

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Μάθημα: Τεχνική Γεωλογία- Διπλωματική Εργασία

Διδάσκων: Γ. Κούκης - Ν. Σαμπατακάκης



ΛΕΙΟΛΟΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΥΜΗ ΣΗΡΑΤΤΑ ΑΤ.
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ – ΚΑΜ. ΒΟΥΡΛΩΝ

Αναγνωστόπουλος Χρήστος Α.Μ. 01004

ΠΑΤΡΑ 2006

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο – Ανάθεση – Ιστορικό – Εντολές

Στη παρούσα μελέτη περιλαμβάνεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της γεωτεχνικής διερεύνησης για τη δίδυμη σήραγγα Αγ. Κωνσταντίνου – Καμ. Βούρλων (Χ.Θ. 8+635 – Χ.Θ. 11+123) όπως επίσης και η γεωτεχνική μελέτη της σήραγγας. Το αντικείμενο της μελέτης είναι η διάνοιξη και προσωρινή υποστήριξη του συνόλου του υπόγειου τμήματος του έργου, δηλαδή των κυρίως σηράγγων, των διασυνδετηρίων στοών, των διευρύνσεων στάθμευσης έκτακτης ανάγκης κ.τ.λ.

Η παρούσα μελέτη εκπονείται στα πλαίσια της εργολαβίας: «Κατασκευή Παράκαμψης Καμένων Βούρλων Ν. Φθιώτιδας: Τμήμα Α/Δ ΠΑΘΕ από Λογγό Αγ. Κωνσταντίνου (Χ.Θ. 160+693) έως έξοδο σήραγγας Κνημίδος (Χ.Θ. 171+693)», ανάδοχος της οποίας είναι η Κ/Ξ ΑΚΤΩΡ ΑΤΕ – Impregilo SpA.

Οι γεωερευνητικές έρευνες και εργασίες που αξιολογούνται στην παρούσα μελέτη, εκτελέστηκαν στα πλαίσια της συμπληρωματικής διερεύνησης του τμήματος Αγ. Κωνσταντίνου – Καμένα Βούρλα του οδικού άξονα ΠΑΘΕ που ανατέθηκε από την ΕΥΔΕ/Αυτοκινητόδρομος ΠΑΘΕ, με βάση την υπ' αριθμό ΔΜΕΟ/α/Ο/938/30-3-2000 απόφαση του Υπουργού ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., στην παρακάτω ομάδα Συμπραττόντων Γραφείων Μελετών:

- α) ΟΜΙΛΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΤΕΠΕ
- β) Δ.ΜΠΑΙΡΑΚΤΑΡΗΣ & ΣΥΝ/ΤΕΣ ΕΠΕ – ΓΡΑΦΕΙΟ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ
- γ) DENCO ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΕΠΕ
- δ) ΚΑΣΤΩΡ ΕΠΕ – ΕΛ. ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΕΡΕΥΝΩΝ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ
- ε) Σ. ΑΣΠΡΟΥΔΑΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Ε.Ε.
- στ) ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ (ΑΝΤΕΜ) ΕΠΕ
- ζ) ΤΕΚΕΜ ΕΠΕ – ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ

Η γεωλογία της περιοχής μελετήθηκε στα πλαίσια της "Οριστικής Γεωλογικής Μελέτης" (ΓΑΜΜΑ 4 ΕΠΕ, 1996) και εκεί εντοπίστηκαν όχι μόνο τεχνικογεωλογικά προβλήματα αλλά και προβλήματα που σχετίζονται με την υψηλή σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής. Έτσι σε επόμενη φάση έγινε χαρτογράφηση των ενεργών ρηγμάτων κατά μήκος της χάραξης (ΓΑΜΜΑ 4 ΕΠΕ – Σ. Παυλίδης 1997) καθώς και Τεχνική Σεισμολογική Μελέτη (Ο.Τ.Μ. – Δ.Ι. Παπασταματίου, 1997) όπου, διερευνήθηκαν οι ειδικές σεισμοτεκτονικές συνθήκες του έργου και δόθηκαν παράμετροι αντισεισμικού σχεδιασμού των τεχνικών οδοποιίας.

Στη συνέχεια προκειμένου να γίνει μια σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων ερευνών και να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις των ειδικών σεισμοτεκτονικών συνθηκών στην ασφάλεια της σχεδιαζόμενης χάραξης, εκπονήθηκε "Ειδική Μελέτη Αποτίμησης Σεισμικής Διακινδύνευσης (Risk Assessment) και προτάσεων μέτρων ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων" (Ο.Τ.Μ. – Golder Associates, 1998).

Με την περαιτέρω γεωλογική μελέτη της περιοχής και τα πρόσθετα στοιχεία που προέκυψαν σε επόμενα στάδια, συντάχθηκαν επικαιροποιημένοι γεωλογικοί χάρτες σε κλίμακα 1:2000 και ακολούθησε γεωλογική χαρτογράφηση επιλεγμένων θέσεων της περιοχής σε κλίμακα 1:500, που αποτελεί και το γεωλογικό υπόβαθρο της παρούσης μελέτης.

Στο αρχικό πρόγραμμα γεωτεχνικής διερεύνησης που προτάθηκε από τους μελετητές προβλεπόταν η εκτέλεση γεωτρήσεων, διάνοιξη ερευνητικών στοών και ορυγμάτων, που θα συνοδευόταν με εργαστηριακές δοκιμές. Το εγκεκριμένο πρόγραμμα γεωτεχνικής διερεύνησης τελικά περιέλαβε μόνο γεωτρήσεις καθώς και την εκσκαφή ενός ερευνητικού ορύγματος για την αποκάλυψη της κατοπτρικής επιφάνειας του ρήγματος που συναντάται στην περιοχή της εισόδου της σήραγγας. Συγκεκριμένα εκτελέστηκαν:

- τρεις (3) γεωτρήσεις Γ70, Γ71, Γ72 στην περιοχή στομίου εισόδου της Σήραγγας,
- τέσσερις (4) γεωτρήσεις Γ73, Γ74, Γ75, Γ76 στην περιοχή στομίου εξόδου της σήραγγας,
- μία (1) γεώτρηση ΓΝ4 στο μέσο περίπου της σήραγγας και
- διάνοιξη ερευνητικού ορύγματος στο στόμιο εισόδου.

