

ΔΙΗΜΕΡΙΔΑ "ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ"

**ΣΗΡΑΓΓΑ ΔΡΙΣΚΟΥ – ΜΕΛΕΤΕΣ, ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ,
ΠΡΟΟΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

Εισηγητές :

**Ι. Μπουρνάζος – ΑΚΤΩΡ Α.Τ.Ε
Π. Δελαπόγλου – ΑΚΤΩΡ Α.Τ.Ε
Δρ. Π. Κοντοθανάσης – ΟΜΙΚΡΟΝ ΚΑΠΑ
ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ ΕΠΕ**

**Ιωάννινα, 7 & 8/12/2001
"ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε."
& Ε.Ε.Σ.Υ.Ε.**

ΣΗΡΑΓΓΑ ΔΡΙΣΚΟΥ – ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ, ΜΕΛΕΤΕΣ, ΠΡΟΟΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Ι. Μπουρνάζος – ΑΚΤΩΡ Α.Τ.Ε

Π. Δελαπόγλου – ΑΚΤΩΡ Α.Τ.Ε

Δρ. Π. Κοντοθανάσης – ΟΜΙΚΡΟΝ ΚΑΠΑ ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ ΕΠΕ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το παρόν άρθρο πραγματεύεται την αξιολόγηση των στοιχείων γεωτεχνικής παρακολούθησης για την ερμηνεία της συμπεριφοράς της σήραγγας, τον υπολογισμό και τη διαστασιολόγηση μέτρων θεραπείας για συγκεκριμένα τμήματα του μέχρι του παρόντος διανοιχθέντος τμήματος, στα οποία το μέγεθος των συγκλίσεων που έχουν καταγραφεί είναι μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο στον αρχικό σχεδιασμό του έργου και επιπλέον έχουν επισυμβεί τοπικές αστοχίες των εφαρμοσθέντων μέτρων προσωρινής υποστήριξης και την ανάλυση των συνθηκών ευστάθειας στο μη διανοιχθέν τμήμα και τη διαστασιολόγηση με βάση τις απαιτήσεις σχεδιασμού και κατασκευής όπως αυτές έχουν προκύψει από τη μέχρι σήμερα εμπειρία της κατασκευής του έργου αλλά και τις πρόσφατες επιστημονικές θεωρήσεις σχετικά με τις γεωτεχνικές παραμέτρους σχεδιασμού, που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για το σχεδιασμό σιράγγων σε φλυστικούς σχηματισμούς και την επίδραση της υδροφορίας στις παραμέτρους αντοχής. Με την ως άνω διαδικασία, διατηρήθηκε στην ουσία της η αρχική τεχνική λύση της ΕΟΑΕ, με ελαφρές επεμβάσεις και προσαρμογές στα περιθώρια εφαρμογής του σχεδιασμού των μέτρων υποστήριξης και αποφεύχθηκαν ριζικές μεταβολές. Υπηρετήθηκε και βελτιώθηκε το χρονοδιάγραμμα κατασκευής του έργου, καθώς προσαρμόστηκε ο σχεδιασμός σε βήματα προχώρησης που να εξυπηρετούν τις αναγκαίες αποδόσεις χωρίς να επιβαρύνουν τα μέτρα υποστήριξης και παρά τη συνδυασμένη λειτουργία δύο και όχι τριών εργοταξίων όπως προβλεπόταν αρχικά. Επίσης, ανεξαρτητοποιήθηκε λειτουργικά το σύνολο της παραγωγής από τον επιστημονικό σχεδιασμό και την αξιολόγηση των στοιχείων, παρά το γεγονός ότι βεβαίως επιφορτίσθηκε με την υποχρέωση της παροχής πολύ μεγάλου πλήθους στοιχείων και πρωτογενών πληροφοριών προς το Σύμβουλο του Αναδόχου. Τέλος, μέσα από το σύνολο της προσπάθειας, αποκτήθηκε βελτιωμένη επιστημονική τεκμηρίωση και τεχνογνωσία υποστηρικτική της μεθοδολογίας κατασκευής, όσον αφορά τις διαθέσιμες σύγχρονες τεχνικές λύσεις για σήραγγες μεγάλου μήκους και υπερκειμένων σε φλύσχη.

1. ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Η δίδυμη οδική σήραγγα του Δρίσκου, κατασκευάζεται στο τμήμα 2.3: «ΔΡΟΣΟΧΩΡΙ – ποταμός ΑΡΑΧΘΟΣ» (από Χ.Θ. 6+160.21 έως Χ.Θ. 10+637) της ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ.

Οι δύο κλάδοι του Αυτοκινητοδρόμου διέρχονται από δύο ανεξάρτητες σήραγγες στις θέσεις:

- Αριστερός κλάδος από Χ.Θ. 6+166.06 έως Χ.Θ. 10+730 (L = 4563,94 m).
- Δεξιός κλάδος από Χ.Θ. 6+160,21 έως Χ.Θ. 10+637 (L = 4476.79 m).

Η διατομή των σιράγγων είναι πεταλοειδής με ημικυκλικό θόλο ακτίνας εσωραχίου τελικής επένδυσης 5,50 m και μέγιστο ελεύθερο πλάτος 11,00 m, σύμφωνα με την τυπική διατομή της ΕΟΑΕ. Η σήραγγα διανοίγεται εντός σχηματισμών του Ιονίου Φλύσχη, με μέγιστα υπερκείμενα 220 m.

Διημερίδα "ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ"

"ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ" Α.Ε. & Ε.Ε.Σ.Υ.Ε.

Εισηγητές :Ι. Μπουρνάζος, Π. Δελαπόγλου, Δρ. Π. Κοντοθανάσης

7&8 Δεκεμβρίου 2001

Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής

Η κατασκευή του έργου ανατέθηκε από την ΕΟΑΕ στην Κ/Ξ ΕΛΛ. ΤΕΧΝΟΔΟΜΙΚΗ ΑΕ – ΘΕΜΕΛΙΟΔΟΜΗ ΑΕ – ΠΑΝΤΕΧΝΙΚΗ ΑΕ – ΕΥΚΛΕΙΔΗΣ ΑΤΕ, η οποία επέλεξε ως υπεύθυνη για την εν γένει διαχείριση της σύμβασης και τη διαμόρφωση ενιαίου σχεδιασμού υλοποίησης της κατασκευής σε σχέση με τον Κύριο του έργου την ΑΚΤΩΡ ΑΤΕ. Βασικό στόχο απετέλεσε η ικανοποίηση του χρονοδιαγράμματος του έργου, που λόγω της σπουδαιότητας του έργου ήταν ανελαστικό ως μέγεθος, ως και η αντιμετώπιση στα πλαίσια της ισχύουσας σύμβασης κατασκευής του κόστους του έργου. Το εν λόγω μέγεθος, υπόκειται σε μεταβολές, λόγω της ανάγκης εξυπηρέτησης της υπόγειας κατασκευής με ιδιαίτερα μεγάλο μήκος, λόγω του υψηλού κόστους διαχείρισης μηχανικού εξοπλισμού και εργατικών, λόγω της ανάγκης εγκατάστασης και λειτουργίας πολυάριθμων εργοταξίων σε πλήρη καθετοποίηση της λειτουργίας τους και τέλος λόγω της ιδιόμορφης τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς του Ιόνιου φλύσχη εντός του οποίου θα ορυσσόταν η σήραγγα υπό συνθήκες υψηλών υπερκειμένων (220m). Από την εμπειρία προηγούμενων υπογείων έργων μεγάλου μήκους σε ασβεστόλιθο, ο Ανάδοχος είχε καταλήξει σε μία μεθοδολογία οργάνωσης και κατασκευής, η οποία εν γένει καθόρισε τον τύπο και τα χαρακτηριστικά του μηχανικού εξοπλισμού, ο οποίος βέβαια προσαρμόστηκε σε συνεργασία με τους προμηθευτές ώστε να εξυπηρετήσει κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις ειδικές ανάγκες του έργου, τόσο από πλευράς συνθηκών χρήσης όσο και από πλευράς απαιτούμενων αποδόσεων. Ως προς την αναμενόμενη τεχνικογεωλογική ακολουθία των σχηματισμών και τη συμπεριφορά αυτών κατά την όρυξη, η ΕΟΑΕ είχε διαμορφωμένη εικόνα και ορθούς κατ' αρχήν προσανατολισμούς μέσω των αρχικών γεωλογικών και γεωτεχνικών μελετών που παρείχε στον Ανάδοχο, ο οποίος από την πλευρά του είχε να αντιμετωπίσει ορισμένα δυσχερώς προσδιορίσιμα μεγέθη που αφορούσαν στο συνδυασμό κατασκευής σηράγγων μεγάλου μήκους, σε υψηλά υπερκείμενα και σε ιδιόμορφη βραχώμαζα προκειμένου να υλοποιήσει το χρονοδιάγραμμα του έργου. Για τους ως άνω λόγους, ο Ανάδοχος προσέλαβε την ΟΜΙΚΡΟΝ ΚΑΡΙΑ ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ ΕΠΕ ως γενικό σύμβουλο μελετών και αξιολόγησης των δεδομένων και απαιτήσεων σχεδιασμού του έργου και παράλληλα διαμόρφωσε ειδική ανεξάρτητη ομάδα (ΥΠΟΔΟΜΗ ΕΠΕ) για την ευθύνη της εν γένει γεωτεχνικής παρακολούθησης και κατηγοριοποίησης, η οποία υποστηρίχθηκε από ενισχυμένο τοπογραφικό τμήμα λήψης και επεξεργασίας των στοιχείων μετρήσεων. Κατ' αυτόν τον τρόπο, αφενός ανεξαρτητοποιήθηκε η υλοποίηση των ανωτέρω στόχων και υποχρεώσεων από το βασικό παραγωγικό μηχανισμό του εργοταξίου (αποφυγή εμπλοκών, διατήρηση υψηλών αποδόσεων), αφετέρου δε επιτεύχθηκε συστηματοποίηση της διαδικασίας λήψης, επεξεργασίας και αξιολόγησης του ιδιαίτερα μεγάλου όγκου των γεωτεχνικών δεδομένων, τα οποία αξιοποιήθηκαν από το σύμβουλο του Αναδόχου με στόχο τη βελτίωση των συνθηκών και όρων σχεδιασμού του έργου στα πλαίσια της αρχικής τεχνικής λύσης της ΕΟΑΕ.

