

**ΔΙΗΜΕΡΙΔΑ  
"ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ  
ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ"**

**ΣΗΡΑΓΓΑ ΑΝΘΟΧΩΡΙΟΥ  
ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ/ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ  
ΕΡΕΥΝΑΣ**

**Εισηγητές : Π. ΠΑΝΤΖΑΡΤΖΗΣ, Δρ. ΤΕΧΝ. ΓΕΩΛΟΓΟΣ  
Χ. ΜΠΟΤΣΙΑΛΑΣ, ΤΕΧΝ. ΓΕΩΛΟΓΟΣ MSc**

**Ιωάννινα, 15-16/10/99  
"ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε."  
& Ε.Ε.Σ.Υ.Ε.**

## **ΣΗΡΑΓΓΑ ΑΝΘΟΧΩΡΙΟΥ-ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ / ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ**

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Αναλύονται οι γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες που αναμένεται να συναντηθούν κατά τη διάνοιξη της δίδυμης σήραγγας Ανθοχωρίου και παρουσιάζονται οι τυπικές διατομές εφαρμογής εκσκαφής και μέτρων προσωρινής υποστήριξης. Επισημαίνονται τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά κάθε γεωλογικού σχηματισμού όπως προέκυψαν από τις έρευνες υπαίθρου και εργαστηρίου και εξετάζονται από τεχνικογεωλογική - κατασκευαστική άποψη.

### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η σήραγγα Ανθοχωρίου εντάσσεται στο τμήμα 3.2 της Εγνατίας Οδού (σχήμα 1), βρίσκεται μεταξύ των χωριών Βοτονοσίου και Ανθοχωρίου στην περιοχή της Ηπείρου και απέχει περίπου 10km οδικώς από το Μέτσοβο, προς τα δυτικά. Προβλέπεται να είναι σήραγγα διπλής κατευθύνσεως, συνιστάμενη από δύο κλάδους, ένα ανά κατεύθυνση, οι οποίοι απέχουν κατάλληλη μεταξύ τους απόσταση ώστε να παρεμβάλλεται ενδιάμεσως ικανού πάχους στύλος βραχώμαζας. Τα μήκη του αριστερού και του δεξιού κλάδου της σήραγγας ανέρχονται σε 671,60m και 686,30m, αντίστοιχα, το δε μέγιστο ύψος υπερκειμένων εντοπίζεται περί το μέσο της διαδρομής και είναι της τάξεως των 88m περίπου. Οι άξονες των σηράγγων έχουν γενική διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και αναπτύσσονται οριζοντιογραφικά σε καμπύλα τμήματα. Οι κατά μήκος κλίσεις της ερυθράς είναι της τάξεως του 5%. Η διατομή των σηράγγων είναι πεταλοειδής και το κατάστρωμα αυτών μονοκλινές με εγκάρσια κλίση κυμαινόμενη μεταξύ 4,42% και 5% προς τα αριστερά στις εισόδους και στις εξόδους των σηράγγων. Στο μέσο περίπου των δύο κλάδων θα κατασκευαστεί εγκάρσιος συνδετήριος διάδρομος προσπέλασης προσωπικού, μήκους 16m.

Για τον προσδιορισμό των γεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών κατά μήκος του έργου πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες φάσεις μελέτης οι ακόλουθες έρευνες:

- Γεωλογικές χαρτογραφήσεις και σύνταξη γεωλογικών χαρτών, μηκοτομών και διατομών κλίμακας 1:2000, 1:1000, 1:500, 1:200 σε θέσεις τεχνικογεωλογικού και κατασκευαστικού ενδιαφέροντος.
- Σύνταξη κατάλληλων θεματικών χαρτών (χάρτες μορφολογικών κλίσεων, υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών, δυνατικών ασταθειών, γενικών τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών, αποθεσιοθαλάμων-δανειοθαλάμων).
- Καταγραφή των ασυνεχειών της βραχώμαζας, στατιστική ανάλυση αυτών και σύνταξη τεκτονικών διαγραμμάτων με τα μέσα επίπεδα των ασυνεχειών.
- Ανόρυξη 14 περιστροφικών-δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.

