

## **Μέτρα αντιστηρίξεων υψηλού ορύγματος (45m) αυτοκινητοδρόμου εντός πλευρικών κορημάτων.**

Support measures of a high highway cut slope (45m) within scree material.

ΦΙΚΙΡΗΣ, Ι.Φ. Πολιτικός Μηχανικός, MSc, DIC, ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.  
ΝΤΟΥΝΙΑΣ, Γ. Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.  
ΓΚΙΚΑΣ, Β. Μεταλλειολόγος Μηχανικός MSc, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε., Υ.Δ. Ε.Μ.Π.  
ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ, Λ. Γεωλόγος, ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Περιγράφεται η μεθοδολογία της μελετητικής προσέγγισης που εφαρμόστηκε, κατά την κατασκευή, για την οριστικοποίηση των απαιτούμενων μέτρων αντιστήριξης μεγάλου ορύγματος αυτοκινητοδρόμου εντός κορημάτων που εμπεριέχουν αργιλικές ενστρώσεις με δυσμενή προσανατολισμό. Παρουσιάζονται οι γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες της περιοχής και παρατίθενται στοιχεία από τη μελέτη και την κατασκευή του έργου όπου εφαρμόστηκαν εκτεταμένες αγκυρώσεις, γεωμετρικές προσαρμογές των πρανών, εκτεταμένα έργα για την επιφανειακή απορροή και τροποποίηση της χάραξης παράπλευρης οδού.

**ABSTRACT :** The methodology of the design approach that was adopted during construction for the finalization of the required support measures of a high highway cut slope within scree material containing clay layers with unfavorable orientation. is presented. The geological and geotechnical conditions of the project area are described and design as well as construction issues are presented within an area where extended anchoring, slope geometry modifications, extensive surface run-off works and realignment of a parallel service road were applied.

### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η Ιόνια Οδός αποτελεί σύγχρονο αυτοκινητόδρομο μήκους 196χλμ που ολοκληρώθηκε πλήρως, προ περίπου διετίας και συνδέει το Αντίρριο με τα Ιωάννινα. Στην περιοχή του Αμμότοπου Άρτας, περί τη Χ.Θ. 153+000, η χάραξη του νέου αυτοκινητοδρόμου σε τμήμα μήκους περίπου 650m διέρχεται από περιοχή όπου διαμορφώθηκαν μεγάλοι ύψους μονόπλευρα ορύγματα. Στην περιοχή των σημαντικού μεγέθους χωματουργικών έργων, τα οποία απαιτήθηκε να κατασκευαστούν στο πλαίσιο βελτιστοποίησης τμήματος της χάραξης του αυτοκινητοδρόμου, οι διαθέσιμες γεωτεχνικές έρευνες στη φάση της μελέτης ήταν περιορισμένες, κυρίως λόγω δυσχερειών διάνοιξης προσβάσεων για την εκτέλεση γεωτρήσεων. Η περιορισμένη διαθέσιμη πληροφορία περί των εδαφικών συνθηκών αποφασίσθηκε να αντιμετωπιστεί κατά την κατασκευή μέσω της σταδιακής εκτέλεσης των χωματουργικών εργασιών και τη συχνή παρουσία του μελετητή στο έργο, έτσι ώστε οι εκάστοτε επικρατούσες συνθήκες να αναγνωρίζονται εγκαίρως και παράλληλα με την εξέλιξη των εργασιών να συμπληρώνεται η απαιτούμενη γεωτεχνική πληροφορία για την επιβεβαίωση ή την έγκαιρη επικαιροποίηση των μελετών του έργου (γεωτεχνικά, οδοποιία, υδραυλικά).

Η προσέγγιση αντιμετώπισης των γεωτεχνικών ιδιοτεροτήτων του υψηλού ορύγματος εντός των κορηματικών υλικών που επικρατούσαν στην περιοχή του έργου, γενικά εμπίπτει στις γενικές αρχές της μεθόδου παρακολούθησης της συμπεριφοράς των εδαφών / έργων (observational method) κατά την κατασκευή (Σχήμα 1), η χρησιμότητα τα οφέλη και ο τρόπος



Σχήμα 1. Πλεονεκτήματα της μεθόδου παρακολούθησης συμπεριφοράς (Nicholson κ.α. 1997)  
 Figure 1. Advantages of the observational method (Nicholson et. al. 1997)

εφαρμογή της οποίας περιγράφηκε πρώτα από τον R. Peck (Peck 1969).