Προς επίτευξη των ανωτέρω, εφαρμόστηκαν οι ακόλουθες μελετητικές εργασίες:

- Εκτέλεση Ανάδρομων αναλύσεων προσδιορισμού γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού για τη διαστασιολόγηση των μέτρων θεραπείας στο διανοιχθέν τμήμα, όπου έχει εφαρμοστεί η τυπική διατομή III του αρχικού σχεδιασμού του έργου. Αντίστοιχη εργασία πραγματοποιήθηκε και για τις περιοχές όπου έχει εφαρμοστεί η τυπική διατομή IV και οι μετρηθείσες συγκλίσεις είναι μεγαλύτερες από τις προβλεπόμενες.
- Υπολογισμός των επιπτώσεων (μέγεθος πρόσθετων συγκλίσεων, επέκταση ζώνης πλαστικοποίησης, αύξηση εντατικών μεγεθών) στην περίπτωση μη εφαρμογής πρόσθετων μέτρων στις περιοχές που έχει σημειωθεί υπέρβαση των επιτρεπόμενων συγκλίσεων και η εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής διενεργηθεί με τα μέτρα που προβλέπονται από τον αρχικό σχεδιασμό του έργου για την τυπική διατομή III και την

Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής

τυπική διατομή IV, με βάση τις γεωτεχνικές παραμέτρους σχεδιασμού των μέτρων θεραπείας.

- Αναλύσεις για τον υπολογισμό των μέτρων θεραπείας στο διανοιχθέν τμήμα όπου έχει εφαρμοστεί η τυπική διατομή III και η τυπική διατομή IV, του αρχικού σχεδιασμού του έργου. Διερευνήθηκαν 3 εναλλακτικές τεχνικές λύσεις για την περίπτωση της τυπικής διατομής III και 2 για την τυπική διατομή IV.
- Αξιολόγηση αποτελεσμάτων ανάδρομων αναλύσεων προκειμένου να προσδιοριστούν οι απαιτήσεις εφαρμογής μέτρων προσωρινής υποστήριξης στο μη ορυχθέν τμήμα
- Σχεδιασμός και διαστασιολόγηση τυπικών διατομών, οι οποίες θα εφαρμοστούν στο μη διανοιχθέν τμήμα της σήραγγας, λαμβάνοντας αναθεωρημένες γεωτεχνικές παραμέτρους σχεδιασμού και λαμβάνοντας υπόψη την εμπειρία από το μέχρι σήμερα διανοιχθέν τμήμα. Για το σχεδιασμό αυτό χρησιμοποιήθηκε και ο τρισδιάστατος κώδικας ανάλυσης FLAC3D.
- Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των ανωτέρω επί μέρους μελετών καθορίστηκαν τα εύρη εφαρμογής των τυπικών διατομών και τα αντίστοιχα επιπεδα προειδοποίησης και συναγερμού για κάθε τυπική διατομή για το νέο τμήμα, καθώς και για το ήδη διανοιχθέν τμήμα, όσον αφορά τις εργασίες εκσκαφών της β' φάσης.

Σημειώνεται ότι είναι λίγες οι περιπτώσεις που καταβάλλεται τέτοια προσπάθεια, η οποία προκύπτει από συντονισμένη και εντατική εργασία της μελετητικής ομάδας και του Αναδόχου και αξιολογεί ένα από τα πλέον εντατικά συστήματα παρακολούθησης της κατασκευής που έχουν εφαρμοστεί ποτέ στον ελληνικό χώρο, με στόχο την αποτελεσματική προσαρμογή των υπαρχόντων μελετητικών δεδομένων (αρχικός σχεδιασμός του έργου), τα οποία είναι εν γένει προσανατολισμένα προς την ορθή κατεύθυνση σχεδιασμού, την αξιολόγηση των επί τόπου συνθηκών όπως αυτές έχουν αποτυπωθεί από την όρυξη σημαντικού μήκους σημαντικού μήκους του υπογείου έργου και στη βελτιστοποίηση του εν γένει σχεδιασμού με στόχο την ασφαλή κάλυψη όλων των αντιμετωπιζόμενων περιπτώσεων. Η ως άνω προσπάθεια δεν αποσκοπεί στην κατάργηση των προβλέψεων του αρχικού σχεδιασμού του έργου αλλά στο δημιουργικό εμπλουτισμό του και στην ικανοποίηση όλων εκείνων των μελετητικών απαιτήσεων για την εύρυθμη και απρόσκοπτη αποπεράτωση της κατασκευής.

2. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Ο φλύσχης της Ιόνιας ενότητας και ειδικά στη σήραγγα Δρίσκου έχει ήδη συναντηθεί και προβλέπεται να εξακολουθήσει να αναπτύσσεται στη μέτρια ως πτωχή ποιότητα του. Οι σχηματισμοί στους οποίους γίνεται η διάνοιξη των σιράγγων αποτελούνται κυρίως από στρώσεις μεσοστρωματωδών έως παχυστρωματωδών ψαμμιτών της τάξης των 30cm έως 70 cm σε συνεχή εναλλαγή με λεπτοστρωματώδεις ιλυολίθους, με κύριο χαρακτηριστικό τους :

- Την περίπου παραοριζόντια κλίση τους (σε σχέση με την διεύθυνση της σήραγγας) για το 60% της μηκοτομικής διάνοιξης του έργου, δηλ. από το νότιο μέτωπο.
- Την περίπου παρακατακόρυφη κλίση τους (σε σχέση με τη διεύθυνση της σήραγγας) για το 40% της υπόλοιπης διάνοιξης, αλλά σε πολλές θέσεις έντονα πτυχωμένο .

Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής

Διακλάσεις εμφανίζονται κυρίως στις ψαμμιτικές ενστρώσεις, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν στο σύνολο τους δευτερεύουσες επιφάνειες διαχωρισμού της βραχόμαζας και συγκριτικά προς τις επιφάνειες στρώσης υπολείπονται σημαντικά σε σπουδαιότητα και επηρεασμό των τεχνικογεωλογικών συνθηκών της βραχόμαζας. Διακλάσεις επεκτείνονται (όχι πάντα) στα ιλυολιθικά μέρη, που χαρακτηρίζονται από μικρό συνολικό πάχος από 10 έως 40 cm με εναλλαγές στρώσεων μεταξύ τους έως 1 έως 5 cm. Αρκετά συχνά έχει αναγνωρισθεί ότι οι επιφάνειες στρώσης αποτελούν διατμημένες επιφάνειες, ιδιαίτερα στα ιλυολιθικά μέρη των μεσο-παχυστρωματωδών ψαμμιτών / ιλυολίθων, συνήθως πλησίον περιοχών που έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό την τακτή και επαναλήψιμη εμφάνιση γεωλογικών ρηγμάτων, που όταν «συντονίζονται» και συνυπάρχουν, δημιουργούν δυσμενείς συνθήκες ευστάθειας για την προσωρινή υποστήριξη της σήραγγας. Είναι δε φανερό ότι οι επιφάνειες στρώσης όχι μόνο αποτελούν κύριο στοιχείο, αλλά και ότι η γωνιακή σχέση μεταξύ της διεύθυνσης της παράταξης των σχηματισμών και της διεύθυνσης της σήραγγας, σε συνάρτηση με την γωνία κλίσης των επιφανειών στρώσης, μπορούν να δώσουν αποσφηνώσεις στην περίμετρο θεωρητικής εκσκαφής της σήραγγας (από το μέτωπο εισόδου), οι οποίες μπορεί να είναι αποκολλήσεις πλακών από την οροφή ή αποτεμαχισμός τεμαχών ψαμμίτη στις παρείς. Για τη διατήρηση της ικανότητας ανάληψης φορτίου από τη βραχόμαζα θα πρέπει τα φαινόμενα χαλάρωσης, κυρίως εγκάρσια στα επίπεδα της στρώσης του άστρωτου ιλυολίθου και στρωσιγενούς ψαμμίτη, να ελαχιστοποιηθούν. Πλησίον περιοχών ρηγμάτων έχουν παρατηρηθεί εξαιρετικά δυσμενή αποτελέσματα γεωλογικών υπερεκσκαφών – αποσφηνώσεων.

3. ΑΡΧΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Για τον αρχικό σχεδιασμό των κατηγοριών των μέτρων υποστήριξης λήφθηκαν υπόψη το εύρος διακύμανσης της ποιότητας της βραχόμαζας, ο αντίστοιχος λιθολογικός σχηματισμός και το ύψος των υπερκειμένων. Χαρακτηριστικό του σχεδιασμού, λόγω του μεγάλου αριθμού διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών, ποιότητας βραχόμαζας και διακύμανσης πάχους υπερκειμένων, ήταν η όχι μονοσήμαντη αντιστοιχία μεταξύ κατηγοριών μέτρων υποστήριξης και ποιότητας βραχόμαζας. Σύμφωνα με την αρχική μελέτη διαστασιολογήθηκαν 5 τυπικές διατομές εκσκαφής και μέτρων προσωρινής υποστήριξης (II, III, IV, Va και Vb), οι οποίες προέβλεπαν την εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος και αγκυρίων μήκους 3-4 m για τις κατηγορίες II και III, το συνδυασμό εκτοξευόμενου σκυροδέματος, μεταλλικών δικτυωτών πλαισίων και αγκυρίων μήκους 4-6 m για την κατηγορία IV, το συνδυασμό εκτοξευόμενου σκυροδέματος χαλύβδινων πλαισίων τύπου HEA160 ή HEB180, αγκυρίων μήκους 5-6 m και το κλείσιμο του πυθμένα για τις κατηγορίες Va και Vb. Για την κατηγορία Vb προβλέποταν επιπλέον η χρήση δοκών προπορείας, και το κλείσιμο του πυθμένα της άνω ημιδιατομής με διαμόρφωση ανάστροφου τόξου. Υπολογίστηκαν επίσης οι μέγιστες επιτρεπτές μετατοπίσεις στην κλείδα ανά κατηγορία μέτρων υποστήριξης, οι οποίες κυμαίνονταν από 7.5 mm για την κατηγορία II έως 8 cm για την κατηγορία Vb. Κάθε κατηγορία μέτρων υποστήριξης προβλέποταν να εφαρμοστεί για ένα εύρος συνδυασμών ποιότητας βραχόμαζας, γεωλογικού σχηματισμού και πάχους υπερκειμένων.

4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το μέχρι σήμερα διανοιχθέν τμήμα της σήραγγας Δρίσκου έχει παρουσιάσει σε αρκετά τμήματά του μεγαλύτερες από τις προβλεπόμενες από τον αρχικό σχεδιασμό συγκλίσεις. Ταυτόχρονα έχουν παρατηρηθεί αστοχίες αγκυρίων και εκτοξευόμενου

Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής

σκυροδέματος σε αρκετές θέσεις, γεγονός, που υποδηλώνει τη σχετική ανεπάρκεια των μέτρων προσωρινής υποστήριξης για τη συγκεκριμένη βραχώμαζα, σε τοπική κλίμακα και σε μερικές ακραίες εν γένει συνθήκες. Με βάση τα παραπάνω υφίσταται η ανάγκη λήψης πρόσθετων μέτρων θεραπείας του ήδη διανοιχθέντος τμήματος, όπως επίσης και υπολογισμού νέων διατομών στο μη διανοιχθέν τμήμα όπου θα λαμβάνονται υπόψη η εμπειρία από τη μέχρι σήμερα διάνοιξη όπως και η ύπαρξη νερού η οποία υποβαθμίζει περαιτέρω τις παραμέτρους αντοχής και ποιότητας της βραχώμαζας. Θα πρέπει επομένως κατά τους υπολογισμούς της διαστασιολόγησης της προσωρινής υποστήριξης να λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη του νερού και να απομειώνονται κατάλληλα οι παράμετροι αντοχής της βραχώμαζας. Τα παραπάνω οδήγησαν στο συμπέρασμα, ότι ενόψει της διάνοιξης της β' φάσης θα πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα θεραπείας, ώστε:

- (α) Να μειωθεί στο ελάχιστο και να ανασχεθεί η περαιτέρω αύξηση των συγκλίσεων και
- (β) Να μην επιφορτιστούν περαιτέρω, στο βαθμό που αυτό είναι δυνατόν, τα ήδη εφαρμοσθέντα μέτρα προσωρινής υποστήριξης.

