

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

**ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ 5.1 ΣΕ  
ΓΝΕΥΣΙΑΚΑ/ΣΧΙΣΤΟΓΝΕΥΣΙΑΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ**

**Εισηγητές : Κ. ΣΕΦΕΡΟΓΛΟΥ  
Γ. ΝΤΟΥΛΗΣ**

**Ομάδα Εργασίας : Η. Κ. ΜΙΧΑΛΗΣ  
Μ.Χ. ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ  
Β. ΠΕΡΛΕΡΟΣ  
Μ. ΚΑΒΒΑΔΑΣ  
Η. ΜΙΧΑΛΗΣ**

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

**ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ 5.1 ΣΕ ΓΝΕΥΣΙΑΚΑ /**

## ΣΧΙΣΤΟΓΝΕΥΣΙΑΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας συνεργάστηκαν οι :

Γ. Ντούλης  
Κ. Σεφέρογλου  
Μ.Χ. Αλεξιάδου  
Β. Περλέρος  
Μ. Καββαδάς  
Η. Μιχάλης

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο τμήμα Πολύμυλος - Λευκόπετρα (5.1) κατασκευάζονται συνολικά έξι (6) σήραγγες δύο κλάδων και με συνολικό μήκος 9.030 m.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην περιοχή του τμήματος ανήκουν στη γεωτεκτονική ενότητα του Φλάμπουρου. Συμμετέχουν πετρώματα μεταμορφωμένα και εκρηξιγενή κυρίως γνευσιακής αλλά και γρανιτικής σύστασης.

Οι σήραγγες θα διανοιγούν με τη Νέα Αυστριακή Μέθοδο όρυξης, όπου συναρτήσει της ποιότητας της βραχώμαζας και του ύψους των υπερκειμένων, έχει επιλεγεί και σχεδιαστεί αντίστοιχη κατηγορία διατομής εκσκαφής και υποστήριξης.

## 1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Το τμήμα 5.1. της Εγνατίας Οδού από τον Πολύμυλο έως τη Λευκόπετρα στους Νομούς Κοζάνης και Ημαθίας, έχει συνολικό μήκος 12,9 χιλιόμετρα (Χ.Θ. 21+000 έως 33+907,88).

Κατασκευάζονται συνολικά εννέα (9) σήραγγες εκ των οποίων οι έξι (6) με τη μέθοδο της διάτρησης και οι τρεις (3) με ανοικτή εκσκαφή και επανεπίχωση (Cut and Cover).

Αναλυτικά οι Χ.Θ. αρχής και πέρατος, το μήκος των σηράγγων με διάτρηση καθώς και οι αποστάσεις των αξόνων των κλάδων που θα κατασκευασθούν για τους δύο κλάδους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

ΣΗΡΑΓΓΑ	Χ.Θ.ΑΡΧΗΣ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΚΛΑΔΟΥ	Χ.Θ.ΑΡΧΗΣ ΔΕΞΙΟΥ ΚΛΑΔΟΥ	Χ.Θ.ΠΕΡΑΤΟΣ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΚΛΑΔΟΥ	Χ.Θ.ΠΕΡΑΤΟΣ ΔΕΞΙΟΥ ΚΛΑΔΟΥ	ΜΗΚΟΣ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	ΜΗΚΟΣ ΔΕΞΙΑ	ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΞΟΝΩΝ ΚΛΑΔΩΝ
Σ 6	21 + 913	21 + 875	22 + 061	22 + 061	148	186	20,5
Σ 7	23 + 014	23 + 028	23 + 395	23 + 402	381	374	20,5
Σ10	26 + 247	26 + 247	28 + 488	28 + 488	2 241	2 241	20 - 35
Σ11	28 + 868	28 + 872	29 + 356	29 + 332	488	460	24,5
Σ12	29 + 535	29 + 533	30 + 020	30 + 015	485	482	24,5

Σ13	30 + 380	30 + 388	31 + 158	31 + 154	778	766	24,5
-----	----------	----------	----------	----------	-----	-----	------

Συνολικά προβλέπεται να κατασκευασθούν 12 είσοδοι και 9.030 m σήραγγας διατομής ενός κλάδου. Η τυπική διατομή που θα εφαρμοσθεί είναι αυτή της ΕΟΑΕ και περιλαμβάνει 2 λωρίδες κυκλοφορίας χωρίς ήτοι  $0,25+3,75+3,75+0,25 = 8$  m.

Οι σήραγγες θα διανοιγούν σύμφωνα με τη Νέα Αυστριακή Μέθοδο Ορυξης Σηράγγων (NATM). Η εκσκαφή προβλέπεται να γίνει σε δύο φάσεις : Α' Φάση (top heading) και Β' Φάση (benching). Συναρτήσει της κατηγορίας βραχώμαζας και του ύψους των υπερκειμένων προσδιορίζονται οι μέθοδοι όρυξης και τα μέτρα υποστήριξης όπως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (με ίνες ή δομικό πλέγμα), διάφοροι τύποι αγκυρίων βράχου, μεταλλικά πλαίσια υποστήριξης και μεταλλικοί δοκοί προπορείας.

## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντούν στην περιοχή του τμήματος Λευκόπετρα - Πολύμυλος (τμήμα 5.1.) της Εγνατίας Οδού ανήκουν στη γεωτεκτονική ενότητα του Φλάμπουρου. Στην ενότητα αυτή, η οποία θεωρείται ως πιθανά προαλπική ενότητα, συμμετέχουν πετρώματα μεταμορφωμένα και εκρηξιγενή κυρίως γνευσιακής αλλά και γρανιτικής σύστασης, όπως γνεύσιοι, σχιστογνεύσιοι, γρανίτες, αμφιβολίτες, αμφιβολιτικοί - μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι και προς τα ανώτερα τμήματα φυλλίτης και μάρμαρα επί των οποίων είναι επωθημένα τα τριαδικά μάρμαρα της ενότητας της Αλμωπίας.

Στο σύνολό της η περιοχή έχει υποστεί έντονα φαινόμενα δυναμομεταμόρφωσης σε διαφορετικούς κύκλους κατά τη γεωλογική ιστορία καθώς επίσης και έντονα φαινόμενα τεκτονικής καταπόνησης, που έχουν επιπτώσεις στη τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών.

Ιδιαίτερο γνώρισμα των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν την περιοχή είναι ότι οι διάφορες λιθολογικές μεταβάσεις δεν είναι σαφώς ευδιάκριτες λόγω των φαινομένων μεταμόρφωσης και γρανιτικής διείσδυσης.

Οι γνεύσιοι είναι κυρίως λευκοκρατικοί, μικροοφθαλμώδεις και συνήθως παρουσιάζουν σαφή προσανατολισμό των ορυκτών τους και σχιστότητα.

Οι σχιστογνεύσιοι είναι κυρίως μελανοκρατικοί, λεπτοκρυσταλλικοί και τοπικά παρουσιάζουν ελαφρές πτυχώσεις. Χαρακτηρίζονται από έντονη σχιστότητα και τοπικά τον φυλλώδη χαρακτήρα τους.

Οι γρανίτες είναι κυρίως λευκοκρατικοί, συνήθως αδροκρυσταλλικοί με υψηλή αντοχή ακέραιου πετρώματος, ενώ τοπικά παρουσιάζουν μερικό προσανατολισμό των ορυκτών τους και ατελή σχιστότητα. Συνήθως διατέμνονται από απλιτικές και χαλαζιακές φλέβες.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών από άποψη τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς που παίζουν ρόλο στις συνθήκες εκσκαφής και μέτρων προσωρινής υποστήριξης των σηράγγων είναι συνοπτικά τα παρακάτω :

## Σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

- Τα στοιχεία των επιπέδων σχιστότητας, το οποίο είναι και το κύριο σύστημα ασυνεχειών, ιδιαίτερα στην περίπτωση των σχιστογνευσίων και των γνευσίων σε σχέση με τον προσανατολισμό των σηράγγων.

Επίσης οι μεγάλοι μήκους ασυνέχειες που συναντώνται κυρίως στα γρανιτικά πετρώματα υποβοηθούν στην εκδήλωση υπερεκσκαφών.