Η εκτέλεση των ερευνητικών εργασιών έγινε από τα γραφεία ΟΤΜ ΤΕΠΕ, Κάστωρ ΕΠΕ και Σ. Ασπρούδας και Συν. ΕΠΕ, ενώ η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της γεωτεχνικής έρευνας που παρουσιάζονται εδώ, έγινε από το γραφείο "Όμιλος Τεχνικών Μελετών" ΤΕΠΕ.

1.2 Στοιχεία του Έργου

Το τεχνικό που μελετάται είναι είναι μια δίδυμη οδική σήραγγα για τη διάβαση του ορεινού όγκου της Κνημίδος. Με βάση την Προκαταρκτική επεξεργασία του τεχνικού η είσοδος του υπόγειου έργου τοποθετείται στην Χ.Θ. 8+704, στην περιοχή του ανενεργού λατομείου μετά τον Αγ. Κωνσταντίνο και ανάντη του ξενοδοχείου Λεβέντη, ενώ η έξοδος τοποθετείται στην Χ.Θ. 11+179 στην περιοχή του Ασπρονερίου.

Το μεγαλύτερο μήκος των σηράγγων βρίσκεται σε ευθυγραμμία ενώ στις περιοχές των στομίων η χάραξη ακολουθεί στην είσοδο δεξιόστροφη καμπύλη με ακτίνα 1500 m και στην έξοδο αριστερόστροφη καμπύλη ακτίνας 860 m. Οι ελάχιστες αξονικές αποστάσεις των δύο κλάδων στην περιοχή των στομίων είναι περίπου 20 m ενώ στο υπόλοιπο τμήμα αυτές αυξάνουν και φθάνουν τα 35 m. Η κάθε σήραγγα έχει δύο λωρίδες κυκλοφορίας πλάτους 3.75 m και η διατομή χρήσης θα έχει πλάτος περί τα 10 m.

1.3 Αντικείμενο της Έκθεσης

Η παρούσα έκθεση περιλαμβάνει την αξιολόγηση όλων των εκτελεσθέντων γεωρευνητικών εργασιών και την παρουσίαση παραμέτρων σχεδιασμού για την εκτέλεση των απαραίτητων γεωτεχνικών υπολογισμών. Στην έκθεση αυτή περιλαμβάνονται οι γεωστατικοί υπολογισμοί που γίνονται για την διερεύνηση γεωτεχνικών θεμάτων του έργου και την συναγωγή εκτιμήσεων για την μέθοδο κατασκευής του έργου.

Οι εργασίες γεωτεχνικής διερεύνησης που εκτελέστηκαν για τη σήραγγα Αγ. Κωνσταντίνου – Καμένων Βούρλων και η αξιολόγηση των οποίων αποτελεί αντικείμενο της παρούσης συνοψίζονται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1 Εκτελεσθείσες Εργασίες Γεωτεχνικής Διερεύνησης Σήραγγας.

Εργασίες Γεωτεχνικής Διερεύνησης	Εκτέλεση - Παρουσίαση	Τεύχος
Γεωτρήσεις Γ70, ΓΝ4	ΟΜΙΛΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΤΕΠΕ	16.0
Γεωτρήσεις Γ71, Γ72	Σ. ΑΣΠΡΟΥΔΑΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Ε.Ε.	16.1
Γεωτρήσεις Γ73, Γ74, Γ75, Γ76	ΚΑΣΤΩΡ ΕΠΕ	16.2
Ερευνητικό Όρυγμα Εισόδου Σήραγγας	ΓΑΜΜΑ 4 ΕΠΕ	

Οι θέσεις των γεωτρήσεων και του ερευνητικού ορύγματος παρουσιάζονται στα σχέδια 1, 2 και 3. Οι γεωτεχνικές έρευνες στην περιοχή της σήραγγας αποσκοπούσαν:

- Στη διερεύνηση των γεωτεχνικών συνθηκών διαμόρφωσης των μετώπων προσβολής του υπογείου έργου.
- Στη διερεύνηση των γεωτεχνικών συνθηκών διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης του υπόγειου έργου.
- Στη διερεύνηση της συμπεριφοράς του εδάφους σε σχέση με τη μόνιμη επένδυση της σήραγγας.

1.4 Διάρθρωση της Τεχνικής Έκθεσης

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται τα γενικά στοιχεία της παρούσας μελέτης καθώς και η διάρθρωσή της. Στο κεφάλαιο 2 συνοψίζονται τα γενικά στοιχεία που αφορούν και επηρεάζουν το σχεδιασμό του έργου. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα γεωλογικά και γεωτεχνικά στοιχεία τα οποία αφορούν την διάνοιξη της σήραγγας, πάνω στα οποία έχει βασιστεί ο σχεδιασμός. Στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται η γενική διάταξη του έργου και τα λειτουργικά του χαρακτηριστικά, ενώ στο κεφάλαιο 5 δίδονται τα στοιχεία σχεδιασμού των διατομών χρήσεως, δηλαδή τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά. Η διαδικασία διάνοιξης και τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης περιγράφονται στο κεφάλαιο 6, στο οποίο δίδονται επίσης οδηγίες για την αντιμετώπιση δυσχερών γεωτεχνικών συνθηκών.

2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 Ταυτότητα της Σήραγγας

Η σήραγγα Κνημίδας βρίσκεται στο τέλος της χάραξης του τμήματος της παρούσας εργολαβίας και καλύπτει το τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 8+709 και 11+176.90, με συνολικό μήκος περίπου 2.500 m. Πρόκειται για μια δίδυμη σήραγγα με δύο λωρίδες κυκλοφορίας ανά κλάδο, και διατομή χρήσης ακτίνας 5.25 m στο θόλο. Οι σήραγγες αυτές διανοίγονται στο μεγαλύτερο μέρος τους σε ανθρακικά πετρώματα, Δολομίτες και Ασβεστόλιθους που συγκροτούν τον ορεινό όγκο της Κνημίδας.