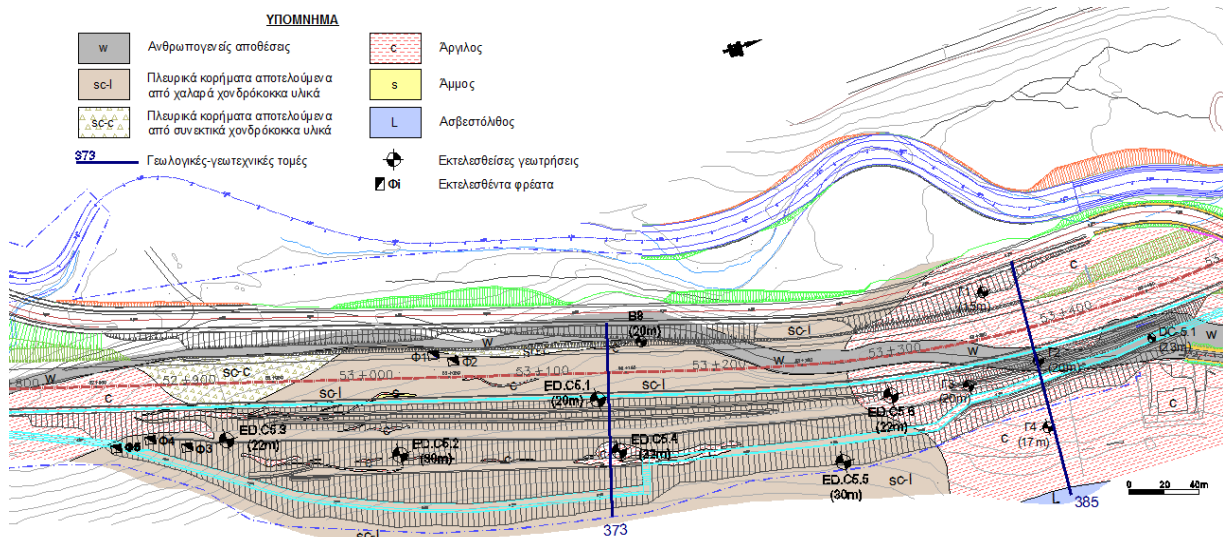
Οι γενικές αρχές της εφαρμοσθείσας μεθόδου παρακολούθησης της συμπεριφοράς (Peck 1969, Nicholson et.al. 1997) που υιοθετούνται και από τον Ευρωκώδικα 7 συνίστανται σε:

- Αναγνώριση των γεωλογικών συνθηκών και επιλογή γεωτεχνικών παραμέτρων
- Καθορισμό των ορίων της αποδεκτής συμπεριφοράς του έργου, εκτίμηση του εύρους της πιθανής συμπεριφοράς του, αποδεικνύοντας παράλληλα ότι η πραγματική συμπεριφορά του θα βρίσκεται εντός των αποδεκτών ορίων.
- Εκπόνηση της μελέτης βάσει των παραμέτρων εδάφους που αντιπροσωπεύουν τις πιθανότερες (most probable) αναμενόμενες συνθήκες. Παράλληλα δε λαμβάνονται υπόψη πιθανές αποκλίσεις από τις παραπάνω συνθήκες τείνοντας προς τις δυσμενέστερες (most unfavourable) αναμενόμενες συνθήκες.
- Κατάστρωση σχεδίου ενόργανης παρακολούθησης ή επιβεβαίωσης των παραδοχών κατά την εξέλιξη της κατασκευής
- Επιλογή των ορίων (trigger limits) ή της διαφοροποίησης των συνθηκών πέραν των οποίων είναι απαραίτητη η λήψη διορθωτικών ενεργειών (contingency plans).
- Μελέτη διορθωτικών ενεργειών που θα εφαρμοστούν εάν κατά την παρακολούθηση διαπιστωθούν υπερβάσεις των καθορισμένων ορίων ή διαφοροποιήσεις των συνθηκών.

Στην περίπτωση του ορύγματος περί τη Χ.Θ. 153+000 της Ιόνιας οδού (Σχήμα 2) η επιλογή εφαρμογής της προαναφερθείσας ευέλικτης μεθόδου συνεχούς αξιολόγησης των επιτόπου εδαφικών συνθηκών, δεδομένων των ιδιομορφιών του έργου, αποδείχθηκε επιτυχής. Μέσω αυτής οριστικοποιήθηκε ο γεωμετρικός σχεδιασμός του έργου (τελικές κλίσεις πρανών, νέα χάραξη παράπλευρης οδού) και οι απαιτήσεις αντιστηρίξεων σε μια περιοχή που τελικώς η παρουσία δυσμενών γεωτεχνικών συνθηκών, για την ευστάθεια των πρανών, όπως αποκαλύφθηκε από τις γενικές εκσκαφές ήταν εκτεταμένη. Η έγκαιρη δε αναγνώριση και αντιμετώπιση των γεωτεχνικών ιδιομορφιών των κορημάτων επέτρεψε την τήρηση του χρονοδιαγράμματος περαίωσης του έργου και την πρόληψη πιθανών τοπικών ή γενικευμένων αστοχιών που θα μπορούσαν να συμβούν κατά τη φάση λειτουργίας με σοβαρές συνέπειες τόσο οικονομικές όσο και επιπέδου λειτουργικότητας του έργου.



Σχήμα 2. Αποψη του ορύγματος κατά τη φάση της κατασκευής  
 Figure 2. View of the cut slope during construction



Σχήμα 3. Οριζοντιογραφία περιοχής ορύγματος και γεωλογικοί σχηματισμοί.  
Figure 3. Plan view of the cut slope area and of the geological formations.

