

## **ΣΗΡΑΓΓΑ Σ4 - ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΕ ΜΑΛΑΚΑ ΓΕΩΥΛΙΚΑ**

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η σήραγγα Σ4 πρόκειται να ορυχθεί κατά το μεγαλύτερο τμήμα της εντός σχηματισμού φερτών γεωυλικών χαοτικής δομής με ιδιαίτερα μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά και ιδιόμορφη συμπεριφορά κατά την κατασκευή. Στα επόμενα αναλύεται η διαδικασία μελέτης και διαστασιολόγησης της προσωρινής υποστήριξης και της μόνιμης επένδυσης της σήραγγας καθώς και οι ιδιαιτερότητες αυτής σε σχέση με την κατασκευαστική διαδικασία.

### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ**

Το τμήμα της Εγνατίας Οδού "Λευκόπετρα - Κουλούρα" (Τμήμα 5.2 - 5.3) περιλαμβάνει, επιμέρους τμήμα οδού στο οποίο θα κατασκευασθεί η δίδυμη σήραγγα Σ4, μήκους 279,36μ στον κλάδο Α' και μήκους 264,36μ στον κλάδο Β'. Η σήραγγα Σ4 είναι διπλής κατεύθυνσεως, συνίσταται από δύο κλάδους, ένα ανά κατεύθυνση, οι οποίοι απέχουν κατάλληλη μεταξύ τους απόσταση ώστε να παρεμβάλλεται ενδιάμεσως ικανού πάχους στύλος βραχόμαζας.

Η αξιολόγηση των εν γένει διαθέσιμων γεωλογικών και γεωτεχνικών στοιχείων σε συνδυασμό με τις λεπτομερείς τεχνικογεωλογικές αποτυπώσεις που ακολούθησαν, επιβεβαίωσαν την παρουσία εκτεταμένης κατολίθωσης στη ζώνη διέλευσης της παλαιάς χάραξης. Το γεγονός αυτό επέβαλε την οριζοντιογραφική μετατόπιση της χάραξης 100m προς τα δυτικά.

Η ευρύτερη περιοχή του έργου εντάσσεται γεωγραφικά στο νομό Ημαθίας και περιλαμβάνει το χωριό Λευκόπετρα το οποίο απέχει οδικώς 15 χλμ περίπου προς ΝΔ από την πόλη της Βέροιας. Η στενότερη περιοχή όρυξης της σήραγγας Σ4 εντοπίζεται στο ΒΑ τμήμα του χωριού Λευκόπετρα και απέχει 2 χλμ περίπου προς τα δυτικά από τον ταμιευτήρα του φράγματος Ασωμάτων στον Αλιάκμονα ποταμό.

Η διατομή της σήραγγας είναι πεταλοειδής και το κατάστρωμα αυτής μονοκλινές με εγκάρσια κλίση από 4.7 % προς τα αριστερά στις εισόδους των κλάδων έως 7% προς τα δεξιά στις εξόδους.

### **2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ**

#### **2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

Η υπό εξέταση περιοχή βρίσκεται στις νότιες παρυφές του Βερμίου και χαρακτηρίζεται ημιορεινή με υψόμετρα της τάξεως των 400 έως 650m. Παρουσιάζει έντονο και πολυσχιδές ανάγλυφο, συνέπεια τεκτονικών και λιθολογικών παραγόντων, με σημαντικές μορφολογικές εξάρσεις, ταπεινώσεις και χαραδρώσεις. Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι πυκνό και

**ΣΗΡΑΓΓΑ Σ4 - ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ  
ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΕ ΜΑΛΑΚΑ ΓΕΩΥΛΙΚΑ**

αποτελείται από χειμάρρους διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και ΝΔ-ΒΑ με απότομες κλίσεις στην κοίτη τους, γεγονός που τους καθιστά ορμητικούς κατά τις υγρές περιόδους του έτους. Όλοι οι επιφανειακοί άξονες αποστράγγισης καταλήγουν προς Α στον Αλιάκμονα ποταμό.

Οι εν λόγω περιοχές δομούνται γεωλογικά από τους σχηματισμούς του Αλπικού υποβάθρου (μάρμαρα, γνεύσιοι, γνευσιοσχιστόλιθοι, ασβεστολιθικοί σχιστόλιθοι κ.λ.π.) και για το λόγο αυτό ευνοείται η παρουσία απότομων φυσικών πρηνών. Οι περιοχές αυτές εντοπίζονται κυρίως στα φυσικά πρηνή της Μαύρης Χαράδρας προς Β τα οποία δομούνται γεωλογικά από το σχιστολιθικό σχηματισμό της ενότητας της Αλμωπίας και σε μικρότερη έκταση προς ΝΔ όπου και υφίστανται τα μάρμαρα της Πελαγονικής ενότητας. Στην ευρύτερη περιοχή του έργου και ειδικότερα στην έκταση που καταλαμβάνει το χωριό Λευκόπετρα και στην περίμετρο αυτού, εντοπίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν οι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι αναφέρονται ακολούθως με χρονολογική σειρά από τους παλαιότερους προς τους νεότερους :

- **Σχιστογνεύσιοι (Gn) και μάρμαρα (Mr)** που εντάσσονται στην Πελαγονική γεωτεκτονική ενότητα.
- **Ομάδα πετρωμάτων (Sch)** που αποτελείται από σχιστόλιθους, ασβεστιτικούς ψαμμίτες κ.λ.π. οι οποίοι εντάσσονται στην γεωτεκτονική ενότητα της Αλμωπίας. Οι συγκεκριμένοι σχηματισμοί εμφανίζονται σε εναλλαγές, είναι ελαφρά μεταμορφωμένοι και αποτελούν το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής στα βόρεια του χωριού της Λευκόπετρας. Παρουσιάζονται επωθημένοι επί των σχηματισμών της Πελαγονικής ενότητας.
- **Φερτά υλικά χαοτικής δομής (D).** Πρόκειται για σχηματισμό χαοτικής δομής που καταλαμβάνει όλη την πεδινή και λοφώδη έκταση του χωριού Λευκόπετρα. Αποτελείται από βραχώδη τεμάχια σχιστογνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και μαρμάρων διαφόρων διαστάσεων, τοποθετημένα χωρίς κανονική δομή και περιβαλλόμενα από αμμοιλύες και αργιλοϊλύες. Τα μάρμαρα και οι σχιστογνεύσιοι εμφανίζονται σε ορισμένες θέσεις με μορφή ζωνών ή φακών, όμως χωρίς κανονικότητα στον προσανατολισμό τους σε σχέση με το γενικό προσανατολισμό των πετρωμάτων του υποβάθρου. Τα γεωυλικά με τη χαοτική δομή προέρχονται από τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Πελαγονικής ενότητας και πιο συγκεκριμένα από τα μάρμαρα, τους γνευσίους και τους μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή του έργου. Η αρχική αιτία της σημερινής τους κατάστασης ήταν η επώθηση των πετρωμάτων της ενότητας της Αλμωπίας πάνω στα πετρώματα της Πελαγονικής ενότητας. Το μεγάλο αυτό τεκτονικό γεγονός συνετέλεσε στον έντονο κερματισμό των πετρωμάτων των δύο ενότητων στη ζώνη επαφής.

Εκτιμάται ότι τα γεωυλικά με τη χαοτική δομή που προέρχονται από την Πελαγονική ενότητα αποτελούν ένδειξη μιας πολύ παλαιάς κατολίθωσης στη ζώνη επώθησης χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η εκδοχή τα υλικά αυτά να αποτελούν παγετώδεις αποθέσεις. Ένδειξη που ενισχύει την εκδοχή της παγετώδους προέλευσης αποτελεί το γεγονός ότι τα γεωυλικά είναι εντελώς αδιαβήμισα και συνυπάρχουν όλα τα μεγέθη τεμαχίων, κυρίως σχιστογνευσίων και μαρμάρων. Σημειώνεται ότι κάτω από τα υλικά με τη χαοτική δομή και σε βάθος περίπου 70m εντοπίστηκαν λιμναία ιζήματα με λιγνιτικά στρώματα.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής ενδιαφέροντος μπορούν μακροσκοπικά να διακριθούν υδρογεωλογικά σε διαπερατούς, ημιδιαπερατούς και πρακτικώς αδιαπέρατους. Στους διαπερατούς-καρστικούς σχηματισμούς κατατάσσονται τα μάρμαρα (Mr). Οι ημιδιαπερατοί σχηματισμοί μπορούν να διακριθούν σε δύο υποκατηγορίες (i) χαμηλής και (ii)

**ΣΗΡΑΓΓΑ Σ4 - ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ  
ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΕ ΜΑΛΑΚΑ ΓΕΩΥΛΙΚΑ**

πολύ χαμηλής περατότητας. Στους σχηματισμούς χαμηλής περατότητας εντάσσονται τα πλευρικά κορήματα (Sc). Στους σχηματισμούς πολύ χαμηλής περατότητας κατατάσσονται τα υλικά χαοτικής δομής (D). Η κυκλοφορία του νερού είναι περιορισμένη έως αμελητέα λόγω της αργιλοϊλυώδους σύστασης του σχηματισμού ενώ αναμένονται πολύ χαμηλές περατότητες της τάξεως των 10<sup>-7</sup> έως 10<sup>-9</sup>m/sec. Ενδέχεται στον εν λόγω σχηματισμό να αναπτύσσονται επικρεμάμενοι υδροφόροι οριζόντες εποχιακής φύσεως και μικρής δυναμικότητας κυρίως κατά μήκος των φακών-ζωνών μαρμάρων αλλά και δευτερευόντως στις περισσότερες αποσαθρωμένες ζώνες των σχιστογενεσιών. Αυτού του τύπου η υδροφορία αναμένεται ιδιαίτερος ασθενής και ενίοτε εκδηλώνεται επιφανειακά με πηγές πολύ μικρής παροχής μικρότερης από 100lt/h. Πηγές αυτού του τύπου υφίστανται εποχιακά στο βόρειο τμήμα της υπό μελέτη περιοχής. Η παρουσία των επικρεμάμενων υδροφόρων οριζόντων παίζει σημαντικό ρόλο στη χαλάρωση των αργιλικών υλικών και κατ'επέκταση στην ευστάθεια των φυσικών πρανών, μέσω της αύξησης της πίεσης των πόρων και την αντίστοιχη μείωση της διατμητικής αντοχής. Εκτιμάται επίσης ότι παίζει κάποιο ρόλο στη διαμόρφωση των συνθηκών της υπόγειας υδραυλικής των πρανών και η παρουσία και λειτουργία του μικρού αρδευτικού αύλακα που βρίσκεται ψηλά στις νότιες κλιθείς του λόφου. Στους πρακτικώς αδιαπέρατους σχηματισμούς κατατάσσονται οι σχηματισμοί των γνευσίων-γνευσιοσχιστολίθων (Gn) και των σχιστολίθων-φυλλιδίων (Sch). Δεν αναμένεται η παρουσία υδροφόρων οριζόντων αλλά ούτε και υπόγεια κίνηση νερού, με εξαίρεση στα πιο αδρόκοκκα και επομένως πιο υδροπερατά μέλη των σχηματισμών (π.χ. ασβεστιτικοί ψαμμίτες εντός του Sch) ή στα επιφανειακά αποσαθρωμένα τμήματά τους.