## Σήραγγα Ανθοχωρίου-Ιδιαιτερότητες της γεωλογικής/γεωτεχνικής έρευνας

- Επί τόπου δοκιμές εισπίεσης ύδατος Lugeon για τον προσδιορισμό της υδροπερατότητας της βραχόμαζας.
- Δοκιμές πρότυπης δεισδυσης SPT σε χαλαρά υλικά.
- Περιοδικές μετρήσεις της στάθμης των υπογείων υδάτων σε εγκατεστημένα πιεζόμετρα.
- Εργαστηριακές δοκιμές βραχομηχανικής και εδαφομηχανικής.

## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ / ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η ευρύτερη περιοχή της δίδυμης σήραγγας Ανθοχωρίου δομείται γεωλογικά από τον Πινδικό φλύσχη. Ο φλύσχος αποτελείται, από κάτω προς τα πάνω, από μια ερυθρή πηλιτική ζώνη πάχους 60m περίπου. Ακολουθεί μία ζώνη εναλλαγών ψαμμιτικών και ιλυολιθικών στρωμάτων πάχους 50m και στη συνέχεια η στρωματογραφική κολώνα της περιοχής κλείνει με μία ζώνη παχυστρωματωδών ψαμμιτών με πάχος μεγαλύτερο από 200m. Λόγω της έντονης λεπίωσης του Πινδικού φλύσχη, η παραπάνω στρωματογραφική σειρά επαναλαμβάνεται σε αλληπάλληλα λέπια μεταβλητού πάχους και με γενική διεύθυνση μετώπων ΒΒΔ-ΝΝΑ, δημιουργώντας μια πολύπλοκη στρωματογραφική δομή στην περιοχή. Συχνά παρατηρούνται εκτός από τις λεπίώσεις και εφιππευτικά ανάστροφα ρήγματα ακόμη και εντός του σχηματισμού των παχυστρωματωδών ψαμμιτών, τα οποία δεν είναι πάντοτε σαφή. Ο φλύσχος της ενότητας της Πίνδου είναι επωθημένος πάνω στο φλύσχη της Ιόνιας ενότητας. Η επώθηση είναι αποτέλεσμα ενός μεγάλου συμπιεστικού γεγονότος του Τριτογενούς (Άνω Ηώκαινο-Άνω Μειόκαινο), κατά το οποίο μετακινήθηκε ο Πινδικός φλύσχος τεκτονικά από ΑΒΑ προς ΔΝΔ και τοποθετήθηκε πάνω στα ιζήματα των ενοτήτων Γαβρόβου και εσωτερικής Ιονίου.

Η δίδυμη σήραγγα Ανθοχωρίου θα διανοιγεί εν μέρει στα υλικά (ον) της βάσης της επώθησης του Πινδικού φλύσχη πάνω στον Ιόνιο φλύσχη και εν μέρει στους σχηματισμούς των ερυθροπηλιτών (sl), των εναλλαγών (fl) και των παχυστρωματωδών ψαμμιτών (st) του Πινδικού φλύσχη (σχήματα 2,3). Αναλυτικότερα, τα χαρακτηριστικά των υπόψη σχηματισμών έχουν ως ακολούθως:

- **Οι ψαμμίτες (st)** είναι γκρίζοι, λεπτόκοκκοι έως μεσόκοκκοι, παχυστρωματώδεις, υγείς έως ελαφρά αποσαθρωμένοι στο επίπεδο διέλευσης της ερυθράς και μέτρια έως έντονα αποσαθρωμένοι κοντά στην επιφάνεια του φυσικού εδάφους. Ο τεκτονισμός τους είναι μέτριος έως έντονος, με τραχείες επιφάνειες διακλάσεων και χαρακτηριστικές ζώνες διάτμησης σε διάφορα βάθη που συνήθως σχετίζονται με την παρουσία των ασθενέστερων μηχανικά, ιλυολιθικών ενδιαστρώσεων μεταξύ των ψαμμιτικών στρωμάτων. Οι διακλάσεις παρουσιάζονται σπανιότερα πληρωμένες με ασβεστιτικό υλικό. Τόσο στην περιοχή της εισόδου όσο και στην περιοχή της εξόδου η στρώση των παχυστρωματωδών ψαμμιτών παρουσιάζει διεύθυνση μέγιστης κλίσης σχετικώς αντίρροπη προς τα φυσικά πρηνή, με μέσες τιμές μέγιστης κλίσης ίσες προς  $49^\circ$  και  $47^\circ$ , αντίστοιχα και παρουσιάζει μεγάλη εμμονή στο χώρο, με επαναλαμβανόμενες επιφάνειες έως 2m. Η ψαμμιτική βραχόμαζα διατέμνεται και από τρία συστήματα διακλάσεων με στοιχεία J1:  $40^\circ/275^\circ$ , J2:  $85^\circ/248^\circ$ , J3:  $23^\circ/298^\circ$  για την περιοχή της εισόδου και J1:  $72^\circ/138^\circ$ , J2:  $85^\circ/202^\circ$ , J3:  $73^\circ/251^\circ$  για την περιοχή της εξόδου. Τα εν λόγω