2.2 Διαθέσιμα Στοιχεία και Μελέτες

Για τη σύνταξη της παρούσας μελέτης ελήφθησαν υπ' όψιν μια σειρά από στοιχεία και μελέτες που έχουν συνταχθεί σε προηγούμενες φάσεις της διερεύνησης και σχεδιασμού του τμήματος του ΠΑΘΕ μεταξύ Αγίου Κωνσταντίνου – Καμμένων Βούρλων και συγκεκριμένα:

- Οριστική Γεωλογική Μελέτη (ΓΑΜΜΑ 4 1996)
- Νεοτεκτονική – Σεισμοτεκτονική Μελέτη (ΓΑΜΜΑ 4 1997)
- Τεχνική Σεισμολογική Μελέτη (Ο.Τ.Μ. 1997)
- Ποσοτική Αποτίμηση σεισμικής διακινδύνευσης και μέτρων ελαχιστοποίησης επιπτώσεων (Ο.Τ.Μ. / Golder Associates 1998)
- Επικαιροποιημένοι γεωλογικοί – νεοτεκτονικοί χάρτες, κλίμακας 1:2000, και γεωλογικές μηκοτομές της σήραγγας (ΓΑΜΜΑ 4 ΕΠΕ 2002)
- Παρουσίαση Γεωτεχνικής Έρευνας Σήραγγας Αγ. Κωνσταντίνου – Καμμένων Βούρλων (ΟΜΙΛΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΤΕΠΕ, Οκτώβριος 2001)
- Παρουσίαση Γεωτεχνικής Έρευνας Σήραγγας Αγ. Κωνσταντίνου – Καμμένων Βούρλων (Σ. ΑΣΠΡΟΥΔΑΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Ε.Ε., Δεκέμβριος 2001)
- Παρουσίαση Γεωτεχνικής Έρευνας Σήραγγας Αγ. Κωνσταντίνου – Καμμένων Βούρλων (ΚΑΣΤΩΡ ΕΠΕ, Δεκέμβριος 2001)
- Αξιολόγηση Γεωτεχνικής Έρευνας – Γεωτεχνική μελέτη Σήραγγας Αγ. Κωνσταντίνου – Καμμένων Βούρλων (ΟΜΙΛΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΤΕΠΕ, Δεκέμβριος 2001)
- Μελέτη Εφαρμογής Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων (Εκπόνηση ΑΝΤΕΜ – ΤΕΚΕΜ 2003)
- Προμελέτη Σήραγγας Κνημίδας (ΟΜΙΛΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΤΕΠΕ, Σεπτέμβριος 2002)

Για τη σύνταξη της παρούσας μελέτης ελήφθησαν υπ' όψιν ο Κανονισμός Μελετών και Ερευνών (ΚΜΕ) που συνοδεύει τα συμβατικά τεύχη της εργολαβίας και ειδικότερα οι παράγραφοι 1.22 και 3.8 που αφορούν σε έργα σηράγγων. Επίσης ελήφθησαν συμβουλευτικά υπ' όψιν οι γενικότερες οδηγίες μελετών έργων οδοποιίας (ΟΜΟΕ) του ΥΠΕΧΩΔΕ που έχουν ευρύτερο πεδίο

εφαρμογής στα έργα οδοποιίας και ειδικότερα ελήφθη υπ' όψιν το τεύχος οδικών σηράγγων του ΟΜΟΕ, όπως επίσης ο ΟΜΟΕ – ΟΣΥΕΟ.

Επίσης ελήφθη υπ' όψιν η Ειδική και Τέχνηκη Συγγραφή Υποχρεώσεων (ΕΣΥ και ΤΣΥ) του έργου.

Τα στοιχεία οδοποιίας στα οποία βασίζεται η παρούσα μελέτη παρασχέθηκαν από την ΣΥΣΤΑΣ ΕΜΕ που εκπονεί την σχετική μελέτη οδοποιίας για λογαριασμό του αναδόχου.

2.3 Βασικά Δεδομένα της μελέτης

Σύμφωνα με την παράγραφο 3.1.2. του Κανονισμού Μελετών, η Οριστική μελέτη της σήραγγας αποτελεί ουσιαστικά μετεξέλιξη για την φάση της κατασκευής της διαθέσιμη από την υπηρεσία προμελέτης και κατά συνέπεια ακολουθεί τις αρχές και τις παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν.

Στην γεωτεχνική μελέτη προσδιορίζονται οι κατηγορίες βραχώμαζας που αναμένεται να συναντηθούν καθώς και οι αντίστοιχοι παράμετροι σχεδιασμού. Οι κατηγορίες αυτές αντιστοιχούν σε διακριτές κατηγορίες γεωμηχανικής συμπεριφοράς (rock mass behavior types) και ανάλογα διαφοροποιούν τον τρόπο διάνοιξης και τον τύπο των προσωρινών μέτρων υποστήριξης.

Στην εγκεκριμένη προμελέτη, για κάθε κατηγορία βραχώμαζας (και κατά συνέπεια τύπο γεωμηχανικής συμπεριφοράς βραχώμαζας) που διακρίθηκε στην γεωτεχνική μελέτη, προβλέπονται διαφορετικού τύπου μέτρα προσωρινής υποστήριξης τα οποία επιπροσθέτως κλιμακώνονται ανάλογα με το ύψος υπερκείμενων που ρυθμίζει το πεδίο των τάσεων.

Στην παρούσα οριστική μελέτη υιοθετούνται οι παραδοχές που αφορούν στις γεωτεχνικές συνθήκες και παραμέτρους (εφ' όσον δεν έχουν προκύψει άλλα στοιχεία από πρόσθετη γεωτεχνική διερεύνηση), οι κατηγορίες μέτρων προσωρινής υποστήριξης καθώς και οι παραδοχές υπολογισμού και διαστασιολόγησής τους.

Έτσι σε αυτό το στάδιο μελέτης γίνεται η σύνταξη των κατασκευαστικών σχεδίων για την κάθε κατηγορία ξεχωριστά σε συνδιασμό με προσαρμογές και σχεδιαστικές βελτιώσεις σταδίου οριστικής μελέτης. Οι σημαντικότερες αφορούν στην γεωμετρία της διατομής εκσκαφής στο δάπεδό της που γίνονται για να εξυπηρετηθεί σωστά το σύστημα αποστράγγισης που ανασχεδιάζεται σε αυτό το στάδιο με βάση τις οδηγίες της υπηρεσίας, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 5.

3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ-ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.1 Μορφολογία περιοχής

Το μορφολογικό ανάγλυφο στην περιοχή της σήραγγας είναι έντονο και χαρακτηρίζεται από απότομα υψηλά πρηνή καθώς και έντονες χαραδρώσεις. Συγκεκριμένα, η διέλευση της σήραγγας γίνεται στη βάση των απότομων ρηξιγενών πρηνών του ορεινού όγκου της Κνημίδος στο τμήμα που εκτείνεται από την περιοχή του ανενεργού λατομείου δυτικά του Αγίου Κωνσταντίνου μέχρι την περιοχή του Ασπρονερίου, μετά τα Καμένα Βουρλα. Στο Σχέδιο Σ-ΚΝ-4-Α5 όπου παρουσιάζεται η γενική οριζοντιογραφία της περιοχής διέλευσης των σηράγγων, φαίνεται το έντονο ανάγλυφο κατά μήκος της χάραξης.