Οι μετρηθείσες στάθμες που καταγράφηκαν από τις εν λόγω μετρήσεις δεν αφορούν έναν μόνιμο ενιαίο υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα αλλά επιμέρους επικρεμάμενους υδροφόρους οριζόντες εποχιακής φύσεως και μικρής δυναμικότητας που δημιουργούν μία ενιαία στάθμη εντός των πιεζομετρικών σωλήνων των ανορυχθεισών γεωτρήσεων. Οι εν λόγω επικρεμάμενοι υδροφόροι οριζόντες εκτιμάται ότι αναπτύσσονται κυρίως κατά μήκος των φακών μαρμάρων αλλά και δευτερευόντως εντός των πολύ αποσαθρωμένων ζωνών των σχιστογενεσιακών πετρωμάτων (βαθμού αποσάθρωσης V και VI κατά B.S).

**2.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ**

Κατά μήκος της σήραγγας αναμένεται, σύμφωνα με τα γεωλογικά δεδομένα, να συναντηθεί υλικό χαοτικής δομής, αποτελούμενο από καστανέρυθρες αργιλοϊλίες και αμμοϊλίες, αναμεμιγμένο με τεμάχια διαφόρων διαστάσεων μαρμάρων και σχιστογενεσιών, χωρίς συγκεκριμένη δομή και κανονικότητα στον προσανατολισμό σε σχέση με τα πετρώματα του υποβάθρου. Επίσης, είναι ενδεχόμενο να συναντηθεί λευκό, λευκότεφρο μάρμαρο, κατακερματισμένο, καρστικοποιημένο, με καρστικά έγκοιλα ή ζώνες πάχους αρκετών cm, συνήθως πληρωμένες με αργιλικό υλικό. Το υλικό της χαοτικής δομής διαφοροποιείται κατά θέση ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται και τα γεωμηχανικά του χαρακτηριστικά.

Στο ανωτέρω πλαίσιο διάκρισης της βραχώμαζας στην περιοχή της σήραγγας σε επιμέρους κατηγορίες, προσδιορίστηκαν τρεις βασικές κατηγορίες, οι οποίες είναι οι εξής : Σ4/1, Σ4/2 και Σ4/3. Τα κύρια χαρακτηριστικά βάσει των οποίων υπάγονται οι συναντώμενοι γεωλογικοί σχηματισμοί σε κάθε μία εκ των ανωτέρω κατηγοριών είναι τα ακόλουθα:

### **2.2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Σ4/1**

Μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένη βραχώμαζα. Μεσοπλακώδης έως λεπτοπλακώδης σχηματισμός μαρμάρου, ισχυρά κατακερματισμένος και καρστικοποιημένος. Οι επιφάνειες της στρώσης ή του κυρίου συστήματος ασυνεχειών έχουν σημαντικό μήκος και είναι πληρωμένες με υλικά πλήρωσης διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης. Σημαντική χαλάρωση περιμετρικά της εκσκαφής και σχηματισμός μικρού μεγέθους σφηνών. Η παρουσία νερού ευνοεί τις αποκολλήσεις και τις καταπτώσεις της βραχώμαζας. Απαραίτητη η ανάπτυξη του εν λόγω σχηματισμού σε ικανό βάθος (>8m) πέραν της τελικής περιμέτρου εκσκαφής της συνολικής διατομής. Ανάπτυξη ζώνης παραμόρφωσης περιμετρικά της εκσκαφής χωρίς την έγκαιρη εφαρμογή των μέτρων υποστήριξης. Η σύγκλιση ολοκληρώνεται με μικρούς ρυθμούς μέσα σε λίγες ημέρες.

### **2.2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Σ4/2**

Μέτρια έως εντελώς αποσαθρωμένη βραχώμαζα. Γνευσιοσχιστολιθικός σχηματισμός λεπτοπλακώδους διαχωρισμού, πολύ έντονα κερματισμένος. Οι επιφάνειες των ασυνεχειών έχουν πολύ μεγάλο μήκος και είναι ανοικτές ή πληρωμένες με υλικά ποικίλης κοκκομετρίας και ορυκτολογικής σύστασης. Πιθανή η παρουσία τοπικά θραυσμάτων ακανόνιστου μεγέθους ή μαρμάρου. Πιθανή η παρουσία ρηξιγενών ή διατμητικών ζωνών με ζώνη επιρροής σημαντικού εύρους και πληρωμένων με πλαστικά υλικά. Η παρουσία νερού ευνοεί φαινόμενα καταπτώσεων. Απαραίτητη η ανάπτυξη του εν λόγω σχηματισμού σε ικανό βάθος (>8m) πέραν της τελικής περιμέτρου εκσκαφής της συνολικής διατομής. Εκτεταμένη ζώνη παραμόρφωσης της βραχώμαζας χωρίς την έγκαιρη εφαρμογή των μέτρων υποστήριξης. Γρήγορος ρυθμός εκδήλωσης των συγκλίσεων.

### **2.2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Σ4/3**

Σχηματισμός εδαφικής υφής με πιθανότητα εμφάνισης ογκολίθων βράχου. Υλικό χαοτικής δομής αποτελούμενο από καστανέρυθρες αργιλοίλυες και αμμοίλυες, αναμεμιγμένο με τεμάχια διαφόρων διαστάσεων μαρμάρων και σχιστογνευσίων. Εφαρμογή στις περιπτώσεις μη ικανοποίησης των κριτηρίων χαρακτηρισμού των κατηγοριών Σ4/1 και Σ4/2. Άμεση και εκτεταμένη παραμόρφωση. Ανάπτυξη εκτεταμένων ζωνών αστοχίας περί την εκσκαφή χωρίς την έγκαιρη εγκατάσταση των μέτρων υποστήριξης. Πολύ γρήγορος ρυθμός εκδήλωσης της σύγκλισης. Αστάθεια μετώπου εκσκαφής χωρίς επαρκή προήγηση των δοκών προπορείας.

Δεδομένου ότι στον προσδιορισμό της κάθε κατηγορίας βραχώμαζας, υπεισέρχεται και η έκταση ανάπτυξης των αντίστοιχων γεωλογικών σχηματισμών, από την περίμετρο της εκσκαφής, προκειμένου να πιστοποιείται επί τόπου η κάθε κατηγορία βραχώμαζας, θα ορύσσονται ερευνητικά διατρήματα στην περίμετρο της εκσκαφής, μήκους 15m. Ειδικότερα, θα πρέπει να ορύσσονται κατά την προχώρηση της άνω ημιδιατομής τέσσερα κεκλιμένα ερευνητικά διατρήματα στην οροφή, στις παρειές και στο δάπεδο κάθε 8m προχώρησης.

## **3. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

Προκειμένου να προσδιορισθούν οι αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων προσομοίωσης της ποιότητας της βραχώμαζας, για κάθε κατηγορία,

**ΣΗΡΑΓΓΑ Σ4 - ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ  
ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΕ ΜΑΛΑΚΑ ΓΕΩΛΙΚΑ**

συναξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα της ανωτέρω στατιστικής επεξεργασίας και τα αποτελέσματα των υπολογισμών για το εύρος των τιμών του δείκτη GSI. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του δείκτη GSI για το σύνολο του εύρους των τεχνικογεωλογικών συνθηκών και οι ελάχιστες αντιπροσωπευτικές τιμές μηχανικών ιδιοτήτων σχεδιασμού δίδονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα 1.

*Πίνακας 1. Αντιπροσωπευτικές γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής της σήραγγας Σ4.*

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	Σ4/1	Σ4/2	Σ4/3
C (kPa)	800-1150	160-320	20-40
Φ (ο)	27-33	24-32	16-24
E (MPa)	1600-5000	400-950	106-188
σ <sub>ci</sub> (MPa)	26	9	2
σ <sub>cm</sub> (MPa)	3-4	0,51-1,16	0,05-0,11
σ <sub>tm</sub> (MPa)	0	0	0
GSI	30-50	15-30	5-15
mI	12 (9)	15 (20)	15 (10)
Ενδεικτική αντιστοιχία με RMR	III - IV	IV - V	V*

*\* Ποιότητα βραχόμαζας στα όρια εφαρμογής του συστήματος ταξινόμησης ή μη δυνάμενη να ταξινομηθεί με βάση το εν λόγω σύστημα γεωμηχανικής ταξινόμησης.*

Βάσει των αντιπροσωπευτικών τιμών των κρίσιμων γεωτεχνικών παραμέτρων που περιέχονται στον εν λόγω πίνακα για κάθε συμβατική κατηγορία εκσκαφής και άμεσης αντιστήριξης και υπεισέρχονται στην τασική ανάλυση της υπόγειας εκσκαφής, διενεργήθηκαν αναλυτικές διαστασιολογήσεις των αντίστοιχων τυπικών διατομών άμεσης υποστήριξης και μόνιμης επένδυσης.

