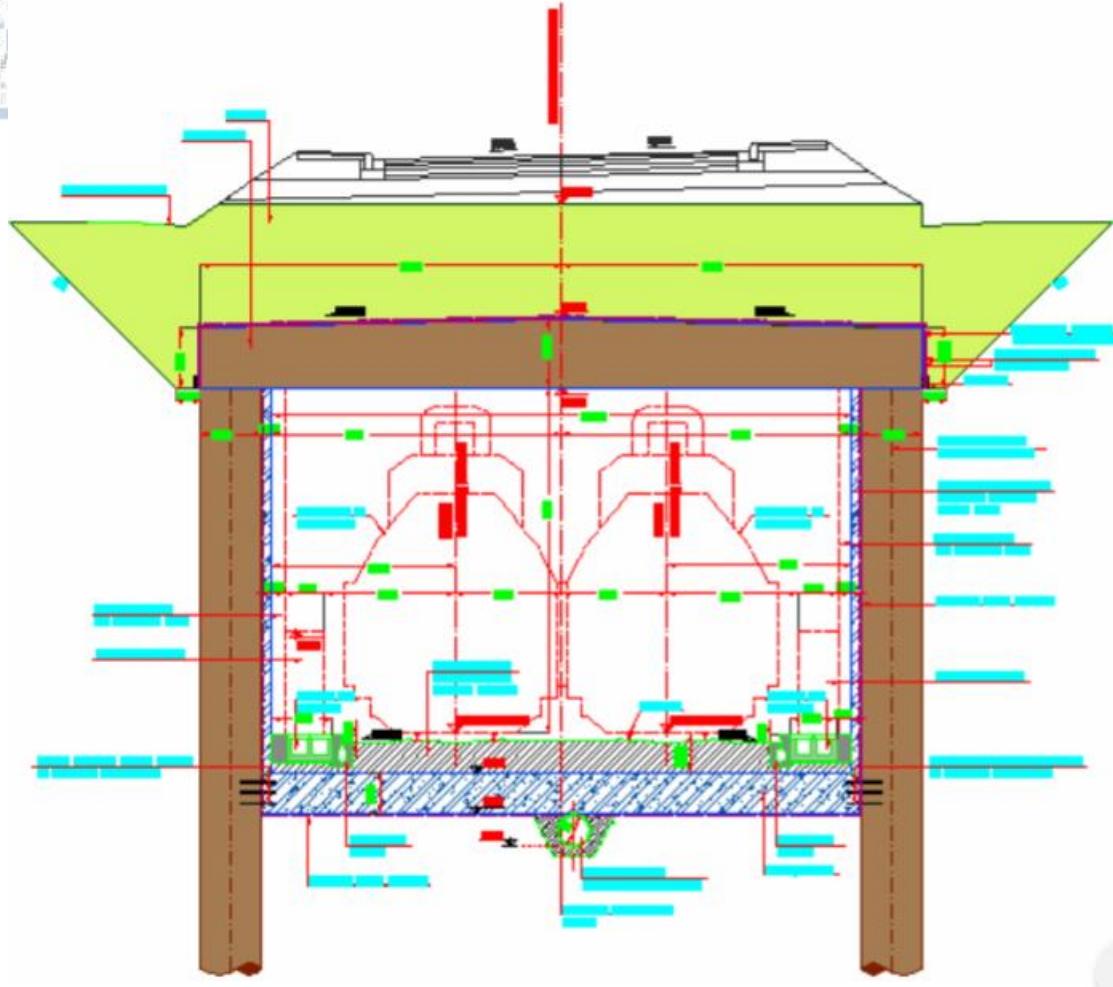
Σε κάποιες θέσεις, για την προστασία των υπάρχουσών κατασκευών, κατά την προσωρινή εκσκαφή μέχρι την κάτω παρειά της πλάκας οροφής, θα κατασκευαστούν προσωρινοί πασσαλότοιχοι, πλησίον των κτιρίων. Οι εν λόγω τοίχοι θα αποτελούνται από μικρο-πασσάλους διατομής 0,30m, συνολικού μήκους 6,2m, σε αποστάσεις 0,40m και θα είναι κατασκευασμένοι από οπλισμένο έγχυτο σκυρόδεμα. Ο κεφαλόδεσμος των μικρο-πασσάλων θα έχει διαστάσεις 0,50x0,50 m (πλάτος x βάθος), και θα αποτελείται επίσης από οπλισμένο έγχυτο σκυρόδεμα.

Η πλάκα οροφής του φορέα θα έχει πάχος 1,2m στα άκρα, ενώ στο μέσο της το πάχος θα αυξάνεται σε 1,364m, για να εξασφαλίζεται κλίση 2,5% στην άνω της παρειά, ώστε να επιτυγχάνεται η αποστράγγισή της. Η πλάκα οροφής θα κατασκευαστεί από οπλισμένο έγχυτο σκυρόδεμα. Η πλάκα οροφής θα σκυροδετηθεί επί εδάφους. Πριν την σκυροδέτηση της πλάκας οροφής θα προηγηθεί η σκυροδέτηση μιας στρώσης καθαριότητας πάχους 10cm. Επί της στρώσης καθαριότητας και πριν τη σκυροδέτηση της πλάκας οροφής θα τοποθετηθεί μεμβράνη προστασίας, για την ομαλή αφαίρεση της στρώσης καθαριότητας κατά την εκσκαφή του υπόγειου τμήματος του C&C. Μετά την πάροδο 28 ημερών από την σκυροδέτησή της η πλάκα οροφής θα επιχωθεί και μπορεί να κατασκευαστεί η προβλεπόμενη οδοποιία. Οι φρεατοπάσσαλοι θα συνδέονται μονολιθικά με την πλάκα οροφής.

Για τη διασφάλιση της εύρυθμης λειτουργίας της σταθερής επιδομής σε όλη τη διάρκεια ζωής του τεχνικού κρίθηκε απαραίτητη από τους μελετητές η κατασκευή πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 80cm στον πυθμένα του τεχνικού πάνω στην οποία θα εδραστεί η σταθερή επιδομή. Οι λόγοι που επιβάλλουν την κατασκευή πλάκας πυθμένα δεν είναι μόνο η ύπαρξη της σταθερής επιδομής, αλλά κυρίως υδραυλικοί και περιβαλλοντικοί. Επιπλέον, η πλάκα πυθμένα θα οδηγήσει σε αύξηση της ακαμψίας της έδρασης και προστασία έναντι του παγετού της σταθερής επιδομής.

Η εσωτερική επιφάνεια της εκσκαφής τελικά θα επενδυθεί, ώστε να διαμορφωθεί η απαιτούμενη διατομή χρήσης. Τα πλευρικά τοιχία της επένδυσης θα έχουν πάχος 20cm και θα κατασκευαστούν από οπλισμένο σκυρόδεμα. Μια τυπική διατομή του φορέα του C&C παρατίθεται στο Σχήμα 5.3.