Ταυτόχρονα θα πρέπει τα μέτρα θεραπείας που θα επιλεγούν να εξασφαλίζουν στη σήραγγα κατάλληλες διαστάσεις, ώστε η μόνιμη επένδυση να έχει το προβλεπόμενο από το σχεδιασμό του έργου στατικό πάχος.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι ανωτέρω στόχοι, διενεργήθηκαν ανάδρομες αναλύσεις ύστερα από αξιολόγηση των δεδομένων των γεωτεχνικών οργανομετρήσεων, έτσι ώστε:

- Να καθοριστούν οι γεωτεχνικές παράμετροι της βραχώμαζας, για τις οποίες οι υπολογιζόμενες συγκλίσεις προσεγγίζουν τις μετρούμενες.
- Να ελεγχθεί η επάρκεια των προβλεπομένων από την οριστική μελέτη μέτρων προσωρινής υποστήριξης στις περιοχές όπου έχει ήδη συμβεί υπέρβαση της επιτρεπόμενης σύγκλισης.

Στη συνέχεια εκτελέστηκαν αναλύσεις με δεδομένες γεωτεχνικές παραμέτρους, οι οποίες προέκυψαν από τις ανάδρομες αναλύσεις, με στόχο να υπολογιστούν πρόσθετα μέτρα υποστήριξης, αλλά και μέτρα βελτίωσης της βραχώμαζας, για τις περιπτώσεις εκείνες όπου τα μέτρα της προσωρινής υποστήριξης κριθούν ως ανεπαρκή, για τη διάνοιξη της β' φάσης.

5. ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΦΛΥΣΧΗ

Στα φύλλα αποτύπωσης των μετώπων, σχεδόν σε όλες τις θέσεις, αναφέρεται η παρουσία νερού με μορφή υγρασίας έως ροής υπό μέτρια πίεση. Έντονη επίσης είναι η παρουσία παρακατακόρυφων ρηγμάτων σε κάθε διατομή αποτύπωσης, πληρωμένων με μυλονιτωμένο, χαμηλών, αντοχών υλικό. Τα στρώματα φλύσχη και ιλυολίθου έχουν διάταξη παραοριζόντια ως προς το μέτωπο, κυρίως στην περιοχή της εισόδου.

Οι μηχανικές ιδιότητες του φλύσχη παρουσιάζονται τοπικά με μειωμένες τιμές λόγω της ύπαρξης υψηλότερων από τις κανονικές συγκεντρώσεων τάσεων οι οποίες προκαλούνται όταν τα παραοριζόντια στρώματα του φλύσχη διατέμνονται από ομάδες ρηγμάτων. Σύμφωνα επίσης με νεώτερο άρθρο των Μαρίνου και Hoek^{**}, για τις τιμές των

^{**} Marinou and Hoek «Mechanical properties of Flysch» submitted for publication in the Bulletin of IAEG

Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής

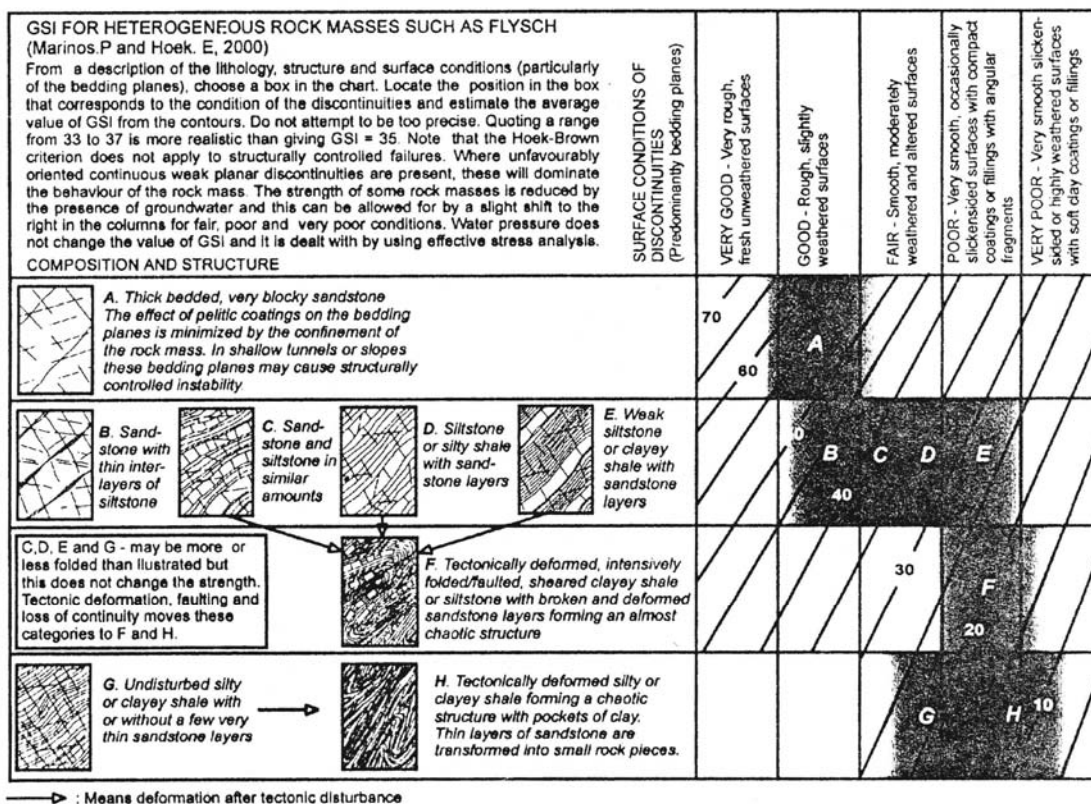
μηχανικών παραμέτρων του φλύσχη, θα πρέπει να λαμβάνεται πλέον υπόψη η επίδραση της ύπαρξης υπογείων νερών. Η ύπαρξη νερού έχει αρνητική επίδραση στην τιμή της αντοχής σε θλίψη του αρρήκτου πετρώματος σ_{ci} , όπως επίσης και στην τιμή της σταθεράς m_i . Επομένως θα πρέπει κατά την κατηγοριοποίηση της βραχώμαζας να λαμβάνεται υπόψη και η ύπαρξη υδροφορίας, ώστε οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων της να απομειώνονται κατάλληλα. Η τιμή του δείκτη GSI επηρεάζεται επίσης την εφαρμογή μη επαρκών μέτρων υποστήριξης, η οποία είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ζώνης χαλάρωσης γύρω από την εκσκαφή. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του βαθμού αλληλεμπλοκής των τεμαχίων της βραχώμαζας, τη διεύρυνση του ανοίγματος των ασυνεχειών που διασχίζουν τη βραχώμαζα, φαινόμενο το οποίο επιδρά αρνητικά στην τιμή του δείκτη GSI. Οι γεωτεχνικές οργανομετρήσεις άλλωστε, με χρήση μηχανοσυόμετρων επιβεβαιώνουν μάλλον την παρουσία ζώνης χαλάρωσης μεγαλύτερου εύρους από το προβλεφθέν στην οριστική μελέτη του έργου.

Σύμφωνα επίσης με τον παρακάτω πίνακα για την επιλογή του δείκτη GSI, οι υπολογισθείσες τιμές του δείκτη θα πρέπει να μετατοπιστούν ελαφρώς προς τη δεξιά πλευρά, λόγω της ύπαρξης υπογείων νερών. Επομένως οι τιμές των σ_{ci} , m_i και GSI, θα πρέπει να μειωθούν σε σχέση με τις παραδοχές του αρχικού σχεδιασμού του έργου. Επειδή όμως δεν υπάρχουν προς το παρόν στη βιβλιογραφία, ποσοτικές εκτιμήσεις για τη μείωση αυτή, το κριτήριο για το πόσο πρέπει να μειωθούν οι παράμετροι είναι, αφενός μεν οι τιμές των μετρηθεισών συγκλίσεων, αφετέρου προκειμένου για το m_i , η τιμή του να μένει εντός των ορίων που προτείνει η βιβλιογραφία για το φλύσχη. Συγκεκριμένα οι τιμές ανάλογα με τα ποσοστά συμμετοχής ψαμμίτη και ιλυολίθου κυμαίνονται από 5 έως 21. Οι τιμές του δείκτη m_i μειώθηκαν μέχρι η υπολογιζόμενη κατακόρυφη μετατόπιση να προσεγγίσει τη μετρηθείσα κατακόρυφη μετατόπιση. Για την εκτίμηση των παραμέτρων αντοχής c (συνοχή) και ϕ (γωνία εσωτερικής τριβής) της βραχώμαζας εφαρμόστηκε το κριτήριο Hoek & Brown σε συνδυασμό με το εύρος διακύμανσης του πάχους των υπερκειμένων. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω γεωλογικά στοιχεία, αλλά και το γεγονός ότι το τμήμα της σήραγγας που θα διανοιχτεί ευρίσκεται σε περιοχή με αρκετά υψηλότερα υπερκείμενα από το μέχρι σήμερα διανοιχθέν (μέγιστο ύψος 220 m), εκτελέστηκαν αναλύσεις με χρήση δισδιάστατου και τρισδιάστατου κώδικα πεπερασμένων διαφορών, για το δυσμενέστερο συνδυασμό αρχικού εντατικού πεδίου και ποιότητας βραχώμαζας για τις κατηγορίες μέτρων προσωρινής υποστήριξης III, IV, Va και Vb, με σκοπό την αναπροσαρμογή τους στα υφιστάμενα δεδομένα, για την ποιότητα της βραχώμαζας. Η διαστασιολόγηση των νέων διατομών καθίσταται αναγκαία όπως έδειξε η εμπειρία από τη διάνοιξη αλλά και για κατασκευαστικούς λόγους. Η επιλογή του δυσμενέστερου συνδυασμού υπερκειμένων ανά κατηγορία, βασίστηκε στο λόγο σ_{cm}/P_o (Αντοχή βραχώμαζας / Γεωστατική τάση).

Σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό του έργου κάθε τυπική διατομή εφαρμόζεται για ένα συγκεκριμένο πεδίο συνδυασμών ποιότητας βραχώμαζας και ύψους υπερκειμένων. Προκειμένου να διαστασιολογηθούν οι νέες διατομές, θεωρήθηκε καταρχήν ότι κάθε μία από αυτές θα πρέπει να έχει το ίδιο εν γένει πεδίο εφαρμογής με την αντίστοιχή της στον αρχικό σχεδιασμό του έργου, λαμβάνοντας υπόψη μικρή απομείωση των γεωτεχνικών παραμέτρων σ_{ci} και m_i . Η απομείωση του δείκτη GSI λόγω υπογείων νερών και δυσμενούς στρωσιγένειας θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την κατηγοριοποίηση της βραχώμαζας, ώστε να επιλέγεται η κατάλληλη τυπική διατομή. Οι νέες διατομές διαστασιολογούνται για το δυσμενέστερο συνδυασμό ποιότητας βραχώμαζας και ύψους υπερκειμένων, όπως αυτός λαμβάνεται για κάθε κατηγορία μέτρων υποστήριξης σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό του έργου.

Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής

Πίνακας 1 Δείκτης GSI βάσει της δομής του γεωλογικού σχηματισμού του φλύσχη (διαφοροποίηση αναλογίας στρώσεων ψαμμίτη και ιλυόλιθου).



6. ΑΝΑΔΡΟΜΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

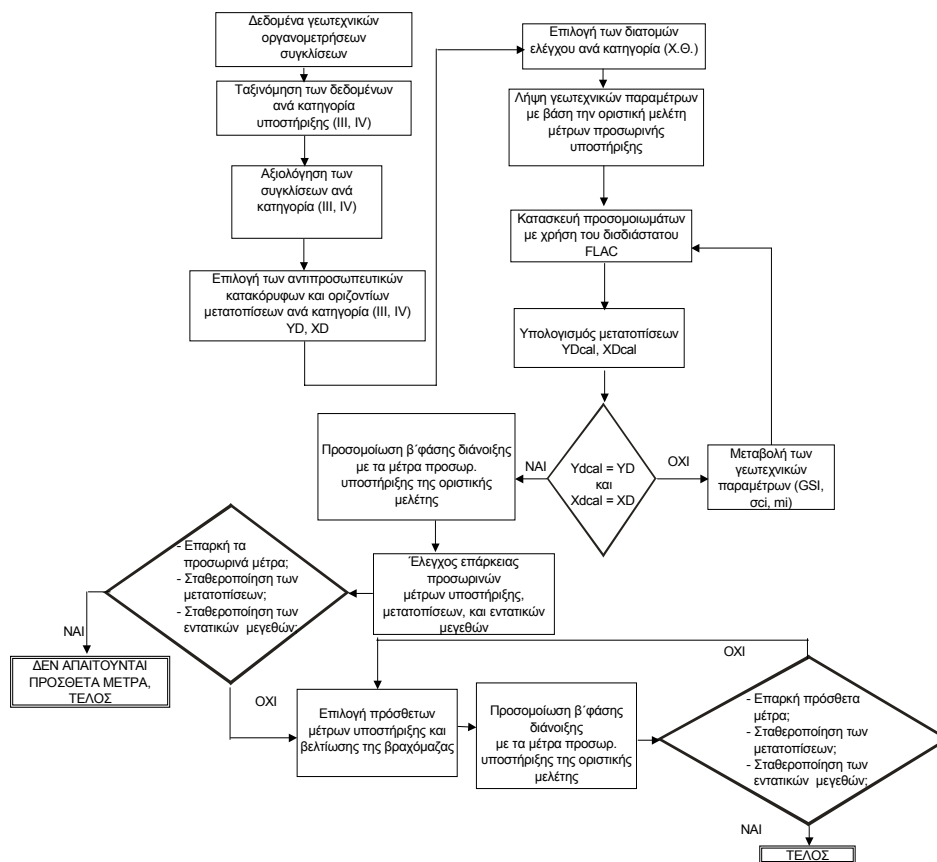
Η φιλοσοφία εκτέλεσης των ανάδρομων αναλύσεων και σχεδιασμού μέτρων θεραπείας των τμημάτων της σήραγγας με προβλήματα συγκλίσεων, παρουσιάζεται στο διάγραμμα του παρακάτω σχήματος, και αφορά τμήματα του έργου όπου είχαν εφαρμοστεί οι κατηγορίες εκσκαφής και μέτρων προσωρινής υποστήριξης III και IV του αρχικού σχεδιασμού, με υπέρβαση των μέγιστων επιτρεπόμενων μετατοπίσεων.

Οι αρχικές γεωτεχνικές παράμετροι λήφθηκαν υπόψη σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό του έργου για τη συγκεκριμένη κατηγορία και σχηματισμό, ο οποίος απαντάται στη κρίσιμες θέσεις ελέγχου.

Πίνακας 2 Γεωτεχνικές παράμετροι για την εκτέλεση των ανάδρομων αναλύσεων, σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό του έργου.

Κατηγορία	GSI	m_i	σ_{ci}	γ (kN/m ³)
III	40	11	30	27.00
IV	32	8	25	27.00

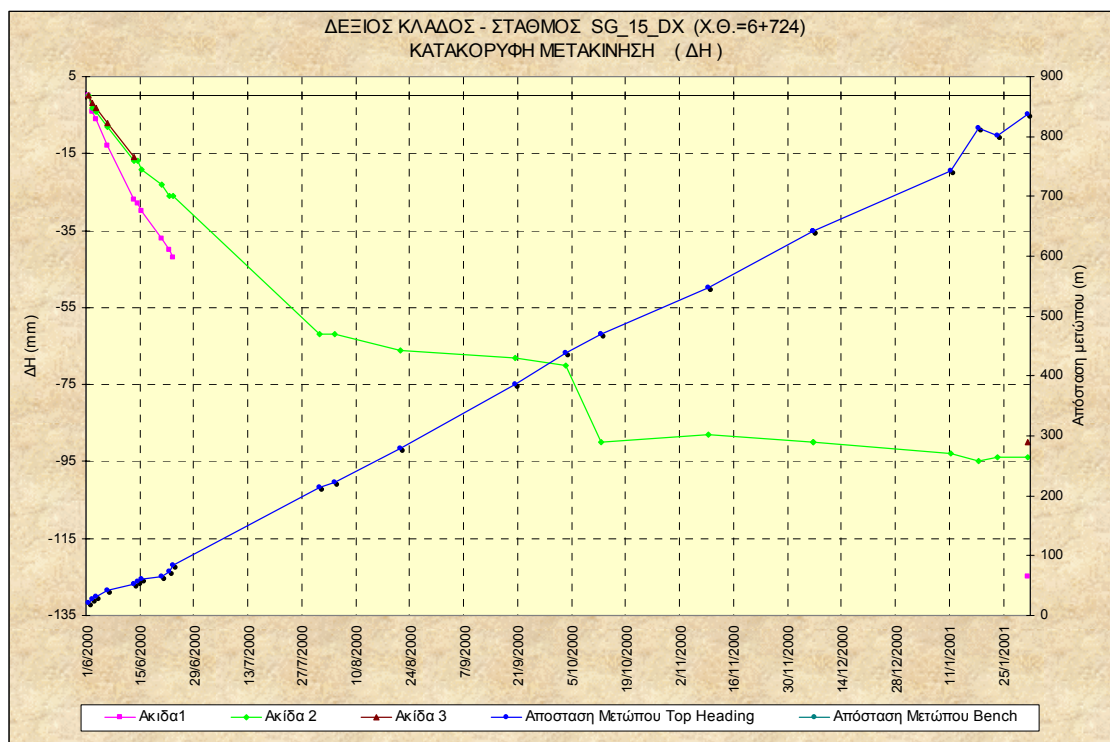
Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής



Σχήμα 1 Λογικό διάγραμμα ροής εκτέλεσης ανάδρομων αναλύσεων και υπολογισμού μέτρων θεραπείας

Οι ανάδρομες αναλύσεις για την κατηγορία III περιλαμβάνουν την εκτέλεση υπολογισμών με διαφοροποιήσεις των γεωτεχνικών παραμέτρων της βραχύμαζας και επαναληπτικές διαδικασίες, ώστε η υπολογιζόμενη κατακόρυφη μετατόπιση να προσεγγίσει το μέγεθος της μέγιστης μετρηθείσας η οποία έλαβε τιμή 34 mm, ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη ήταν της τάξεως των 15 mm μετά τη διάνοιξη της πλήρους διατομής. Λαμβάνεται δε η μετατόπιση ως κύριο κριτήριο για την εκτέλεση των ανάδρομων αναλύσεων διότι αποτελεί το πλέον εύκολα μετρούμενο μέγεθος με την μικρότερη πιθανότητα σφάλματος από πλευράς οργανομετρήσεων, ως και το κυριότερο μέγεθος από πλευράς λειτουργικότητας της σήραγγας. Στο παρακάτω σχήμα δίνεται ενδεικτικά ένα διάγραμμα παρακολούθησης των μετατοπίσεων από το έργο.

Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής



Σχήμα 2 Κατακόρυφη μετατόπιση στη Χ.Θ. 6+724 ως συνάρτηση του χρόνου και της απόστασης της θέσης από το μέτωπο εκσκαφής.

Οι υπολογισμοί εκτελέστηκαν διατηρώντας σταθερά τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης και μεταβάλλοντας ανάλογα τις παραμέτρους GSI, m_i και σ_{ci} του πετρώματος. Η αρχική αποτόνωση τη στιγμή όπου εγκαθίσταται το πρώτο μέτρο προσωρινής υποστήριξης (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 5 cm) εκτιμήθηκε με βάση τις καμπύλες Panet για δεδομένες τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων, ακτίνας εκσκαφής και πάχους υπερκειμένων. Η προσομοίωση της α' φάσης εκσκαφής έγινε σε 11 στάδια κατά τα οποία ελήφθη υπόψη ο χρόνος ωρίμανσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε σχέση με την προχώρηση του μετώπου (επίδραση τρίτης διάστασης).

Εξετάστηκαν οι παρακάτω συνδυασμοί τιμών γεωτεχνικών παραμέτρων.

Πίνακας 3 Τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων ανάδρομων αναλύσεων και αντίστοιχα μεγέθη μετατοπίσεων. Κατηγορία III.

Παράμετροι			Κατακόρυφη μετατόπιση (mm)		Οριζόντια μετατόπιση (mm)		Εύρος ζώνης πλαστικ/σης (m)	
GSI	m_i	σ_{ci}	Αριστερός κλάδος	Δεξιός κλάδος	Αριστερός κλάδος	Δεξιός κλάδος	Αριστερός κλάδος	Δεξιός κλάδος
40	11	30	10.8	10.8	2.8	2.8	1.0	1.0
32	8	25	15.5	15.6	5.3	5.6	2.0	2.0
25	8	20	33.8	33.3	8.9	9.2	3.5	3.5

Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής

Η μέγιστη αναπτυσσόμενη θλιπτική τάση στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που υπολογίστηκε για το συνδυασμό III, που ήταν και ο δυσμενέστερος ήταν της τάξεως των 26 MPa, τιμή που προσεγγίζει την θλιπτική αντοχή των 28 MPa του εκτοξευόμενου σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε. Με βάση το γεγονός ότι έχουν ήδη επισυμβεί τοπικές αστοχίες σε αγκύρια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, για τον υπολογισμό των μέτρων θεραπείας της διατομής III γίνεται αποδεκτός ο τρίτος συνδυασμός γεωτεχνικών παραμέτρων, δηλ, GSI 25, σ_{ci} 20, m_i 8, αφού η τιμή της υπολογιζόμενης κατακόρυφης μετατόπισης, προσεγγίζει ικανοποιητικά την μετρηθείσα.