Προκειμένου συνεπώς να μελετηθεί η στατική συμπεριφορά της εκσκαφής και των συστημάτων προσωρινής αντιστήριξης και να διαστασιολογηθούν κατάλληλα τα επιμέρους μέτρα ώστε να επαρκούν στατικά στις αντίστοιχες απαιτήσεις υπό τις δυσμενέστερες συνθήκες φόρτισης διενεργήθηκαν οι τασικές αναλύσεις ευστάθειας όσον αφορά στην εκσκαφή και στην άμεση υποστήριξη για όλες τις κατηγορίες βραχόμαζας με θεώρηση του μέγιστου πάχους υπερκειμένων των 40 μέτρων.

#### **4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

Προκειμένου να μελετηθεί η στατική συμπεριφορά της βραχόμαζας για το εύρος των συνθηκών που αναμένεται ότι θα συναντηθούν κατά την κατασκευή του έργου, διενεργήθηκαν αναλύσεις με χρήση μεθόδων ελαστοπλαστικής ανάλυσης (μη γραμμικής) της στατικής συμπεριφοράς της ορυσσόμενης βραχόμαζας. Πέραν του καθορισμού των χαρακτηριστικών διαστάσεων των μέτρων άμεσης υποστήριξης, κρίσιμο παράγοντα για την αποτελεσματική και επιτυχή αντιμετώπιση των όποιων συνθηκών αστάθειας εκδηλωθούν, αποτελεί και ο χρόνος τοποθέτησής τους, ο οποίος σχετίζεται άμεσα με το επιτρεπόμενο μέγεθος των μετακινήσεων και παραμορφώσεων της βραχόμαζας, με τη μηχανική συμπεριφορά τους ως προς το ρυθμό

εκδήλωσης των συγκλίσεων και με το μέγεθος των τάσεων που αναπτύσσονται στην περίμετρο της εκσκαφής παράλληλα με την εξέλιξη της χαλάρωσης της βραχόμαζας. Υπό την ανωτέρω θεώρηση πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός των μέτρων άμεσης υποστήριξης και ο καθορισμός των θέσεων τοποθέτησής τους.

Στο πλαίσιο των παραπάνω, διενεργήθηκε διεξοδική ελαστοπλαστική τασική ανάλυση της συμπεριφοράς των κατηγοριών βραχόμαζας και των μέτρων άμεσης υποστήριξης για την αντίστοιχη γεωμετρία της εκσκαφής, με αναλυτική θεώρηση των φάσεων εκσκαφής και τοποθέτησης των μέτρων άμεσης υποστήριξης. Οι ελαστοπλαστικές τασικές αναλύσεις διενεργήθηκαν στο πλαίσιο των αρχών που διατυπώνονται ανωτέρω, τόσο με τη χρήση του προγράμματος H/Y PHASE2W όσο και με το πρόγραμμα H/Y SOFiSTiK. Ειδικότερα, με το πρόγραμμα H/Y PHASE2W διενεργήθηκε η προσομοίωση των φάσεων εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας, για όλες τις κατηγορίες βραχόμαζας, προκειμένου να μελετηθεί η συμπεριφορά της βραχόμαζας και των τυπικών διατομών υποστήριξης. Βάσει των αποτελεσμάτων της διενεργηθείσας τασικής ανάλυσης με το ανωτέρω πρόγραμμα H/Y, προσομοιώθηκαν κατάλληλα οι γεωτεχνικές συνθήκες και η αλληλουχία των φάσεων κατασκευής με το πρόγραμμα H/Y SOFiSTiK κατά τρόπον ώστε να διαμορφώνονται παρόμοιες συνθήκες φόρτισης, αστοχίας της βραχόμαζας και παραμόρφωσης, προκειμένου να διενεργηθεί ακολούθως και για κάθε κατηγορία βραχόμαζας η διαστασιολόγηση του φορέα της μόνιμης επένδυσης.

#### 4.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ K

Λαμβάνοντας υπόψη τα τεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής κατασκευής του έργου, το είδος των γεωλογικών σχηματισμών που εντοπίζονται στην περιοχή του έργου, τη διαμόρφωση του αναγλύφου, το βάθος όρυξης της σήραγγας, ως και τα αποτελέσματα των σχετικών υπολογισμών, εκτιμήθηκε ότι ο συντελεστής  $k$  θα λαμβάνει τιμή περίπου 1.00. Ωστόσο όμως τονίζεται ιδιαίτερα η μεγάλη ευαισθησία των τασικών αναλύσεων ως προς το εν λόγω μέγεθος. Κρίνεται συνεπώς απαραίτητο κατά τη φάση της κατασκευής να καταγράφονται κατάλληλα στοιχεία ώστε να διαπιστώνεται έγκαιρα απόκλιση των επί τόπου συνθηκών από την εν λόγω παραδοχή ώστε να διενεργηθεί κατάλληλη προσαρμογή των τασικών αναλύσεων στα αποτελέσματα των δοκιμών.

Τονίζεται ωστόσο ότι ιδιαίτερα για πετρώματα με πολύ μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά ορισμένοι συγγραφείς (E. Hoek κ.α.) θεωρούν ότι αυτά δεν είναι δυνατόν να υπόκεινται σε μεγάλες διαφορές τάσεων και συνεπώς ενδεχομένως να χαρακτηρίζονται από υδροστατικό πεδίο τάσεων γεγονός που ισχυροποιεί περαιτέρω την ως άνω επιλογή.

#### 4.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Συγκεντρωτικά, οι παράμετροι προσομοίωσης των συμβατικών κατηγοριών της βραχόμαζας που χρησιμοποιήθηκαν για τη διαμόρφωση των αντίστοιχων ομοιωμάτων, τόσο στον κώδικα H/Y SOFiSTiK όσο και στον κώδικα H/Y PHASE2W δίδονται στον ακόλουθο πίνακα 2.

**ΣΗΡΑΓΓΑ Σ4 - ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ  
ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΕ ΜΑΛΑΚΑ ΓΕΩΥΛΙΚΑ**

Πίνακας 2 Αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων προσομοίωσης των συμβατικών κατηγοριών εφαρμογής εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης σήραγγας.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	Σ4/1	Σ4/2	Σ4/3
<b>GSI</b>	40	20	10
<b>Ενδεικτική αντιστοιχία με RMR</b>	45	25	15
<b>C (kPa)</b>	800-1150	160	30
<b>Φ (ο)</b>	27-33	24	20
<b>E (MPa)</b>	1600	400	140
<b>σ<sub>ci</sub> (MPa)</b>	26	9	2
<b>σ<sub>cm</sub> (MPa)</b>	3-4	0,51-1,16	0,05-0,11
<b>σ<sub>tm</sub> (MPa)</b>	0	0	0
<b>v</b>	0.25	0.25	0.25
<b>m<sub>l</sub></b>	12 (9)	15 (20)	15 (10)
<b>m</b>	1.683	1.029	0.72
<b>s</b>	0.0022	0.00024	0.0000791
<b>m'</b>	0.236	0.07	0.034
<b>s'</b>	0.000104	0.00000373	0.000000704

### 4.3 ΚΩΔΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στο πλαίσιο των ανωτέρω, για τη σήραγγα Σ4, η οποία προβλέπεται βάσει των διαθέσιμων γεωλογικών και γεωτεχνικών δεδομένων να κατασκευαστεί κυρίως εντός υλικών χαμηλών μηχανικών χαρακτηριστικών (σχιστογενεσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και μαρμάρων διαφόρων διαστάσεων) χαστικής δομής, κρίθηκε απαραίτητη η συνδυασμένη εφαρμογή των προγραμμάτων PHASE2W και SOFiSTiK. Ειδικότερα, προκειμένου να επιτευχθεί η αξιόπιστη προσομοίωση των γεωτεχνικών συνθηκών και της συμπεριφοράς της βραχώμαζας και των μέτρων άμεσης υποστήριξης και κυρίως ο προσδιορισμός των εντατικών μεγεθών που ασκούνται αρχικώς επί της άμεσης υποστήριξης και ακολούθως επί της μόνιμης επένδυσης, βάσει των οποίων διενεργούνται οι αντίστοιχες διαστασιολογήσεις, κρίθηκε αναγκαίο να αξιοποιηθούν κατάλληλα τα συγκριτικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα εν λόγω προγράμματα Η/Υ.

Σημειώνεται ότι, τα δύο προγράμματα αλληλοσυμπληρώνονται, δεδομένου ότι το PHASE2W χαρακτηρίζεται ως αξιόπιστο γεωμηχανικό εργαλείο ανάλυσης (με το οποίο προσομοιώνονται τα βήματα εκσκαφής και τοποθέτησης των μέτρων άμεσης υποστήριξης) και το SOFiSTiK αποτελεί εξειδικευμένο πρόγραμμα στατικού υπολογισμού της άμεσης και - κυρίως - της μόνιμης επένδυσης (το οποίο είναι εφοδιασμένο με "βιβλιοθήκη" όλων των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν π.χ. σκυρόδεμα C20, οπλισμός S500 και έχει τη δυνατότητα πλήρους διαστασιολόγησης όλων των διατομών κατά DIN 1045 ή EC2, ικανοποιώντας όλους τους απαιτούμενους ελέγχους σύμφωνα με τους κανονισμούς - έλεγχος διάτμησης, έλεγχος ρηγμάτωσης κλπ.).

## **4.4 ΣΤΑΔΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

Στο πλαίσιο των ανωτέρω και προκειμένου να επιτευχθεί κατά το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση των συνθηκών που θα διαμορφωθούν επί τόπου κατά τη φάση διάνοιξης της σήραγγας, καθορίστηκε συγκεκριμένη βηματική διαδικασία τασικής προσομοίωσης, η οποία δύναται να διακριθεί σε ορισμένα βασικά στάδια. Τα βασικά στάδια που ακολουθήθηκαν κατά την προσομοίωση και τη διαστασιολόγηση των μέτρων άμεσης υποστήριξης και μόνιμης επένδυσης της σήραγγας Σ4 είναι τα ακόλουθα :

### **4.4.1 ΣΤΑΔΙΟ 1**

Καθορισμός των κατηγοριών βραχόμαζας που αναμένεται να αντιμετωπισθούν. Κατηγοριοποίηση κατά GSI και καθορισμός των αντιπροσωπευτικών τιμών των γεωτεχνικών παραμέτρων για κάθε κατηγορία βραχόμαζας που υπεισέρχονται στην ανάλυση (c, φ, E, ν, ειδικό βάρος κλπ.).