- Ζώνες κατακερματισμού των πετρωμάτων (λόγω τεκτονισμού, γρανιτικών διεισδύσεων κλπ.) όπου απομειώνονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους.

- Ζώνες μυλωνιτώσης κυρίως σε μεγάλο μήκους ρηξιγενείς επιφάνειες, όπου το πέτρωμα είναι ατελώς αποδιοργανωμένο με έντονη συμμετοχή αργιλικών υλικών και θραυσμάτων.

- Μανδύας αποσάθρωσης των γνευσιακών και γρανιτικών πετρωμάτων με αμμώδη έως αργιλοαμμώδη σύσταση, όπου το πάχος του τοπικά υπερβαίνει τα 5,0 m. Ιδιαίτερη σημασία αυτό έχει στο σχεδιασμό των μετώπων των σηράγγων.

Όσον αφορά στα υπόγεια νερά τα πετρώματα που θα διατρηθούν χαρακτηρίζονται ως αδιαπέρατοι σχηματισμοί. Δεν αναμένεται υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας στη κλίμακα του έργου, αναμένονται όμως κατεισδύοντα νερά από τις βροχοπτώσεις ασήμαντης δυναμικότητας, μέσω των επιπέδων ασυνεχειών. Τοπικά μπορεί να συναντηθούν επικρεμάμενοι υδροφόροι ορίζοντες περιορισμένων σχετικά διαστάσεων και ασήμαντης δυναμικότητας.

### 3. ΤΥΠΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η μελέτη διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης των σηράγγων αποσκοπεί στον καθορισμό τυπικών διατομών διάνοιξης και μέτρων προσωρινής υποστήριξης σε αντιστοιχία με τις τυπικές γεωτεχνικές κατηγορίες βραχώμαζας και τα υπερκείμενα ύψη. Η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι δυνατόν να συνοψισθεί στις παρακάτω αρχές:

- Με βάση τα διαθέσιμα γεωτεχνικά στοιχεία, από το σύνολο των γεωλογικών και γεωτεχνικών ερευνών, η βραχώμαζα κατά μήκος της κάθε σήραγγας κατατάσσεται σε γεωτεχνικές κατηγορίες με τη βοήθεια του συστήματος ταξινόμησης RMR (Bieniawski, 1989). Στην προκειμένη περίπτωση επιλέχθηκαν τρεις γεωτεχνικές κατηγορίες βραχώμαζας (B1, B2, C) και μια τέταρτη κατηγορία εξαλλοιωμένου βράχου που πρακτικώς συμπεριφέρεται ως έδαφος (κατηγορία D).

- Με βάση τα διαθέσιμα γεωτεχνικά στοιχεία εκτιμώνται τα ποσοστά του μήκους της κάθε σήραγγας που υπάγονται σε κάθε μία από τις ανωτέρω γεωτεχνικές κατηγορίες.

- Για την κάθε γεωτεχνική κατηγορία βραχώμαζας εκτιμώνται οι μηχανικές παράμετροι σχεδιασμού, δηλαδή οι τιμές των παραμέτρων διατμητικής αντοχής και παραμορφωσιμότητας,

Διημερίδα "ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ"

"ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε." &

Ε.Ε.Σ.Υ.Ε.

οι οποίες απαιτούνται για το σχεδιασμό της διάνοιξης / προσωρινής υποστήριξης και της μόνιμης επένδυσης της κάθε σήραγγας.

- Στη συνέχεια, μέσω του συντελεστή υπερφόρτισης  $N_s$ , συνδυάζονται οι γεωτεχνικές κατηγορίες βραχώμαζας με τα αναμενόμενα ύψη υπερκειμένων γαιών στις διάφορες θέσεις της σήραγγας και εμπειρικά εκτιμώνται οι γενικές συνθήκες ευστάθειας, καθώς και τα μέτρα άμεσης υποστήριξης των υπογείων ανοιγμάτων. Στη συνέχεια, καθορίζονται οι τυπικές διατομές σχεδιασμού της εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης για το σύνολο των σηράγγων, καθώς και το πεδίο εφαρμογής της κάθε τυπικής διατομής. Τέλος, υπολογίζονται οι φορτίσεις σχεδιασμού των διαφόρων τυπικών διατομών και καθορίζονται οι περιπτώσεις ανάλυσης για κάθε τυπική διατομή, τόσο για τον έλεγχο της προσωρινής υποστήριξης όσο και για τον σχεδιασμό της τελικής επένδυσης της σήραγγας.

### **3.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ**

Με βάση τα διαθέσιμα γεωλογικά και γεωτεχνικά στοιχεία από τις ήδη διανοιχθείσες γεωτρήσεις, κατά μήκος του άξονα των σηράγγων, γίνεται η αρχική εκτίμηση ότι κατά τη διάνοιξη θα συναντηθούν οι ακόλουθες κατηγορίες βραχώμαζας με το παρακάτω εύρος τιμών του δείκτη RMR (Bieniawski, 1989):

Πίνακας 1. Γεωτεχνικές κατηγορίες βραχομάζας

Κατηγορία Βραχομάζας	Περιγραφή	Χαρακτηριστικές παράμετροι βαθμονόμησης κατά RMR	Εύρος τιμών χαρακτηριστικών παραμέτρων συστήματος RMR	Εύρος βαθμονομήσεως χαρακτηριστικών παραμέτρων	Εύρος δείκτη RMR
B1	Υγιείς έως ελαφρά ρωγματωμένοι γρανίτες, γνεύσιοι	Αντοχή αρραγούς πετρώματος	50 – 120 MPa	7 – 10	<b>50 - 70</b>
		Δείκτης RQD	40 – 75%	8 – 13	
		Απόσταση ασυνεχειών	0.2 – 1.0m	10 – 12	
		Κατάσταση ασυνεχειών	Ελαφρώς έως πολύ τραχείες	15 – 25	
		Συνθήκες υπογείου νερού	-	10*	
B2	Ρωγματωμένοι – κερματισμένοι γρανίτες, γνεύσιοι και σχιστογνεύσιοι	Αντοχή αρραγούς πετρώματος	10 – 40 MPa	2 – 5	<b>35 – 50</b>
		Δείκτης RQD	25 – 50%	5 – 10	
		Απόσταση ασυνεχειών	0.1 – 0.6m	8 – 10	
		Κατάσταση ασυνεχειών	Ελαφρά τραχείες	10 – 15	
		Συνθήκες υπογείου νερού	-	10*	
C	Έντονα κερματισμένοι έως και ρωγματωμένοι γρανίτες, σχιστογνεύσιοι	Αντοχή αρραγούς πετρώματος	5 – 40 MPa	2 - 5	<b>25 – 35</b>
		Δείκτης RQD	0 – 25%	3 – 5	
		Απόσταση ασυνεχειών	< 0.06m	5	
		Κατάσταση ασυνεχειών	Με υλικό πλήρωσης	5 – 10	
		Συνθήκες υπογείου νερού	-	10*	
D	Τεκτονισμένοι, διατμημένοι κι έντονα εξαλλοιωμένοι γνεύσιοι, γρανίτες ιδιαίτερα χαμηλής αντοχής. Ζώνη μιλωνιτώσεως με έντονα αργιλικής φύσης υλικά	-	-	-	<b>&lt; 25</b>

\* Η τιμή αυτή τίθεται για την εκτίμηση των μηχανικών παραμέτρων σύμφωνα με τη μεθοδολογία των Hoek, Μαρίνου και Μπενίση (1998). Επιπλέον, για τον ίδιο λόγο δεν γίνεται προσαρμογή του δείκτη RMR, λόγω προσανατολισμού των ασυνεχειών.