## Σήραγγα Ανθοχωρίου-Ιδιαιτερότητες της γεωλογικής/γεωτεχνικής έρευνας

συστήματα περιλαμβάνουν ασυνέχειες μικρής γενικά εμμονής, με επαναλαμβανόμενες επιφάνειες έως 1m, κλειστές, τραχείες και ελαφρά αποσαθρωμένες, χωρίς υλικό πλήρωσης.

Αναφορικά με την αντοχή της βραχώμαζας σε καθεστώς διάτμησης, τονίζεται ιδιαίτερως η δυσμενής παρουσία ιλυολιθικών ενδιαστρώσεων πάχους λίγων χιλιοστών έως μερικών εκατοστών, μεταξύ των ψαμμιτικών στρωμάτων. Επίσης, στην περιοχή εξόδου του υπόγειου έργου η παράταξη των παχυστρωματωδών ψαμμιτών καθώς και των εναλλαγών ψαμμιτών και ιλυολίθων του Πινδικού φλύσχη, τέμνει με μικρή γωνία τον άξονα της δίδυμης σήραγγας γεγονός το οποίο ενδεχόμενα θα οδηγήσει σε ανεπιθύμητες υπερεκσκαφές στην περίπτωση εφαρμογής της συμβατικής μεθόδου ανατινάξεων. Για το λόγο αυτό θα απαιτηθεί η εφαρμογή μεθόδου ελεγχόμενης ανατινάξης με σκοπό την αποφυγή διαταραχής και χαλάρωσης του περιβάλλοντος πετρώματος πέρα από τις προβλεπόμενες από τη μελέτη γραμμές εκσκαφής. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών για το σχηματισμό των παχυστρωματωδών ψαμμιτών.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών – Παχυστρωματώδεις ψαμμίτες (st)

| ΨΑΜΜΙΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ                      |         |       |       |       |
|--|---------|-------|-------|-------|
| ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ                                     | ΔΟΚΙΜΕΣ | MIN   | MAX   | ΜΕΣΗ  |
| w (%)  | 4       | 0,66  | 1,39  | 0,98  |
| n  | 2       | 1,73  | 3,94  | 2,83  |
| $\rho$ (Mg/m <sup>3</sup> )                    | 9       | 2,52  | 2,65  | 2,60  |
| $\sigma_c$ (MPa)                               | 11      | 11,40 | 75,70 | 34,55 |
| E (GPa)  | 3       | 5,00  | 26,00 | 17,33 |
| $\nu$  | 3       | 0,15  | 0,24  | 0,18  |
| IS <sub>(50)</sub> (MPa)                       | 28      | 0,03  | 7,12  | 1,35  |
| $\sigma_t$ (MPa)                               | 11      | 2,04  | 5,69  | 3,41  |
| c (MPa)  | 5       | 0,00  | 0,17  | -     |
| $\phi$ (°)                                     | 5       | 22,00 | 45,00 | 32,60 |
| ΔΙΑΚΡΙΤΕΣ ΖΩΝΕΣ ΨΑΜΜΙΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΥΛΙΚΩΝ ΕΠΩΘΗΣΗΣ |         |       |       |       |
| w (%)  | 1       | 1,75  | 1,75  | 1,75  |
| $\rho$ (Mg/m <sup>3</sup> )                    | 3       | 2,54  | 2,56  | 2,55  |
| $\sigma_c$ (MPa)                               | 8       | 11,30 | 44,20 | 25,09 |
| E (GPa)  | 2       | 11,00 | 12,00 | 11,50 |
| $\nu$  | 2       | 0,18  | 0,34  | 0,26  |
| IS <sub>(50)</sub> (MPa)                       | 15      | 0,18  | 2,90  | 1,09  |
| $\sigma_t$ (MPa)                               | 7       | 0,18  | 4,23  | 2,13  |
| ΨΑΜΜΙΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΞΟΔΟΥ                       |         |       |       |       |
| $\rho$ (Mg/m <sup>3</sup> )                    | 5       | 2,63  | 2,73  | 2,70  |
| $\sigma_c$ (MPa)                               | 5       | 24,20 | 98,70 | 69,82 |
| IS <sub>(50)</sub> (MPa)                       | 7       | 2,04  | 5,00  | 3,86  |
| $\sigma_t$ (MPa)                               | 4       | 3,72  | 5,01  | 4,45  |