### **4.4.2 ΣΤΑΔΙΟ 2**

Καθορισμός των φάσεων εκσκαφής και της αλληλουχίας τοποθέτησης των μέτρων άμεσης υποστήριξης. Καθορισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών των διατομών άμεσης υποστήριξης (εκτοξ. σκυρόδεμα, αγκύρια, πλαίσια, δοκοί προπορείας κλπ.).

### **4.4.3 ΣΤΑΔΙΟ 3**

Προσδιορισμός της χαρακτηριστικής καμπύλης τάσεων - παραμορφώσεων για κάθε κατηγορία βραχόμαζας με τη διενέργεια ελαστοπλαστικών αναλύσεων. Καθορισμός του μεγέθους των παραμορφώσεων που συντελούνται πριν από τη διενέργεια της εκσκαφής σε κάθε επιμέρους φάση και στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της εκσκαφής και της τοποθέτησης των αντίστοιχων μέτρων άμεσης υποστήριξης.

### **4.4.4 ΣΤΑΔΙΟ 4**

Ανάπτυξη ομοιωμάτων προσομοίωσης με τον κώδικα H/Y PHASE2W για κάθε κατηγορία βραχόμαζας, με θεώρηση των συγκεκριμένων φάσεων εκσκαφής και τοποθέτησης των μέτρων άμεσης υποστήριξης, για τον προσδιορισμό των διαμορφούμενων συνθηκών στην περίμετρο της σήραγγας με την ολοκλήρωση των εργασιών εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης. Διερεύνηση της επιρροής της εκσκαφής του ενός κλάδου στο δεύτερο κλάδο. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων προσομοίωσης ως προς την επάρκεια των μέτρων υποστήριξης, υπολογισμός συγκλίσεων και εντατικών μεγεθών, προσδιορισμός απαιτούμενου οπλισμού σε συγκεκριμένες περιοχές τους δακτυλίου των μέτρων άμεσης υποστήριξης. Εύρεση της ζώνης πλαστικοποίησης περιμετρικά της εκσκαφής.

### **4.4.5 ΣΤΑΔΙΟ 5**

Ανάπτυξη ομοιωμάτων προσομοίωσης με τον κώδικα H/Y SOFiSTiK για κάθε κατηγορία βραχόμαζας, με θεώρηση των συγκεκριμένων φάσεων εκσκαφής και τοποθέτησης των μέτρων άμεσης υποστήριξης, κατά τρόπον ώστε οι διαμορφούμενες συνθήκες σε κάθε φάση



κατασκευής να ταυτίζονται με τις συνθήκες (συγκλίσεις οροφής και δαπέδου, εύρος ζώνης πλαστικοποίησης και εντατική κατάσταση διατομών άμεσης υποστήριξης) που υπολογίζονται από την τασική ανάλυση με τον κώδικα H/Y PHASE2W.

#### 4.4.6 ΣΤΑΔΙΟ 6

Καθορισμός των συνδυασμών δράσεων (μόνιμα φορτία, τυχηματικά φορτία και φορτία κατασκευής) που θα ασκηθούν επί της μόνιμης επένδυσης. Καθορισμός της διαδικασίας ανάπτυξης των εντατικών μεγεθών που διαμορφώνονται στην περίμετρο της εκσκαφής με την ολοκλήρωση των εργασιών εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης επί της μόνιμης επένδυσης.

#### 4.4.7 ΣΤΑΔΙΟ 7

Διαστασιολόγηση του φορέα μόνιμης επένδυσης για κάθε κατηγορία βραχόμαζας, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλουχία των φάσεων εκσκαφής και τοποθέτησης των μέτρων άμεσης υποστήριξης και συγκεκριμένους συνδυασμούς δράσεων, με εφαρμογή του σχετικού κανονισμού EC2, ως και έλεγχος σε διάτμηση και ρηγμάτωση αυτών βάσει των σχετικών ελληνικών κανονισμών.

Σημειώνεται ότι στα εν λόγω ομοιώματα θεωρήθηκε ο ένας εκ των δύο κλάδων της σήραγγας Σ4, δεδομένου ότι με βάση τα αποτελέσματα ομοιώματος προσομοίωσης που αναπτύχθηκε για την κατηγορία βραχόμαζας Σ4/3, με εφαρμογή των ανωτέρω αρχών, διαπιστώθηκε ότι για τη μικρότερη απόσταση μεταξύ των δύο κλάδων, που υφίσταται κατά μήκος του υπογείου τμήματος της σήραγγας, δεν υφίσταται αξιοσημείωτη επιρροή του ενός κλάδου λόγω της εκσκαφής του δεύτερου. Κατά συνέπεια δεν κρίθηκε αναγκαία η προσομοίωση σε όλα τα ομοιώματα και των δύο κλάδων της σήραγγας.

Όπως αναφέρεται και στα προηγούμενα, προκειμένου να προσεγγισθούν αξιόπιστα και με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση τα εντατικά μεγέθη βάσει των οποίων θα διενεργηθεί η διαστασιολόγηση των φορέων της μόνιμης επένδυσης, με χρήση του κώδικα H/Y SOFiSTiK, ο οποίος παρέχει τη δυνατότητα στατικής ανάλυσης φορέων από σπλισμένο σκυρόδεμα με εφαρμογή των προβλεπόμενων κανονισμών, κρίθηκε απαραίτητος και ως ο πλέον ενδεδειγμένος για τις δεδομένες γεωτεχνικές συνθήκες, ο συνδυασμός του κώδικα H/Y PHASE2W και του κώδικα H/Y SOFiSTiK. Προκειμένου να εξασφαλισθεί ότι το μέγεθος των εντατικών μεγεθών που θα αναπτυχθούν στην περίμετρο της εκσκαφής με την ολοκλήρωση των εργασιών εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης και το οποίο προσεγγίζεται με μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια με την τασική ανάλυση που διενεργείται με τον κώδικα H/Y PHASE2W, θα είναι το ίδιο με αυτό βάσει του οποίου θα διενεργηθεί η διαστασιολόγηση του φορέα της τελικής επένδυσης με τον κώδικα H/Y SOFiSTiK, συγκρίνονται τα κρίσιμα μεγέθη αξιολόγησης των τασικών αναλύσεων που διενεργήθηκαν με τους εν λόγω κώδικες H/Y.

## 5. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Σ4/3 (γεωυλικά χαοτικής δομής)

Ακολουθεί εκτεταμένη περιγραφή της κατηγορίας Σ4/3 η οποία προβλέπεται να αντιμετωπιστεί στο μεγαλύτερο τμήμα της σήραγγας και στη οποία εφαρμόζονται τα ισχυρότερα μέτρα υποστήριξης.

## **5.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ**

Σχηματισμός εδαφικής υφής με πιθανότητα εμφάνισης ογκολίθων βράχου. Υλικό χαοτικής δομής αποτελούμενο από καστανέρυθρες αργιλοιλύες και αμμοιλύες, αναμεμιγμένο με τεμάχια διαφόρων διαστάσεων μαρμάρων και σχιστογενεσίων. Εφαρμογή στις περιπτώσεις μη ικανοποίησης των κριτηρίων εφαρμογής των κατηγοριών Σ4/1 και Σ4/2.

## **5.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΑΣΕΩΝ - ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ**

Άμεση και εκτεταμένη παραμόρφωση. Ανάπτυξη εκτεταμένων ζωνών αστοχίας περί την εκσκαφή χωρίς την έγκαιρη εγκατάσταση των μέτρων υποστήριξης. Πολύ γρήγορος ρυθμός εκδήλωσης της σύγκλισης. Αστάθεια μετώπου εκσκαφής χωρίς επαρκή προήγηση των δοκών προπορείας.

## **5.3 ΕΚΣΚΑΦΗ**

Μηχανική εκσκαφή. Εφαρμογή κλειστής διατομής. Τμηματική διάνοιξη της διατομής με προπορεία του άνω μισού (θόλου) σε πρώτη φάση, με διαμόρφωση του προσωρινού πυθμένα ως ανεστραμμένο τόξο. Η εκσκαφή του κάτω μισού της διατομής (βαθμίδα) ακολουθεί σε δεύτερη φάση, με χρήση μηχανικών μέσων και ακολουθεί η εκσκαφή της περιοχής του πυθμένα ανεστραμμένου τόξου. Ενδεικτικό μέσο βήμα προχώρησης άνω ημιδιατομής 1,5m, βαθμίδας 2,0m και ανεστραμμένου τόξου οριστικού πυθμένα 2,0m.

## **5.4 ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ**

Συστηματική χρήση εκτοξευμένου σκυροδέματος στην άνω ημιδιατομή, στις παρειές και στο οριστικό ανεστραμμένο τόξο της σήραγγας, στατικού πάχους 25cm, εφαρμοζόμενου σε τέσσερις στρώσεις, εκ των οποίων οι τρεις πρώτες με περιεκτικότητα σε μεταλλικές ίνες 45kg/m<sup>3</sup>, καθώς και στο προσωρινό ανεστραμμένο τόξο, στατικού πάχους 15cm, εφαρμοζόμενου σε δύο στρώσεις με περιεκτικότητα σε μεταλλικές ίνες 45kg/m<sup>3</sup>.

Συστηματική τοποθέτηση δύο στρώσεων μεταλλικού πλέγματος τύπου T188 στο προσωρινό ανεστραμμένο τόξο της άνω ημιδιατομής και στις περιοχές συναρμογής με τις παρειές, σε συνδυασμό με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, και μίας στρώσης στις περιοχές συναρμογής των παρειών της βαθμίδας με το οριστικό ανεστραμμένο τόξο.

Συστηματική τοποθέτηση ράβδων οπλισμού Φ20/10 στις περιοχές σύνδεσης των παρειών της άνω ημιδιατομής και της βαθμίδας με το προσωρινό και οριστικό ανεστραμμένο τόξο.