### 3.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Για κάθε κατηγορία βραχομάζας, οι τιμές των παραμέτρων διατμητικής αντοχής υπολογίζονται με τη χρήση του γενικευμένου κριτηρίου αστοχίας Hoek - Brown (1997), το οποίο χαρακτηρίζεται από καμπύλη περιβάλλουσας αστοχίας και περιγράφεται από την παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^\alpha \quad (1)$$

όπου :  $\sigma_{ci}$  είναι η αντοχή αρραγούς πετρώματος για κάθε γεωτεχνική κατηγορία βραχομάζας (Πίνακας 1),

$m_b$  είναι μία σταθερά του πετρώματος που εκφράζει το βαθμό κερματισμού και αποσάθρωσης της βραχομάζας και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{RMR - 100}{28}\right) \quad (2)$$

$m_i$  είναι ένας συντελεστής, διαφορετικός για κάθε τύπο βραχομάζας, ο οποίος για την περίπτωση των γρανιτών λαμβάνεται ίσος με 33 (Hoek et al, 1995)

Τονίζεται ότι :

- Για  $RMR > 25$

$$s = \exp\left(\frac{RMR - 100}{9}\right) \quad \text{και} \quad \alpha = 0.5$$

- Για  $RMR < 25$

$$s = 0 \quad \alpha = 0.65 - \frac{RMR}{200}$$

Για κάθε τιμή της ελάχιστης κύριας τάσης  $\sigma_3$  του γεωστατικού πεδίου της βραχομάζας, οι τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής  $\phi$ , και της συνοχής  $c$ , της βραχομάζας είναι δυνατόν να εκτιμηθούν με τη βοήθεια των παρακάτω σχέσεων (Hoek et al. 1995):

$$c = \tau_\alpha - \sigma_\alpha \tan \phi \quad (3) \quad \tan \phi = \frac{1}{\tau_\alpha} \left( \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \sigma_\alpha \right) \quad (4)$$

όπου:

$$\tau_\alpha = (\sigma_1 - \sigma_3) \sqrt{\frac{\theta \sigma_1}{\theta \sigma_3}}$$

είναι η διατμητική τάση κατά μήκος του επιπέδου αστοχίας και

## Σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_1 + \sigma_3 \left( \frac{\theta\sigma_1}{\theta\sigma_3} \right)}{1 + \frac{\theta\sigma_1}{\theta\sigma_3}}$$

είναι η ορθή τάση επί του επιπέδου αστοχίας όπου

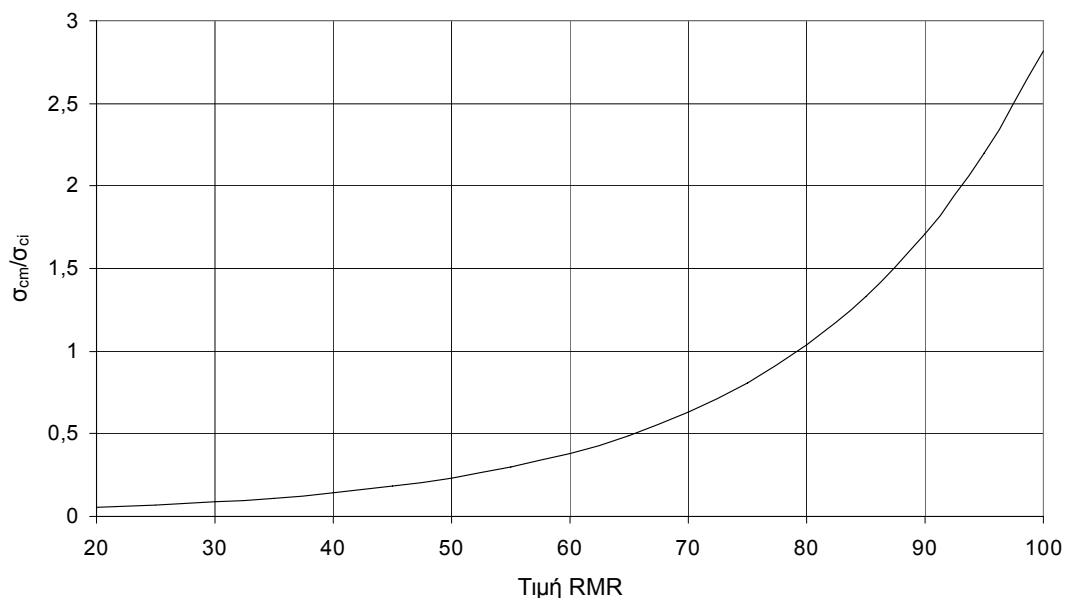
$$\frac{\theta\sigma_1}{\theta\sigma_3} = 1 + am_b \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^{\alpha-1}$$

Ειδικότερα, όσον αφορά τον προσδιορισμό της επιτόπου μονοαξονικής αντοχής του συνόλου της βραχομάζας  $\sigma_{cm}$ , για καθεμία εκ των κατηγοριών B1, B2, C και D, αυτός είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί συναρτήσει της εργαστηριακώς μετρηθείσης αντοχής του αρραγούς πετρώματος  $\sigma_{ci}$ , με τη βοήθεια της εμπειρικής σχέσεως (5) (Hoek, 1999):

$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{ci}} = 0.019 \exp\left(\frac{RMR}{20}\right) \quad (5)$$

Εκ της γραφικής παράστασης της σχέσεως (5) (δες σχήμα που ακολουθεί), συμπεραίνεται ότι για τιμές του  $RMR > 80$  ο λόγος  $\sigma_{cm}/\sigma_{ci} > 1$ .

Για κάθε κατηγορία βραχομάζας το μέτρο ελαστικότητας είναι δυνατόν να εκτιμηθεί μέσω της εμπειρικής σχέσεως (6) (Hoek & Brown, 1997):





## Σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

$$E = \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} 10^{\left(\frac{RMR-10}{40}\right)} (\sigma \text{ σε } GPa) \quad (6)$$

Ο Πίνακας 2 συνοψίζει τις εκτιμήσεις των αντιπροσωπευτικών τιμών των μηχανικών παραμέτρων για καθεμία εκ των γεωτεχνικών κατηγοριών B1, B2, C και D.

Πίνακας 2. Ενδεικτικές τιμές μηχανικών παραμέτρων τυπικών κατηγοριών βραχομάζας

Παράμετροι Βραχομάζας	Κατηγορίες Βραχομάζας			
	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Αντιπροσωπευτική τιμή RMR	50	35	25	-
Αντοχή αρραγούς πετρώματος, $\sigma_{ci}$ (MPa)	50	25	15	-
Μέτρο Ελαστικότητας, E (GPa)	7	2.1	0.9	0.6
Λόγος Poisson, $\nu$	0.33	0.33	0.33	0.3
Δείκτης s	0.00387	0.00073	0.00024	-
Εκθέτης κριτηρίου Hoek – Brown $\alpha$	0.5	0.5	0.5	-
Αντοχή βραχομάζας, $\sigma_{cm}$ (MPa)	11.6	2.73	1.00	-
Ειδικό βάρος βραχομάζας $\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	26	26	26	25
Συνοχή βραχομάζας, c (KPa)	350 / 700	250 / 500	200 / 450	100
Γωνία εσωτερικής τριβής, $\varphi$ ( <sup>o</sup> )	45 / 40	40 / 35	40 / 35	30

Οι τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων, οι οποίες εμφανίζονται σαν ζευγάρι χρησιμοποιούνται, η πρώτη για την προσομοίωση της συμπεριφοράς της βραχομάζας για υπερκείμενα ύψη < 40m κι η δεύτερη για την προσομοίωση της βραχομάζας για υπερκείμενα ύψη > 40m.

Με βάση τα αποτελέσματα του συνόλου των γεωλογικών και γεωτεχνικών ερευνών και μελετών, εκτιμώνται στον Πίνακα 3 τα ποσοστά συμμετοχής των διαφόρων κατηγοριών βραχομάζας κατά μήκος του άξονα των σηράγγων. Λόγω της στατιστικής ομοιογένειας των σχηματισμών της περιοχής ενδιαφέροντος, δεν φαίνεται να δικαιολογείται κάποια διαφοροποίηση αξιολογή ως προς τα ποσοστά συμμετοχής μεταξύ των σηράγγων Σ6, Σ7, Σ10, Σ11, Σ12 και Σ13.