Σχήμα 5.3: Τυπική Διατομή του Φορέα του C&C

Κατά μήκος του τεχνικού θα κατασκευαστούν εσοχές ασφαλείας. Οι ελάχιστες διαστάσεις τους θα είναι 1,70 x 1,50 x 6,85m (βάθος x πλάτος x ύψος). Οι εσοχές ασφαλείας θα τοποθετηθούν ανά 44m στην κάθε παρειά και η τοποθέτησή τους και στις δύο παρειές θα είναι εναλλασσόμενη, έτσι ώστε οι εσοχές της μίας παρειάς να αντιστοιχούν στα μεσοδιαστήματα των εσοχών της άλλης.

Έξοδοι διαφυγής δεν απαιτούνται για το τεχνικό σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς DS 853, καθώς το συνολικό του μήκος είναι μικρότερο των 1000m.

Αν κατά τις εργασίες εκσκαφής εντός του ορύγματος παραστεί η ανάγκη για καταβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα στο επίπεδο της στάθμης εκσκαφής, τότε αυτό θα γίνει με τη βοήθεια αντλήσεων μέσω φρεατίων άντλησης που θα κατασκευαστούν εντός του ορύγματος.

### 5.5 Φάσεις κατασκευής

Με τη μέθοδο κατασκευής Cover & Cut το τεχνικό κατασκευάζεται από πάνω προς τα κάτω ακολουθώντας την πρόοδο της εκσκαφής (top-down construction). Η κατασκευαστική ακολουθία του τεχνικού περιγράφεται παρακάτω.

Αρχικά θα γίνει η εγκατάσταση του εργοταξίου και ο καθαρισμός της περιοχής κατάληψης κατά μήκος του άξονα του τεχνικού. Όταν κατασκευαστεί η επιφάνεια εργασίας, μπορεί να ξεκινήσει η διάτρηση και σκυροδέτηση των μικρο-πασσάλων διατομής Φ0,30m σε αξονικές αποστάσεις 0,40m, όπου απαιτείται.

Στη συνέχεια θα ακολουθήσει επιφανειακή εκσκαφή – διαμόρφωση έως τη στάθμη έδρασης της πλάκας οροφής. Θα ακολουθήσει η διάτρηση, τοποθέτηση κλωβών οπλισμών και σκυροδέτηση των φρεατοπασσάλων διαμέτρου Φ1,2m. Η μελέτη προβλέπει φρεατοπασσάλους από οπλισμένο έγχυτο σκυρόδεμα σε αξονική απόσταση 1,2m.

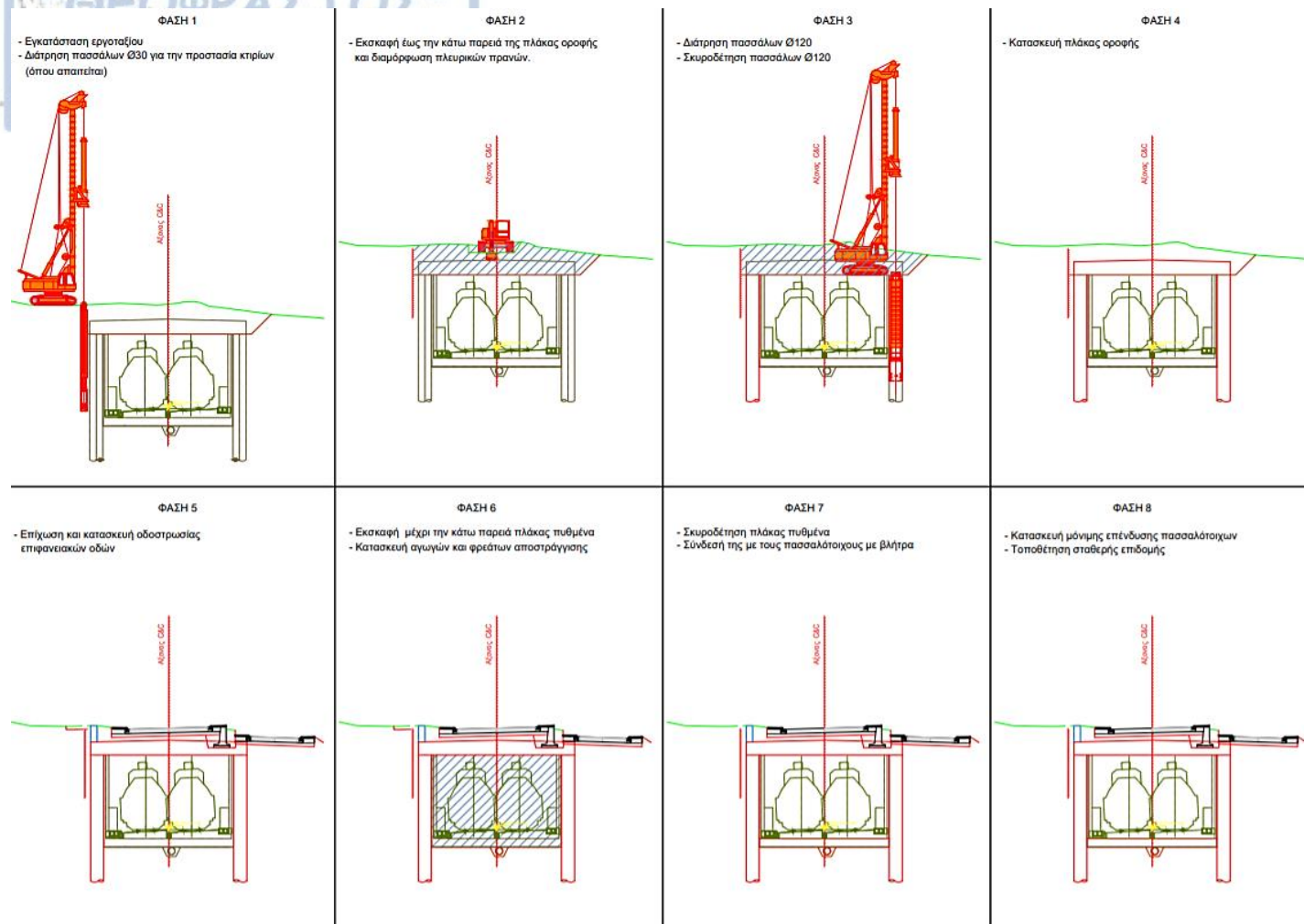
Στη συνέχεια θα ακολουθήσει η κατασκευή της πλάκας οροφής. Πρώτα θα κατασκευαστεί μία στρώση καθαριότητας πάχους 10cm. Επί της στρώσης καθαριότητας θα τοποθετηθεί μεμβράνη προστασίας, για την ομαλή αφαίρεση της στρώσης καθαριότητας κατά την εκσκαφή του υπόγειου τμήματος του C&C. Εν συνεχεία θα σκυροδετηθεί η πλάκα οροφής. Η πλάκα οροφής θα κατασκευαστεί από οπλισμένο έγχυτο σκυρόδεμα ποιότητας .