Συστηματική τοποθέτηση μεταλλικών πλαισίων τύπου IPB 160 στο σύνολο της διατομής με συχνότητα ενός πλαισίου ανά μήκος προχώρησης 1.0m.

Συστηματική εφαρμογή διατομών με τοποθέτηση χαλύβδινων δοκών προπορείας για την προΐσχυροποίηση και σταθεροποίηση του περιβάλλοντος πετρώματος στην περίμετρο της άνω ημιδιατομής και της βαθμίδας. Στις εν λόγω διατομές, οι οποίες θα εφαρμόζονται ανά οκτώ μέτρα προχώρησης, θα τοποθετούνται τουμποσωλήνες Φ114.3, πάχους 7.1mm, S500, μήκους

**ΣΗΡΑΓΓΑ Σ4 - ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ  
ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΕ ΜΑΛΑΚΑ ΓΕΩΥΛΙΚΑ**

12.00m, γομούμενων με τσιμεντοκονίαμα σε όλο το μήκος τους, τοποθετούμενων υπό γωνία περίπου 5ο ως προς την οριζόντιο, σε εγκάρσια αξονική απόσταση 0.50m.

Διαμόρφωση πυρήνα και συστηματική χρήση ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο μέτωπο και στις παρειές του πυρήνα της άνω ημιδιατομής, στατικού πάχους 5cm, εφαρμοζόμενου σε μία στρώση.

**5.5 ΣΕΙΡΑ ΦΑΣΕΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΒΗΜΑ  
ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ****A. ΑΝΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ****ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ**

1. Τοποθέτηση δοκών προπορείας. Επανάληψη της εργασίας κάθε 5 - 6 βήματα προχώρησης (μήκος 8 m)	X
2. Εκσκαφή άνω ημιδιατομής. Περιμετρική ζώνη και αντίστοιχα τμήματα πυρήνα και προσωρινού ανεστραμμένου τόξου	X
3. Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων	X
4. 1η στρώση εκτ. ινοπλισμένου σκυροδέματος 5εκ. στην περίμετρο της άνω ημιδιατομής, στο μέτωπο και στον πυρήνα	X
5. 1η στρώση εκτ. ινοπλισμένου σκυροδέματος 5εκ. στο προσωρινό ανεστραμμένο τόξο, στην περιοχή που αντιστοιχεί στο βήμα προχώρησης X	X
6. Τοποθέτηση πλέγματος T188 στις θέσεις έδρασης του πλαισίου και τοποθέτηση ράβδων οπλισμού	X
7. Τοποθέτηση μεταλλικών πλαισίων IPB 160	X
8. 2η στρώση εκτοξευόμενου ινοπλισμένου σκυροδέματος 8εκ. στην περίμετρο της άνω ημιδιατομής	X-1
9. Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188 και 2ης στρώσης εκτ. ινοπλισμένου σκυροδέματος 5εκ. στο προσωρινό ανεστραμμένο τόξο, στην περιοχή που αντιστοιχεί στο βήμα προχώρησης X-1	X-1
10. 3η στρώση εκτοξευόμενου ινοπλισμένου σκυροδέματος 8εκ. στην περίμετρο της άνω ημιδιατομής	X-2
11. Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188 και 3ης στρώσης εκτ. ινοπλισμένου σκυροδέματος 5εκ. στο προσωρινό ανεστραμμένο τόξο, στην περιοχή που αντιστοιχεί στο βήμα προχώρησης X-2	X-2
12. Διαμόρφωση προσωρινού δαπέδου εργασίας στην άνω ημιδιατομή με μερική πλήρωση του ανεστραμμένου τόξου στην περιοχή που αντιστοιχεί στο βήμα προχώρησης X-3	X-3
13. 4η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος 4εκ. στην περίμετρο της άνω ημιδιατομής	X-3
14. Τελική στρώση εκτ. σκυροδέματος εξομάλυνσης στην περίμετρο της άνω ημιδιατομής	X-4

ΣΗΡΑΓΓΑ Σ4 - ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ  
ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΕ ΜΑΛΑΚΑ ΓΕΩΥΛΙΚΑ

## Β. ΚΑΤΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ

	ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ
1. Τοποθέτηση δοκών προπορείας. Επανάληψη της εργασίας κάθε 5 - 6 βήματα προχώρησης (μήκος 8 m)	Ψ
2. Εκσκαφή βαθμίδα	Ψ
3. Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων	Ψ
4. 1η στρώση εκτοξευόμενου ινοπλισμένου σκυροδέματος 5εκ.	Ψ
5. Τοποθέτηση πλαισίων IPB160	Ψ
6. 2η στρώση εκτοξευόμενου ινοπλισμένου σκυροδέματος 8εκ.	Ψ-1
7. 3η στρώση εκτοξευόμενου ινοπλισμένου σκυροδέματος 8εκ.	Ψ-2
8. 4η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος 4εκ.	Ψ-3
9. Τελική στρώση εκτ. σκυροδέματος εξομάλυνσης	Ψ-4

## Γ. ΑΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟ ΤΟΞΟ ΠΥΘΜΕΝΑ

	ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ
1. Εκσκαφή ανεστραμμένου τόξου πυθμένα	
2. 1η στρώση εκτοξευόμενου ινοπλισμένου σκυροδέματος 5εκ.	Z
3. Τοποθέτηση μεταλλικού πλέγματος στα σημεία έδρασης του πλαισίου	Z
4. Τοποθέτηση πλαισίου IPB 160	Z
5. 2η στρώση εκτοξευόμενου ινοπλισμένου σκυροδέματος 10εκ.	Z-1
6. 3η στρώση εκτοξευόμενου ινοπλισμένου σκυροδέματος 10εκ.	Z-2
7. Προσωρινή επίχωση πυθμένα	Z-3

\* = ανεξαρτήτως βήματος προχώρησης

Τα βήματα X, Y είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους

Τα βήματα Y, Z είναι εξαρτημένα μεταξύ τους.

## 6. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΑ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

### 6.1 ΟΡΙΣΜΟΙ

Ως δράσεις θεωρούνται :

- Το ίδιο βάρος του φορέα και τα εξωτερικώς επιβαλλόμενα φορτία μόνιμα και κινητά.
- Οι εξαναγκασμένες παραμορφώσεις του φορέα από μεταβολές θερμοκρασίας, συστολή ξήρανσης, ερπυσμό και θερμότητα ενυδάτωσης.
- Αδρανειακές δυνάμεις οφειλόμενες σε ταλάντωση του φορέα από κρουστικές δυνάμεις (λόγω έκρηξης, συνεπεία ατυχήματος εκρηκτικών υλών μεταφερομένων διά της σήραγγας ή λόγω πρόσκρουσης οχήματος).

## 6.2 ΔΡΑΣΕΙΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Οι αντιπροσωπευτικές τιμές των δράσεων της μελέτης είναι οι ακόλουθες :

### 6.2.1 ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ

#### Ίδιο βάρος φορέα (G)

Διενεργήθηκε αυτόματη γένεση του ίδιου βάρους των στοιχείων, βάση της διατομής τους και των ειδικών βαρών.

#### Φορτία βραχόμαζας (JV)

Τα κατακόρυφα και οριζόντια φορτία (φορτία λόγω χαλάρωσης της βραχόμαζας) που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη προέκυψαν ως αποτέλεσμα υπολογιστικών μεθόδων μεγάλης ακρίβειας (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων) και συγκεκριμένα της ελαστοπλαστικής ανάλυσης που διενεργήθηκε στη φόρτιση LC9 κατά την προσομοίωση που διενεργήθηκε με το πρόγραμμα SOFiSTiK. Για τη σύνδεση του φορέα με τα πεπερασμένα στοιχεία της βραχόμαζας τόσο στην περιοχή έδρασης του φορέα, όσο και στις παρειές χρησιμοποιήθηκαν μη γραμμικά ελατήρια τα οποία δεν παραλαμβάνουν εφελκυσμό. Η τιμή των ακτινικών ελατηρίων λήφθηκε αρκετά υψηλή, η οποία προϋποθέτει την πλήρη επαφή μεταξύ του φορέα και της βραχόμαζας. Γενικώς θεωρήθηκε επί το δυσμενέστερο μηδενική τιμή των εφασπτομενικών ελατηρίων λόγω της ύπαρξης της μεμβράνης αποστράγγισης.

#### Φορτία λόγω σφηνών (Wedges)

Πέραν των φορτίων που προέκυψαν από την ελαστοπλαστική ανάλυση εξαιτίας της χαλάρωσης της βραχόμαζας δεν λήφθηκαν υπόψη επιπρόσθετα φορτία λόγω σφηνών.

#### Μόνιμο φορτίο επίχωσης ανάστροφου πυθμένα (Qinv)

Σε ολόκληρη τη σήραγγα προβλέπεται να κατασκευαστεί μόνιμη επένδυση με ανάστροφο πυθμένα και επομένως λαμβάνεται υπόψη μόνιμο φορτίο επίχωσης του ανάστροφου πυθμένα, ίσο προς  $3.2 \cdot 25 \text{ KN/m}^2 = 80 \text{ KN/m}^2$ .

### 6.2.2 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ (H)

Προκειμένου να καλυφθεί η πιθανότητα μη ικανοποιητικής λειτουργίας του συστήματος υδατοστεγάνωσης - αποστράγγισης κατά τη λειτουργία του έργου στο μέλλον, λήφθηκε υπόψη υδροστατική πίεση ίση προς 20 m νερού, ήτοι  $200 \text{ KN/m}^2$ , η οποία δρα ακτινικά σε ολόκληρο το φορέα. Λαμβάνοντας υπόψη τα υδρολογικά στοιχεία στην περιοχή της σήραγγας, η ανωτέρω θεώρηση για την υδροστατική πίεση καλύπτει τη δυσμενέστερη πιθανότητα υδροστατικής πίεσης λόγω κατείδυσης υδάτων ή της ύπαρξης επικρεμάμενων υδροφόρων οριζόντων και μη ικανοποιητικής λειτουργίας του συστήματος υδατοστεγάνωσης - αποστράγγισης.