Ανάλογη διαδικασία ακολουθείται για τα τμήματα όπου εφαρμόστηκε η τυπική διατομή IV, με προβλήματα συγκλίσεων. Η κατακόρυφη μετατόπιση η οποία λήφθηκε υπόψη στους υπολογισμούς έλαβε τιμή 80 mm μετά τη διάνοιξη της άνω ημιδιατομής, ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη ήταν της τάξεως των 25 mm μετά τη διάνοιξη της πλήρους διατομής. Η προσομοίωση της α' φάσης εκσκαφής έγινε σε 12 στάδια. Οι τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων όπως και τα κυριότερα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4 Τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων ανάδρομων αναλύσεων και αντίστοιχα μεγέθη μετατοπίσεων. Κατηγορία IV.

Παράμετροι			Κατακόρυφη μετατόπιση (mm)		Οριζόντια μετατόπιση (mm)		Εύρος ζώνης πλαστικ/σης (m)	
GSI	m_i	σ_{ci}	Δεξιός κλάδος	Αριστερός κλάδος	Δεξιός κλάδος	Αριστερός κλάδος	Δεξιός κλάδος	Αριστερός κλάδος
32	11	25	10.2	10.2	4.2	4.2	0.5-1.5	0.5-1.5
25	8	20	32.2	32.2	9.7	9.8	1-2.5	1-2.5
20	8	15	69.7	69.8	27.0	27.2	4-6	4-6

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρείται ότι οι υπολογιζόμενες μετατοπίσεις, δε συμπίπτουν με τις μετρηθείσες. Ο τρίτος συνδυασμός δίνει μετατοπίσεις που προσεγγίζουν καλύτερα τις μετρηθείσες. Ωστόσο τα αναπτυσσόμενα εντατικά μεγέθη επί της υποστήριξης παρουσιάζονται πολύ αυξημένα, εντός της περιοχής των όριων αντοχής τους. Για ανάλυση της επιλογής των μέτρων θεραπείας για την κατηγορία IV, λήφθηκαν οι τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων του τρίτου συνδυασμού.

7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΡΩΝ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ ΔΥΣΧΕΡΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΕΡΓΟΥ

Βασικός στόχος της επιλογής των μέτρων θεραπείας είναι:

- (α) Να μειωθεί στο ελάχιστο ή και να μηδενιστεί η περαιτέρω αύξηση των συγκλίσεων και το εύρος της ζώνης πλαστικοποίησης με την ολοκλήρωση και της β' φάσης εκσκαφής (κάτω ημιδιατομής).
- (β) Να μην επιφορτιστούν περαιτέρω τα ήδη εφαρμοσθέντα μέτρα προσωρινής υποστήριξης με την ολοκλήρωση και της β' φάσης εκσκαφής.
- (γ) Τα μέτρα υποστήριξης της β' φάσης να είναι επαρκή

Με βάση τα ανωτέρω εξετάστηκαν τα κάτωθι μέτρα θεραπείας για κάθε κατηγορία:

Κατηγορία III

Σε όλους τους παρακάτω συνδυασμούς αύξηση του συνολικού πάχους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος της β' φάσης κατά 5 cm, φθάνοντας τα 15 cm συνολικά, (ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε πάχος 10 cm) και επιπλέον εφαρμογή των ακόλουθων συνδυασμών μέτρων:

Συνδυασμός Α: Συνδυασμός αγκυρίων μεγάλου μήκους (7 m) σε κάνναβο 1.3 X 1.3 m, στις παρειές της άνω φάσης και τσιμεντενέσεων σταθεροποιήσεως, μέσου μήκους 5 m, στις παρειές της άνω και της κάτω φάσης.

Συνδυασμός Β: Συνδυασμός αγκυρίων μεγάλου μήκους (7 m) σε κάνναβο 1.3 X 1.3 m στις παρειές της άνω φάσης και τσιμεντενέσεων σταθεροποιήσεως μήκους 3 m στις παρειές της β' φάσης.

Συνδυασμός Γ: Εφαρμογή αγκυρίων πλήρους πακτώσεως μεγάλου μήκους (7 m) σε κάνναβο 1.3 X 1.3 m στις παρειές της α' φάσης.

Επιπλέον για τις συγκεκριμένες γεωτεχνικές παραμέτρους, οι οποίες ελήφθησαν υπόψη, για την περίπτωση όπου δε θα εφαρμοστούν πρόσθετα μέτρα θεραπείας, αναμένονται να επισυμβούν μετατοπίσεις στην υπάρχουσα υποστήριξη της τάξης των 10 mm επιπλέον αυτών, που έχουν ήδη συμβεί, ενώ για την υποστήριξη, που θα εγκατασταθεί στη β' φάση (παρειές βαθμίδας) η μετατόπιση που αναμένεται είναι της τάξεως των 16 mm. Επιπλέον τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στην υποστήριξη της β' φάσης είναι οριακά, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 10 cm.

Συγκρίνοντας τα αναπτυσσόμενα εντατικά μεγέθη επί της υποστήριξης για τους τρεις συνδυασμούς και τις μετατοπίσεις πρόέκυψε σαφής βελτίωση για την περίπτωση λήψης των μέτρων θεραπείας, των συνδυασμών Α και Β, με τον συνδυασμό Α να υπερτερεί. Με τον συνδυασμό Γ δε πρόέκυψε ουσιαστική βελτίωση.

Επιλέχθηκε επομένως ως καταλληλότερος συνδυασμός μέτρων θεραπείας ο συνδυασμός Α. Τονίζεται ιδιαίτερος ότι τα μέτρα θεραπείας του συνδυασμού Α θα πρέπει να εφαρμοστούν πριν από την προχώρηση του έργου στην β' φάση εκσκαφής.

Η τεχνική λύση που επιλέχθηκε για τα ήδη ορυχθέντα τμήματα στα οποία εφαρμόστηκε η κατηγορία III, περιλαμβάνει τα κάτωθι μέτρα:

Αύξηση του πάχους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στις παρειές της β' φάσης κατά 5 cm, ήτοι από 10 cm που προέβλεπε η οριστική μελέτη σε 15 cm. Το πάχος των 10 cm κρίνεται ανεπαρκές όπως έδειξε η ανάλυση κατά την οποία η εκσκαφή της β' φάσης γίνεται χωρίς την εφαρμογή πρόσθετων μέτρων.

Εφαρμογή αγκυρίων μήκους 7 m στις παρειές της άνω φάσης σε κάνναβο διαστάσεων 1.3 X 1.3 m. Το μέτρο αυτό επελέγη διότι ένας σημαντικός αριθμός αγκυρίων της α' φάσης στην περιοχή αυτή είναι πολύ κοντά στο όριο της φέρουσας ικανότητας, όπως φάνηκε από τις ανάστροφες αναλύσεις. Επίσης το μήκος των 7m επιλέχθηκε προκειμένου να υπάρχει ικανό μήκος αγκύρωσης των αγκυρίων εκτός της ζώνης πλαστικοποίησης η οποία έχει αναπτυχθεί γύρω από τη σήραγγα.

Αύξηση του μήκους των αγκυρίων, που θα εγκατασταθούν στη β' φάση κατά ένα μέτρο φθάνοντας συνολικά τα 4 μέτρα (η οριστική μελέτη προέβλεπε αγκύρια μήκους 3 m).

Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής

Η αύξηση του μήκους των αγκυρίων είναι αναγκαία διότι όπως φάνηκε από τις ανάδρομες αναλύσεις το εύρος της ζώνης πλαστικοποίησης έχει υπερβεί τα 3 m.

Εφαρμογή τσιμεντενέσεων σταθεροποίησης της περιβάλλουσας την εκσκαφή βραχώμαζας, τόσο στις παρειές της α' φάσης, όσο και στις παρειές της β' φάσης εκσκαφής μήκους 5 έως 7 m. Αυτό προκύπτει από τις αναλύσεις όπου η πλαστικοποιημένη ζώνη μετά την εφαρμογή των μέτρων περιορίζεται αισθητά με την εφαρμογή μεγαλύτερου μήκους τσιμεντενέσεων σε σχέση με την εφαρμογή τσιμεντενέσεων μόνον στις παρειές της β' φάσης εκσκαφής.

Στα παρακάτω σχήματα 2 και 3 δίνεται η διάταξη των ανωτέρω μέτρων θεραπείας

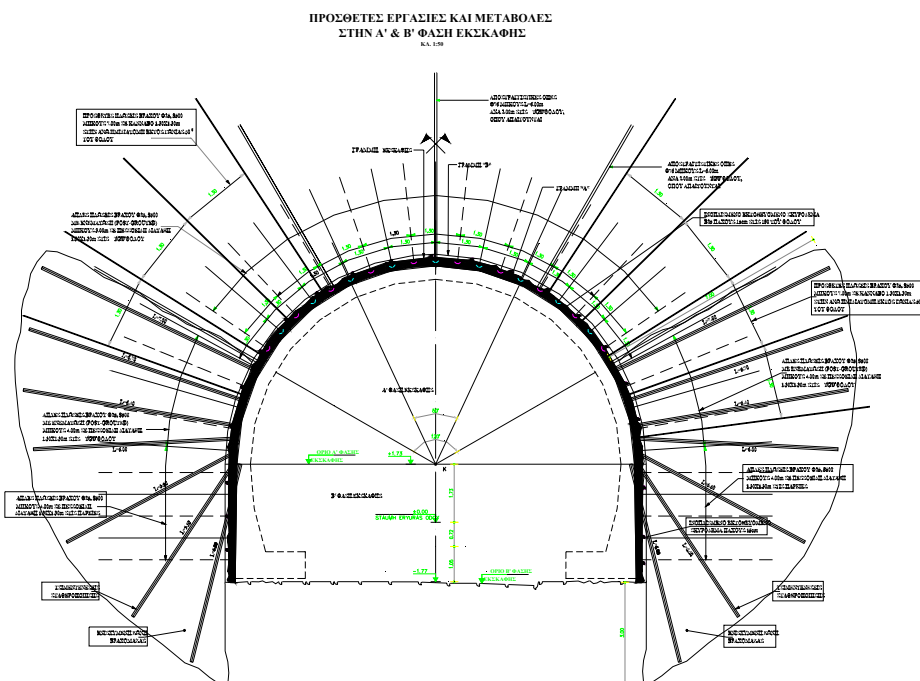
Κατηγορία IV

Εξετάστηκαν δύο διαφορετικοί συνδυασμοί μέτρων θεραπείας ως κάτωθι:

Σε κάθε περίπτωση αύξηση του μήκους των αγκυρίων που θα τοποθετηθούν στις παρειές της β' φάσης από 4m (όπως προέβλεπε η οριστική μελέτη) σε 6 m λόγω της πλαστικοποίησης της βραχώμαζας που έχει επισυμβεί και επιπλέον εφαρμογή των ακόλουθων συνδυασμών μέτρων:

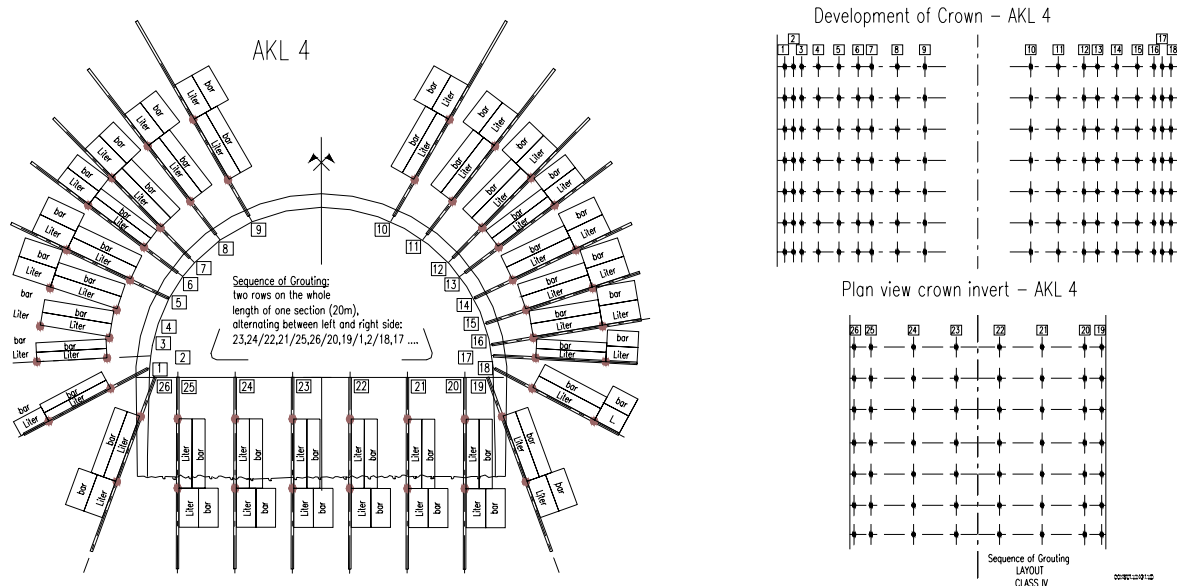
Συνδυασμός Α: Συνδυασμός αγκυρίων μεγάλου μήκους (8 m, σε κάνναβο 1.3 X 1.3 m) στις παρειές της άνω φάσης και τσιμεντενέσεων σταθεροποίησης, μέσου μήκους 5 m, στις παρειές της άνω και της κάτω φάσης

Συνδυασμός Β: Συνδυασμός αγκυρίων μεγάλου μήκους (8 m) στις παρειές της άνω φάσης και τσιμεντενέσεων σταθεροποίησης τόσο στις παρειές της α' και β' φάσης όσο και κάτω από το τελικό δάπεδο της σήραγγας μέχρι βάθους 3 m.

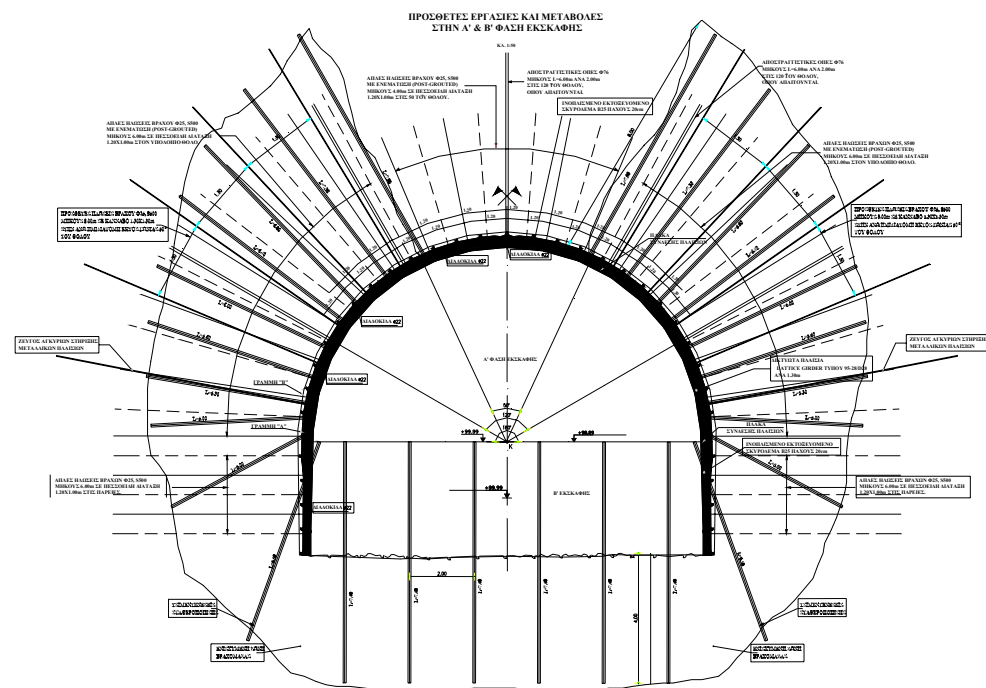


Σχήμα 3 Πρόσθετες εργασίες και μεταβολές στην Α' και Β' φάση εκσκαφής για την κατηγορία III

Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής



Σχήμα 4 Πρόγραμμα εκτέλεσης τσιμεντενέσεων σταθεροποίησης βραχώμαζας, κατηγορία IV



Σχήμα 5 Πρόσθετες εργασίες και μεταβολές στην Α' και Β' φάση εκσκαφής για την κατηγορία IV

Όπως προέκυψε από τις αναλύσεις η βέλτιστη λύση είναι εκείνη του συνδυασμού Β.

Η τεχνική λύση που επιλέχθηκε για τα ήδη ορυχθέντα τμήματα στα οποία έχει εφαρμοστεί η κατηγορία IV, δίνεται στα σχήματα 4 και 5 και περιλαμβάνει τα κάτωθι μέτρα:

Διημερίδα "ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ"

"ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ" Α.Ε. & Ε.Ε.Σ.Υ.Ε.

Εισηγητές :Ι. Μπουρνάζος, Π. Δελαπόγλου, Δρ. Π. Κοντοθανάσης

7&8 Δεκεμβρίου 2001

Εφαρμογή αγκυρίων μήκους 8 μέτρων σε διάταξη καννάβου 1.3 X 1.3 m στις παρειές της α΄ φάσης. Τα αγκύρια αυτά θεωρούνται αναγκαία προκειμένου να ενισχυθεί η περιοχή των παρειών της α΄ φάσης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ανάδρομων αναλύσεων, τα ήδη εγκατεστημένα αγκύρια στην υπόψη περιοχή είναι στο όριο της φέρουσας ικανότητάς τους, ενώ ορισμένα από αυτά έχουν ήδη αστοχήσει. Το μήκος των 8m, είναι αναγκαίο προκειμένου αυτά να αγκυρωθούν εκτός της ζώνης πλαστικοποίησης. Εφαρμογή τσιμεντενέσεων μήκους 5m έως 8m, γύρω από την εκσκαφή εκτός της περιοχής των 50° του θόλου. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των 2 διαφορετικών διατάξεων τσιμεντενέσεων που διερευνήθηκαν, έδειξε ότι με τη συγκεκριμένη διάταξη επιτυγχάνεται σταθεροποίηση των μετατοπίσεων και μικρότερη αύξηση των εντατικών μεγεθών. Η εκτέλεση τσιμεντενέσεων κάτω από τον τελικό πυθμένα της εκσκαφής κρίνεται απαραίτητη συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των συνδυασμών Α και Β, που αφορούν μετατοπίσεις και εύρος ζώνης πλαστικοποίησης.

Θα πρέπει επίσης να τονιστεί ιδιαίτερα ότι στο σύνολο του ορυχθέντος τμήματος εκτελούνται κατάλληλες εργασίες επισκευής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στις περιοχές όπου έχει παρατηρηθεί αστοχία του. Οι εν λόγω εργασίες θα πρέπει να ολοκληρωθούν πριν την έναρξη των εργασιών της β΄ φάσης διάνοιξης στις συγκεκριμένες περιοχές. Και τούτο διότι οι ρωγμές αυτές αποτελούν αφετηρίες εκκίνησης γενικευμένης αστοχίας της επένδυσης κατά τη διάνοιξη της β΄ φάσης. Επίσης, θα πρέπει απαραίτητα να διανοίγονται αποστραγγιστικές οπές όταν υπάρχει ένδειξη ύπαρξης υπόγειου νερού, ώστε να αποτονώνονται οι πιέσεις, που αναπτύσσονται στην προσωρινή υποστήριξη.

8. ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Οι τιμές των μειωμένων ιδιοτήτων που προσδιορίστηκαν ως αντιπροσωπευτικές για το σχεδιασμό των τυπικών διατομών στο μη ορυχθέν τμήμα, προσδιορίστηκαν βάσει του λόγου σ_{cm}/P_o (Αντοχή βραχόμαζας / Γεωστατική τάση). Ειδικότερα επιλέχθηκαν οι ελάχιστες τιμές του λόγου σ_{cm}/P_o για τον οποίο εφαρμόζεται κάθε κατηγορία σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό. Από αυτούς τους συνδυασμούς, επιλέχθηκαν οι κατωτέρω παράμετροι, με μικρή απομείωση των παραμέτρων σ_{ci} , και m_i σε σχέση με εκείνες του αρχικού σχεδιασμού προκειμένου να ληφθεί υπόψη η επίδραση του νερού και η δυσμενής, εν γένει στρωσιγένεια στο μη διανοιχθέν τμήμα, ανάλογα με την κατηγορία μέτρων προσωρινής υποστήριξης.