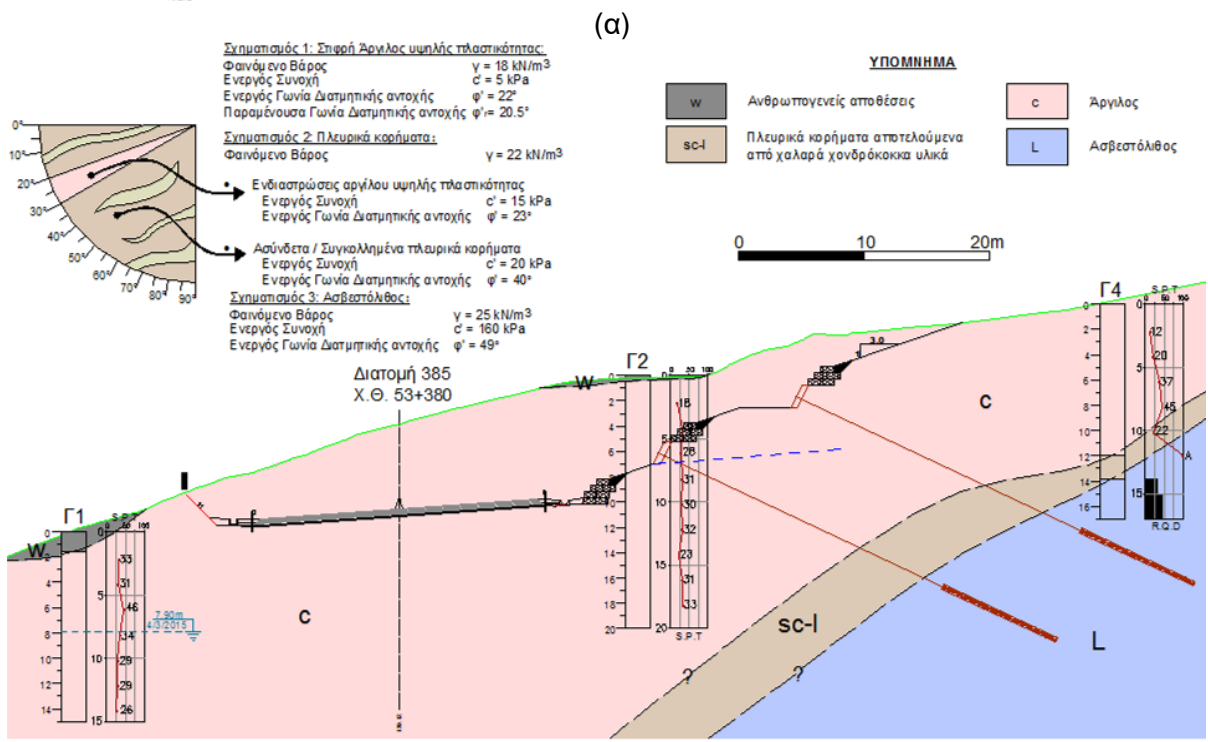
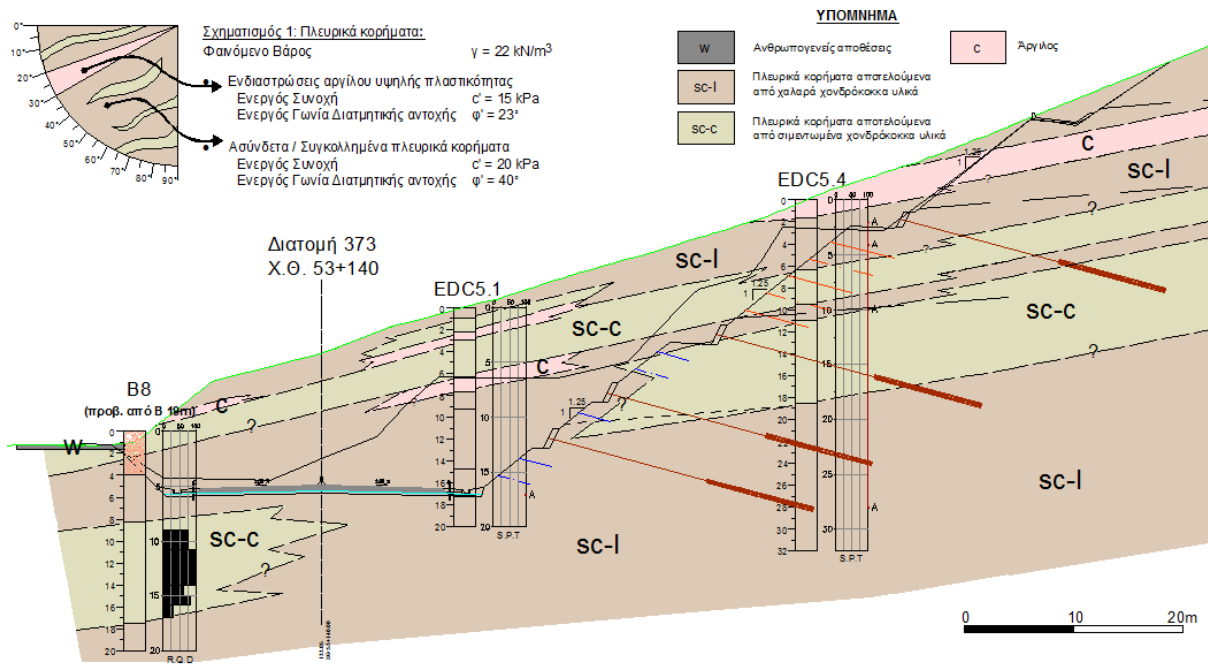
## 2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ - ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ

Η ευρύτερη περιοχή γεωλογικά χωροθετείται εντός της Ιόνιας Γεωτεκτονικής ζώνης, ενώ οι σχηματισμοί του αλπικού υποβάθρου της περιοχής του ορύγματος αντιστοιχούν σε εμφανίσεις ασβεστολίθων Βίγλας και Σενωνίου. Οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί καλύπτονται επιφανειακά από νεώτερους τεταρτογενείς σχηματισμούς όπως πλευρικά κορήματα και αλλουβιακές αποθέσεις. Τα πλευρικά κορήματα καλύπτουν τις παρειές των ορεινών όγκων που αναπτύσσονται, στο υπό εξέταση τμήμα εκατέρωθεν της χάραξης της Ιόνιας οδού, ενώ οι αλλουβιακές αποθέσεις έχουν αποτεθεί εντός του ρέματος, παραπλεύρως του οποίου διέρχεται η χάραξη του αυτοκινητοδρόμου (Σχήμα 3).