### 6.2.3 ΚΙΝΗΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (PD)

Δεδομένου ότι ο φορέας της μόνιμης επένδυσης θα κατασκευαστεί με ανάστροφο πυθμένα, λαμβάνεται υπόψη κινητό φορτίο λειτουργίας (το οποίο δρά στα στοιχεία του ανάστροφου πυθμένα), ίσο προς  $66.6 \text{ KN/m}^2$ .

#### **6.2.4 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ**

Ελήφθησαν υπόψη οι ακόλουθες περιπτώσεις φορτίσεων λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών :

##### **6.2.4.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (T1 & T2)**

Μεταβολή θερμοκρασίας μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας του φορέα  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ .

Ός μέση θερμοκρασία κατασκευής μπορεί να ληφθεί  $t_m = +15^{\circ}\text{C}$ .

##### **6.2.4.2 ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ (T3)**

Το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης εξετάζεται με την επιβολή ομοιόμορφης μεταβολής θερμοκρασίας στη διατομή  $\Delta T = -10^{\circ}\text{C}$ ,  $\alpha t = 10-5$ .

##### **6.2.4.3 ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ (T4)**

Το φαινόμενο της ενυδάτωσης, που προκαλεί αυτοένταση του φορέα, εξετάζεται με την επιβολή ομοιόμορφης μεταβολής θερμοκρασίας στην διατομή  $\Delta T = +25^{\circ}\text{C}$  ( $+40^{\circ}\text{C} -15^{\circ}\text{C}$ ),  $\alpha t = 10-5$ .

##### **6.2.4.4 ΕΡΠΥΣΜΟΣ (T5)**

Το φαινόμενο του ερπυσμού εξετάζεται με την επιβολή ομοιόμορφης μεταβολής θερμοκρασίας στη διατομή  $\Delta T = -10^{\circ}\text{C}$ ,  $\alpha t = 10-5$ .

Σημειώνεται ότι η ευνοϊκή δράση του ερπυσμού λαμβάνεται υπόψη στη διαμόρφωση της έντασης του φορέα λόγω θερμότητας ενυδάτωσης και συστολής ξήρανσης όχι όμως στην ένταση από θερμοκρασιακή διαφορά.

#### **6.2.5 ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΟΦΕΙΛΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ (PT)**

Δεδομένου ότι ο φορέας της μόνιμης επένδυσης θα κατασκευαστεί με ανάστροφο πυθμένα, λαμβάνεται υπόψη κινητό φορτίο οφειλόμενο στην κατασκευή της επένδυσης (το οποίο δρά στα στοιχεία του ανάστροφου πυθμένα), ίσο προς  $80.0 \text{ KN/m}^2$ .

#### **6.2.6 ΤΥΧΗΜΑΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ**

Λήφθηκαν υπόψη οι ακόλουθες περιπτώσεις τυχηματικών φορτίων :

##### **6.2.6.1 ΕΚΡΗΞΗ (UL1)**

Ελέγχεται η πιθανότητα εσωτερικής έκρηξης λαμβάνοντας υπόψη εσωτερική πίεση  $100 \text{ KN/m}^2$  στα τοιχώματα του φορέα.

### 6.2.6.2 ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ (UL2)

Εξετάστηκε η περίπτωση πρόσκρουσης οχήματος με την επιβολή φορτίου 60KN/m<sup>2</sup> κατανεμημένου σε πλάτος 1m και σε ύψος 1.5 μέτρου πάνω από την στάθμη του οδοστρώματος.

### 6.2.7 ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Ως βάση υπολογισμού των σεισμικών δράσεων λαμβάνεται ο Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (NEAK). Επειδή όμως για την περίπτωση των σηράγγων οι οποίες κατασκευάζονται με υπόγεια διάνοιξη δεν υπάρχει σχετική πρόβλεψη στον Ν.Ε.Α.Κ. υιοθετήθηκε, όπως και στο Μετρό της Αθήνας, η διεθνώς αποδεκτή κινηματική μέθοδος σχεδιασμού Kuesel που έχει αναπτυχθεί για το Μετρό του Σαν Φρανσίσκο. Επίσης πρέπει να σημειωθεί το γεγονός ότι οι υπόγειες κατασκευές οι οποίες είναι ενσωματωμένες στο έδαφος, τείνουν να παραμορφώνονται μαζί με το περιβάλλον έδαφος κατά τη διάρκεια ενός σεισμού και έτσι είναι πολύ λιγότερο ευαίσθητες από ότι οι υπέργειες κατασκευές. Η διεθνής εμπειρία (Μεξικό, Σαν Φρανσίσκο, Τόκιο κλπ.) δείχνει ότι οι υπόγειες κατασκευές οι οποίες έχουν σχεδιασθεί με παρόμοιες μεθόδους δεν παρουσίασαν σημαντικές ζημιές στην περίπτωση της σεισμικής διέγερσης.

## 6.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Για τη διαστασιολόγηση των διατομών τόσο στην οριακή κατάσταση αστοχίας, όσο και στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας για τον έλεγχο σε ρηγμάτωση, επιλέχθηκαν οι δυσμενέστεροι συνδυασμοί δράσεων και χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SOFiSTiK (module GENF, AQUA, ASS, AQB). Κάθε συνδυασμός δράσεως αποτέλεσε ξεχωριστή ελαστοπλαστική φόρτιση (σημειώνεται ότι για την κατάρτιση των συνδυασμών των δράσεων λήφθηκαν υπόψη και οι σχετικές οδηγίες της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ για κατασκευές διανοιγόμενες υπογείως με τη μέθοδο NATM - RFP 023/99).

Η διαστασιολόγηση των διατομών διενεργήθηκε βάσει του Eurocode 2 λαμβάνοντας υπόψη τους συνδυασμούς φορτίσεων στην οριακή κατάσταση αστοχίας.

Ο έλεγχος σε ρηγμάτωση διενεργήθηκε επίσης βάσει του Eurocode 2 λαμβάνοντας υπόψη τους συνδυασμούς φορτίσεων στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας και θεωρώντας ότι η ανώτερη χαρακτηριστική τιμή εύρους ρωγμής, με πιθανότητα μη υπέρβασης 95%, δεν θα υπερβαίνει τα 0.3 mm, στην περίπτωση οπλισμένης επένδυσης.

Η επικάλυψη οπλισμού ορίζεται ίση προς 50 mm τόσο για τις ράβδους αντοχής, όσο και για τις ράβδους διανομής.

## **7. ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

### **7.1. ΑΝΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ**

Σχετικά με την όρυξη της άνω ημιδιατομής, τόσο στα τμήματα κατηγορίας βραχόμαζας Σ4/2, όσο και στα τμήματα Σ4/3, επισημαίνονται τα εξής :

Το μέτωπο εκσκαφής θα διαμορφώνεται υπό κλίση, ώστε σε συνδυασμό με τη στρώση εκτοξευομένου σκυροδέματος που προβλέπεται, να παρέχει ικανοποιητική πίεση υποστήριξης.

Η επίχωση του ανεστραμμένου τόξου έχει προβλεφθεί να γίνεται μέχρι απόστασης από το μέτωπο εκσκαφής, ώστε να μην παρεμποδίζεται η διενέργεια της όρυξης με τους συμβατικούς υδραυλικούς εκσκαφείς.

Προκειμένου να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή συνάφεια μεταξύ των επιμέρους στρώσεων εκτοξευομένου σκυροδέματος που προβλέπεται να εφαρμοσθούν στο προσωρινό ανεστραμμένο τόξο θα πρέπει η οργάνωση των εργασιών στο μέτωπο εκσκαφής να γίνει κατά τρόπον ώστε να μην απαιτείται η διενέργεια επίχωσης μεταξύ των διαδοχικών στρώσεων εκτοξευομένου σκυροδέματος.

Για την άμεση υποστήριξη της άνω ημιδιατομής στις εν λόγω κατηγορίες βραχόμαζας, προβλέπεται η εφαρμογή μεταλλικών πλαισίων σε κατάλληλες αποστάσεις. Για τη θεμελίωση των πλαισίων μελετήθηκε και σχεδιάσθηκε αναλυτικά η διάταξη έδρασής τους σε μορφή "elephant foot". Στις εν λόγω θέσεις προβλέπεται η κατάλληλη τοποθέτηση των εδράσεων των πλαισίων ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση τους με τα υπόλοιπα τμήματά τους, που αντιστοιχούν στην περιοχή εκσκαφής της κάτω ημιδιατομής.

Στις περιοχές συναρμογής των παρειών της άνω ημιδιατομής με το προσωρινό ανεστραμμένο τόξο, προβλέπεται κατάλληλος οπλισμός ισχυροποίησης της αντοχής του δακτυλίου άμεσης υποστήριξης.

Για την εξασφάλιση της ευστάθειας της υπόγειας εκσκαφής και την προΐσχυροποίηση της βραχόμαζας, απαιτείται η εφαρμογή δοκών προτοπείας. Λαμβάνοντας υπόψη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά λειτουργίας του εξοπλισμού με τον οποίο τοποθετούνται οι προβλεπόμενες δοκοί προτοπείας και με γνώμονα τον περιορισμό των επιπρόσθετων εκσκαφών προσδιορίσθηκε η θέση όρυξης των αντίστοιχων διατηρημάτων και σχεδιάσθηκε η γεωμετρία εκσκαφής που παράγεται, τόσο σε εγκάρσιες διατομές όσο και σε μηκοτομή. Η γεωμετρία εκσκαφής στις εν λόγω κατηγορίες βραχόμαζας είναι "οδοντωτή", λόγω εφαρμογής των δακτυλίων δοκών προτοπείας.