Μετά την υδατοστεγάνωση της πλάκας και την πάροδο τουλάχιστον 28 ημερών, θα γίνει επανεπίχωση και οδοστρωσία, καθώς και αποκατάσταση του οδικού δικτύου και των δικτύων κοινής ωφελείας.

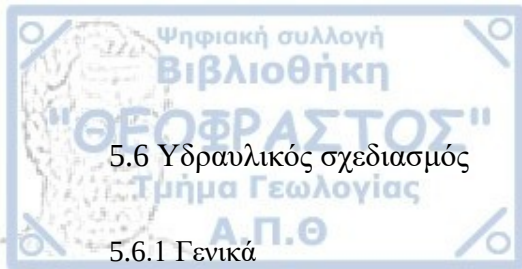
Εφόσον το σκυρόδεμα αναπτύξει την προβλεπόμενη από τη μελέτη αντοχή του και έχει τελειώσει η κατασκευή της επανεπίχωσης και της επιφανειακής οδοστρωσίας, θα ξεκινήσει η εκσκαφή υπό την πλάκα οροφής στο εσωτερικό του τεχνικού. Για την προστασία του υφιστάμενου εδάφους κάτω από τη στάθμη εκσκαφής η εκσκαφή θα γίνει αρχικά έως ένα προσωρινό επίπεδο εκσκαφής στα 0,5m πάνω από την τελική στάθμη εκσκαφής. Θα κατασκευαστεί δηλαδή ένας προσωρινός πυθμένας προκειμένου να προστατευθεί το υποκείμενο έδαφος από την κυκλοφορία του εξοπλισμού κατά τις εργασίες της εκσκαφής του Cover & Cut. Πιθανές εισροές υδάτων πρέπει να περιοριστούν άμεσα και να αποστραγγιστούν κατάλληλα. Ο τελικός πυθμένας θα εκσκαφθεί εφόσον έχουν ολοκληρωθεί οι εκσκαφές μέχρι τη στάθμη του προσωρινού πυθμένα σε όλο το μήκος του τεχνικού. Στη συνέχεια θα πληρωθεί η επιφάνεια μεταξύ των πασσάλων με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα , έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια επίπεδη τελική επιφάνεια.

Μετά το πέρας των εκσκαφών θα τοποθετηθεί η κατάλληλη στεγάνωση, και θα ακολουθήσει η σκυροδέτηση της πλάκας πυθμένα πάχους 0,8m. Η πλάκα θα αγκυρωθεί στους πασσαλότοιχους με χρήση βλήτρων. Θα ακολουθήσει η υδατοστεγάνωση των παρειών και η τμηματική κατασκευή των πλευρικών τοιχίων επένδυσης. Τα πλευρικά τοιχεία της επένδυσης θα έχουν πάχος 20cm και θα κατασκευαστούν από οπλισμένο σκυρόδεμα ποιότητας . Η επένδυση θα συνδεθεί με την πλάκα οροφής καθώς και με τους φρεατοπασσάλους μέσω βλήτρων.

Η κατασκευή του τεχνικού θα ολοκληρωθεί με τη διαμόρφωση του πυθμένα (υδραυλικό σύστημα αποστράγγισης – αποχέτευσης, σταθερή επιδομή και σιδηροτροχιές, Η/Μ εγκαταστάσεις). Σημειώνεται ότι η τοπική εκσκαφή για τον αγωγό αποχέτευσης – αποστράγγισης θα γίνει τμηματικά πριν από την κατασκευή της πλάκας πυθμένα και τα τμήματα εκσκαφής δεν θα ξεπερνούν σε μήκος τα 5m. Αμέσως μετά το πέρας της εκσκαφής θα λαμβάνει χώρα η τοποθέτηση του προβλεπόμενου αγωγού αποχέτευσης, καθώς και ο εγκιβωτισμός του σε σκυρόδεμα. Οι φάσεις κατασκευής του τεχνικού με τη μέθοδο Cover & Cut παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4: Φάσεις κατασκευής του τεχνικού με τη μέθοδο Cover & Cut



## 5.6 Υδραυλικός σχεδιασμός

### 5.6.1 Γενικά

Καθώς η γεωλογία της περιοχής κατασκευής του τεχνικού έργου αποτελείται από υδατοπερατούς σχηματισμούς η εισροή υδάτων στο εσωτερικό της διατομής του τεχνικού έργου θα αποτελεί σοβαρό πρόβλημα για την ολοκλήρωση κατασκευής του, καθώς και για την λειτουργία του. Το πρόβλημα αυτό θα λυθεί με την εφαρμογή κατάλληλου υδατοστεγανωτικού συστήματος. Η πλάκα οροφής θα επενδυθεί εξωτερικά με δύο στρώσεις γεωυφάσματος (στρώσεις προστασίας και υδροσυλλογής) ανάμεσα από τις οποίες θα τοποθετηθεί στεγανωτική μεμβράνη πάχους 2,5mm. Το γεωύφασμα θα είναι μη υφαντό και το βάρος του θα είναι περίπου 500gr/m. Οι στεγανωτικές αυτές στρώσεις θα επικαλύπτονται με σκυρόδεμα προστασίας. Η εσωτερική επιφάνεια των φρεατοπασσάλων θα επενδυθεί με υδατοστεγανωτικό σύστημα, που θα αποτελείται από μία στρώση μεμβράνης. Η στρώση αυτή θα καλύπτει ολόκληρη την εσωτερική επιφάνεια των πασσάλων έως τη στάθμη εκσκαφής καθώς και την κάτω παρειά της πλάκας πυθμένα. Η στεγάνωση των αρμών θα επιτευχθεί με τη χρήση waterstops.

### 5.6.2 Τεκμηρίωση τοποθέτησης πλάκας πυθμένα

Στον έλεγχο απαίτησης πλάκας πυθμένα εξετάστηκε η διατομή σχεδιασμού στην φάση της τελικής εκσκαφής δίχως πλάκα πυθμένα και υπολογίστηκε το δίκτυο ροής και η παροχή νερού που θα κληθεί να αναλάβει στην περίπτωση αυτή το σύστημα αποστράγγισης.

Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι η παροχή που θα απαιτηθεί να αναλάβει το σύστημα αποστράγγισης του τεχνικού έργου, στην περίπτωση μη χρήσης πλάκας πυθμένα κυμαίνεται στα 1-3 m<sup>3</sup> /ημέρα/m μήκους. Η παροχή αυτή, δεν θεωρείται πολύ μεγάλη και με τη χρήση σωληνώσεων από το σύστημα αποστράγγισης θα παραληφθεί με ασφάλεια. Παρόλα αυτά, η αποστραγγιστική στρώση που θα πρέπει να κατασκευαστεί κάτω από την σταθερή επιδομή, για να οδηγεί τα υπόγεια νερά στο σύστημα αποστράγγισης, είναι πιθανό να σταματήσει να λειτουργεί αποδοτικά σε κάποια φάση της ζωής του έργου, με καταστροφικές συνέπειες για την ασφαλή λειτουργία του τεχνικού έργου.