Οι ασβεστολίθοι του βραχώδους υποβάθρου ήταν συμπαγείς, σκληροί, συχνά λατυπτοπαγείς, υγείς έως ελαφρά αποσαθρωμένοι, με ενστρώσεις υπολιθογραφικών ασβεστολίθων και κατά τόπους καρστικές δομές ποικίλου μεγέθους. Ωστόσο, το σύνολο των χωματογενικών έργων του νέου ορύγματος μεγίστου ύψους έως και 45m εκτελέστηκε εντός των υπερκείμενων πλευρικών κορημάτων. Το γενικότερο γεωλογικό περιβάλλον κατασκευής προβληματίσε εξ αρχής μελετητικά, καθώς διαμορφώνονταν συνθήκες ανάλογες με γνωστές εκδηλωθείσες κατολισθήσεις εντός μεγάλων χωματογενικών επεμβάσεων σε οδικά έργα στον Ελληνικό χώρο (π.χ. εκσκαφές ορυγμάτων εντός μετακινημένων υλικών (κορήματα) με παρουσία ασβεστολίθων στα ανάντη που αποτελούν δεξαμενές τροφοδοσίας υπογείων υδάτων).

Ο σχηματισμός των πλευρικών κορημάτων κατά μήκος των 650m περίπου ορύγματος διακρίθηκε στα αδρομερή κορήματα με αργιλικές ενδιαστρώσεις που συναντώνται στο κεντρικό τμήμα, μήκους περίπου 400m και στα λεπτόκοκκα κορήματα που επικρατούν στα εκατέρωθεν άκρα αυτού και κυρίως προς βορρά σε μήκος περίπου 200m. Τα αδρόκοκκα κορήματα ασβεστολιθικής προέλευσης, πέραν των αργιλικών ενστρώσεων, συνίστατο από χάλικες και αργιλοαμμώδες καστανού χρώματος συνδετικό υλικό. Αναλόγως του ποσοστού συγκόλλησής τους διακρίθηκαν σε χαλαρά έως ελαφρά συγκολλημένα και σε συγκολλημένα έως ημιβραχοποιημένα. Στο κεντρικό τμήμα του ορύγματος (Σχήμα 4α), λόγω της κλίσης απόθεσης (περί τις 25°) οι ερυθροκάστανου χρώματος αργιλώδεις έως αργιλοαμμώδεις σύστασης ενστρώσεις διαμόρφωναν επιφάνειες αδυναμίας - ζώνες ανισοτροπίας με δυσμενώς προσανατολισμένη κλίση προς το πρηνές και αποτέλεσαν τελικώς τον κρισιμότερο παράγοντα καθορισμού της ευστάθειας των ορυγμάτων δεδομένων των ευνοϊκότερων μηχανικών χαρακτηριστικών της υπόλοιπης εδαφικής μάζας (φάση αδρομερών κορημάτων).

Το τμήμα του ορύγματος προς νότο και κυρίως το μεγάλο μήκους (περίπου 200m) όρυγμα προς βορρά συνίστατο εξ ολοκλήρου, περί τη ζώνη του άξονα της οδού, από μεγάλο πάχους υψηλής πλαστικότητας άργιλο που έχει αποτεθεί σε μια περιοχή μορφολογικής ύψωσης του ασβεστολιθικού υποβάθρου (Σχήμα 4β).



Σχήμα 4. Γεωλογικές - γεωτεχνικές τομές: (α) κεντρικό τμήμα και (β) βόρειο τμήμα πρανούς.  
 Figure 4. Geological - geotechnical cross sections: (α) central and (β) north cut slope area.

### 3. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

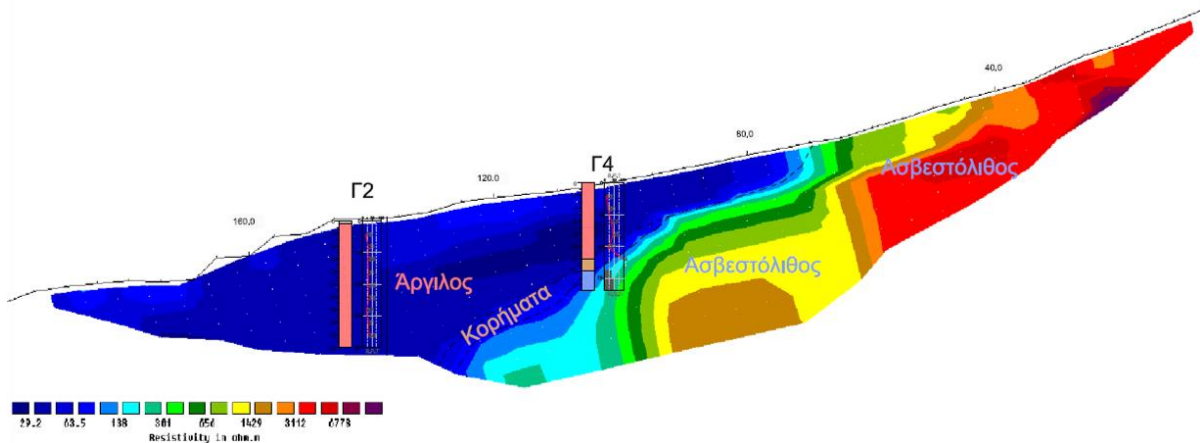
Κατά την κατασκευή του έργου στην περιοχή του ορύγματος, σε συμπλήρωση των μόλις δύο γεωτρήσεων παλαιότερης γεωτεχνικής έρευνας, εκτελέστηκαν δέκα (10) συμπληρωματικές γεωτρήσεις. Το μήκος όλων των γεωτρήσεων που εκτελέστηκαν ήταν τελικά 271m. Στο κεντρικό τμήμα του ορύγματος όπου επικρατούν τα αδρόκοκκα κορήματα, πέραν των πληροφοριών για τη στρωματογραφία που αποκτήθηκε από τις εκτελεσθείσες γεωτρήσεις, σημαντική συνεισφορά στην επιβεβαίωση της εμμονής / συνέχειας των σχετικά μικρού πάχους αργιλικών ενστρώσεων, δυσμενούς προσανατολισμού (της τάξης των  $25^\circ$ ) για την ευστάθεια των πρανών, είχαν οι μεγάλες και επιμήκεις δοκιμαστικές τομές που διανοίχθηκαν (Σχήμα 5).