W: φυσική υγρασία  
n: πορώδες  
 $\rho$ : πυκνότητα  
 $\sigma_c$ : αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη  
E: μέτρο ελαστικότητας  
 $\nu$ : λόγος Poisson  
IS<sub>(50)</sub>: δείκτης σημειακής φόρτισης  
 $\sigma_t$ : αντοχή σε εφελκυσμό  
c: συνοχή (φυσικής ασυνέχειας)  
 $\phi$ : γωνία τριβής (φυσικής ασυνέχειας)

- **Οι εναλλαγές (fl)** συνίστανται από τεφρούς λεπτόκοκκους, λεπτο - έως μεσοστρωματώδεις ψαμμίτες και τεφρούς ιλυολίθους. Επικρατεί η ιλυολιθική φάση. Ο τεκτονισμός του σχηματισμού είναι μέτριος έως έντονος και ο βαθμός αποσάθρωσης ασθενής.

- **Οι ερυθροπηλίτες (sl)** συνίστανται από ερυθρούς και τεφρούς ιλυολίθους, έντονα τεκτονισμένους και με ασθενή αποσάθρωση. Σποραδικά εντός του σχηματισμού παρεμβάλλονται λεπτές ψαμμιτικές στρώσεις. Οι επιφάνειες των ασυνεχειών είναι λείες έως ελαφρά τραχείες, ενίοτε στιλπνές και τοπικά με ασβεστιτικό υλικό πλήρωσης. Ο εν λόγω σχηματισμός παρουσιάζει χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά σύμφωνα με τα αποτελέσματα των

**Σήραγγα Ανθοχωρίου-Ιδιαιτερότητες της γεωλογικής/γεωτεχνικής έρευνας**

εργαστηριακών δοκιμών. Ενδεικτικά, από μία (1) δοκιμή μονοαξονικής φόρτισης η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη βρέθηκε ίση με 9,82MPa υποδεικνύοντας σχηματισμό μέτρια ασθενή. Η μέση τιμή του δείκτη σημειακής φόρτισης προσδιορίστηκε ίση προς 0,28MPa. Η αντοχή σε εφελκυσμό παρουσίασε μέση τιμή ίση προς 0,82MPa.

- **Τα υλικά της επώθησης (ον)** είναι χαοτικής δομής και συνίστανται από γκριζοπράσινους ή ερυθρούς κατακερματισμένους ιλυολίθους και τεμάχια ψαμμιτών, ασβεστολίθων, αργιλικών σχιστολίθων διαφόρων διαστάσεων εντός ιλυολιθικής κύριας μάζας (matrix). Τα ψαμμιτικά και ασβεστολιθικά βραχώδη τεμάχια προέρχονται από μετακινήσεις μεγαλύτερων τεμαχίων στη φάση της επώθησης του Πινδικού φλύσχη πάνω στον Ιόνιο. Η έντονη τεκτονική καταπόνηση του υπόψη σχηματισμού είναι έκδηλη με τη συχνή παρουσία σιλιπνών επιφανειών διάτμησης και μυλωνιτώσης. Κατά θέσεις και εξαιτίας της τεκτονικής καταπόνησης τα ορυκτολογικά συστατικά του σχηματισμού εμφανίζουν σαφή τάση προσανατολισμού με ενδείξεις σχιστότητας κυρίως σε θέσεις επικράτησης φυλλοπυριτικών ορυκτών (χλωρίτης, ιλλίτης). Γενικά δίνει την εικόνα ενός στερεοποιημένου χαλαρού σχηματισμού που κατά τη διάτρησή του παρουσιάζει υψηλές τιμές RQD. Πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές τόσο στην ψαμμιτική όσο και στην ιλυολιθική φάση των υπόψη υλικών.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών – Υλικά επώθησης (ον)

| ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ    | ΨΑΜΜΙΤΙΚΗ ΦΑΣΗ |       |       |       | ΙΛΥΟΛΙΘΙΚΗ ΦΑΣΗ |      |       |       |
|--------------------------|----------------|-------|-------|-------|-----------------|------|-------|-------|
|                          | ΔΟΚΙΜΕΣ        | MIN   | MAX   | ΜΕΣΗ  | ΔΟΚΙΜΕΣ         | MIN  | MAX   | ΜΕΣΗ  |
| w (%)                    | 2              | 0,59  | 13,73 | 7,16  | 3               | 2,84 | 12,70 | 7,98  |
| n                        | 3              | 0,83  | 5,21  | 3,71  | -               | -    | -     | -     |
| ρ (Mg/m <sup>3</sup> )   | 5              | 2,19  | 2,61  | 2,52  | 3               | 2,19 | 2,36  | 2,29  |
| σ <sub>c</sub> (MPa)     | 4              | 24,30 | 55,10 | 39,60 | 2               | 9,00 | 18,60 | 13,80 |
| E (GPa)                  | 1              | 29,00 | 29,00 | 29,00 | -               | -    | -     | -     |
| ν                        | 1              | 0,10  | 0,10  | 0,10  | -               | -    | -     | -     |
| I <sub>S(50)</sub> (MPa) | 11             | 0,62  | 3,30  | 1,69  | 8               | 0,04 | 2,50  | 0,36  |
| σ <sub>t</sub> (MPa)     | 5              | 2,21  | 6,12  | 3,98  | -               | -    | -     | -     |

- **Τα υλικά κατολισθήσεων (LS)** που προσδιορίστηκαν στα πλαίσια των γεωλογικών αποτυπώσεων περιορίζονται σε μικρό βάθος και δεν θα συναντηθούν κατά τη διάνοιξη της διδυμής σήραγγας.

- **Ο μανδύας αποσάθρωσης (EL)** συνίσταται από καστανοπράσινα αμμοίλυδα υλικά με ψαμμιτικά και ιλυολιθικά τεμάχη. Λόγω του μικρού πάχους του είναι άνευ σημασίας για το έργο.

- **Κορηματικά υλικά (Sc)** συνιστάμενα από τεμάχη αποσαθρωμένου ψαμμίτη και ιλυολίθου με αργιλοαμμώδες υλικό αποτυπώθηκαν στην περιοχή του μετώπου εισόδου. Το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 5m. Τοπικά εντός του σχηματισμού εμφανίζονται επιφανειακοί ερπυσμοί και εδαφικές θραύσεις μικρής έκτασης.

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται τα μήκη διάτρησης ανά γεωλογικό σχηματισμό και τα αντίστοιχα ποσοστά επί του συνολικού μήκους της διδυμής σήραγγας Ανθοχωρίου.

**Σήραγγα Ανθοχωρίου-Ιδιαιτερότητες της γεωλογικής/γεωτεχνικής έρευνας**

Πίνακας 3. Αναμενόμενα μήκη και ποσοστά εμφάνισης γεωλογικών σχηματισμών κατά μήκος της δίδυμης σήραγγας Ανθοχωρίου

| ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ               |                    | ΠΙΝΔΙΚΟΣ ΦΛΥΣΧΗΣ |                    |                | ΥΛΙΚΑ ΕΠΩΘΗΣΗΣ |
|-------------------------|--------------------|------------------|--------------------|----------------|----------------|
|                         |                    | ΨΑΜΜΙΤΕΣ (st)    | ΕΡΥΘΡΟΠΗΛΙΤΕΣ (sl) | ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ (fl) | (ov)           |
| <b>ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΚΛΑΔΟΣ</b> | <b>ΜΗΚΟΣ (m)</b>   | 369,2            | 15,0               | 21,3           | 257            |
|                         | <b>ΠΟΣΟΣΤΟ (%)</b> | 55,7             | 2,3                | 3,2            | 38,8           |
| <b>ΔΕΞΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ</b>    | <b>ΜΗΚΟΣ (m)</b>   | 332,9            | 57,5               | 31             | 252            |
|                         | <b>ΠΟΣΟΣΤΟ (%)</b> | 49,4             | 8,6                | 4,6            | 37,4           |

Αναφορικά με την παρουσία υπογείων υδάτων, στη φάση της κατασκευής θα πρέπει να αναμένονται κάποιες κατεισδύσεις μέχρι το επίπεδο διέλευσης της σήραγγας μέσω του δευτερογενούς πορώδους – συστήματα ασυνεχειών - της βραχώμαζας, ιδιαίτερα στις περιοχές όπου επιφανειακά παρατηρούνται χαλαρά υλικά (LS,EL,Sc) στα οποία αναπτύσσονται φρεάτιοι υδροφόροι ορίζοντες μικρής δυναμικότητας.