Επιπλέον, η συνεχής αποστράγγιση νερού καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου είναι πιθανό να επηρεάσει μακροπρόθεσμα τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, επιφέροντας πιθανές ζημιές στο σύστημα εκμετάλλευσης του ορίζοντα αυτού στην ευρύτερη περιοχή του Αγίου Βασιλείου.

Για τους παραπάνω υδραυλικούς και περιβαλλοντικούς λόγους, λοιπόν, κρίνεται αναγκαία η χρήση πλάκας πυθμένα. Προτείνεται η κατασκευή πλάκας πυθμένα πάχους 0,8m και η αρθρωτή σύνδεσή της με τους πασσαλότοιχους μέσω βλήτρων.



## 5.7 Ανάλυση του φορέα

Στο σημείο αυτό γίνεται μία αναφορά των δυνάμεων που δρουν στον φορέα, κατά τη φάση κατασκευής του και κατά το τελικό στάδιο.

### 5.7.1 Ανάλυση του φορέα κατά τη φάση κατασκευής

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που διενεργήθηκαν για την διερεύνηση της ευστάθειας του σκεπασμένου ορύγματος του Αγίου Βασιλείου κατά τη φάση κατασκευής. Ο φορέας του σκεπασμένου ορύγματος θα κατασκευαστεί με τη μέθοδο της επανεπίχωσης και εκσκαφής (cover & cut ή top – down method), όπως προαναφέρθηκε. Σκοπός της εν λόγω σειράς αναλύσεων είναι ο σχεδιασμός των δομικών στοιχείων του σκεπασμένου ορύγματος (πασσαλότοιχοι, πλάκα οροφής και πλάκα πυθμένα) ώστε να δύνανται να αναλάβουν με ασφάλεια τα φορτία που προκύπτουν προσωρινά κατά τη φάση κατασκευής.

Οι αναλύσεις που πραγματοποίησε ο μελετητής, εκτελέστηκαν με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, με το λογισμικό PLAXIS Version 8.6, θεωρώντας συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης (plain strain conditions). Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί τον πλέον δόκιμο τρόπο επίλυσης γεωτεχνικών κατασκευών, καθώς δίνει μια ολοκληρωμένη λύση, που λαμβάνει υπόψη της την ισορροπία δυνάμεων, την συμβιβαστότητα των παραμορφώσεων, τον καταστατικό νόμο συμπεριφοράς των γεωυλικών καθώς και τις συνοριακές συνθήκες.

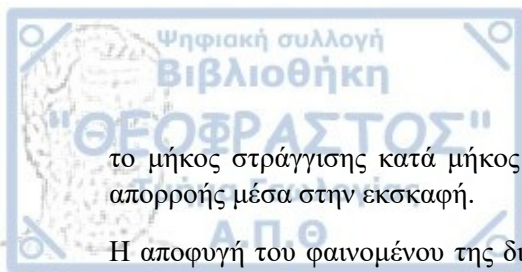
Στα πλαίσια της προμελέτης θεωρήθηκαν οι δυσμενέστερες από άποψη γεωμετρίας (μέγιστο βάθος αντιστήριξης) και γεωλογίας διατομές για κάθε ένα σχεδιασμό. Στα φορτία των υπό μελέτη διατομών λήφθηκε υπόψη και το φορτίο μελλοντικής κατασκευής, με βάσει τις ισχύουσες πολεοδομικές διατάξεις.

Όσον αφορά την αριθμητική προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε από τον μελετητή, με το λογισμικό PLAXIS Version 8.6 αξίζει να σημειωθούν τα παρακάτω σημεία:

- Στις αναλύσεις με το μέγιστο ύψος αντιστήριξης και τη θεώρηση μελλοντικού κτιρίου οι μετακινήσεις μηδενίστηκαν μετά το στάδιο επιβολής κατασκευαστικού φορτίου. Στις αναλύσεις με θεώρηση υπάρχοντος κτιρίου, οι μετακινήσεις μηδενίστηκαν μετά το στάδιο επιβολής του φορτίου του κτιρίου καθώς και μετά το στάδιο επιβολής των κινητών φορτίων των δρόμων. Κατά αυτό τον τρόπο έγινε δυνατός ο υπολογισμός των επιβαλλόμενων καθιζήσεων στο υπάρχον κτίριο κυρίως λόγω των εκσκαφών.
- Τα αργιλικό στρώμα της γεωτεχνικής ενότητας ΙΙΙ που βρίσκεται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα θεωρήθηκε ότι συμπεριφέρεται αστράγγιστα σε όλα τα στάδια ανάλυσης. Δηλαδή σε όλα τα στάδια πλην του τελευταίου επιτράπηκε στο εν λόγω αργιλικό στρώμα η δημιουργία υπερπίεσεων ή υποπίεσεων του νερού των πόρων.

### 5.7.2 Έλεγχος θραύσης του πυθμένα της εκσκαφής λόγω διασωλήνωσης (Piping)

Η θραύση του πυθμένα της εκσκαφής λόγω «διασωλήνωσης» (piping) οφείλεται στην ανοδική διήθηση του υπόγειου νερού μέσω διαπερατών στρωμάτων μέσα στην εκσκαφή και παρατηρείται κυρίως όταν οι τοίχοι αντιστήριξης δεν τερματίζουν σε αδιαπέρατη στρώση. Συνθήκες διασωλήνωσης του πυθμένα δημιουργούνται όταν η υδραυλική βαθμίδα εξόδου, δηλαδή ο λόγος του υδραυλικού φορτίου ως προς



το μήκος στράγγισης κατά μήκος του τοίχου αντιστήριξης, αποκτήσει μοναδιαία τιμή στο σημείο απορροής μέσα στην εκσκαφή.

Η αποφυγή του φαινομένου της διασωλήνωσης γίνεται είτε μέσω μείωσης του υδραυλικού φορτίου είτε με αύξηση του μήκους στράγγισης, η οποία επιτυγχάνεται συνήθως με αύξηση του βάθους έμπτυξης των τοίχων αντιστήριξης.

Στο υπό μελέτη τεχνικό, καθώς θα κατασκευαστεί πλάκα πυθμένα δεν υφίσταται κίνδυνος διασωλήνωσης στην μόνιμη κατάσταση. Κρίνεται όμως σκόπιμο να εξεταστεί το τεχνικό έναντι του φαινομένου διασωλήνωσης κατά τη φάση κατασκευής.