Πίνακας 3. Ποσοστά συμμετοχής κατηγοριών βραχομάζας

Κατηγορία Βραχομάζας	Σήραγγες					
	<b>Σ 6</b>	<b>Σ 7</b>	<b>Σ10</b>	<b>Σ11</b>	<b>Σ12</b>	<b>Σ13</b>
B1	-	-	39,6%	23%	30%	26%
B2	-	-	55,4%	45%	50%	46%
C	63%	67%	2,2%	30%	19%	22%
D	37%	33%	2,8%	2%	1%	6%

Τα ανωτέρω εκτιμώμενα ποσοστά συμμετοχής κάθε κατηγορίας βραχόμαζας είναι ενδεικτικά και έχουν προκύψει με συναξιολόγηση του συνόλου των αποτελεσμάτων των γεωλογικών και γεωτεχνικών ερευνών και δοκιμών. Είναι προφανές ότι λόγω της αναμενόμενης μεταβλητότητας των τιμών των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών της βραχόμαζας, τα ανωτέρω ποσοστά συμμετοχής μπορεί να τροποποιηθούν κατά τη διάνοιξη των σηράγγων.

## 4. ΑΡΧΕΣ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

### 4.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΥΠΙΚΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Κατά τη διάνοιξη των σηράγγων θα χρησιμοποιηθούν τυπικές διατομές εκσκαφής και υποστήριξης. Αυτές οι τυπικές διατομές καθορίζονται από τους συνδυασμούς της ποιότητας της βραχόμαζας (σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά το σύστημα Bieniawski, 1989 στις κατηγορίες B1, B2, C και D) με τα ύψη των υπερκειμένων γαιών, όπως αυτά προκύπτουν από τη γεωλογική μηκοτομή. Οι μελετώμενοι αντιπροσωπευτικοί συνδυασμοί των γεωμηχανικών κατηγοριών βραχομάζας με τα υπερκείμενα ύψη δίνονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Συνδυασμοί κατηγοριών βραχομάζας με υπερκείμενα ύψη

Κατηγορία Βραχόμαζας	Ύψος υπερκειμένων γαιών (m)
B1	130
B2	110
B2	130
C	40
C	130
D	110
D	8

Η αρχική εκτίμηση για τις επικρατούσες συνθήκες ευστάθειας των σηράγγων καθώς και ο καθορισμός των μέτρων προσωρινής υποστήριξης για καθένα από τους παραπάνω συνδυασμούς του Πίνακα 4, γίνεται με τη βοήθεια μιάς προσεγγιστικής μεθοδολογίας, η οποία είναι ανάλογη με εκείνες των Duncan – Farna (1993) και Hoek (1998). Τονίζεται ότι η αυτή η μεθοδολογία έχει προκύψει για σήραγγες κυκλικής διατομής και συνθήκες ισότροπου πεδίου γεωστατικών τάσεων.

Αρχικώς για κάθε κάθε συνδυασμό κατηγορίας βραχομάζας και υπερκειμένου ύψους προσδιορίζεται η τιμή του συντελεστή υπερφόρτισης  $N_s = 2\rho_0/\sigma_{cm}$ ,

όπου:  $\rho_0 = 0.5(\sigma_v + \sigma_h)$ ,

$\sigma_v$  είναι η κατακόρυφη επιτόπου τάση που αντιστοιχεί σε κάθε υπερκείμενο ύψος,

$\sigma_h = K_0\sigma_v$  και

$\sigma_{cm}$  είναι η επιτόπου μονοαξονική αντοχή του συνόλου της βραχομάζας (εξίσωση 5).

Στη συνέχεια με τη βοήθεια της μαθηματικής σχέσεως (7) εκτιμάται η παραμόρφωση της σήραγγας χωρίς υποστήριξη :

## Σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

$$E_{p0} \frac{\delta_i}{d_0} = 0.002 \left( \frac{2}{N_s} \right)^{(-2)} \quad (7)$$

όπου:  $\delta_i$  είναι η σύγκλιση της σήραγγας  
 $d_0$  είναι η αρχική ακτίνα της σήραγγας

Ωστόσο, ο Sakurai (1983) έχει ήδη καθορίσει με τη βοήθεια της σχέσεως (8), την κρίσιμη παραμόρφωση μιας διατομής σήραγγας  $\varepsilon_{pc}$  πέραν της οποίας απαιτείται πολύ προσεκτικός και λεπτομερής σχεδιασμός των μέτρων άμεσης υποστήριξης της.

$$\varepsilon_{pc} = 1.073 - \sigma_{cm}^{-0.318} \quad (8)$$

Ο Πίνακας 5 συνοψίζει τις εκτιμήσεις των παραμορφώσεων των ανυποστήρικτων των διατομών των σηράγγων για το σύνολο των περιπτώσεων που εξετάζονται.

Πίνακας 5. Παραμορφώσεις ανυποστήρικτων υπό μελέτη διατομών σηράγγων

Κατηγορίες Βραχομάζας	Ύψος υπερκειμένων γαιών (m)	Συντελεστής υπερφόρτισης $N_s$	Παραμόρφωση ανυποστήρικτης σήραγγας, $\varepsilon_{p0}$	Κρίσιμη παραμόρφωση, $\varepsilon_{pc}$
B1	130	0.437	0.01%	0.50%
B2	110	1.571	0.12%	0.80%
B2	130	2.204	0.24%	0.80%
C	40	1.560	0.12%	1.07%
<b>C</b>	<b>130</b>	5.070	<b>1.30%</b>	<b>1.07%</b>
<b>D</b>	<b>110</b>	11.786	<b>6.95%</b>	<b>1.50%</b>
D	8	0.860	0.27%	1.50%

Από την σύγκριση των τιμών  $\varepsilon_{p0}$  και  $\varepsilon_{pc}$  του ανωτέρω πίνακα προκύπτει ότι στις περιπτώσεις:

- Κατηγορία βραχομάζας C με υπερκείμενο ύψος 130m και
- Κατηγορία βραχομάζας D με υπερκείμενο ύψος 110m

απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός της άμεσης υποστήριξης έτσι ώστε να καταστεί δυνατός ο περιορισμός της παραμόρφωσης  $\varepsilon_{p0}$  σε όρια κάτω των αντίστοιχων τιμών της κρίσιμης παραμόρφωσης  $\varepsilon_{pc}$ . Όλες οι υπόλοιπες περιπτώσεις απαιτούν τον τυπικό σχεδιασμό των μέτρων προσωρινής υποστήριξης τους, καθώς οι παραμορφώσεις αναμένεται να είναι πολύ μικρές.

Σημειώνεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις θα πρέπει να συνεκτιμηθεί και το εύρος της πλαστικής ζώνης της βραχομάζας γύρω από τη διατομή της σήραγγας, το οποίο για ανυποστήρικτη διατομή είναι δυνατόν να υπολογισθεί από τη σχέση:

Σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

$$\frac{d_p}{d_o} = 1.25 \left( \frac{2}{N_s} \right)^{(-0.57)} \quad (9)$$

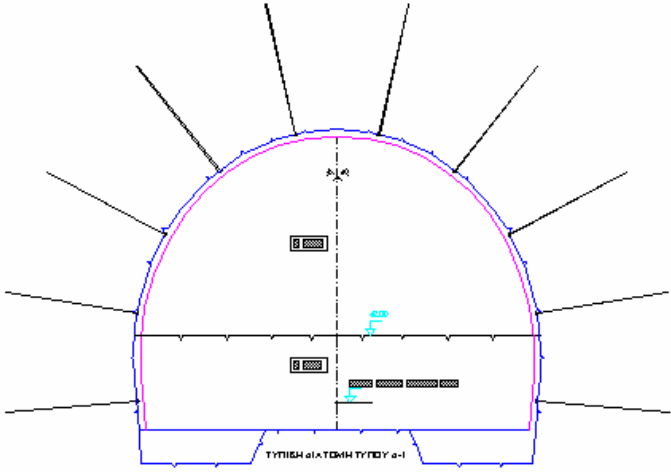
όπου:  $d_p$  είναι το εύρος της πλαστικής ζώνης γύρω από τη σήραγγα.