Διερεύνηση της εκσκαψιμότητας των πετρωμάτων κατά Muir Wood (1976) και κατά Franklin et al. (1971) προσδιόρισε για τους παχυστρωματώδεις ψαμμίτες (st) ως πλέον ενδεδειγμένη τεχνική διάνοιξης της σήραγγας αυτή των διαδοχικών διατρήσεων και ανατινάξεων. Για το σχηματισμούς των ερυθροπηλιτών (sl) και των εναλλαγών λεπτοστρωματωδών ψαμμιτών και ιλυολίθων (fl), θα πραγματοποιηθούν εκσκαφές με συνδυαστική χρήση μηχανικών μέσων και εκρηκτικών. Για τα υλικά της επώθησης (ov) θα απαιτηθεί η χρήση μηχανικών μέσων και ενδεχόμενη χρήση εκρηκτικών κυρίως στα τμήματα εκείνα που θα συναντηθούν ψαμμιτικές ζώνες.

### 3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ / ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Πραγματοποιήθηκαν ταξινομήσεις βραχώμαζας κατά Bieniawski (1989) και κατά Barton et al. (1974) για τον προσδιορισμό της κύμανσης των τιμών των δεικτών RMR και Q, αντίστοιχα, στο επίπεδο διέλευσης του υπόγειου έργου. Για τον προσδιορισμό των αντιπροσωπευτικών γεωτεχνικών παραμέτρων για το εύρος των υφιστάμενων τεχνικογεωλογικών συνθηκών καθώς επίσης και για τον προσδιορισμό των παραμέτρων των κριτηρίων αστοχίας Hoek-Brown και Mohr-Coulomb, υπολογίστηκε ο δείκτης GSI (Geological Strength Index) βάσει της τιμής RMR. Για τις προσδιορισθείσες τιμές του δείκτη GSI διενεργήθηκαν αναλυτικοί υπολογισμοί των γεωτεχνικών παραμέτρων αντοχής της βραχώμαζας. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η κύμανση τιμών των γεωτεχνικών παραμέτρων και των δεικτών RMR, Q και GSI κατά μήκος του αριστερού κλάδου της δίδυμης σήραγγας Ανθοχωρίου.