### 5.7.3 Έλεγχος του σκεπασμένου ορύγματος έναντι άνωσης

Όπως αναφέρθηκε, η στάθμη σχεδιασμού του υδροφόρου ορίζοντα λήφθηκε στα 7,5m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Παρακάτω παρουσιάζεται ο έλεγχος άνωσης στη βαθύτερη διατομή ελέγχου. Εφόσον ο έλεγχος στη βαθύτερη διατομή είναι ικανοποιητικός, συνεπάγεται ότι όλο το σκεπασμένο όρυγμα θα παρουσιάζει ικανοποιητική ασφάλεια έναντι άνωσης.

Η βαθύτερη διατομή του Cover-and-Cut είναι αυτή που, ο υδροφόρος ορίζοντας εντός του ορύγματος βρίσκεται στα 12,05m. Λόγω της διαφοράς στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα εντός και εκτός του ορύγματος προκύπτει υδραυλικό φορτίο περίπου ίσο με  $H=4,6$  m κατά την μόνιμη λειτουργία του φορέα. Το υδραυλικό φορτίο θα προκαλέσει δυνάμεις άνωσης στον πυθμένα εφόσον δεν υπάρξει κατάλληλη αποστράγγιση του νερού. Τις ανωστικές δυνάμεις θα αντισταθμίσει το ίδιο βάρος του μόνιμου φορέα.

Η πλάκα πυθμένα θα συνδεθεί αρθρωτά με τους πασσαλότοιχους και κατά προέκταση το σύστημα των πασσαλότοιχων, της πλάκας πυθμένα και της πλάκας οροφής θα αποτελέσει έναν ενιαίο φορέα, το βάρος του οποίου θα ανθίσταται στην δύναμη της άνωσης.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν στην τεχνική μελέτη, προκύπτει ότι εφόσον κατασκευαστεί πλάκα πάχους 0,8m, η οποία θα συνδεθεί αρθρωτά με τους πασσαλότοιχους, δεν υφίσταται κίνδυνος αστοχίας λόγω άνωσης για το σκεπασμένο όρυγμα του Αγίου Βασιλείου.

### 5.8 Όργανα γεωτεχνικής παρακολούθησης

Η κατασκευή του τεχνικού θα πραγματοποιηθεί εντός κατοικημένης περιοχής και σε αρκετές περιπτώσεις δίπλα σε κατασκευές που δύνανται να επηρεαστούν άμεσα από τις κατασκευαστικές εργασίες και τις διαδικασίες εκσκαφής. Για τον λόγο αυτό, κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση ενός εκτεταμένου συστήματος οργάνων μέτρησης καθώς και η συστηματική παρακολούθησή τους, για να προβλεφθούν και να αντιμετωπιστούν έγκαιρα τυχόν αποκλίσεις από τις προβλέψεις που έγιναν από την τεχνική μελέτη. Στη παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα όργανα παρακολούθησης.

Τέλος, τονίζεται η ανάγκη επί τόπου επίσκεψης και αποτύπωσης της κατάστασης των υπαρχουσών κτιρίων, που βρίσκονται σε ακτίνα 20m από την εκσκαφή, πριν την έναρξη των εργασιών.

#### 5.8.1 Όργανα παρακολούθησης

Τα όργανα παρακολούθησης που προτείνονται είναι, η εγκατάσταση κλισιομέτρων, πιεζομέτρων, μαρτύρων παρακολούθησης μετακινήσεων (ανακλαστήρες) εντός της εκσκαφής στους πασσαλότοιχους και στην πλάκα οροφής, στους μικροπασάλους και στα παρακείμενα της εκσκαφής κτίρια .

#### 5.8.2 Κλισιόμετρα

Όσον αφορά τα κλισιόμετρα προβλέπεται η εγκατάσταση έξι (6) κλισιομέτρων. Με τα κλισιόμετρα θα παρακολουθούνται οι συγκλίσεις των παρειών της εκσκαφής καθώς και η συμπεριφορά του εδάφους θεμελίωσης παρακείμενων στην εκσκαφή κτιρίων για την αποφυγή ρηγμάτωσης ή βλάβης σε αυτά. Η κατασκευή των κλισιομέτρων θα γίνει αφού ολοκληρωθεί η επανεπίχωση άνωθεν της πλάκας οροφής και πριν την έναρξη της κυρίως εκσκαφής για την πλάκα πυθμένα. Τα κλισιόμετρα θα έχουν μήκος 20m και θα κατασκευαστούν σε απόσταση 0,50m από την εξωτερική παρειά των πασσαλότοιχων.

#### 5.8.3 Μάρτυρες παρακολούθησης μετακινήσεων σε παρακείμενες κατασκευές και μικροπασάλους

Όσον αφορά τις πιθανές καθιζήσεις προτείνεται η τοποθέτηση μαρτύρων παρακολούθησης μετακινήσεων περιμετρικά των παρακείμενων κτιρίων για την μέτρηση απολύτων αλλά και διαφορικών καθιζήσεων που θα προκληθούν σε αυτά λόγω των έργων.

Προτείνεται να τοποθετηθούν τέσσερις μάρτυρες ( Σχήμα 5.5) σε κάθε κτίριο, από τους οποίους οι δύο θα βρίσκονται μεταξύ πασσαλότοιχου και κτιρίου και παράλληλα στο κτίριο και δύο στις πίσω άκρες του κτιρίου.

Η κατασκευή των μαρτύρων θα γίνει σε απόσταση 0.10-1.00m από το εκάστοτε κτίριο μετά την κατασκευή των μικροπασάλων και πριν την έναρξη της εκσκαφής για την πλάκα οροφής. Οι μάρτυρες θα πρέπει να προστατεύονται κατάλληλα για την αποφυγή φθοράς ή καταστροφής τους.

Στις περιοχές που προβλέπεται η κατασκευή προσωρινών τοίχων με μικροπασάλους, η παρακολούθηση των μετακινήσεων θα γίνει με εγκατάσταση μαρτύρων παρακολούθησης στον κεφαλόδεσμο των μικροπασάλων.

Τέλος, μετά την ολοκλήρωση της εκσκαφής, προτείνεται η εγκατάσταση μαρτύρων στην πλάκα οροφής και στους πλευρικούς τοίχους, καθώς και κρίνεται απαραίτητη η παρακολούθηση του τεχνικού και μετά το πέρας της κατασκευής της τελικής επένδυσης για τυχών συγκλίσεις που μπορεί να επηρεάσουν την λειτουργικότητα της κατασκευής



Σχήμα 5.5: Σχεδιάγραμμα τοποθέτησης μαρτύρων παρακολούθησης μετακινήσεων περιμετρικά κατασκευών.