#### 4.2 ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

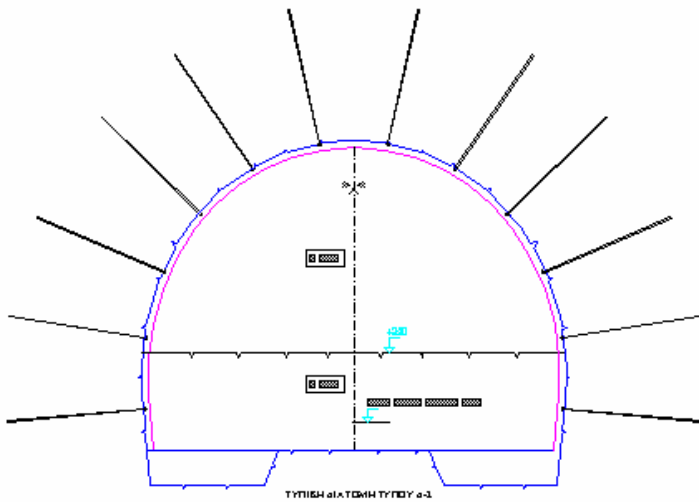
Οι τυπικές διατομές εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης, οι οποίες ελέγχονται ως προς την επάρκεια τους και με τη μέθοδο των Πεπερασμένων στοιχείων είναι οι εξής:

Σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

Πίνακας 6. Κατηγορίες-διατομές εκσκαφής και υποστήριξης της κύριας σήραγγας

<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ - ΔΙΑΤΟΜΗ Δ1</b>	
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	Υγιείς έως ελαφρά ρωγματωμένοι γνεύσιμοι και γρανίτες με συμπαγή γενικά χαρακτηριστικά, συνήθως με μεγάλου μήκους ασυνέχειες. Οι σχηματισμοί διατέμνονται από απλιτικές ή / και χαλαζιακές φλέβες. Περιορισμένες σφήνες. RMR 50-70
ΥΨΟΣ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΩΝ	H>8μ
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<p><b>Μέτρα υποστήριξης Α΄ Φάσης</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων.</li> <li>Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 6 cm ενισχυμένο με μεταλλικές ίνες τύπου Dramix 30/0.50 σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup>. Η τελική στρώση των 3cm δεν θα περιέχει ίνες.</li> <li>Παθητικά βλήτρα τύπου διαστελλόμενης κεφαλής από ράβδο σιδηροπλισμού Φ25mm – StIV, μήκους 4m, εντός οπής διαμέτρου 40-50mm, πληρωμένης με τσιμεντένεμα. Τα βλήτρα τοποθετούνται σε κάρναβο 2.5m (σε διατομή) επί 2m (κατά μήκος).</li> <li>Βήμα προχώρησης: περίπου 2 μέτρα.</li> </ul> <p><b>Μέτρα υποστήριξης Β΄ Φάσης</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 5-7cm ενισχυμένο με μεταλλικές ίνες τύπου Dramix 30/0.50 σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup>. Η τελική στρώση των 3cm δεν θα περιέχει ίνες.</li> <li>Παθητικά βλήτρα τύπου διαστελλόμενης κεφαλής από ράβδο σιδηροπλισμού Φ25mm - StIV, μήκους 4m, εντός οπής διαμέτρου 40-50mm, πληρωμένης με τσιμεντένεμα. Τα βλήτρα τοποθετούνται σε κάρναβο 2.5m (σε διατομή) επί 2m (κατά μήκος).</li> <li>Βήμα προχώρησης: 4-6 μέτρα.</li> </ul>
ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ	Ενδεικτικό μέσο βήμα προχώρησης Α Φάσης 2m και Β Φάσης m.
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή σε δύο φάσεις (άνω και κάτω τμήμα της διατομής). Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών στο άνω τμήμα. Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών ή μηχανικών μέσων στο κάτω τμήμα.
ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	Στατικό πάχος 0,45μ
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ	
	

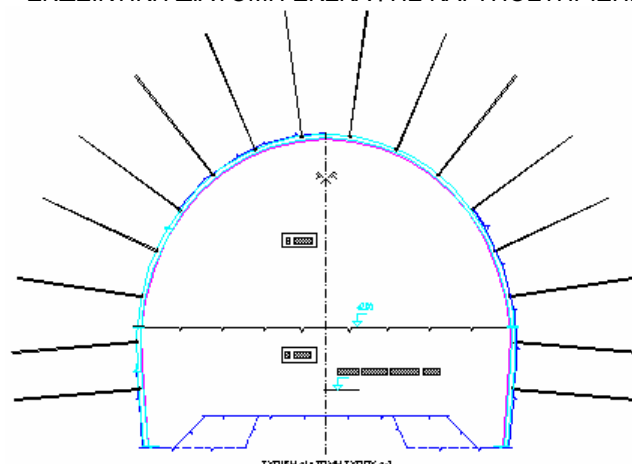
## Σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ - ΔΙΑΤΟΜΗ Δ2</b>	
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	Ρωγματοωμένοι - κερματισμένοι γνεύσιοι, γρανίτες, αμφιβολίτες και γνευσιοσχιστόλιθοι. Στα γνευσιακά πετρώματα επικρατεί η σχιστότητα. Η βραχώμαζα διατέμενεται από πυκνό δίκτυο ασυνεχειών με μικρή αλληλοεμπλοκή. Δημιουργία σφηνοειδών αποκολλήσεων. RMR 35-50
ΥΨΟΣ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΩΝ ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	8-110m  <b>Μέτρα υποστήριξης Α΄ Φάσης</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων.</li> <li>· Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 10cm ενισχυμένο με μεταλλικές ίνες τύπου Dramix 30/0.50 σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup>. Η τελική στρώση των 5cm δεν θα περιέχει ίνες.</li> <li>· Παθητικά βλήτρα από ράβδο σιδηροπλισμού Φ25mm - StIV, μήκους 4m, εντός οπής διαμέτρου 40-50mm, πληρωμένης με τσιμεντένεμα. Τα βλήτρα τοποθετούνται σε κάρναβο 2m (σε διατομή) επί 1.50m (κατά μήκος).</li> <li>· Βήμα προχώρησης: περίπου 1.5 μέτρα.</li> </ul> <b>Μέτρα υποστήριξης Β΄ Φάσης</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 10cm ενισχυμένο με μεταλλικές ίνες τύπου Dramix 30/0.50 σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup>. Η τελική στρώση των 5cm δεν θα περιέχει ίνες.</li> <li>· Παθητικά βλήτρα από ράβδο σιδηροπλισμού Φ25mm - StIV, μήκους 4m, εντός οπής διαμέτρου 40-50mm, πληρωμένης με τσιμεντένεμα. Τα βλήτρα τοποθετούνται σε κάρναβο 2m (σε διατομή) επί 1.50m (κατά μήκος).</li> <li>· Βήμα προχώρησης: περίπου 3 μέτρα.</li> </ul>
ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ	Ενδεικτικό μέσο βήμα προχώρησης Α Φάσης 1,5m και Β Φάσης 3m.
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή σε δύο φάσεις (άνω και κάτω τμήμα της διατομής). Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών στο άνω τμήμα. Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών ή μηχανικών μέσων στο κάτω τμήμα.
ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	Στατικό πάχος 0,45μ
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	
	