Η είσοδος των δύο κλάδων της σήραγγας τοποθετείται στην περιοχή του ανενεργού λατομείου μετά τον Άγιο Κωνσταντίνο (εγγύς του Ξενοδοχείου Λεβέντη), σε μια περιοχή όπου ένα ενεργό ρήγμα διασταυρώνει την χάραξη. Η ερυθρά της χάραξης στη θέση της εισόδου τοποθετείται σε βάθος περίπου 17m κάτω από το δάπεδο του λατομείου.

Στη συνέχεια η σήραγγα διέρχεται κάτω από τον ορεινό όγκο της Κνημίδας με ύψη υπερκειμένων που κυμαίνονται από 200 έως 350 m. Το μορφολογικό ανάγλυφο χαρακτηρίζεται και από μια βαθιά χαράδρα που διατέμνει σχεδόν κάθετα τη χάραξη περί τη χιλιομετρική θέση 9+500 και μια ρηχότερη περί τη χιλιομετρική θέση 9+200. η μεταβολή των υπερκειμένων κατά μήκος της σήραγγας παρουσιάζεται στην μηκοτομή του σχεδίου Σ-ΚΝ-4-Α5.

Στην περιοχή εξόδου της σήραγγας, που τοποθετείται στην περιοχή Ασπρονερίου, το μορφολογικό ανάγλυφο είναι σχετικά πιο ήπιο και χαρακτηρίζεται από βραχώδη πρηνή που όμως καλύπτονται στη βάση τους με εδαφικούς έως ημιβραχώδεις σχηματισμούς με κλίσεις φυσικών πρηνών 30° - 35°. Τα πρηνή αυτά διατέμνονται από πλάγιες μικρές ρεματιές και καταλήγουν σε σχεδόν επίπεδη έως και λοφώδη έκταση. Στην ευρύτερη περιοχή της εξόδου αναπτύσσεται ο αραιοδομημένος οικισμός του Ασπρονερίου και σύμφωνα με τα στοιχεία της χάραξης ο δεξιός κλάδος στη θέση αυτή συνορεύει με υπάρχον οικοδόμημα. Η ερυθρά στην περιοχή της εξόδου είναι περίπου 3m πάνω από το φυσικό έδαφος.

3.2 Γεωλογικά στοιχεία

Σύμφωνα με την Οριστική Γεωλογική Μελέτη, το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης αποτελείται από ανθρακικούς σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης και επωθημένους σχηματισμούς του τεκτονικού καλύμματος ηφαιστειοζηματογενούς και οφιολιθικής σύστασης.

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί του υποβάθρου αποτελούνται από ασβεστόλιθους και δολομίτες. Οι ασβεστόλιθοι βρίσκονται στην κορυφή της σειράς και είναι χαρακτηριστικά πλακώδεις, χρώματος γκρι σκούρο. Οι δολομίτες είναι συμπαγείς και άστρωτοι, χρώματος τεφρού έως λευκού και υπόκεινται των ασβεστολίθων, ενώ κατά θέσεις περιέχουν ενστρώσεις ασβεστολίθων. Αυτοί οι ανθρακικοί σχηματισμοί είναι μεσοζωικής ηλικίας (Άνω Ιουρασικό έως Κάτω Ιουρασικό) και χαρακτηρίζονται από ισχυρό κερματισμό και διάρρηξη.

Τα πετρώματα του τεκτονικού καλύμματος είναι επίσης μεσοζωικής ηλικίας και επωθημένα πάνω στα ανθρακικά ιζήματα της περιοχής. Αποτελούνται από δύο διακριτικά συμπλέγματα οφιολιθικών και ηφαιστειοιζηματογενών πετρωμάτων. Το σύμπλεγμα των οφιολιθικών πετρωμάτων χαρακτηρίζεται από το πράσινο γενικά χρώμα, είναι περιδοιτικής κυρίως σύστασης και στις εμφανίσεις τους παρατηρείται προχωρημένη σερπεντινίωση, έντονος κερματισμός, εξαλλοίωση και δομή οφιολιθικού λατυποπαγούς. Στο σύμπλεγμα των ηφαιστειοιζηματογενών πετρωμάτων περιλαμβάνονται κερατόλιθοι, πηλίτες, υποθαλάσσιες εκχύσεις, που χαρακτηρίζονται από κόκκινο χρώμα, έντονο κερματισμό και αποσάθρωση. Πάνω στο μεσοζωικό γεωλογικό περιβάλλον έχουν αποθεθεί νεότερα έως σύγχρονα ιζήματα. Η σήραγγα διανοίγεται στο μεγαλύτερο μήκος της στους ασβεστολίθους και τους δολομίτες και μόνο στο τελευταίο τμήμα της εξόδου συναντά οφιολιθικά πετρώματα και επιφανειακά κορήματα.

Η σήραγγα διανοίγεται στο μεγαλύτερο μήκος της στους ασβεστολίθους και τους δολομίτες και μόνο στο τελευταίο τμήμα της εξόδου συναντά οφιολιθικά πετρώματα και επιφανειακά κορήματα. Στην περιοχή του στομίου εισόδου της σήραγγας η βραχώμαζα με βάση επιφανειακές παρατηρήσεις είναι αρκετά κερματισμένη, κυρίως λόγω της δράσης του κυρίου ενεργού ρήγματος που διέρχεται από αυτή τη θέση. Γενικά ο δολομίτης στο βάθος διέλευσης της σήραγγας αναμένεται να συναντηθεί σε ένα ευρύ φάσμα μορφών αναφορικά με τον βαθμό κερματισμού. Αναμένεται να συναντηθεί από σχετικά συμπαγής έως έντονα τεκτονισμένος και διακλασμένος και τοπικά πλήρως κατακερματισμένος. Στην περιοχή του στομίου εξόδου το μέτωπο διαμορφώνεται σε εξαλλοιωμένους και τοπικά εδαφοποιημένους περιδοίτες που υπόκεινται σχετικά μικρού πάχους πλευρικών κορημάτων.