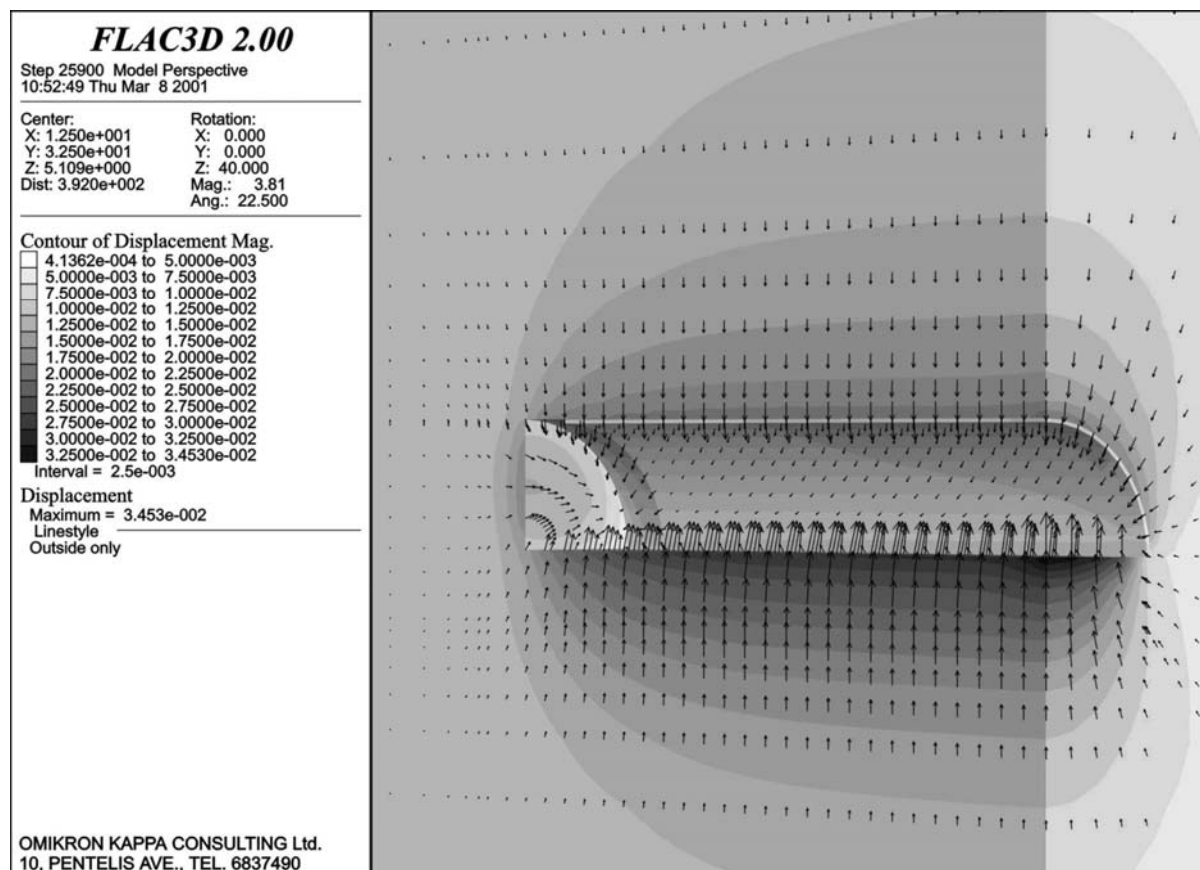
Πίνακας 5 Γεωτεχνικές παράμετροι και υπερκείμενα που ελήφθησαν υπόψη κατά τις αναλύσεις για τη διαστασιολόγηση των διατομών στο μη διανοιχθέν τμήμα

Τυπική διατομή	III	IV	V _α	V _β
Λιθολογικός σχηματισμός	Ιλυόλιθος	Ιλυόλιθος	SiSa/Si+SaSi	SiSa/Si+SaSi
GSI	40	40	25	25
σ_{ci} (MPa)	8	8	14	14
m_i	8	8	11	11
σ_{cm} (MPa)	0.86	0.86	1.02	1.09
Ύψος υπερκείμενων (m)	100	150	150	220
P_o (MPa)	2.70	4.05	4.05	5.94

Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής

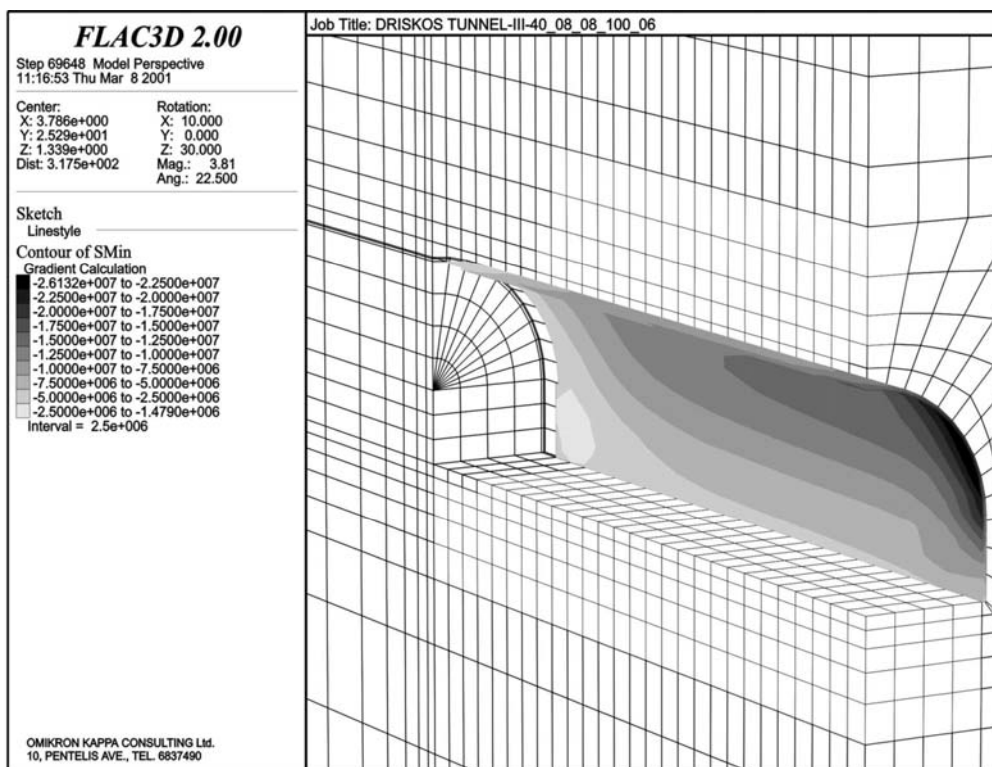
Για τη διαστασιολόγηση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης των κατηγοριών III και IV χρησιμοποιήθηκε ο τρισδιάστατος κώδικας πεπερασμένων διαφορών FLAC 3D. Λόγω συμμετρίας προσομοιώθηκε μόνον το ήμισυ της σήραγγας θεωρώντας ότι δεν θα υπάρξει αλληλεπίδραση των δύο κλάδων της σήραγγας, για τις εν λόγω κατηγορίες. Στα προσομοιώματα που κατασκευάστηκαν, ακολουθήθηκαν επακριβώς οι φάσεις εκσκαφής, το βήμα προχώρησης, και ο χρονισμός τοποθέτησης των μέτρων υποστήριξης. Τα αγκύρια τοποθετούνται σε κάνναβο σε πεσσοειδή διάταξη. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα προσομοιώνεται ως ελαστικό υλικό, με μεταβαλλόμενο μέτρο ελαστικότητας ανάλογα με την απόσταση του από το μέτωπο της εκσκαφής. Τα πλαίσια προσομοιώνονται με ραβδωτά πεπερασμένα στοιχεία (beam elements). Προσομοιώνονται επίσης οι επάλληλες στρώσεις τοποθέτησης του σκυροδέματος, όπως και η διεύρυνση τύπου «elephant foot» για την θεμελίωση της άνω ημιδιατομής. Κατά την τρισδιάστατη ανάλυση προσομοιώθηκαν 40 συνολικά μέτρα εκσκαφής-υποστήριξης, ώστε το συνολικό μήκος προσομοίωσης να υπερβαίνει τις 2½ διαμέτρους, απόσταση εις την οποία οι μετατοπίσεις λαμβάνουν την θεωρητικά υπολογιζόμενη τελική τους τιμή. Εκτελέστηκαν δύο επιλύσεις μία για λόγο $K=0.6$ και μία για λόγο $K=0.9$. Η εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής προσομοιώθηκε μετά την ολοκλήρωση της α' φάσης. Για τον έλεγχο της επάρκειας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος εξετάζονται οι κύριες τάσεις που αναπτύσσονται στο κέλυφος.

Στα παρακάτω σχήματα δίνονται χαρακτηριστικά αποτελέσματα του τρισδιάστατου κώδικα.

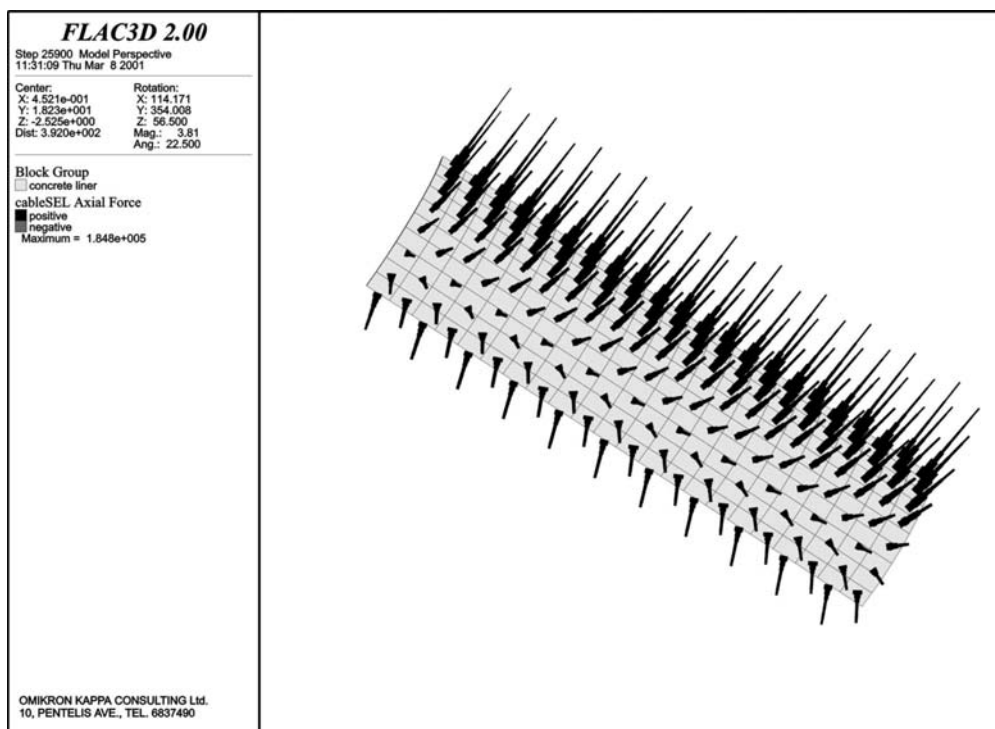


Σχήμα 6 Μετατοπίσεις κατά μήκος της σήραγγας μετά το τέλος της α' φάσης εκσκαφής. Κατηγορία III, $K=0,9$.

Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής

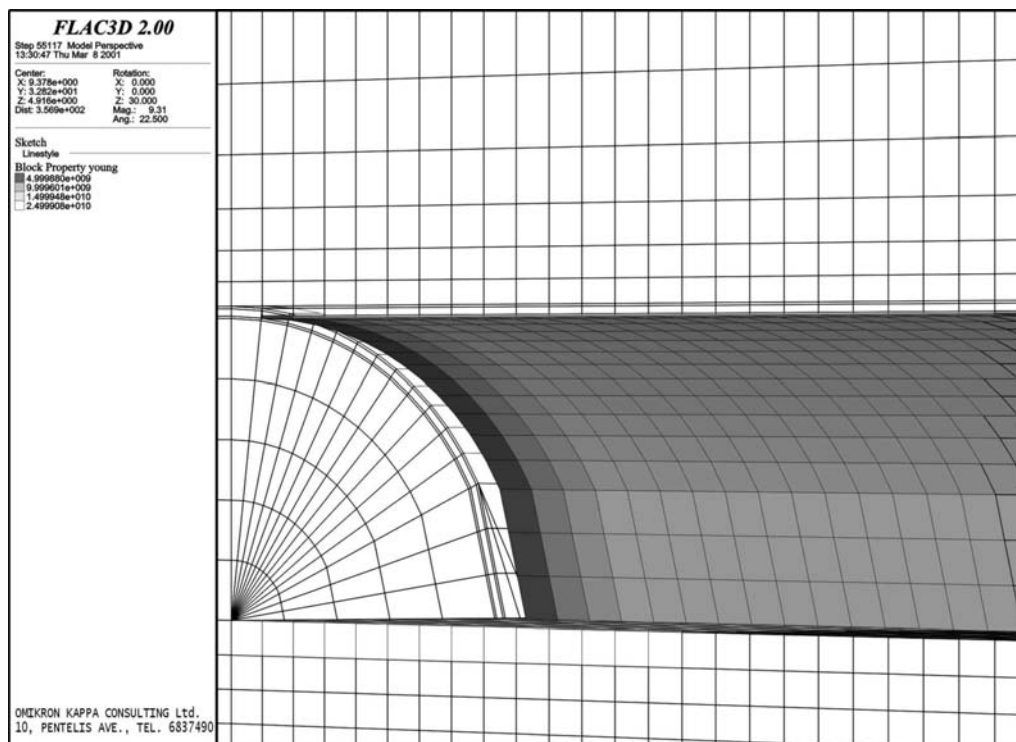


Σχήμα 7 Κατανομή της ελάχιστης κύριας τάσης επί του κελύφους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος μετά το πέρας της εκσκαφής. Κατηγορία III, $K=0,6$.

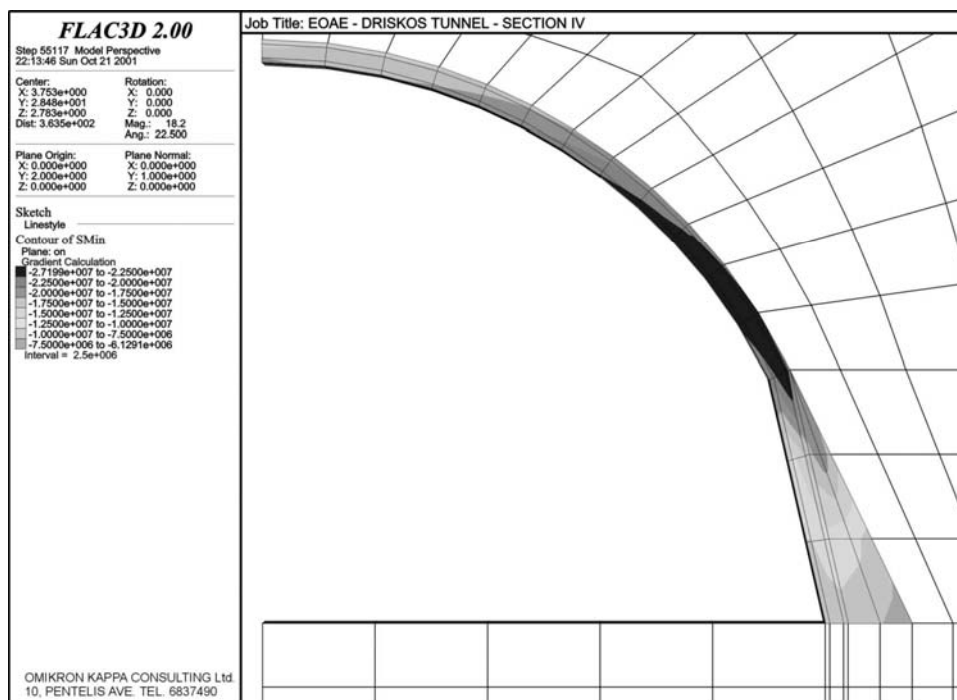


Σχήμα 8 Αξονικές δυνάμεις στα αγκύρια κατά μήκος της σήραγγας μετά το τέλος της α' φάσης εκσκαφής σε πεσοειδή διάταξη. Κατηγορία III, $K=0,9$.

Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής



Σχήμα 9 Τρισδιάστατη προσομοίωση εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης κατηγορίας IV. Άνω ημιδιατομή, μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας του εκτοξευόμενου σκυροδέματος ως συνάρτηση της απόστασης από το μέτωπο.



Σχήμα 10 Λεπτομέρεια τρισδιάστατης προσομοίωσης εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης κατηγορίας IV. Άνω ημιδιατομή, θλιπτική τάση στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Σήραγγα Δρίσκου – εμπειρίες, μελέτες, πρόοδος εργασιών, στοιχεία κατασκευής

Οι νέες τυπικές διατομές, που διαστασιολογήθηκαν με βάση τα ανωτέρω, βασίζονται στις διατομές που προέβλεπε ο αρχικός σχεδιασμός, διαφοροποιημένες κυρίως στα εξής επί μέρους στοιχεία:

Αύξηση του εύρους της γραμμής «Α». Η γραμμή αυτή καθορίζει τα όρια της εκσκαφής με βάση την απαιτούμενη γεωμετρία της διατομής και τις αναμενόμενες συγκλίσεις και κατασκευαστικές ανοχές. Με τη νέα θεώρηση και υπολογισμούς αυξάνεται το εύρος της γραμμής «Α» σε κάθε τυπική διατομή.

Αύξηση του πάχους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την κατηγορία III κατά 5 cm και του μήκους των αγκυρίων βράχου από 3 και 4 m σε 5 και 6 m αντίστοιχα μεταβάλλοντας ταυτόχρονα τον κάνναβο τοποθέτησης από 1.3 m X 1.3 m σε 1.3mX1.5m. Αύξηση του βήματος προχώρησης της άνω και κάτω ημιδιατομής από 1.3 m και 2.6 m σε 1.5 m και 3.0 m αντίστοιχα.

Αντικατάσταση των δικτυωτών πλαισίων της κατηγορίας IV που τοποθετούνταν ανά 1.00 m με μεταλλικά πλαίσια τύπου HEB140 ανά 1.30m, και αύξηση του μήκους των αγκυρίων στον θόλο της διατομής και στις παρειές της β' φάσης από 4 m σε 6 m, μεταβάλλοντας ταυτόχρονα τον κάνναβο τοποθέτησης από 1.2 m X 1.0 m σε 1.2 m X 1.3 m. Αύξηση του βήματος προχώρησης της άνω και κάτω ημιδιατομής από 1.0 m και 2.0 m σε 1.3 m και 2.6 m αντίστοιχα. Επιπλέον εφαρμόζεται διεύρυνση στην θεμελίωση των πλαισίων της άνω ημιδιατομής τύπου elephant foot, για την αντιμετώπιση τυχόν καθιζήσεων στην περιοχή θεμελίωσης. Αύξηση του πάχους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος κατά 5 cm.

Αντικατάσταση των πλαισίων τύπου HEA της κατηγορίας Va, με πλαίσια τύπου HEB160 μεγαλύτερης ακαμψίας. Πύκνωση του καννάβου των αγκυρίων, από 1.50mX1.0m σε 1.2 m X 1.0 m, με ταυτόχρονη αύξηση της φέρουσας ικανότητας τους. Εφαρμογή προσωρινού ανάστροφου τόξου στην άνω ημιδιατομή. Διαμόρφωση θεμελίωσης πλαισίων τύπου elephant foot. Αφαίρεση των αγκυρίων στον πυθμένα της β' φάσης, με ταυτόχρονη αλλαγή της γεωμετρίας του τελικού ανάστροφου τόξου.

Μεταβολή της γεωμετρίας του τελικού ανάστροφου τόξου στην τυπική διατομή Vβ, με ταυτόχρονη αύξηση της απόστασης των πλαισίων από 0.50 m σε 0.80 m. Αύξηση του βήματος προχώρησης της άνω και κάτω ημιδιατομής από 0.50 m και 1.0 m σε 0.80 και 1.6 m αντίστοιχα.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την εν λόγω διαδικασία, διατηρήθηκε στην ουσία της η αρχική τεχνική λύση της ΕΟΑΕ, με ελαφρές επεμβάσεις και προσαρμογές στα περιθώρια εφαρμογής του σχεδιασμού των μέτρων υποστήριξης και αποφεύχθηκαν ριζικές μεταβολές. Υπηρετήθηκε και βελτιώθηκε το χρονοδιάγραμμα κατασκευής του έργου, καθώς προσαρμόστηκε ο σχεδιασμός σε βήματα προχώρησης που να εξυπηρετούν τις αναγκαίες αποδόσεις χωρίς να επιβαρύνουν τα μέτρα υποστήριξης και παρά τη συνδυασμένη λειτουργία δύο και όχι τριών εργοταξίων όπως προβλεπόταν αρχικά. Επίσης, ανεξαρτητοποιήθηκε λειτουργικά το σύνολο της παραγωγής από τον επιστημονικό σχεδιασμό και την αξιολόγηση των στοιχείων, παρά το γεγονός ότι βεβαίως επιφορτίσθηκε με την υποχρέωση της παροχής πολύ μεγάλου πλήθους στοιχείων και πρωτογενών πληροφοριών προς το Σύμβουλο του Αναδόχου. Τέλος, μέσα από το σύνολο της προσπάθειας, αποκτήθηκε βελτιωμένη επιστημονική τεκμηρίωση και τεχνογνωσία υποστηρικτική της μεθοδολογίας κατασκευής, όσον αφορά τις διαθέσιμες σύγχρονες τεχνικές λύσεις για σήραγγες μεγάλου μήκους και υπερκειμένων σε φλύσχη.

Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς εκφράζουν τις ευχαριστίες τους στις Δ/νσεις Έργων Δυτικού Τομέα και Μελετών (Τμήμα Σηράγγων) της ΕΟΑΕ για την επικοινωνητική συμβολή τους στη διερεύνηση και υλοποίηση των εφαρμοζόμενων λύσεων.

Αναφορές

1. Itasca consulting Group, Inc. (2000) FLAC ver. 4.0 Manual, Minneapolis, Minnesota, USA.
2. Itasca consulting Group, Inc. (1998) FLAC^{3D} ver. 2.0 Manual, Minneapolis, Minnesota, USA.