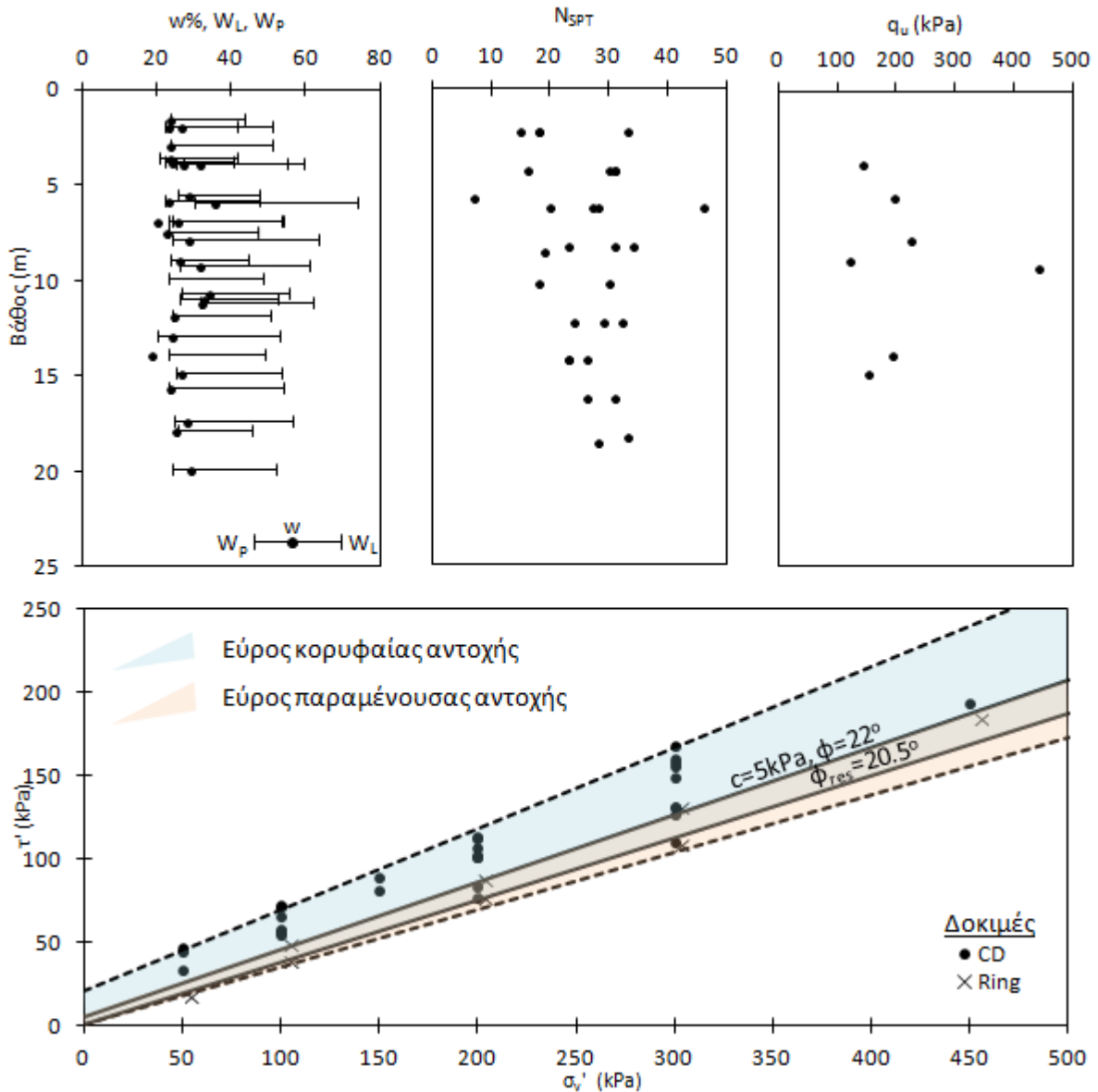
Σχήμα 5. Αποψη αργιλικών ενστρώσεων σε δοκιμαστικές τομές επί του πρανούς.  
Figure 5. View of clay interlayers within trial excavations of the slope.

Επιπροσθέτως για τη διερεύνηση της στρωματογραφίας του βόρειου τμήματος του πρανούς, λόγω της παρουσίας μεγάλου πάχους αργιλικών υλικών, εκτελέστηκαν τρεις (3) τομές γεωφυσικών διασκοπήσεων με τη μέθοδο της ηλεκτρικής Τομογραφίας (ERT) που σε γεωυλικά με μεγάλη διαφορά ηλεκτρικής αγωγιμότητας - ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης παρουσιάζει καλή ακρίβεια. Μέσω της γεωφυσικής έρευνας αποτυπώθηκε επαρκώς η επαφή και η διακύμανση του βάθους του βραχύδους ασβεστολιθικού υποβάθρου με τα υπερκείμενα κορήματα. Η διακριτική ικανότητα της μεθόδου ήταν περιορισμένη και δεν κατέστη δυνατή η διερεύνηση των διαφόρων φάσεων των αδρόκοκκων κορημάτων (συγκολλημένα ή μη). Τα αποτελέσματα των γεωφυσικών ερευνών διασταυρώθηκαν με τα ευρήματα δειγματοληπτικών γεωτρήσεων (Σχήμα 6) σε μια περιοχή όπου η γνώση της στρωματογραφίας ήταν απαραίτητη για το σχεδιασμό των μέτρων αντιστήριξης και πιο συγκεκριμένα του βάθους εντός του οποίου απαιτήθηκε να τοποθετηθεί το τμήμα πάκτωσης προεντεταμένων αγκυρώσεων.