#### 5.8.4 Πιεζόμετρα

Τα πιεζόμετρα θα χρησιμοποιηθούν για τη παρακολούθηση της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα πίσω από τους τοίχους αντιστήριξης κατά την διάρκεια των εργασιών και για την ανάληψη κατάλληλων δράσεων στην περίπτωση ανύψωσης του υδροφόρου ορίζοντα πέραν της στάθμης που λήφθηκε υπόψη στη μελέτη.

Όσον αφορά το πρόγραμμα μετρήσεων που θα πρέπει να πραγματοποιούνται, προτείνεται μία μέτρηση ανά μήνα για όλες τις φάσεις της εκσκαφής καθώς επίσης και μία μέτρηση μετά από κάθε πλημμυρικό γεγονός. Σε περίπτωση έντονων καιρικών φαινομένων, όπου αναμένεται έντονη διακύμανση του υδροφόρου ορίζοντα πρέπει οι μετρήσεις να πυκνώνουν έως και μία ανά ημέρα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η γεωλογική και τεχνικογεωλογική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των γεωερευνητικών εργασιών υπαίθρου και εργαστηριακών δοκιμών, που εκτελέστηκαν για την κατασκευή της σήραγγας του Αγίου Βασιλείου με τη μέθοδο επανεπίχωσης και εκσκαφής 'Cover-and-Cut' , κατά μήκος της νέας σιδηροδρομικής γραμμής Κορίνθου-Πατρών. Τελικός στόχος της εργασίας είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων των γεωλογικών συνθηκών της περιοχής , καθώς και η ανάδειξη των μέτρων ανακούφισης των σχηματισμών από τις ανακατανομές των τάσεων , εξαιτίας της κατασκευής του τεχνικού.

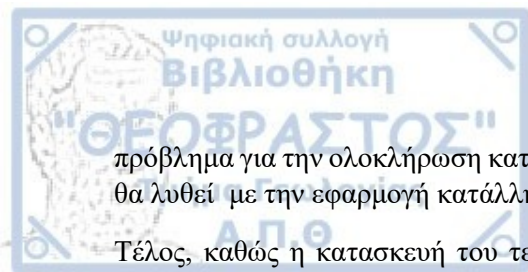
Χαρακτηριστικό του έργου, είναι η έδραση του Cover-and-Cut, μέσα σε Τεταρτογενείς σχηματισμούς και πιο συγκεκριμένα σε ποταμοχειμάρειες αποθέσεις με υψηλό ποσοστό χαλίκων. Τα υλικά αυτά, αποτελούν υλικά με φτωχές γεωτεχνικές ιδιότητες και είναι υδροπερατά, με αποτέλεσμα να υπάρχουν διαφυγές νερού και να ασκούνται πιέσεις πόρων στα πιο αργιλικά τμήματα. Μπορούν να προκαλέσουν σοβαρούς κινδύνους για την θεμελίωση μιας υπόγειας σήραγγας, γι' αυτό είναι αναγκαία η γνώση του βαθμού συνεκτικότητας της φύσης των αργιλικών υλικών, της αντοχής, της φέρουσας ικανότητας και της διαπερατότητας των σχηματισμών.

Η μεθοδολογία που ακολουθεί η εργασία , είναι αρχικά να παρουσιάσει τα αποτελέσματα των επι τόπου δοκιμών και των εργαστηριακών δοκιμών που δόθηκαν από την μελέτη , να γίνει αξιολόγηση τους με βάσει εμπειρικούς πίνακες και τύπους , στην συνέχεια να γίνει αριθμητική ανάλυση τους , έτσι ώστε να προβληθούν σε γραφήματα, έτσι ώστε να χωριστούν τα εδαφικά στρώματα σε τεχνικογεωλογικές ενότητες. Συνεπώς από την δοκιμή S.P.T. γνωρίζουμε ότι η ποιότητα των εδαφικών σχηματισμών ανήκει στην κατηγορία της πυκνής έως πολύ πυκνής απόθεσης στα αμμώδη υλικά και στιφρής έως πολύ στιφρής στα αργιλικά υλικά. Η περατότητα του νερού χαρακτηρίζεται ως υψηλή, γι' αυτό και προτείνονται αποστραγγιστικά έργα με σκοπό να ανακουφίσουν το έργο από τις προβλεπόμενες πιέσεις πόρων. Συνίστανται οι δοκιμές μεταβλητού φορτίου (Maag) και σταθερής στάθμης (Δοκιμές Lefranc). Προκύπτουν λοιπόν, τρεις Τεχνικογεωλογικές Ενότητες :

- Η Τεχνικογεωλογική ενότητα I αποτελείται από Ιλυώδες-αργιλώδες αμμοχάλικο (GP-GC) και τεμάχη πυκνής απόθεσης, ποικίλου χρώματος και πετρογραφικής σύστασης.
- Η Τεχνικογεωλογική ενότητα II αποτελείται από μεσόκοκκη έως χονδρόκοκκη ιλυώδη-αργιλώδη άμμο (SC-SM) πολύ πυκνής απόθεσης , με χάλικες, ποικίλου χρώματος και πετρογραφικής σύστασης.
- Η Τεχνικογεωλογική ενότητα III αποτελείται από κυανοπράσινη μέχρι καστανή αμμώδης αργιλιού (ML) πολύ πυκνής απόθεσης, μέτρια στιφρή έως στιφρή και χαμηλής πλαστικότητας και αργιλώδη αμμοιλύς (CL), μέσης πυκνότητας

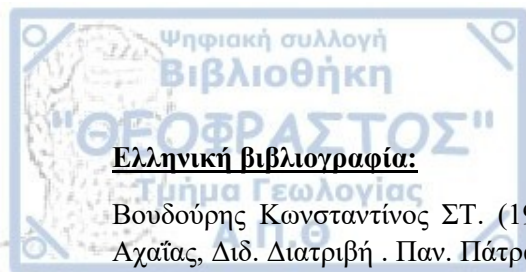
Με βάσει τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των γεωτεχνικών ερευνών, τη θεωρηθείσα στρωματογραφία, τη μορφολογία του εδάφους θεμελίωσης και το βάθος εκσκαφής, επιλέχθηκαν δύο διατομές ελέγχου για τη διενέργεια των αναλυτικών υπολογισμών. Στην κάθε διατομή εφαρμόστηκε το δυσμενέστερο αντιπροσωπευτικό της ζώνης σχεδιασμού γεωτεχνικό προφίλ, για το μέγιστο βάθος εκσκαφής. Το μέγιστο βάθος από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι την κάτω παρεία της πλάκας πυθμένα, αντιστοιχεί στην κατηγορία σχεδιασμού I στα 12.5 m και στην κατηγορία σχεδιασμού II στα 12,55 m.

Καθώς η γεωλογία της περιοχής κατασκευής του τεχνικού έργου αποτελείται από υδατοπερατούς σχηματισμούς η εισροή υδάτων στο εσωτερικό της διατομής του τεχνικού έργου θα αποτελεί σοβαρό



πρόβλημα για την ολοκλήρωση κατασκευής του , καθώς και για την λειτουργία του. Το πρόβλημα αυτό θα λυθεί με την εφαρμογή κατάλληλου υδατοστεγανωτικού συστήματος.