Η επιφανειακή γεωλογία της περιοχής συνδυάζεται με τα υπόλοιπα γεωτεχνικά – τεκτονικά στοιχεία και παρουσιάζεται στο Σχέδιο Σ-KN-4-A5. Στη γεωτεχνική μηκοτομή του σχεδίου Σ-KN-4-A5 δεν παρουσιάζεται η διάκριση δολομιτών – ασβεστολίθων διότι οι δύο σχηματισμοί δεν διαφοροποιούνται τεχνικογεωλογικά.

3.3 Γεωτεχνικά στοιχεία

Λόγω του έντονου ανάγλυφου του ορεινού όγκου της Κνημίδας η γεωτεχνική διερεύνηση της σήραγγας περιορίστηκε σε τρεις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στην περιοχή του στομίου, τέσσερις που καλύπτουν την περιοχή του στομίου εξόδου και μία μόνο βαθιά γεώτρηση (ΓΝ4) που έχει διατηρηθεί σε μία ενδιάμεση θέση που σημειώνεται στο σχέδιο Σ-KN-4-A5.

Με βάση τις τρεις γεωτρήσεις που διανοίχτηκαν στην περιοχή του στομίου εισόδου φαίνεται ότι στο μεγαλύτερο μήκος της διάνοιξης στην περιοχή εισόδου τα ανθρακικά πετρώματα που θα συναντηθούν είναι κατακερματισμένα και τοπικά εδαφοποιημένα, αφού η δειγματοληψία είχε την μορφή ιλυώδους άμμου ασύνδετων χαλικίων και θραυσμάτων ασβεστολίθου. Ο υψηλός κερματισμός της βραχώμαζας στην περιοχή αυτή είναι αναμενόμενος λόγω της δράσης του κυρίου ενεργού ρήγματος που διέρχεται από αυτή τη θέση και δευτερευόντως λόγω των παλιών εργασιών λατόμευσης.

Η πραγματική εικόνα των ανθρακικών πετρωμάτων στην στάθμη διέλευσης της σήραγγας δεν είναι γνωστή παρά μόνο σε μια θέση όπου και διατρήθηκε η διερευνητική γεώτρηση ΓΝ4. Δεδομένου του μεγάλου μήκους των σήραγγων, οι διαθέσιμες γεωτεχνικές πληροφορίες δεν είναι επαρκείς για την ασφαλή ποσοτική πρόβλεψη της ποιότητας της βραχώμαζας στο μήκος διάνοιξης. Με βάση ποιοτικά στοιχεία εκτιμάται ότι στο βάθος διέλευσης της σήραγγας αναμένεται να συναντηθούν από σχετικά συμπαγείς ζώνες δολομίτη έως ζώνες έντονου κερματισμού, ενώ αναμένεται να συναντηθούν και ζώνες όπου το πέτρωμα θα συναντηθεί εντελώς κατακερματισμένο ή αμμοποιημένο. Σε μικροσκοπικό επίπεδο τα δείγματα του δολομίτη και των ασβεστολίθων που ελήφθησαν από την γεώτρηση ΓΝ4 χαρακτηρίζονται από λατυποπαγή υφή και κατακλαστικό ιστό που είναι συνέπεια τεκτονικών καταπονήσεων πιθανότητα περισσότερης της μιας φάσης και ενισχύει την άποψη ότι θα συναντηθούν ζώνες έντονου κερματισμού.

Δεδομένων των περιορισμένων γεωτεχνικών στοιχείων ο σχεδιασμός της σήραγγας στη φάση της προμελέτης, όπως και στην παρούσα φάση, γίνεται παραμετρικά σε μια προσπάθεια να καλυφθούν στο σύνολο τους όλες οι πιθανές (πιθανές με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία) γεωτεχνικές συνθήκες διάνοιξης. Έτσι για το σχεδιασμό του υπόγειου έργου διακρίθηκαν πέντε κατηγορίες βραχώμαζας για τις οποίες προσδιορίστηκαν παράμετροι αντοχής και παραμορφωσιμότητας για την ανάλυση της υπόγειας κατασκευής. Επιπλέον με βάση τα διαθέσιμα ποιοτικά στοιχεία έγινε και μια εκτίμηση των ποσοστών συμμετοχής των κατηγοριών στο σύνολο του μήκους διάνοιξης. Οι κατηγορίες οι οποίες διακρίθηκαν καθώς και τα κριτήρια κατάταξής τους συνοψίζονται στο πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1. Διάκριση Κατηγοριών Βραχώμαζας

Κατηγορία	GSI	Υπερκείμενο	Περιγραφή Συνθηκών
II	55÷74	οποιοδήποτε	Δολομίτες Δολομιτωμένοι Ασβεστόλιθοι και Ασβεστόλιθοι τεμνόμενοι από 2-3 συστήματα ασυνχειών, με καλή αλληλεμπλοκή των τεμαχίων και χωρίς υλικό πλήρωσης. Κατά θέσεις διατέμνονται από μικρής κλίμακας και μικρής σημασίας κανονικά ρήγματα. Μικρή η πιθανότητα παρουσίας αποκάρσωσης και εκλεκτικής διείσδυσης νερού.
III _A	35÷54	0÷150m	Δολομίτες Δολομιτωμένοι Ασβεστόλιθοι και Ασβεστόλιθοι μέτρια κερματισμένοι, με τεμνόμενα συστήματα ασυνχειών και με παρουσία μικρής κλίμακας κανονικά ρήγματα. Μικρότερη η παρουσία σημαντικής αποκάρσωσης και εκλεκτικής κατείσδυσης νερού.
III _B	35÷54	150÷250m	
III _Γ	35÷54	>250m	
IV _A	25÷34	0÷150m	Δολομίτες Δολομιτωμένοι Ασβεστόλιθοι και Ασβεστόλιθοι έντονα κερματισμένοι με πυκνό σύστημα ασυνχειών και τεμνόμενοι από δέσμη ρηγμάτων. Δυνατή η εκλεκτική κατείσδυση νερού καθώς και η παρουσία καρστικών.
IV _B	25÷34	150÷250m	
IV _Γ	25÷34	>250m	
V _A	<24	0÷150m	Δολομίτες Δολομιτωμένοι Ασβεστόλιθοι και Ασβεστόλιθοι κατακερματισμένοι σε ζώνες διάρρηξης, είτε στην γειτονιά ενεργών ρηγμάτων. Στις ζώνες αυτές είναι πιθανόν να παρατηρηθεί εκλεκτική κατείσδυση νερού, ενώ υπάρχει και πιθανότητα παρουσίας καρστικών.
V _B	<24	150÷250m	
V _Γ	<24	>250m	

Οι παράμετροι αντοχής των παραπάνω κατηγοριών βραχώμαζας υπολογίστηκαν στα πλαίσια της γεωτεχνικής μελέτης του έργου σε συνδυασμό με τις εργαστηριακές με τις εργαστηριακές δοκιμές με βάση τον Γεωμηχανικό Δείκτη Αντοχής (GSI) (που χαρακτηρίζει τον βαθμό κερματισμού του πετρώματος και την κατάσταση των ασυνχειών) και με χρήση του εμπειρικού κριτηρίου Hoek- Brown. Οι παραπάνω παράμετροι, που υιοθετούνται και σε αυτό το στάδιο της μελέτης, παρουσιάζονται στο παράρτημα Α.