### **7.2. ΚΑΤΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ**

Αναφορικά με τη διενέργεια της όρυξης της κάτω ημιδιατομής και του οριστικού ανεστραμμένου τόξου στις κατηγορίες βραχόμαζας Σ4/2 και Σ4/3 που αναμένεται να συναντηθούν κατά μήκος των δύο κλάδων της σήραγγας, επισημαίνονται τα εξής :



**ΣΗΡΑΓΓΑ Σ4 - ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ  
ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΕ ΜΑΛΑΚΑ ΓΕΩΥΛΙΚΑ**

Η γεωμετρία εκσκαφής της κάτω ημιδιατομής προσαρμόζεται σε κάθε θέση ώστε να αποτελεί συνέχεια της εκσκαφής της άνω ημιδιατομής, προκειμένου να είναι δυνατή η διαμόρφωση ομαλής γεωμετρίας ως και η κατασκευή ενιαίου και συνεχούς δακτυλίου μέτρων άμεσης υποστήριξης. Ειδικότερα, στην κατηγορία Σ4/2, όπου δεν προβλέπεται η εφαρμογή δοκών προπορείας και στην κάτω ημιδιατομή, η γεωμετρία εκσκαφής διαμορφώνεται επίσης "οδοντωτή" σε όλη την περίμετρο της εκσκαφής, ως συνέχεια της περιμέτρου εκσκαφής της άνω ημιδιατομής. Στην κατηγορία Σ4/3, στην οποία προβλέπεται η εφαρμογή δοκών προπορείας και στην περίμετρο της κάτω ημιδιατομής, η εκσκαφή διαμορφώνεται επίσης μεταβαλλόμενη, σε συνέχεια της εκσκαφής της άνω ημιδιατομής.

Κατά την εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής θα απαιτηθεί η καθαίρεση των στρώσεων εκτοξευομένου σκυροδέματος του προσωρινού ανεστραμμένου τόξου. Δεδομένου ότι τα τμήματα των πλαισίων που αντιστοιχούν στην περιοχή της κάτω ημιδιατομής συνδέονται με τα πλαίσια της άνω ημιδιατομής θα πρέπει οι εργασίες καθαίρεσης να διενεργούνται κατά τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η ακεραιότητα των περιοχών σύνδεσης, προκειμένου να διευκολύνεται η αντίστοιχη εργασία.

Τα τμήματα του οπλισμού των περιοχών συναρμογής των παρειών της άνω ημιδιατομής και του προσωρινού ανεστραμμένου τόξου που θα αποκαλύπτονται κατά την καθαίρεση του εκτοξευομένου σκυροδέματος θα κάμπτονται κατάλληλα και θα προσαρμόζονται στις παρείς της κάτω ημιδιατομής, προκειμένου να βελτιώνεται η λειτουργία του δακτυλίου των μέτρων άμεσης υποστήριξης και να εξασφαλίζεται η συνέχεια του εκτοξευομένου σκυροδέματος.

Η εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής και του οριστικού ανεστραμμένου τόξου θα προβλέπεται να διενεργείται με κατάλληλη αλληλουχία των επιμέρους φάσεων, ώστε να επιτυγχάνεται η ταχύτερη ολοκλήρωση του δακτυλίου των μέτρων άμεσης υποστήριξης.

Στην κατηγορία βραχόμαζας Σ4/2, η οριστική έδραση των πλαισίων επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων προκατασκευασμένων στοιχείων, οι διαστάσεις και ο οπλισμός των οποίων προσδιορίζεται αναλυτικά στα σχετικά σχέδια που συνοδεύουν τη μελέτη. Στην κατηγορία βραχόμαζας Σ4/3, δεδομένου ότι απαιτείται η διαμόρφωση κλειστού δακτυλίου μεταλλικών πλαισίων, προβλέπονται κατάλληλες συνδέσεις των επιμέρους στοιχείων των πλαισίων.

### **7.3. ΔΙΕΥΡΥΝΣΕΙΣ ΕΡΜΑΡΙΩΝ ΑΝΑΓΚΗΣ**

Ως αποτέλεσμα των εργασιών εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης για τις κατηγορίες βραχόμαζας Σ4/2 και Σ4/3 είναι η διαμόρφωση "οδοντωτής" διατομής εκσκαφής. Η διαμορφούμενη κατάσταση αξιοποιήθηκε κατάλληλα προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της μελέτης των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων της σήραγγας, σύμφωνα με την οποία, απαιτείται η διαμόρφωση κατάλληλων διαστάσεων εσοχών στη μόνιμη επένδυση της σήραγγας, ως και οι απαιτήσεις για την ύπαρξη φρεατίων καθαρισμού των διαμήκων αγωγών αποστράγγισης της σήραγγας. Οι ανωτέρω απαιτήσεις διαμόρφωσης εσοχών στη μόνιμη επένδυση, συνεπάγονται αντίστοιχες εσοχές στην περίμετρο της εκσκαφής.

Εξαιτίας της μεταβαλλόμενης γεωμετρίας εκσκαφής, η οποία διαμορφώνεται στις εν λόγω κατηγορίες βραχόμαζας λόγω εφαρμογής των δοκών προπορείας, είναι δυνατή η διαμόρφωση των εν λόγω εσοχών, εφόσον τα ερμάρια Η/Μ και τα φρεάτια καθαρισμού προβλεφθούν σε κατάλληλες θέσεις, ικανοποιώντας συγχρόνως τις αντίστοιχες απαιτήσεις. Αυτό επιτυγχάνεται

με την κατάλληλη προσαρμογή της κλίσης των δοκών προπορείας στις συγκεκριμένες θέσεις. Δεδομένου ότι υφίστανται δύο τύπων ερμάρια Η/Μ, έχει προβλεφθεί αντίστοιχη διαφοροποίηση προκειμένου να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή προσαρμογή στις απαιτήσεις και περιορισμούς των εκσκαφών. Επίσης, προκειμένου να ομοιογενοποιηθούν κατά το δυνατόν οι εκσκαφές, μελετήθηκε κατάλληλα η γεωμετρία των φρεατίων καθαρισμού, ώστε να απαιτείται η ίδια διαφοροποίηση που απαιτείται για τα ερμάρια Η/Μ τύπου 'Γ'. Στα τμήματα διαμόρφωσης των εσοχών της μόνιμης επένδυσης, λόγω αντίστοιχης μεταβολής της γεωμετρίας εκσκαφής, απαιτείται κατάλληλη προσαρμογή της γεωμετρίας των πλαισίων.

#### **7.4. ΟΠΕΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ**

Προκειμένου να καθίσταται δυνατή η ελεγχόμενη αποστράγγιση των επικρεμάμενων υδροφόρων οριζόντων και να επιτυγχάνεται έως ένα βαθμό η βελτίωση των γεωτεχνικών συνθηκών και της συμπεριφοράς της υπόγεια εκσκαφής, προβλέπεται η όρυξη δακτυλίων οπών αποστράγγισης. Επίσης, προκειμένου να εξασφαλίζεται η εκτόνωση της υδροστατικής πίεσης που είναι ενδεχόμενο να αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια μεταξύ εκτοξευμένου σκυροδέματος και βραχώμαζας, προβλέπεται η όρυξη δακτυλίων ανακουφιστικών οπών σε κατάλληλη πυκνότητα.

#### **7.5. ΥΔΑΤΟΣΤΕΓΑΝΩΣΗ - ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ**

Βασική προϋπόθεση στην εύρυθμη λειτουργία του συστήματος υδατοστεγάνωσης - αποστράγγισης μίας σήραγγας αποτελεί η διατήρηση του αρχικού ονομαστικού βαθμού διαπερατότητας του γεωυφάσματος με την πάροδο του χρόνου για τη διάρκεια ζωής του έργου. Σε σήραγγες ορυσσόμενες εντός βραχωδών γενικά σχηματισμών η χρησιμοποίηση μη υφαντού γεωυφάσματος συμβατικού τύπου δεν παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα καθώς είναι γενικά μικρή η περιεκτικότητα του υδατικού μέσου σε στερεά μικρομερή. Στην περίπτωση όμως της μελετώμενης σήραγγας, όπου το περιβάλλον γεωυλικό συνίσταται κυρίως από εξαλλοιωμένους και έντονα κερματισμένους σχιστογενεσίους έως και αμμοιλύες - αργιλοιλύες, πρέπει να εξεταστεί σοβαρά η χρήση αποστραγγιστικής στρώσης η οποία να δύναται να παρέχει τη μέγιστη δυνατή ασφάλεια από πλευράς μηχανικών εμφράξεων λόγω παρουσίας μικρομερών στερεών στα υδατικά αιωρήματα που αποστραγγίζονται δια μέσου αυτής.

Ενδεδειγμένη τεχνική επιλογή σε αυτές τις περιπτώσεις αποτελεί η χρήση τρισδιάστατων αποστραγγιστικών και προστατευτικών γεωπλεγμάτων από PVC, τα οποία υπερτερούν έναντι των συμβατικών μη υφαντών, τόσο από πλευράς ελαχιστοποίησης του κινδύνου εμφράξεων και συνεπώς διατήρησης της αρχικής τους διαπερατότητας με την πάροδο του χρόνου, όσο και από πλευράς παροχευτικότητας, μηχανικής αντοχής και ανοχής έναντι μικροανωμαλιών της προς επένδυση επιφάνειας. Μετά από σχετική έρευνα προέκυψε ότι δύνανται να χρησιμοποιηθούν τρισδιάστατα γεωπλέγματα ονομαστικού πάχους 18mm, με επίπεδη πλάτη για επίτευξη άριστης επαφής με τη μεμβράνη υδατοστεγάνωσης, διαμήκους εφελκυστικής αντοχής > 1,8kN/m και περατότητας της τάξης των 10-4m3/ms.

## **7.6. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

Προβλέπεται η εκτέλεση κατάλληλων γεωτεχνικών μετρήσεων εντός της σήραγγας, συναρτώμενων βεβαίως με τις συναντώμενες επί τόπου συνθήκες της βραχώμαζας, τα προβλεπόμενα και επιβαλλόμενα μέτρα υποστήριξης, την ακολουθούμενη διαδικασία εκσκαφής, το πάχος των υπερκειμένων της σήραγγας πετρωμάτων, την περιβαλλοντική ευαισθησία της περιοχής κ.α.