Λόγω της φύσης των αδρόκοκκων κορημάτων η μόρφωση δειγμάτων για την εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών προσδιορισμού μηχανικών χαρακτηριστικών δεν ήταν γενικώς εφικτή, ωστόσο λόγω της ιδιαιτερότητας της στρωματογραφίας καθοριστικό παράγοντα στην ευστάθεια των πρανών αποτέλεσε ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων των αργιλικών ενστρώσεων. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται για τις μεγάλου πάχους αργίλους του βορείου ορύγματος η διακύμανση των ορίων Atterberg και της φυσικής υγρασίας με το βάθος, αποτελέσματα δοκιμών SPT και η διακύμανση της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη όπως προέκυψε από εργαστηριακές δοκιμές. Η άργιλος ήταν κυρίως υψηλής πλαστικότητας με ποσοστό φυσικής υγρασίας πλησίον του ορίου πλαστικότητας. Από τις δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης και τις δοκιμές SPT η άργιλος χαρακτηρίζεται σιφρή έως πολύ σιφρή. Από τις δοκιμές βραδείας άμεσης διάτμησης με στερεοποίηση (Σχήμα 7) θεωρήθηκε, για τις μεγάλου πάχους αργιλικές αποθέσεις του βόρειου και νότιου τμήματος του ορύγματος, αντιπροσωπευτικό ζεύγος



Σχήμα 6. Στρωματογραφία βόρειου ορύγματος βάσει γεωφυσικής έρευνας και γεωτρήσεων.  
Figure 6. Ground stratigraphy of north cut slope based on geophysics and boreholes.



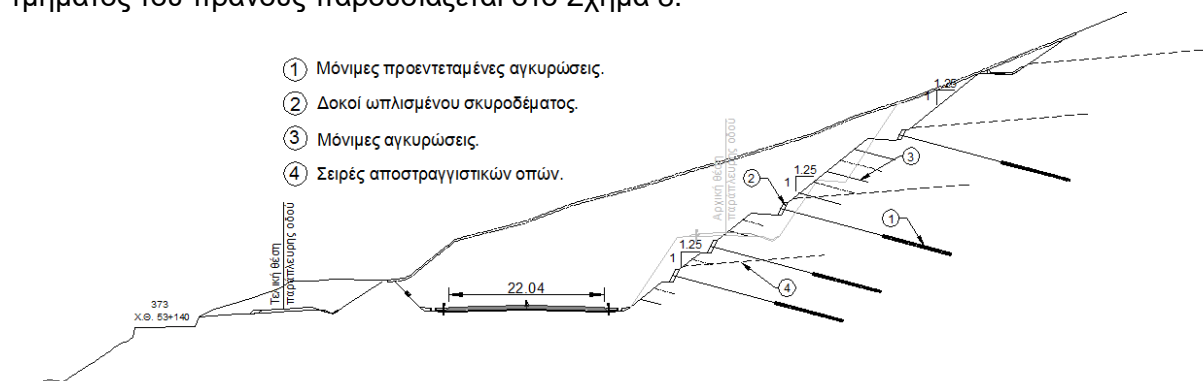
Σχήμα 7. Αποτελέσματα εργαστηριακών και επιτόπου δοκιμών σε αργίλους.  
 Figure 7. Results of laboratory and in-situ tests for clay.

παραμέτρων κριτηρίου αστοχίας Mohr-Coulomb με ενεργό συνοχή της τάξης των  $c'=5\text{KPa}$  και ενεργό γωνία διατμητικής αντοχής  $\phi'=22^\circ$ . Για τις αργιλικές ενστρώσεις του κεντρικού τμήματος του πρσανούς θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικές τιμές  $c'=15\text{KPa}$  και  $\phi'=23^\circ$ . Η παραμένουσα ενεργός γωνία διατμητικής αντοχής μετρήθηκε μέσω δοκιμών δακτυλιοειδούς διάτμησης της τάξεως του  $\phi'_{res}=20.5^\circ$ .

## 5. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΡΓΩΝ - ΜΕΤΡΑ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΡΑΝΩΝ

Λόγω της ιδιαιτερότητας της παρουσίας των αργιλικών ενστρώσεων μειωμένης αντοχής κυρίως στο κεντρικό τμήμα του ορύγματος όπου διαμορφώνονται και τα μεγαλύτερα ύψη ορυγμάτων, απαιτήθηκε η τροποποίηση της χάραξης παράπλευρης οδού που αρχικά προβλεπόταν ανάντη του αυτοκινητοδρόμου και επί του ορύγματος. Η διατήρηση της χάραξης της παράπλευρης οδού θα απαιτούσε την κατασκευή εκτεταμένων έργων αντιστήριξης που θα συμπεριλάμβαναν και πασσαλότοιχο. Μέσω παραλλήλως του ανασχεδιασμού της χάραξης της οδού στα κατάντη του αυτοκινητοδρόμου δόθηκε η δυνατότητα και της τροποποίησης του σχεδιασμού της γεωμετρίας των πρανών διαμορφώνοντάς τα τελικώς με ηπιότερες κλίσεις.