Με βάση τα λιγοστά στοιχεία που παρείχε η γεώτρηση ΓΝ4, που διανοίχθηκε στο μέσον περίπου της σήραγγας, έγινε στα πλαίσια της γεωτεχνικής μελέτης μια εκτίμηση των κατηγοριών βραχώμαζας που μπορούν να συναντηθούν κατά τη διάνοιξη οι οποίες συνοψίζονται στον πίνακα 3.2. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται και εκτιμήσεις ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων υποκατηγοριών που προκύπτουν από τα προηγούμενα ποσοστά με συνεκτίμηση της διακύμανσης των υπερκειμένων κατά μήκος των σηράγγων.

Τα ποσοστά συμμετοχής έχουν μόνο ενδεικτικό χαρακτήρα για να εξυπηρετήσουν προμετρητικούς σκοπούς.

Πίνακας 3.2. Εκτιμήσεις Ποσοστών Συμμετοχής Κατηγοριών Βραχώμαζας

Κατηγορία	GSI	Ποσοστό	Υποκατηγορία	Ποσοστό
I	≥75	0%	I	0%
II	55-74	10-15%	II	9.5%
III	35-54	25-40%	III _A	4.0%
III	35-54	25-40%	III _B	6.5%
III	35-54	25-40%	III _Γ	10.0%
IV	25-34	25-40%	IV _A	7.6%
IV	25-34	25-40%	IV _B	12.2%
IV	25-34	25-40%	IV _Γ	20.0%
V	≤24	20-25%	V _A	9.2%
V	≤24	20-25%	V _B	7.6%
V	≤24	20-25%	V _Γ	11.5%

Το υδρογεωλογικό καθεστώς στο εσωτερικό του ορεινού όγκου Κνημίδας χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη του κάρστ της ανθρακικής πλατφόρμας. Σύμφωνα με την Οριστική Γεωλογική Μελέτη οι υδρογεωλογικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη σημαντικής υπόγειας υδροφορίας στη στάθμη διέλευσης της σήραγγας, αφού το επίπεδο βάσης του υδροφόρου ορίζοντα εκτιμάται ότι δεν είναι και πολύ υψηλότερα από το επίπεδο της θάλασσας. Έτσι η σήραγγα εκτιμάται ότι διέρχεται από την ακόρεστη ζώνη του καρστικού υδροφορέα, στην οποία εμφανίζεται μόνο μια περιοδική-εποχιακή παρουσία διερχόμενου νερού μέσω καρστικών αγωγών και σπηλαιώσεων. Με βάση και πάλι τα στοιχεία της οριστικής γεωλογικής μελέτης στην επιφάνεια δεν διαπιστώθηκαν μεγάλα καρστικά κενά και η καρστική διεργασία αναμένεται να είναι σημαντικά εξασθενημένη λόγω της επικράτησης των δολομιτών σε βάρος των ασβεστολίθων. Παρ' όλα αυτά η παρούσα μελέτη θεωρεί σκόπιμο να περιλάβει και προβλέψεις για την περίπτωση διέλευσης μέσα από ζώνες με έντονη παρουσία καρστικών κενών που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στην διάνοιξη.

Στην περιοχή του στομίου εξόδου, το μέτωπο διαμορφώνεται σε εξαλλοιωμένους και τοπικά εδαφοποιημένους περιδοτίτες που υπόκεινται σχετικά μικρού πάχους πλευρικών κορημάτων. Η εμφάνιση σε μια θέση σχηματισμού πλευρικών κορημάτων κάτω από εδαφοποιημένους περιδοτίτες, δημιουργεί υπόνοιες ότι μέρος των υλικών αυτών είναι ολισθημένα. Οι περιδοτίτες διακρίνονται σε εδαφοποιημένους περιδοτίτες (IIa) και τεκτονισμένους, εξαλλοιωμένους περιδοτίτες (IIb).

3.4 Σεισμοτεκτονικά Στοιχεία

Σύμφωνα με τη Νεοτεκτονική – Σεισμοτεκτονική μελέτη, από την περιοχή του έργου διέρχεται το ενεργό ρήγμα Αρκίτσας – Καμένων Βούρλων, το οποίο διασταυρώνεται με την χάραξη λίγο πριν το στόμιο εισόδου της σήραγγας.

Το επιφανειακό ίχνος του κύριου ενεργού ρήγματος χαρακτηρίζεται από κατοπτρικές επιφάνειες συχνά με γραμμώσεις ολίσθησης και αυλακώσεις (Canellures), η διατήρηση των οποίων υποδηλώνει δραστηριότητα στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν. Η μέση μετάπτωση που αναμένεται στο ρήγμα αυτό σε περίπτωση ανάδρασής του εκτιμάται σε 50 cm ενώ η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της μετάπτωσης εκτιμήθηκαν σε 2 μέτρα και 10 εκατοστά αντίστοιχα. Στην περιοχή της εισόδου της σήραγγας, χαρτογραφούνται εκτός από το κύριο ρήγμα και ένα δεύτερο ρήγμα παράλληλο με το κύριο ρήγμα που αναφέρεται στο εύρος της ρηξιγενούς ζώνης ενώ αναφέρονται και δευτερεύοντα ρήγματα του υποβάθρου.

Για την ακριβέστερη τοποθέτηση της θέσης του ρήγματος στους χάρτες και την μελέτη της κατοπτρικής του επιφάνειας και σε άλλες θέσεις από τις φυσικές εμφανίσεις, διανοίχθηκε ένα διερευνητικό όρυγμα στην περιοχή του λατομείου του Αγίου Κωνσταντίνου, δηλαδή στην θέση όπου διασταυρώνεται το ρήγμα με την χάραξη. Η φορά κλίσης και η κλίση του ρήγματος μετρήθηκαν επί τόπου σε 60/56°.