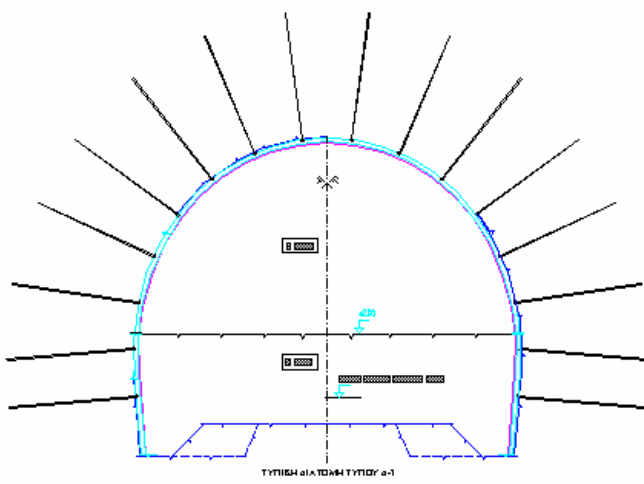
## Σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ - ΔΙΑΤΟΜΗ Δ3α</b>	
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	Ρωγματωμένοι - κερματισμένοι γνεύσιοι, γρανίτες, αμφιβολίτες και γνευσιοςχιστόλιθοι. Στα γνευσιακά πετρώματα επικρατεί η σχιστότητα. Η βραχώμαζα διατέμενεται από πυκνό δίκτυο ασυνεχειών με μικρή αλληλοεμπλοκή. Δημιουργία σφηνοειδών αποκολλήσεων. RMR 35-50
ΥΨΟΣ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΩΝ	H>110m
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<p><b>Μέτρα υποστήριξης Α΄ Φάσης</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων.</li> <li>Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 15cm ενισχυμένο με μεταλλικές ίνες τύπου Dramix 30/0.50 σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup>. Η τελική στρώση των 5cm δεν θα περιέχει ίνες.</li> <li>Παθητικά βλήτρα από ράβδο σιδηροπλισμού Φ25mm - StIV, μήκους 5m, εντός οπής διαμέτρου 40-50mm, πληρωμένης με τσιμεντένεμα. Τα βλήτρα τοποθετούνται σε κάρναβο 1.50m (σε διατομή) επί 1.50m (κατά μήκος).</li> <li>Χαλύβδινα πλαίσια HEB120 σε αποστάσεις 1.50m.</li> <li>Βήμα προχώρησης: 1.50m</li> </ul> <p><b>Μέτρα υποστήριξης Β΄ Φάσης</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 15cm ενισχυμένο με μεταλλικές ίνες τύπου Dramix 30/0.50 σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup>. Η τελική στρώση των 5cm δεν θα περιέχει ίνες.</li> <li>Παθητικά βλήτρα από ράβδο σιδηροπλισμού Φ25mm - StIV, μήκους 5m, εντός οπής διαμέτρου 40-50mm, πληρωμένης με τσιμεντένεμα. Τα βλήτρα τοποθετούνται σε κάρναβο 1.50m (σε διατομή) επί 1.50m (κατά μήκος).</li> <li>Ορθοστάτες των χαλυβδίνων πλαισίων HEB120 σε αποστάσεις 1.50m στις θέσεις όπου έχουν τοποθετηθεί χαλύβδινα πλαίσια κατά την Α΄ Φάση εκσκαφής.</li> <li>Βήμα προχώρησης: 1.50m</li> </ul>
ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ	Ενδεικτικό μέσο βήμα προχώρησης Α Φάσης και Β1 Φάσης 1-1,5m.
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή σε δύο φάσεις (άνω και κάτω τμήμα της διατομής). Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών στο άνω τμήμα. Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών ή μηχανικών μέσων στο κάτω τμήμα.
ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	Στατικό πάχος 0,45μ

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

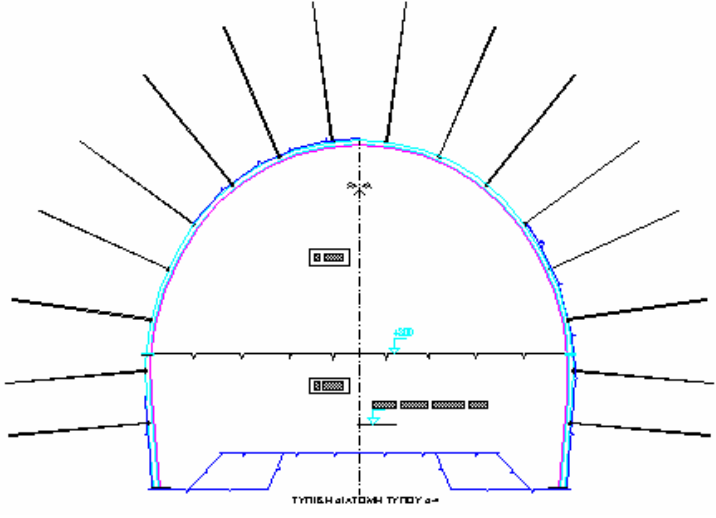


## Σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

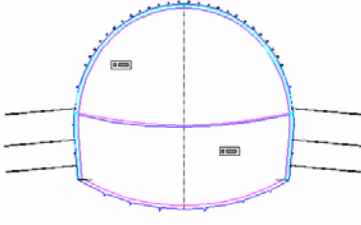
<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ - ΔΙΑΤΟΜΗ Δ3β</b>	
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	Εντονα κατακερματισμένα και ρηγματωμένα τα ανωτέρω πετρώματα καθώς και σχιστοποιημένοι απλίτες. Το πέτρωμα αποχωρίζεται σε μικρά τεμάχια και συμμετέχει αργιλοαμμώδες έως αργιλικό υλικό. RMR 25-35
ΥΨΟΣ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΩΝ ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	H>8-40m  <b>Μέτρα υποστήριξης Α' Φάσης</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων.</li> <li>· Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 15cm ενισχυμένο με μεταλλικές ίνες τύπου Dramix 30/0.50 σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup>. Η τελική στρώση των 5cm δεν θα περιέχει ίνες.</li> <li>· Παθητικά βλήτρα από ράβδο σιδηροπλισμού Φ25mm - StIV, μήκους 5m, εντός οπής διαμέτρου 40-50mm, πληρωμένης μετσιμεντένεμα. Τα βλήτρα τοποθετούνται σε κάρναβο 1.50m (σε διατομή) επί 1.50m (κατά μήκος).</li> <li>· Χαλύβδινα πλαίσια HEB120 σε αποστάσεις 1.50m.</li> <li>· Βήμα προχώρησης: 1.50m</li> </ul> <b>Μέτρα υποστήριξης Β' Φάσης</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 15cm ενισχυμένο με μεταλλικές ίνες τύπου Dramix 30/0.50 σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup>. Η τελική στρώση των 5cm δεν θα περιέχει ίνες.</li> <li>· Παθητικά βλήτρα από ράβδο σιδηροπλισμού Φ25mm - StIV, μήκους 5m, εντός οπής διαμέτρου 40-50mm, πληρωμένης μετσιμεντένεμα. Τα βλήτρα τοποθετούνται σε κάρναβο 1.50m (σε διατομή) επί 1.50m (κατά μήκος).</li> <li>· Ορθοστάτες των χαλυβδίνων πλαισίων HEB120 σε αποστάσεις 1.50m στις θέσεις όπου έχουν τοποθετηθεί χαλύβδινα πλαίσια κατά την Α' Φάση εκσκαφής.</li> <li>· Βήμα προχώρησης: 1.50m</li> </ul>
ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ	Ενδεικτικό μέσο βήμα προχώρησης Α Φάσης και Β1 Φάσης 1-1,5m.
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή σε δύο φάσεις (άνω και κάτω τμήμα της διατομής). Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών στο άνω τμήμα. Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών ή μηχανικών μέσων στο κάτω τμήμα.
ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	Στατικό πάχος 0,45μ
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	
	