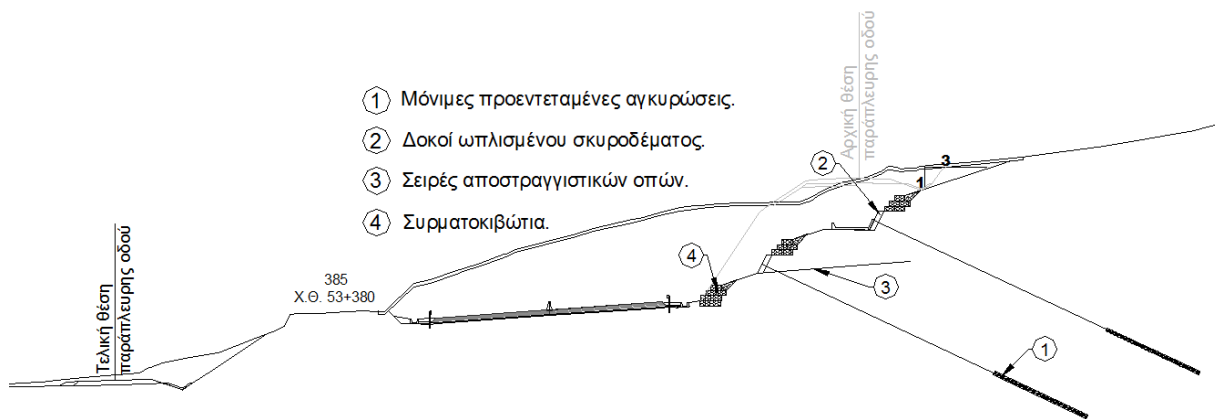
Τελικά στο κεντρικό τμήμα του ορύγματος το μέγιστο ύψος των πρανών έφτασε τα 45m. Οι εφαρμοσθείσες κλίσεις εκσκαφών ήταν της τάξεως του 1:1.25 (κατ:οριζ). Σε κάθε αναβαθμό και σε δύο ενδιάμεσες θέσεις μεταξύ του αυτοκινητοδρόμου και του πρώτου αναβαθμού εφαρμόστηκαν μόνιμες προεντεταμένες αγκυρώσεις 600kN, ανά 1.5m έως 2.0m, τεσσάρων τενόντων διαμέτρου 0.62' (St1570/1770) συνολικού μήκους 25.0m, με μήκος πάκτωσης 10.0m και κλίση 15-20° εναλλάξ. Οι προεντεταμένες αγκυρώσεις εδράστηκαν σε δοκούς ωπλισμένου σκυροδέματος διατομής 1.5x0.5m έως 2.0x0.6m. Τα ενδιάμεσα των αναβαθμών πρανή αντιστηρίχθηκαν με πλήρως αγκυρούμενο γαλβανισμένο χαλύβδινο ( $\varnothing 2.70\text{mm}$ ) πλέγμα συγκρατούμενο με κάρναβο 2.0x2.0m έως 2.5x2.5m μόνιμων αγκυρώσεων πλήρους πάκτωσης φορτίου θραύσης 270kN,  $\Phi 25/S500$ . Τέλος, για την αποφυγή ανάπτυξης υδατικών πιέσεων και τη διευκόλυνση της αποστράγγισης υδάτων που προέρχονται από τους ανάντη ασβεστολίθους κατασκευάστηκαν σειρές αποστραγγιστικών οπών  $\varnothing 2.5''$  ανά 2.0m έως 2.5m επί των πρανών, μήκους 20m έως 25m, ενώ επί των αναβαθμών προβλέφθηκαν κατάλληλες μηκοτομικές κλίσεις και διαμορφώθηκε επί αυτών το επιφανειακό δίκτυο αποστράγγισης (τάφροι). Τυπική διατομή των μέτρων σταθεροποίησης του κεντρικού τμήματος του πρανούς παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8. Μέτρα σταθεροποίησης κεντρικού τμήματος πρανούς.  
Figure 8. Support measures of the central slope zone.