Κατά μήκος της σήραγγας με βάση την αποτύπωση επιφανείας και την γενικότερη μελέτη της περιοχής αναμένεται να συναντηθούν μόνο δευτερεύοντα ρήγματα, τα οποία όμως σύμφωνα με τη νεοτεκτονική μελέτη, εκτιμάται ότι έχουν περιορισμένο δυναμικό σεισμικών μετακινήσεων. Παρ' όλα αυτά η σήραγγα βρίσκεται στην ευρύτερη ρηξιγενή ζώνη, και γι' αυτό ενδέχεται κατά την διάνοιξη των σηράγγων να συναντηθούν ρηξιγενείς ζώνες με έντονα κερματισμένο δολομίτη ή ασβεστόλιθο. Ενδείξεις για την παρουσία τέτοιων ζωνών κατά μήκος της χάραξης των σηράγγων, υπάρχουν και από τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων, αλλά η έκταση και η συχνότητά τους δεν μπορεί να προβλεφθεί στο σύνολο του μήκους των σηράγγων. Με δεδομένη την τεκτονική εικόνα της περιοχής η συνάντηση δυσχερών περιοχών έντονου τεκτονισμού αντιμετωπίζεται πιθανολογικά με αυξημένα ποσοστά πτωχών κατηγοριών βραχώμαζας.

Στην περιοχή της εξόδου εκτός από τα ρήγματα του υποβάθρου, έχει χαρτογραφηθεί και ένα ρήγμα στον σχηματισμό των οφιολίθων το οποίο χαρακτηρίζεται ως «διαβρωμένο τεκτονικό πρηνές με θαμμένη την ρηξιγενή επιφάνεια». Παρά το γεγονός ότι στην νεοτεκτονική μελέτη, ρήγματα που χαρτογραφούνται στην πεδινή περιοχή εκτιμάται ότι έχουν σημαντικό δυναμικό σημαντικών συνσεισμικών μετακινήσεων (περί το 1 μέτρο) πιθανότατα λόγω της αρκετά μικρότερης εκτιμώμενης περιόδου ανάδρασής τους και κατά συνέπεια της μικρότερης πιθανότητας ενεργοποίησης σε ένα

μείζονα σεισμό στην περιοχή, θεωρούνται δευτερεύουσας σημασίας με μικρές πιθανότητες επιπτώσεων στα τεχνικά έργα.

Με βάση τα στρωματογραφικά στοιχεία που προέκυψαν από την παρούσα γεωτεχνική διερεύνηση στην περιοχή συναντήθηκαν σχηματισμοί πρόσφατων κορημάτων να υπόκειται οφιολιθικών οριζόντων, κάτι που θα πρέπει να αποδοθεί σε κατολισθήσεις των οφιολίθων που με την σειρά τους μπορούν να οφείλονται στην ανάδραση του χαρτογραφημένου ρήγματος.

3.5 Σεισμική Επικινδυνότητα

Οι αναλύσεις σεισμικής επικινδυνότητας που έγιναν στα πλαίσια της ειδικής σεισμολογικής μελέτης (Ο.Τ.Μ. 1998) στην ευρύτερη περιοχή του τμήματος της χάραξης που μελετάται, έδωσαν καμπύλες σεισμικής επικινδυνότητας για την κορυφαία τιμή της ταχύτητας και την κορυφαία τιμή της επιτάχυνσης σε συνάρτηση με την περίοδο επανάληψης.

Οι συνιστώμενες τιμές δράσεων σχεδιασμού και οι αντίστοιχες περίοδοι επανάληψης παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1 Συνιστώμενες Τιμές Σεισμικών Δράσεων Σχεδιασμού και οι Αντίστοιχες Περίοδοι Επανάληψης

Στάθμη Σχεδιασμού	Στάθμη 1	Στάθμη 2	Στάθμη 3
Περίοδος Επανάληψης T (έτη)	100	500	2500
Κορυφαία Τιμή Επιτάχυνσης a_g (g)	0,15	0,30	0,50
Κορυφαία Τιμή Ταχύτητας v_g (cm/sec)	10	25	100

Στην ειδική σεισμολογική μελέτη αναγνωρίζεται ότι η περίπτωση ανάδρασης του ρήγματος Αρκίτσας – Καμένων Βούρλων είναι αρκετά πιθανή, ώστε να πρέπει να ληφθεί υπ' όψη στο σχεδιασμό του έργου (εκτιμώμενη πιθανότητα ανάδρασης 1% έως 8% στα επόμενα 50 χρόνια). Επίσης το μέγεθος του αναμενόμενου σεισμού και η εγγύτητα του έργου στο σεισμικό ρήγμα αναμένεται να προσδώσουν ιδιαίτερα δυσμενή χαρακτηριστικά στην σεισμική δόνηση με παλμούς σχετικά μεγάλης περιόδου και εύρους της τάξης του 0.50g. Για την καλύτερη αντιπροσώπευση αυτής της συνθήκης σχεδιασμού, δηλαδή της ανάδρασης του γειτονικού ρήγματος, δίδονται από την ειδική σεισμολογική μελέτη αντιπροσωπευτικά επιταχυνσιογραφήματα.

3.6 Τεκτονικά Διαγράμματα-Οικογένειες Ασυνεχειών

Στα πλαίσια της Οριστικής Γεωλογικής Μελέτης έγιναν μετρήσεις ασυνεχειών σε βραχώδη μέτωπα και σύνταξη τεκτονικών διαγραμμάτων σε χαρακτηριστικές θέσεις στα στόμια καθώς και σε ενδιάμεσες θέσεις κατά μήκος της χάραξης της σήραγγας. Συνολικά συντάχθηκαν 14 τεκτονικά διαγράμματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1 Τεκτονικά Διαγράμματα Σήραγγας Αγ.Κων/νου - Καμ.Βούρλων

ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	ΔΙΑΔΡΟΜΗ – ΜΕΣΟΝ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΞΟΔΟΥ ΣΗΡΑΓΓΑΣ
ΤΔ.5	ΤΔ.6	ΤΔ.1
ΤΔ.10	ΤΔ.7	ΤΔ.2
ΤΔ.11	ΤΔ.8	ΤΔ.3
ΤΔ.12	ΤΔ.9	ΤΔ.4
ΤΔ.17		ΤΔ.16