Προς το σκοπό αυτό σε προκαθορισμένες διατομές - σταθμούς μέτρησης κατά μήκος του άξονα της σήραγγας, σε κανονικές αποστάσεις ή/και σε θέσεις όπου εκτιμάται ότι θα αντιμετωπισθούν ειδικά προβλήματα ευστάθειας της εκσκαφής, θα πρέπει να τοποθετούνται ειδικά όργανα στο εσωτερικό της σήραγγας, ώστε να εξασφαλίζεται η παρακολούθηση και ο έλεγχος της κατασκευής, ενώ ορισμένα από αυτά προορίζονται να λειτουργήσουν παρέχοντας πληροφορίες και μετά το πέρας της κατασκευής, δηλαδή κατά τη διάρκεια λειτουργίας του έργου.

Τα στοιχεία που θα συλλέγονται από τις μετρήσεις αυτές θα αφορούν στο μέγεθος, τη διακύμανση, τον τρόπο μεταβολής και την κλίση - ροπή κρίσιμων μεγεθών, όπως είναι οι προκαλούμενες συγκλίσεις εντός της σήραγγας, οι αναπτυσσόμενες πιέσεις επί των μέτρων άμεσης υποστήριξης, το πάχος της ζώνης αστοχίας του πετρώματος κ.α.

Οι μετρήσεις και τα όργανα που προβλέπεται να εγκατασταθούν είναι :

- μετρήσεις σύγκλισης,
- χωροσταθμικός έλεγχος - τοπογραφικές αποτυπώσεις,
- ενδοδιατρηματικά επιμηκυσσιόμετρα τριών σημείων,
- όργανα μέτρησης παραμορφώσεων (strain gauges)
- κυψέλες φορτίου ηλώσεων βράχου,
- κυψέλες φορτίου εκτοξευομένου σκυροδέματος,
- όργανα πίεσης πετρωμάτων,
- πιεζόμετρο εντός γεωτρήσεως,
- πιεζόμετρο επιφανειακού τύπου.

Οι μετρήσεις και δοκιμές θα πρέπει να προσαρμόζονται κατάλληλα στις επί τόπου συνθήκες και να διενεργούνται με πυκνότητα και συχνότητα τέτοια ώστε να σχηματίζεται η καλύτερη κατά το δυνατόν εικόνα εν σχέση με τις αντιμετωπιζόμενες και διαμορφούμενες μετά την εκσκαφή συνθήκες.

## **7.7. ΣΤΟΜΙΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

Τα στόμια της σήραγγας αποτελούν θέσεις ιδιαίτερης σπουδαιότητας, τόσο κατά τη φάση κατασκευής του υπογείου έργου, όσο και κατά τη φάση λειτουργίας. Ειδικότερα, κατά τη φάση κατασκευής στις εν λόγω θέσεις σημειώνεται ένταση και συσσώρευση εργασιών ενώ η ομαλή εκτέλεση των εργασιών υπόγειας όρυξης προϋποθέτει τη διασφάλιση της ευστάθειας των μετώπων και των πρανών στις περιοχές των στομίων. Προς αυτή την κατεύθυνση μελετήθηκαν και διαστασιολογήθηκαν κατάλληλα μέτρα αντιστήριξης και αποστράγγισης των πρανών και μετώπων των στομίων. Πέραν των εν λόγω μέτρων, κρίνεται απαραίτητη η κατασκευή κατάλληλου μήκους προτόξου προστασίας προκειμένου να εξασφαλισθεί η αδιάλειπτη, ομαλή και ασφαλής χρήση των στομίων κατά τη φάση κατασκευής και να προστατεύονται οι

εργαζόμενοι και ο μηχανολογικός εξοπλισμός που θα διέρχεται από τα στόμια έναντι αστοχιών μικρής έκτασης και μεγέθους που είναι ενδεχόμενο να εκδηλωθούν. Σημειώνεται ο προσωρινός χαρακτήρας της εκσκαφής, αφού θα κατασκευασθεί τεχνικό κατάλληλου μήκους το οποίο θα επανεπιχρωθεί ώστε να αποκατασταθεί πλήρως το φυσικό ανάγλυφο.

Τονίζεται ότι η εκσκαφή των ορυγμάτων στις περιοχές των στομιών θα διενεργηθεί σε δύο φάσεις. Το προπλάισιο θα κατασκευασθεί με την ολοκλήρωση της πρώτης φάσης εκσκαφής και θα θεμελιωθεί στο επίπεδο του δαπέδου εκσκαφής της πρώτης φάσης. Η δεύτερη φάση εκσκαφής των ορυγμάτων των στομιών θα διενεργηθεί μετά την ολοκλήρωση της εκσκαφής του υπογείου τμήματος, όπως αναλυτικά περιγράφεται στη σχετική παράγραφο της παρούσης μελέτης, οπότε και θα καθαιρεθούν τα προπλάισια προστασίας. Λαμβάνοντας υπόψη τις γεωτεχνικές συνθήκες στην περιοχή του κάθε στομίου και τις συνθήκες ευστάθειας, όπως προσεγγίζονται με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, κρίνεται αναγκαία η κατασκευή προτόξου επί μήκους 3m, τόσο στο στόμιο εισόδου, όσο και στο στόμιο εξόδου.

## **8. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

Το πρόγραμμα κατασκευής του έργου πρέπει να αποσκοπεί στην εκπλήρωση των ακόλουθων στόχων :

Της πλήρους προήγησης της πρώτης φάσης υπόγειας εκσκαφής της διατομής και για τους δύο κλάδους (άνω ημιδιατομή) στο σύνολο του μήκους τους. Κατ'αυτόν τον τρόπο θα καταστεί δυνατή η αποτύπωση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών της περιβάλλουσας τη σήραγγα βραχώμαζας, μέσω των συστηματικά προβλεπόμενων ερευνητικών διατρημάτων διασκόπησης ανά κατηγορία βραχώμαζας.

Της ελαχιστοποίησης του χρόνου διατήρησης των εκσκαφών των στομιών της σήραγγας χωρίς τη διάταξη προπλαισίου προστασίας.

Της ελαχιστοποίησης του χρόνου διατήρησης των εκσκαφών των στομιών στο μέγιστο τελικό βάθος εκσκαφής.

Της υπόγειας όρυξης του μεγαλύτερου μήκους της σήραγγας με ανωφερική μηκοτομική κλίση (από την έξοδο προς την είσοδο) προς το σκοπό της ευχερούς απορροής των υπογείων εισροών και της πλέον αποδοτικής μεταφοράς των εξορυσσομένων προϊόντων.

Της υπόγειας όρυξης τμήματος της σήραγγας από την πλευρά της εισόδου επί μήκους περίπου ίσου με το τριπλάσιο της διαμέτρου εκσκαφής σε κάθε κλάδο, πριν την αποπεράτωση της υπόγειας όρυξης του υπολοίπου τμήματος με ανωφερική κλίση, προς το σκοπό της διασφάλισης των συνθηκών κατασκευής με χαμηλά υπερκείμενα.

Υπό τους ως άνω περιορισμούς, τα στάδια κατασκευής του έργου δύνανται να προσδιοριστούν ως εξής :

- Διαμόρφωση εξωτερικών έργων στομιών με εκσκαφή μέχρι το επίπεδο της άνω ημιδιατομής και κατασκευή των προπλαισίων στα στόμια εισόδου και εξόδου της σήραγγας.
- Αποπεράτωση της εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης της άνω ημιδιατομής του κλάδου Α.
- Αποπεράτωση της εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης της άνω ημιδιατομής του κλάδου Β.

**ΣΗΡΑΓΓΑ Σ4 - ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ  
ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΕ ΜΑΛΑΚΑ ΓΕΩΥΛΙΚΑ**

- Δημιουργία κεκλιμένου δαπέδου κίνησης του εξοπλισμού (ράμπας) μικρού μήκους και αποπεράτωση της εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης της κάτω ημιδιατομής και του ανεστραμμένου τόξου πυθμένα του κλάδου Α.
- Δημιουργία ράμπας μικρού μήκους και αποπεράτωση της εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης της κάτω ημιδιατομής και του ανεστραμμένου τόξου πυθμένα του κλάδου Β.
- Καθαίρεση του προπλαισίου και εκσκαφή στο τελικό απαιτούμενο βάθος στα στόμια εισόδου και εξόδου του κλάδου Α.
- Εργασίες σκυροδέτησης φορέα εκσκαφής εισόδου και εξόδου κλάδου Α.
- Εργασίες τελικής επένδυσης υπογείου τμήματος κλάδου Α.
- Καθαίρεση προπλαισίου και εκσκαφή στο τελικό απαιτούμενο βάθος στα στόμια εισόδου και εξόδου του κλάδου Β.
- Εργασίες σκυροδέτησης φορέα εκσκαφής εισόδου και εξόδου κλάδου Β.
- Εργασίες τελικής επένδυσης υπογείου τμήματος κλάδου Β.
- Κατασκευή τοίχων αντιστήριξης και λοιπών τεχνικών διαμόρφωσης εξωτερικών όψεων στην είσοδο και έξοδο της σήραγγας.
- Εκτέλεση εργασιών επανεπίχωσης των τεχνικών εισόδου και εξόδου της σήραγγας.
- Εκτέλεση εργασιών φύτευσης στομίων σήραγγας.

Η προήγηση του κλάδου Α στις εργασίες κατασκευής είναι εντελώς ενδεικτική. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα αλληλοεπικάλυψης μερικών εκ των προαναφερομένων εργασιών με την προϋπόθεση ότι δεν θίγονται οι προαναφερθέντες κατασκευαστικοί περιορισμοί στο σύνολό τους. Επιπροσθέτως, αναφέρεται και η δυνατότητα πλήρους κατασκευής του ενός κλάδου της σήραγγας και η σε μεταγενέστερο στάδιο κατασκευή του άλλου κλάδου, καθώς όπως έχει προκύψει και από τις σχετικές αναλύσεις δεν υφίσταται σημαντική επιρροή και αλληλεξάρτηση από πλευράς τάσεων και παραμορφώσεων μεταξύ των κλάδων υπό τις θεωρούμενες γεωτεχνικές συνθήκες ανάλυσης και εφαρμογής μέτρων άμεσης υποστήριξης και μόνιμης επένδυσης.