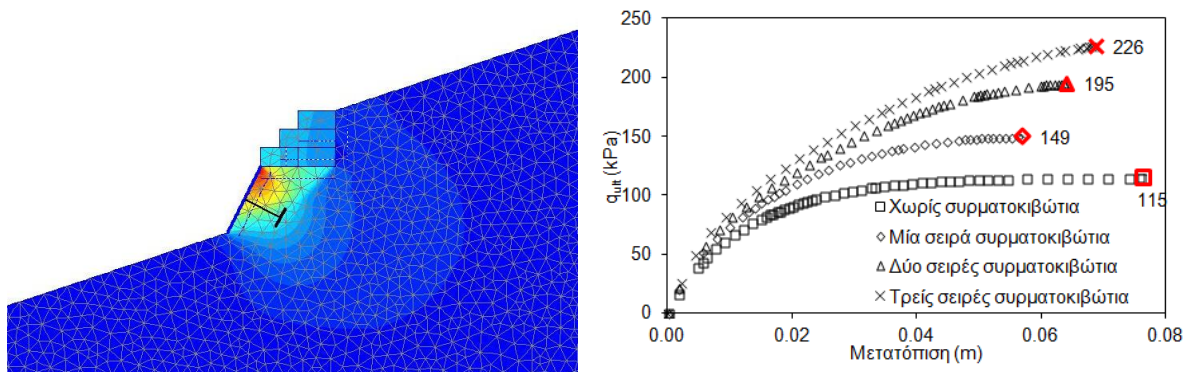
Στο βόρειο τμήμα του πρανούς που διαμορφώθηκαν ορύγματα ύψους της τάξεως των 15m και επικρατούν μεγάλοι πάχους αποθέσεις υψηλής πλαστικότητας αργίλου προβλέφθηκαν πολύ ήπιες κλίσεις 1:3 (κατ:οριζ). Για την εξασφάλιση δε έναντι γενικευμένης αστοχίας του πρανούς προβλέφθηκαν δύο σειρές μόνιμων προεντεταμένων αγκυρώσεων ( $\Phi 0.62'$ , St1570/1770) μεγίστου φορτίου λειτουργίας 450kN, ανά 2.0m εδραζόμενες σε δοκούς ωπλισμένου σκυροδέματος διατομής 2.0x0.6m. Το συνολικό μήκος των αγκυρώσεων ήταν 30.0m έως 35.0m και το μήκος πάκτωσης, που εισήλθε εντός του βραχώδους ασβεστολιθικού υποβάθρου, ήταν 10.0m. Το αρχικό φορτίο προέντασης που εφαρμόστηκε ήταν 250kN δίδοντας έτσι περιθώριο αύξησης αυτού και εντός των ορίων διαστασιολόγησής τους, εφόσον υπάρξει τάση ενεργοποίησης μελλοντικών μετακινήσεων. Επί των πρανών διανοίχθηκαν επίσης αποστραγγιστικές οπές και κατασκευάστηκαν τάφροι επί των αναβαθμών σε συνέχεια αυτών του κεντρικού τμήματος του ορύγματος. Το σύνολο των πρανών επενδύθηκε με φύλλα γιούτα και εφαρμόστηκε υδροσπορά (Σχήμα 9).

Ειδική μελετητική αντιμετώπιση απαιτήσε η περιοχή της έδρασης της αγκυρωμένης δοκού στις αργιλικές αποθέσεις καθώς η διαμόρφωση ορύγματος κλίσης 1:3 ακριβώς πάνω από τη στέψη της δοκού δεν εξασφάλιζε το απαιτούμενο περιθώριο ασφάλειας έναντι αστοχίας τύπου φέρουσας ικανότητας. Ως λύση βελτίωσης της φέρουσας ικανότητας της αγκυροδοκού επιλέχθηκε η κατασκευή συρματοκιβωτίων τα οποία θα παρείχαν μέσω του ίδιου βάρους τους μεγαλύτερες (ευνοϊκές) τάσεις στην κρίσιμη περιοχή δίνοντας παράλληλα τη δυνατότητα οι ήπιες εκσκαφές των αργιλικών αποθέσεων να υλοποιούνται σε υψηλότερη στάθμη. Το πρόβλημα εξετάστηκε παραμετρικά με τον κώδικα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS (Brinkgreve, 2007) με σταδιακή αύξηση του φορτίου των αγκυρών μέχρι αστοχίας του εδά-



Σχήμα 9. Μέτρα σταθεροποίησης βόρειου τμήματος πρानούς.  
Figure 9. Support measures of the north area of the slope.

φους. Έγινε διερεύνηση τεσσάρων μοντέλων με χρήση έως και τριών σειρών συρματοκιβωτίων συμβατικών διαστάσεων 2.0x1.0x0.5m εδραζόμενων επί εδάφους στη στέψη των δοκών έδρασης (Σχήμα 10). Η οριακή φέρουσα ικανότητα ανάλογα με τις σειρές των συρματοκιβωτίων υπολογίστηκε μεταξύ 115 και 226kPa. Με χρήση 6 αγκυρίων των 450kN ανά δοκό και επιφάνεια έδρασης 24m<sup>2</sup> (2m ύψος x 12m μήκος) η αναπτυσσόμενη τάση της δοκού επί του εδάφους εκτιμήθηκε ίση με q=112.5kPa. Συνεπώς, με τρεις σειρές συρματοκιβωτίων που τελικώς τοποθετήθηκαν, ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίστηκε της τάξεως του 2.



Σχήμα 10. Παραμορφωμένος κάρναβος πεπερασμένων στοιχείων & αποτελέσματα αναλύσεων.  
Figure 10. Deformed finite element mesh and analyses results.

## 6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ο αυτοκινητόδρομος της Ιόνιας οδού κατασκευάστηκε με το σύστημα “μελέτη – κατασκευή” ως έργο παραχώρησης. Η ΤΕΡΝΑ Α.Ε., για λογαριασμό της Κ/Ξ EUROIONIA, ανέλαβε την κατασκευή του έργου από τον παραχωρησιούχο “ΝΕΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.”.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Brinkgreve, R.B.J. (2007), "Plaxis 2D Version 8.6". A.A. Balkema, The Netherlands.  
 Nicholson D.P., Tse C.M and Penny C. (1999), "The observational method in ground engineering: Principles and applications". CIRIA, London, Report 185.  
 Peck R. B. (1969), "Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics". Geotechnique 19, No 2, pg. 171-187.  
 ΕΔΑΦΟΣ ΣΥΜΒ. ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε. (2016), "Ιόνια οδός - Τμήμα 3 (Χ.Θ. 145+706 - 196+000). Αναθεώρηση οριστικής γεωτεχνικής μελέτης ορύγματος Χ.Θ. 152+820 - 153+480".  
 ΕΛΟΤ EN 1997.01 Ευρωκώδικας 7: Γεωτεχνικός σχεδιασμός - Μέρος 1: Γενικοί κανόνες