Τέλος, καθώς η κατασκευή του τεχνικού θα πραγματοποιηθεί εντός κατοικημένης περιοχής και σε αρκετές περιπτώσεις δίπλα σε κατασκευές που δύνανται να επηρεαστούν άμεσα από τις κατασκευαστικές εργασίες και τις διαδικασίες εκσκαφής, κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση ενός εκτεταμένου συστήματος οργάνων μέτρησης καθώς και η συστηματική παρακολούθηση τους, για να προβλεφθούν και να αντιμετωπιστούν έγκαιρα τυχούσες αποκλίσεις από τις προβλέψεις που έγιναν. Τα όργανα παρακολούθησης που προτείνονται είναι, η εγκατάσταση κλισιομέτρων, πιεζομέτρων, μαρτύρων παρακολούθησης μετακινήσεων (ανακλαστήρες) εντός της εκσκαφής στους πασσαλότοιχους και στην πλάκα οροφής, στους μικροπασσάλους και στα παρακείμενα της εκσκαφής κτίρια .



### Ελληνική βιβλιογραφία:

Βουδούρης Κωνσταντίνος ΣΤ. (1995), Υδρογεωλογικές Συνθήκες Του Βδ Τμήματος Του Νομού Αχαΐας, Διδ. Διατριβή . Παν. Πάτρα.

Δούτσος Θ. , Κοντόπουλος Ν. , Κούκης Γ. , Φρύδας Δ. , Πουλημένος Γ. , Κουκουβέλας Ι. , Ζεληλίδης Α., (1989) : Νεοτεκτονικός χάρτης, φύλο "Πάτρα". Κλ. 1:100.000, Ο.Α.Σ.Π.

Κατσίκατσος, Γ. (1992): Γεωλογία της Ελλάδας. Αθήνα.

Κωνσταντίνης Θωμάς, (2006), Παραμετρική Ανάλυση Καθιζήσεων Σε Μη Συνεκτικά Εδάφη, 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Ξάνθη.

Μουντράκης Μ. Δημοσθένης, (2010), Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, University Studio Press

Μπουκοβάλας Γ. "Ειδικά Θέματα Θεμελιώσεων " Μέρος ΙΙΙ, Κεφ. 4

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., (1986): Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδ. Επτάλοφος. Αθήνα.

Ρόζος Δ., (1989), Τεχνικογεωλογικές Συνθήκες Στο Νομό Αχαΐας- Γεωμηχανικοί Χαρακτήρες Των Πλειοπλειστοκαινικών Ιζημάτων, Διδ. Διατριβή . Παν. Πάτρα.

Χρηστάρας Β., Χατσηαγγέλου Μ., (2011), Απλά βήματα στην εδαφομηχανική, University Studio Press, Θεσσαλονίκη

Χριστοδούλου, Π, (1982) : Στρωματογραφία της Ελλάδας . Πάτρα

### Διεθνής βιβλιογραφία:

Behpoor L., Ghahramani A., Correlation of SPT to strength and modulus of elasticity of cohesive soils, Civil Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran

Bowles J.E. (1996) Foundation Analysis and Design, Handbook, McGraw-Hill, Fifth Edition Egnatia Motorway (2002-2003) Design Studies of Underground Structures

Bowles J.E. (1982) Foundation analysis and design, 3rd edition

Doutsos T., Kontopoulos N. and Frydas D., (1987): Neotectonic evolution of Northwestern-Continental Greece. Geologische Rundschau 76/2. Stuttgart.

George F. Sowers (1979), Introductory Soil Mechanics & Foundations: Geotechnic Engineering

Holtz R.D , (1938) , Introduction to Geotechnical Engineering, Kovacs W.D

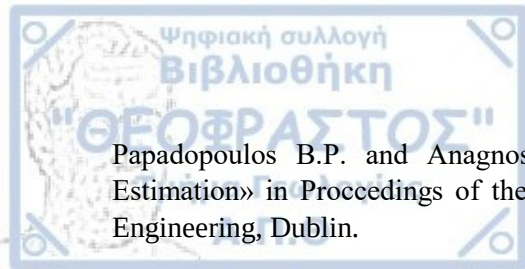
Jacobshagen V., (1977): Structure and geotectonic evolution of the Hellenides. Proceedings of the VI Coll. on the geol. of the Aegean region, I.G.M.E., Athens.

Jaky, J. (1944). "The coefficient of earth pressure at rest. In Hungarian (A nyugalmi nyomás tényezője." J. Soc. Hung. Eng. Arch. (Magyar Mernok es Epitesz-Egyelet Kozlonye).

Krishan Kaul, (2010), Cut-and-Cover Metro Structures Geo-Structural Design: An Integrated Approach, Spon Press

Mouratidis, (2008), The "Cut-and-Cover" and "Cover and-Cut" Techniques in Highway Engineering, EJGE

Naval Facilities Engineering Command, (1986), Soil Mechanics, DESIGN MANUAL 7.01



Papadopoulos B.P. and Anagnostopoulos A.G., (1987). «Groundwater Effects on Settlements Estimation» in Proceedings of the Ninth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Dublin.

Paul W. Mayne, Fred H. Kulhawy, 1982,  $K_0$ -OCR Relationships in soil, Article in Journal of the Geotechnical Engineering Division

Poulimenos G., Albers G. and Doutsos T., (1989): Neotectonic evolution of the central section of the Corinth Graben. Geol. Ges.

Stroud, M.A. (1974). The Standard Penetration test in insensitive clays and soft rocks. Proc. European seminar on penetration testing. Vol. 2, Stockholm

Tassios T., Anagnostopoulos A. (1974), "Penetration Testing in Greece, State of the Art Report", Proceedings of the 1st European Symposium on Penetration Testing, 1, Stockholm, Sweden

Terzaghi, K., R.B. Peck, and G. Mesri (1996) Soil Mechanics in Engineering Practice, Third Edition, John Wiley & Sons

Terzaghi, K. and Peck, R. (1967) Soil Mechanics in Engineering Practice. 2nd Edition, John Wiley, New York.

Underhill, J. K., (1989): Late Cenozoic deformation of the Hellenide foreland, western Greece. Geological society of America. Bulletin 101.

Wilton, J.L. (1996) Cut and Cover Tunnel Structures, Tunnel Engineering Handbook, Second Edition, Chapman & Hall

Zelilidis A., Koukoubelas I., and Doutsos T., (1988): Neogene paleostress changes behind the foreact fold belt in the Patraikos Gulf area, Western greece. N. Jb. Geol. Palaont. Stuttgart.





Εικόνα 1:

Αποθήκευση έτοιμων κλωβών – σιδηροπλισμός φρεατοπασσάλων.