Πίνακας 4. Κύμανση τιμών γεωτεχνικών παραμέτρων κατά μήκος του αριστερού κλάδου

### Σήραγγα Ανθοχωρίου-Ιδιαιτερότητες της γεωλογικής/γεωτεχνικής έρευνας

| ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ                         | sl/fl           | st            | sl/fl       | st          | ov          | st          | ov          | st          |
|-----------------------------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Χ.Θ.                              | 5+052,5-5+065,8 | 5+065,8-5+222 | 5+222-5+245 | 5+245-5+291 | 5+291-5+432 | 5+432-5+538 | 5+538-5+654 | 5+654-5+715 |
| ΜΗΚΟΣ(m)                          | 13,3            | 156,2         | 23          | 46          | 141         | 106         | 116         | 61          |
| RMR                               | 36-47           | 32-45         | 33-42       | 39-52       | <20         | 33-45       | <20         | 22-31       |
| Q                                 | 0,33-1,60       | 0,16-0,21     | 0,13-0,40   | 0,31-0,38   | 0,02-0,06   | 0,22-0,38   | 0,03-0,04   | 0,09-0,23   |
| GSI                               | 42-50           | 38-48         | 39-45       | 45-55       | 15-25       | 41-50       | 15-25       | 40-46       |
| $\sigma_{c \text{ intact}}$ (MPa) | 9               | 25-34         | 9           | 25-34       | 9-12        | 17-25       | 9-12        | 39-69       |
| $\sigma_{t \text{ intact}}$ (MPa) | 0,11-2,18       | 2,76-3,41     | 0,11-2,18   | 2,76-3,41   | -           | 1,08-2,13   | -           | 3,75-4,45   |
| $Is_{(50)}$ (MPa)                 | 0,06-1,40       | 0,82-1,35     | 0,06-1,40   | 0,82-1,35   | 0,04-0,36   | 0,64-1,09   | 0,04-0,36   | 2,99-3,86   |
| $E_{\text{intact}}$ (GPa)         | -               | 5-17          | -           | 5-17        | -           | 11,0-12,0   | -           | -           |
| $v_{\text{intact}}$               | -               | 0,15-0,18     | -           | 0,15-0,18   | -           | 0,18-0,26   | -           | -           |
| $E_{\text{mass}}$ (MPa)           | 1893-3000       | 2506-5197     | 1593-2250   | 3749-7776   | 400-821     | 2456-5000   | 400-821     | 3512-6598   |
| $c_{\text{mas}}$ (MPa)            | 0,32-0,38       | 0,95-1,54     | 0,30-0,34   | 1,07-1,76   | 0,11-0,25   | 0,68-1,18   | 0,11-0,25   | 1,54-3,02   |
| $\Phi_{\text{mass}}$ (°)          | 28,4-30,4       | 32,3-35,1     | 27,6-29,2   | 34,2-36,9   | 16,8-22,9   | 33,1-35,6   | 16,8-22,9   | 32,8-34,5   |
| $\sigma_{c \text{ mass}}$ (MPa)   | 1,07-1,31       | 3,47-5,93     | 0,99-1,15   | 4,06-7,07   | 0,30-0,74   | 2,52-4,58   | 0,30-0,74   | 5,65-11,48  |

(st):ΨΑΜΜΙΤΕΣ, (sl):ΕΡΥΘΡΟΠΗΛΙΤΕΣ, (fl):ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΨΑΜΜΙΤΩΝ – ΙΛΥΟΛΙΘΩΝ, (ov):ΥΛΙΚΑ ΕΠΩΘΗΣΗΣ

#### 4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Ο προσδιορισμός των συμβατικών διατομών εφαρμογής εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης για το σύνολο των γεωλογικών σχηματισμών που αναμένεται να συναντηθούν κατά μήκος της δίδυμης σήραγγας Ανθοχωρίου πραγματοποιήθηκε βάσει των αναμενόμενων τεχνικογεωλογικών συνθηκών της βραχόμαζας, των συνθηκών πίεσης και παραμόρφωσης, των αναγκών αντιστήριξης και του τρόπου εκσκαφής. Στο ανωτέρω πλαίσιο διάκρισης της βραχόμαζας στην περιοχή της σήραγγας σε επιμέρους κατηγορίες, προσδιορίστηκαν πέντε βασικές κατηγορίες A, B, C, D και E. Τα κύρια χαρακτηριστικά βάσει των οποίων υπάγονται οι συναντώμενοι γεωλογικοί σχηματισμοί σε κάθε μία εκ των ανωτέρω κατηγοριών από κοινού με τα μέτρα υποστήριξης, το βήμα προχώρησης, την αλληλουχία και τη μέθοδο εκσκαφής και το απαιτούμενο πάχος της τελικής επένδυσης, όπως προέκυψαν από τις σχετικές αριθμητικές και αναλυτικές μεθόδους, παρουσιάζονται στα σχήματα 4, 5 και 6 του παρόντος. Η κατά μήκος της δίδυμης σήραγγας κατάταξη βραχόμαζας σε μία εκ των ανωτέρω κατηγοριών δείχνεται ενδεικτικά για τον αριστερό κλάδο στο σχήμα 3. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα ποσοστά των μηκών εφαρμογής των συμβατικών κατηγοριών εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης της δίδυμης σήραγγας Ανθοχωρίου.