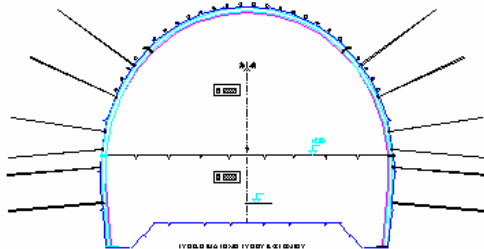
## Σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ - ΔΙΑΤΟΜΗ Δ4</b>	
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	Εντονα κατακερματισμένα και ρηγματωμένα τα ανωτέρω πετρώματα καθώς και σχιστοποιημένοι απλίτες. Το πέτρωμα αποχωρίζεται σε μικρά τεμάχια και συμμετέχει αργιλοαμμώδες έως αργιλικό υλικό. RMR 25-35
ΥΨΟΣ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΩΝ ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	8-40m  <b>Μέτρα υποστήριξης Α΄ Φάσης</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων</li> <li>· Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 20cm ενισχυμένο με μεταλλικές ίνες τύπου Dramix 30/0.50 σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup>. Η τελική στρώση των 5cm δεν θα περιέχει ίνες.</li> <li>· Παθητικά βλήτρα από ράβδο σιδηροπλισμού Φ25mm - StIV, μήκους 5m, εντός οπής διαμέτρου 40-50mm, πληρωμένης μετσιμεντένεμα. Τα βλήτρα τοποθετούνται σε κάρναβο 1.25m (σε διατομή) επί 1.25m (κατά μήκος).</li> <li>· Χαλύβδινα πλαίσια HEB140 σε αποστάσεις 1.25m.</li> <li>· Βήμα προχώρησης: 1.25m</li> </ul> <b>Μέτρα υποστήριξης Β΄ Φάσης</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 20cm ενισχυμένο με μεταλλικές ίνες τύπου Dramix 30/0.50 σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup>. Η τελική στρώση των 5cm δεν θα περιέχει ίνες.</li> <li>· Παθητικά βλήτρα από ράβδο σιδηροπλισμού Φ25mm - StIV, μήκους 5m, εντός οπής διαμέτρου 40-50mm, πληρωμένης μετσιμεντένεμα. Τα βλήτρα τοποθετούνται σε κάρναβο 1.25m (σε διατομή) επί 1.25m (κατά μήκος).</li> <li>· Ορθοστάτες των χαλυβδίνων πλαισίων HEB140 σε αποστάσεις 1.25m.</li> <li>· Βήμα προχώρησης: 1.25m</li> </ul>
ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ	Ενδεικτικό μέσο βήμα προχώρησης Α Φάσης και Β Φάσης 1,25m.
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή σε δύο φάσεις (άνω και κάτω τμήμα της διατομής). Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών στο άνω τμήμα. Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών ή μηχανικών μέσων στο κάτω τμήμα.
ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	Στατικό πάχος 0,45m
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	
	

## Σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ - ΔΙΑΤΟΜΗ Δ5</b>	
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	Τεκτονισμένη και διατμημένη βραχώμαζα, ιδιαίτερα χαμηλής αντοχής, ζώνη μυλωνιπίωσης με έντονα αργιλικής σύστασης υλικά. RMR<25
ΥΨΟΣ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΩΝ	Ανεξαρτήτως ύψους
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<p><b>Μέτρα υποστήριξης Α΄ Φάσης</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Δοκοί προπορείας από σωλήνες διαμέτρου 101mm, πάχους τοιχώματος 3.6mm, μήκους 12m τοποθετημένοι στη στέψη σε γωνία 120 μοιρών σε αποστάσεις μεταξύ τους 0.50m με επικάλυψη 3m (όπου απαιτείται η κατασκευή και δεύτερης σειράς δοκών προπορείας). Οι δοκοί τοποθετούνται σε γωνία 4,5° ως προς την οριζόντια.</li> <li>Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 25cm ενισχυμένο με μεταλλικές ίνες τύπου Dramix 30/0.50 σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup> και διπλό πλέγμα T131. Η τελική στρώση των 5cm δεν θα περιέχει ίνες.</li> <li>Υποστήριξη του μετώπου εκσκαφής με παθητικά βλήτρα (αγκύρια) από fiberglass σε κάνναβο της τάξεως του 1μ Χ1μ.</li> <li>Παθητικά βλήτρα από ράβδο σιδηροπλισμού Φ25mm - StIV, μήκους 5m, εντός οπής διαμέτρου 40-50mm, πληρωμένης μετσιμεντένεμα. Τα βλήτρα τοποθετούνται ως εξής: Δυο βλήτρα σε κάθε πλευρά εκατέρωθεν της βάσης του χαλυβδίνου πλαισίου συνδεδεμένα με χαλύβδινη πλάκα.</li> <li>Χαλύβδινα πλαίσια HEB140 σε αποστάσεις 1.00m κατά μήκος. Το ύψος των πλαισίων θα είναι μεταβλητό λόγω μεταβολής του ύψους της εκσκαφής.</li> <li>Κλειστό προσωρινό δάπεδο (temporary invert) από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 10cm.</li> <li>Βήμα προχώρησης: 1.00m</li> </ul> <p><b>Μέτρα υποστήριξης Β΄ Φάσης</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 25cm ενισχυμένο με μεταλλικές ίνες τύπου Dramix 30/0.50 σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup> και διπλό πλέγμα T131. Η τελική στρώση των 5cm δεν θα περιέχει ίνες.</li> <li>Παθητικά βλήτρα από ράβδο σιδηροπλισμού Φ25mm - StIV, μήκους 5m, εντός οπής διαμέτρου 40-50mm, πληρωμένης μετσιμεντένεμα. Τα βλήτρα τοποθετούνται σε κάνναβο 1.50m (σε διατομή) επί 1.00m (κατά μήκος).</li> <li>Ορθοστάτες των χαλυβδίνων πλαισίων HEB140 σε αποστάσεις 1.00m.</li> <li>Κλειστό δάπεδο (invert) από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 20cm ενισχυμένο με διπλό πλέγμα T131.</li> </ul> <p>Βήμα προχώρησης: 1.00m</p>
ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ	Ενδεικτικό μέσο βήμα προχώρησης Α Φάσης και Β Φάσης 1m
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή σε δύο φάσεις (άνω και κάτω τμήμα της διατομής). Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών στο άνω τμήμα. Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών ή μηχανικών μέσων στο κάτω τμήμα.
ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	Στατικό πάχος 0,45μ
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	
	

## Σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ - ΔΙΑΤΟΜΗ Δ- Στομίου</b>	
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	Υπερκείμενος μανδύας αποσάθρωσης 0,3 - 4 m, ανεξάρτητης υποκείμενης ποιότητας βραχώμαζας.
ΥΨΟΣ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΩΝ	2-8m
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<p><b>Μέτρα υποστήριξης Α΄ Φάσης</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Δοκοί προπορείας από σωλήνες διαμέτρου 101mm, πάχους τοιχώματος 3.6mm, μήκους 12m τοποθετημένοι στη στέψη σε γωνία 120 μοιρών σε αποστάσεις μεταξύ τους 0.50m με επικάλυψη 3m (όπου απαιτείται η κατασκευή και δεύτερης σειράς δοκών προπορείας). Οι δοκοί τοποθετούνται σε γωνία 4,5° ως προς την οριζόντια.</li> <li>Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 20cm ενισχυμένο με μεταλλικές ίνες τύπου Dramix 30/0.50 σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup>. Η τελική στρώση των 5cm δεν θα περιέχει ίνες.</li> <li>Παθητικά βλήτρα από ράβδο σιδηροπλισμού Φ25mm - StIV, μήκους 5m, εντός οπής διαμέτρου 40-50mm, πληρωμένης με τσιμεντένεμα. Τα βλήτρα τοποθετούνται ως εξής : (α) Τρία βλήτρα σε κάθε πλευρά σε αποστάσεις 1.50m (σε διατομή) και 1.00m (κατά μήκος). (β) Δυο βλήτρα σε κάθε πλευρά εκατέρωθεν της βάσης του χαλυβδίνου πλαισίου συνδεδεμένα με χαλύβδινη πλάκα .</li> <li>Χαλύβδινα πλαίσια HEB140 σε αποστάσεις 1.00m κατά μήκος. Το ύψος των πλαισίων θα είναι μεταβλητό λόγω μεταβολής του ύψους της εκσκαφής.</li> <li>Βήμα προχώρησης: 1.00m</li> </ul> <p><b>Μέτρα υποστήριξης Β΄ Φάσης</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B35 πάχους 20cm ενισχυμένο με μεταλλικές ίνες τύπου Dramix 30/0.50 σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup>. Η τελική στρώση των 5cm δεν θα περιέχει ίνες.</li> <li>Παθητικά βλήτρα από ράβδο σιδηροπλισμού Φ25mm - StIV, μήκους 5m, εντός οπής διαμέτρου 40-50mm, πληρωμένης με τσιμεντένεμα. Τα βλήτρα τοποθετούνται σε κάρναβο 1.50m (σε διατομή) επί 1.00m (κατά μήκος).</li> <li>Ορθοστάτες των χαλυβδίνων πλαισίων HEB140 σε αποστάσεις 1.00m.</li> <li>Βήμα προχώρησης: 1.00m</li> </ul>
ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ	Ενδεικτικό μέσο βήμα προχώρησης Α Φάσης και Β1 Φάσης 1m
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή σε δύο φάσεις (άνω και κάτω τμήμα της διατομής). Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών στο άνω τμήμα. Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών ή μηχανικών μέσων στο κάτω τμήμα.
ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	Στατικό πάχος 0,45μ
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	
	

## Σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

Στον Πίνακα 7 δίνονται τα πεδία εφαρμογής των παραπάνω τυπικών διατομών εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης

Πίνακας 7. Τυπικές διατομές και πεδίο εφαρμογής

Κατηγορία διατομής εκσκαφής και υποστήριξης (Τυπική διατομή)	Πεδίο εφαρμογής		
	Ποιότητα βραχώμαζας (εύρος RMR)*	Ύψος υπερκειμένων	Παρατηρήσεις
Δ-1	50-70 (B1)	> 8m	
Δ-2	35-50 (B2)	8-110m	
Δ-3 α	35-50 (B2)	> 110m	Περιλαμβάνουν τα ίδια μέτρα υποστήριξης Διαφέρει η ποιότητα της βραχώμαζας που επηρεάζει το κόστος εκσκαφής
Δ-3 β	25-35 (C)	8-40m	
Δ-4	25-35 (C)	> 40m	
Δ-5	<25 (D)	Ανεξαρτήτως ύψους	Σε συνδυασμό με εμφάνιση αστάθειας του μετώπου εκσκαφής
Δ-στομίου	Ανεξαρτήτως κατηγορίας	2-8m	Περιλαμβάνει δοκούς προπορείας(120°) για τη διαμόρφωση των στομιών των σηράγγων

(\*)Ταξινόμηση κατά το σύστημα Bieniawski, 1989)

### 4.3 ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η οριστική μελέτη της κάθε σήραγγας θα εκπονηθεί με βάση τις παρακάτω αρχές σχεδιασμού:

- Η εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη της σήραγγας θα γίνει με βάση τις αρχές τις μεθόδου NATM και σύμφωνα με τις επιλογές για τις γεωτεχνικές κατηγορίες βραχώμαζας που καθορίστηκαν στα προηγούμενα και τις τυπικές διατομές σχεδιασμού που αναφέρονται στις κατηγορίες αυτές και περιγράφονται στα προηγούμενα. Συγκεκριμένα η διάνοιξη της σήραγγας μπορεί να γίνει με τις συνήθεις μεθόδους εκσκαφής (με διαδοχικά βήματα προώθησης του μετώπου σε 2-3 στάδια: μέτωπο, βαθμίδα, δάπεδο) και προσωρινή υποστήριξη. Οι αναλύσεις της διάνοιξης, προσωρινής υποστήριξης και τελικής επένδυσης θα γίνουν με εφαρμογή του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων.

- Η ανάλυση της τελικής επένδυσης της σήραγγας θα γίνει για τις ανωτέρω κατηγορίες βραχώμαζας και διάφορα ύψη υπερκειμένων γαιών. Με τον τρόπο αυτό θα διαμορφωθούν τυπικές διατομές τελικής επένδυσης (2-3 τυπικές διατομές) εκ των οποίων μια θα περιλαμβάνει κλειστό δάπεδο με κατασκευή πλάκας δαπέδου.

## Σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

- Η μελέτη της σήραγγας θα περιλάβει και τον σχεδιασμό, ανάλυση και διαστασιολόγηση των απαιτούμενων έργων για την διαμόρφωση των στομίων (π.χ. έργα αντιστήριξης γαιών, χωματουργικά έργα κλπ).

- Ο σχεδιασμός της θέσης και της μορφής των στομίων γίνεται με βάση την αρχή της ελαχιστοποίησης των εκσκαφών. Έτσι θα καταβληθεί προσπάθεια έναρξης της υπόγειας εκσκαφής με ύψος υπερκειμένων της τάξης των 3,0m. Κατά θέσεις η διαμόρφωση των στομίων καθορίζεται από το πάχος του πλευρικού καλύμματος, τη μορφολογία του φυσικού εδάφους σε σχέση με την κατεύθυνση προσβολής της σήραγγας και την απόσταση ή την υψομετρική διαφορά μεταξύ των κλάδων. Η συνεκτίμηση των παραγόντων είναι πιθανό κατά θέσεις να οδηγήσει σε ανάγκη εφαρμογής πασσαλοδιαφραγμάτων για την προσωρινή αντιστήριξη και κατασκευή έργων τύπου cut & cover σε περιορισμένη έκταση.

### 4.4 ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

#### 4.4.1 ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Θα εφαρμοσθεί η εξής μεθοδολογία ανάλυσης της διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης των σηράγγων.

1. Θα αναλυθούν όλες οι τυπικές διατομές σχεδιασμού ώστε να επιβεβαιωθεί η επάρκεια των μέτρων υποστήριξης. Ο σχεδιασμός θεωρείται επαρκής εάν η πλαστική ζώνη γύρω από τη σήραγγα έχει περιορισμένο εύρος και το ποσοστό των αγκυρίων που έχουν φθάσει το όριο διαρροής δεν υπερβαίνει το 20%. Εν γένει θα αποφεύγεται η διαρροή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

2. Η ανάλυση της διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας θα γίνει μόνον για στατική φόρτιση, δηλαδή να μην γίνει ανάλυση για σεισμική επιφόρτιση για τους εξής λόγους:

- Η φορτική κατάσταση είναι προσωρινή και συνεπώς στο μικρό χρονικό διάστημα της κατασκευής του έργου η πιθανότητα ισχυρού σεισμού είναι μικρή.

3. Η ανάλυση κάθε περίπτωσης θα γίνει με πρόγραμμα μή-γραμμικών (ελαστο-πλαστικών) πεπερασμένων στοιχείων και θα περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Εφαρμογή γεωστατικών τάσεων
- Χαλάρωση της Α΄ Φάσης με απομείωση του μέτρου ελαστικότητας
- Εφαρμογή των μέτρων υποστήριξης Α΄ Φάσης και εκσκαφή της Α΄ Φάσης
- Χαλάρωση της Β΄ Φάσης με απομείωση του μέτρου ελαστικότητας
- Εφαρμογή των μέτρων υποστήριξης Β΄ Φάσης και εκσκαφή της Β΄ Φάσης.

Κατά τις αναλύσεις με το παραπάνω πρόγραμμα υπολογίζονται οι συγκλίσεις του τοιχώματος, το εύρος της πλαστικής ζώνης της βραχώμαζας, τα εντατικά μεγέθη στα αγκύρια και το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Η ανάλυση της διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας θα γίνει για τους εξής συνδυασμούς φορτίσεων :

Διατομή	Κατηγορία Βραχώμαζας	Υψος υπερκειμένων γαιών (m)
Δ-1	B1	130
Δ-2	B2	110
Δ-3α	B2	130
Δ-3β	C	40
Δ-4	C	130
Δ-5	D	110
Δ-στομίου	D	8

#### 4.4.2 ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Η ανάλυση της τελικής επένδυσης θα γίνει με προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων. Το προσομοίωμα αυτό θα φορτισθεί με τα εξής φορτία:

1. Φορτία βραχώμαζας. Θα εφαρμοσθούν τα φορτία που αντιστοιχούν στα μέτρα προσωρινής υποστήριξης καθώς και λόγω απομείωσης του μέτρου ελαστικότητας της βραχώμαζας από το βραχυχρόνια στη μακροχρόνια τιμή του (απομείωση κατά 5-10%).

2. Υδροστατική πίεση, που αντιπροσωπεύει τυχόν μερική απόφραξη του συστήματος υδρομάστευσης της σήραγγας, με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μέγιστη στάθμη νερού: 5m πάνω από τη στέψη της σήραγγας
- Υδροστατική κατανομή έως στάθμη 3m πάνω από τους συλλεκτήριους σωλήνες της αποστράγγισης της σήραγγας
- Γραμμική μεταβολή της υδατικής πίεσης από την ανωτέρω στάθμη έως τη στάθμη των συλλεκτήριων σωλήνων της αποστράγγισης όπου η πίεση θα ισούται με το ήμισυ της υδροστατικής τιμής.

3. Λοιπές δράσεις σύμφωνα με τις Ο.Σ.Μ.Ε.Ο.