Εικόνα 2:

Διατρητικό μηχάνημα (πασσαλομπήχτης) κατασκευής φρεατοπασσάλων .





Εικόνα 3:

Διαδικασία διάτρησης- εκσκαφής «πασσαλομήχτη»





Εικόνα 4:

Εξαγωγή μπεντονίτη από όρυγμα φρεατοπασσάλου στην φάση σκυρόδεσης του πασσάλου.





Εικόνα 5: Κεφαλόδεσμος – συνδετήριος δοκός των σκυροδετημένων φρεατοπασσάλων.



Εικόνα 6:

Κεφαλόδεσμος – συνδετήριος δοκός των σκυροδετημένων φρεατοπασσάλων.





Εικόνα 7: Κεφαλόδεσμοι- τοιχία αντιστήριξης



Εικόνα 8:

Κεφαλόδεσμοι- τοιχία αντιστήριξης



Εικόνα 9:

Σκυροδέτηση πλάκας κάλυψης τεχνικής COVER.





Εικόνα 10:

Οπλισμός τοιχίου αντιστήριξης εδραζόμενο στην πλάκα συστήματος COVER.





Εικόνα 11:

Πανοραμική άποψη τοιχίου αντιστήριξης εδραζόμενο στην άνω επιφάνεια του συστήματος COVER



## ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΘΕΣΕΩΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΥΡΗΝΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

**ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΓΝ 334**

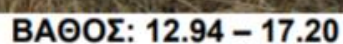




**ΒΑΘΟΣ: 0.00 – 4.10**



**ΒΑΘΟΣ: 4.10 – 8.70**







**ΒΑΘΟΣ: 17.20 – 21.00**



**ΒΑΘΟΣ: 21.00 – 25.90**



**ΒΑΘΟΣ: 25.90 – 30.40**



## ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΓΝ 336





**ΒΑΘΟΣ: 0.00 – 4.10**



**ΒΑΘΟΣ: 4.10 – 9.00**





**ΒΑΘΟΣ: 9.00 – 13.60**



**ΒΑΘΟΣ: 13.60 – 18.29**



**ΒΑΘΟΣ: 18.29 – 22.70**



**ΒΑΘΟΣ: 22.70 – 27.10**





**ΒΑΘΟΣ: 27.10 – 30.80**



## ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΓΝ 337





**ΒΑΘΟΣ: 0.00 – 4.20**



**ΒΑΘΟΣ: 4.20 – 8.80**



**ΒΑΘΟΣ: 8.80 – 13.20**



**ΒΑΘΟΣ: 13.20 – 17.30**





**ΒΑΘΟΣ: 17.30 – 22.00**



**ΒΑΘΟΣ: 22.00 – 26.60**



**ΒΑΘΟΣ: 26.60 – 30.40**





## ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΓΝ 339



**ΒΑΘΟΣ: 0.00 – 4.10**



**ΒΑΘΟΣ: 4.10 – 8.50**





**ΒΑΘΟΣ: 8.50 – 12.90**



**ΒΑΘΟΣ: 12.90 – 17.20**





**ΒΑΘΟΣ: 17.20 – 21.90**



**ΒΑΘΟΣ: 21.90 – 26.20**





**ΒΑΘΟΣ: 26.20 – 30.00**



## ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΓΝ 341



**ΒΑΘΟΣ: 0.00 – 4.10**



**ΒΑΘΟΣ: 4.10 – 8.20**





**ΒΑΘΟΣ: 8.20 – 12.80**



**ΒΑΘΟΣ: 12.80 – 17.00**

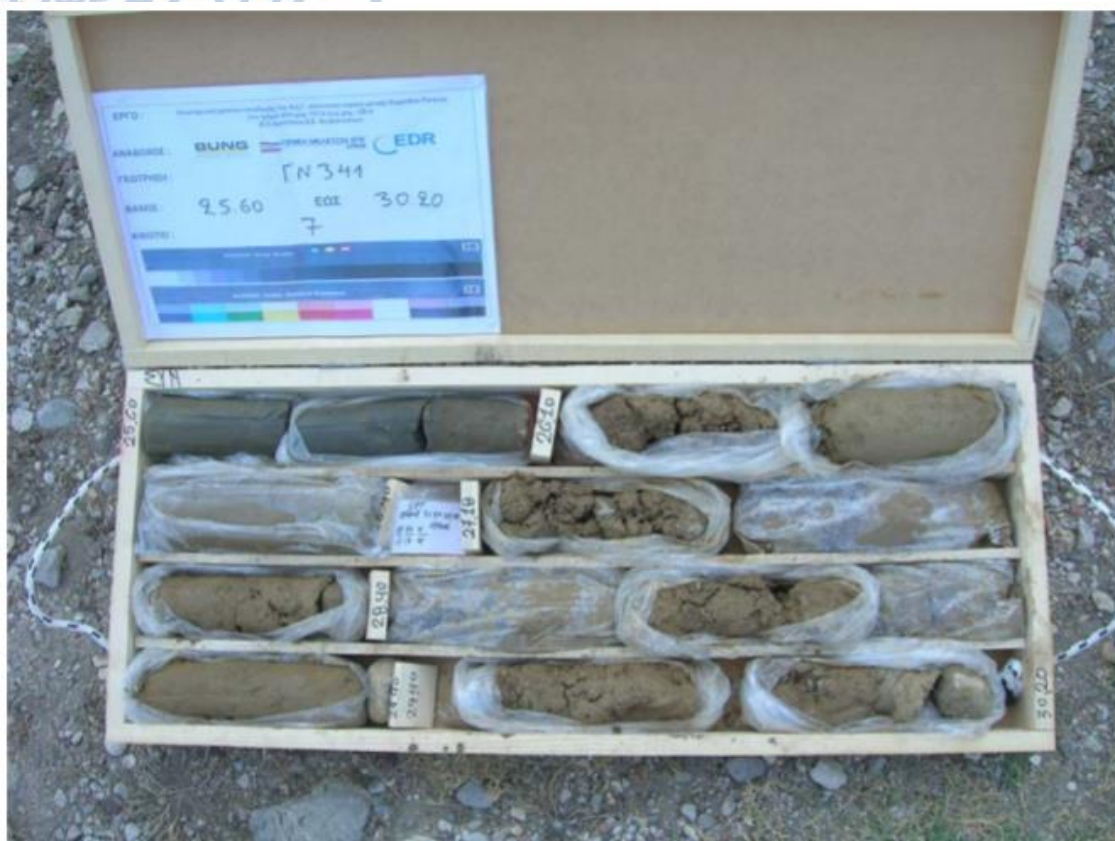




**ΒΑΘΟΣ: 17.00 – 21.30**



**ΒΑΘΟΣ: 21.30 – 25.60**



**ΒΑΘΟΣ: 25.60 – 30.20**