Πίνακας 5. Ποσοστά μηκών εφαρμογής των συμβατικών κατηγοριών εφαρμογής εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης σήραγγας Ανθοχωρίου



**Σήραγγα Ανθοχωρίου-Ιδιαιτερότητες της γεωλογικής/γεωτεχνικής έρευνας**

| <b>ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΚΛΑΔΟΣ</b> |                  |                    |
|-------------------------|------------------|--------------------|
| <b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ</b>        | <b>ΜΗΚΟΣ (m)</b> | <b>ΠΟΣΟΣΤΟ (%)</b> |
| B                       | 40,0             | 6,1                |
| C                       | 213,5            | 32,2               |
| D                       | 126,0            | 19,0               |
| E                       | 257,0            | 38,8               |
| Cp                      | 26,0             | 3,9                |

  

| <b>ΔΕΞΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ</b> |                  |                    |
|----------------------|------------------|--------------------|
| <b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ</b>     | <b>ΜΗΚΟΣ (m)</b> | <b>ΠΟΣΟΣΤΟ (%)</b> |
| B                    | 40,0             | 5,9                |
| C                    | 222,4            | 33,0               |
| D                    | 129,0            | 19,2               |
| E                    | 252,0            | 37,4               |
| Cp                   | 30,0             | 4,5                |

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η δίδυμη σήραγγα Ανθοχωρίου θα διανοιγεί σε σχηματισμούς μέτριου έως έντονου τεκτονισμού λόγω γειτνίασης της περιοχής μελέτης με την επώθηση της ενότητας της Πίνδου επί της Ιόνιας ενότητας. Ο σχηματισμός των υλικών της επώθησης (ον) λόγω του έντονου τεκτονισμού του παρουσιάζει δομική και λιθολογική ανομοιογένεια, χαρακτηρίζεται από τη συχνή παρουσία επιφανειών διάτμησης, μυλονιτίωσης και σχιστότητας ενώ παρουσιάζει τα πτωχότερα μηχανικά χαρακτηριστικά συγκριτικά με τους υπόλοιπους σχηματισμούς που δομούν την περιοχή ενδιαφέροντος. Οι απαιτούμενες εκσκαφές στον υπόψη σχηματισμό θα πραγματοποιηθούν με χρήση μηχανικών μέσων και ενδεχόμενη τοπική χρήση εκρηκτικών. Οι σχηματισμοί του Πινδικού φλύσχη (st, sl, fl) παρουσιάζουν ασθενή αποσάθρωση, μέτριο έως έντονο τεκτονισμό και χαρακτηριστικές ζώνες διάτμησης σε διάφορα βάθη. Σημειώνεται η δυσμενής παρουσία ιλυολιθικών ενδιαστρώσεων μεταξύ των ψαμμιτικών στρωμάτων αναφορικά με την αντοχή της βραχώμαζας σε καθεστώς διάτμησης. Ιδιαίτερη προσοχή θα απαιτηθεί στην περιοχή της εξόδου λόγω μικρής γωνίας παράταξης στρωμάτων και άξονα δίδυμης σήραγγας. Η εφαρμογή κατάλληλης μεθόδου ελεγχόμενης διάτμησης είναι απαραίτητη για την αποφυγή ανεπιθύμητων υπερεκσκαφών και τη διαταραχή της βραχώμαζας πέρα από τις προβλεπόμενες από τη μελέτη γραμμές εκσκαφής. Οι απαιτούμενες εκσκαφές στο σχηματισμό των παχυστρωματωδών ψαμμιτών θα πραγματοποιηθούν με χρήση εκρηκτικών ενώ στο σχηματισμό των εναλλαγών και των ερυθροπηλιτών θα απαιτηθεί η χρήση και μηχανικών μέσων.

Η διάνοιξη της σήραγγας θα πραγματοποιηθεί κυρίως σε γεωλογικούς σχηματισμούς που έχουν καταταχθεί στις συμβατικές κατηγορίες B, C, Cp, D, E.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ



Σήραγγα Ανθοχωρίου-Ιδιαιτερότητες της γεωλογικής/γεωτεχνικής έρευνας

- [1] Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* 6(4), pp.189-239.
- [2] Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering rock mass classifications*. New York: Wiley.
- [3] Franklin, J.A., Broch, E., and Walton G., 1971. Logging the mechanical character of rock. *Trans. IMM, Sect. A., V. 80, Bulletin 77a*, pp.A1-A9.
- [4] Hoek, E., Kaiser, K.P., Bawden, F.W., 1995. *Support of underground excavations in hard rock*. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- [5] Hoek, E., and Brown, E.T., 1997. Practical estimates of rock mass strength. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstracts*. Vol. 34, No. 8, pp. 1165-1186.
- [6] Hoek, E., Marinos, P., Benissi, M., 1998. Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of Athens schist formation. *Bull. Eng. Geol. Env.*, Vol.57, pp. 151-160.