Αυτά τα τεκτονικά διαγράμματα χρησιμοποιούνται για την διερεύνηση του κινδύνου δημιουργίας δυνητικών ολισθήσεων σφηνών και καταπτώσεων κατά τη διάνοιξη του υπόγειου ανοίγματος αλλά και της αποτελεσματικότητας των μέτρων υποστήριξης για την πρόληψη και τον περιορισμό αυτών των καταπτώσεων. Βέβαια, αναγνωρίζεται πως λόγω του έντονου τεκτονισμού της περιοχής είναι πολύ πιθανόν τα συστήματα των ασυνεχειών στη στάθμη διέλευσης του υπογείου έργου να έχουν αρκετά διαφορετική διεύθυνση από αυτά που αποτυπώθηκαν στην επιφάνεια και για αυτό οι αντίστοιχοι υπολογισμοί του κεφαλαίου 6 έχουν διερευνητικό κυρίως χαρακτήρα.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

4.1 Συναντώμενοι Σχηματισμοί

Με βάση τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων και σε συνδυασμό με τα διαθέσιμα στοιχεία της γεωλογικής μελέτης, κατά μήκος της σήραγγας διακρίνονται οι παρακάτω σχηματισμοί:

- Ανθρακικά πετρώματα κυρίως δολομίτες/δολομιτικοί ασβεστόλιθοι με ενστρώσεις ασβεστολίθων μεσοζωικής ηλικίας μέσα από τους οποίους διέρχεται το σύνολο σχεδόν της σήραγγας.
- Αποσαθρωμένοι και εξαλλοιωμένοι οφιόλιθοι επίσης μεσοζωικής ηλικίας που συναντώνται στην περιοχή της εξόδου της σήραγγας.
- Πρόσφατα κορήματα που συναντώνται στην περιοχή του στομίου εισόδου πριν το ενεργό ρήγμα και στην περιοχή του στομίου εξόδου πάνω από τους οφιόλιθους.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων και των εργαστηριακών δοκιμών που εκτελέστηκαν σε αντιπροσωπευτικά δείγματα των σχηματισμών αυτών. Η αξιολόγηση διακρίνεται σε αυτή των αποτελεσμάτων της γεώτρησης ΓΝ4, στα οποία βασίζεται η εκτίμηση των χαρακτηριστικών ανθρακικών πετρωμάτων και συνακόλουθα των συνθηκών διάνοιξης κατά μήκος της σήραγγας, και εκείνη των υπολοίπων γεωτρήσεων με τις οποίες γίνεται ο σχεδιασμός των στομιών. Στη γεώτρηση ΓΝ4 διακρίνονται ομοιογενείς -όσον αφορά την ποιότητα της βραχώμαζας- ζώνες καθ' ύψος της στήλης και στη συνέχεια γίνεται γεωμηχανική ταξινόμηση των ζωνών αυτών, με βάση διάφορα συστήματα κατάταξης. Με βάση αυτά τα διαθέσιμα στοιχεία και την παραπάνω ανάλυση, διακρίνονται κατηγορίες βραχώμαζας που μπορούν να συναντηθούν κατά μήκος της σήραγγας και προσδιορίζονται αντίστοιχες παράμετροι σχεδιασμού. Για την περιοχή των στομιών προσδιορίζονται παράμετροι σχεδιασμού με βάση τα γεωτεχνικά στοιχεία των αντίστοιχων γεωτρήσεων.

4.2 Ανθρακικά Ιζήματα (Δολομιτικοί Ασβεστόλιθοι)

Τα ανθρακικά ιζήματα συναντήθηκαν σε όλο το βάθος των γεωτρήσεων Γ70, Γ71, Γ72, στο στόμιο εισόδου της σήραγγας, και ΓΝ4 στο μέσον περίπου της χάραξης. Αποτελούν βραχώδη σχηματισμό που με κριτήριο την ορυκτολογική του σύσταση χαρακτηρίζονται σαν δολομίτες, ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, ενώ με κριτήριο το βαθμό κερματισμού χαρακτηρίζονται από μια μεγάλη διακύμανση, από βραχώδες πέτρωμα σχετικά υγιές έως έντονα κατακερματισμένο και αποδιοργανωμένο πέτρωμα (κατακλαστίτης). Οι δολομιτικοί ασβεστόλιθοι της περιοχής σύμφωνα με την γεωλογική μελέτη έχουν υποστεί τεκτονισμό σε περισσότερες από μία τεκτονικές φάσεις, που

συνοδεύτηκε με δυναμική μεταμόρφωση και επανακρυστάλλωση και επανασυγκόλληση με ασβεστιτικό υλικό. Ακόμα παρατηρείται περιορισμένη καρστική διάβρωση.

Αναλυτικότερα και σύμφωνα με τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων Γ70, Γ71 και Γ72 όπου εκτελέστηκαν στην περιοχή της εισόδου της σήραγγας, καθώς και τις επιτόπου παρατηρήσεις στο δάπεδο και τα πρηνή του λατομείου, ο βραχώδης σχηματισμός του δολομιτικού ασβεστολίθου, που συναντάται στην περιοχή αυτή είναι έντονα τεκτονισμένος και κατακερματισμένος με αποτέλεσμα η δειγματοληψία των γεωτρήσεων να δίνει ασύνδετα υλικά που χαρακτηρίζονται ως καλά διαβαθμισμένα αμμώδη χαλίκια έως κακώς διαβαθμισμένες ιλυώδεις άμμοι με χαλίκια και παρουσία μικρών βραχωδών πυρήνων. Ο δείκτης ποιότητας της βραχώμαζας (RQD) έχει μηδενική τιμή σε όλο το μήκος και των τριών γεωτρήσεων και η ποιότητα της βραχώμαζας χαρακτηρίζεται πολύ πτωχή. Στην περιοχή του λατομείου όπου διαμορφώνεται το στόμιο της σήραγγας είναι μια ζώνη έντονου κερματισμού που αποδίδεται στην γεινίαση με το κύριο ενεργό ρήγμα που διασταυρώνει την χάραξη στην περιοχή αυτή. Επιφανειακά στη βάση του πρηνούς του λατομείου, στο δάπεδο του οποίου έγιναν και οι γεωτρήσεις Γ70, Γ71 και Γ72, αποκαλύπτεται η μορφή της βραχώμαζας που η ποιότητα της χαρακτηρίζεται ως έντονα κερματισμένη βραχώμαζα με εμφανίσεις ζωνών πλήρους κερματισμού που επιτρέπουν τον χαρακτηρισμό του υλικού ως κατακλαστίτη.

Στη βαθιά γεώτρηση ΓΝ4 βάθους 300m που διατρήθηκε στο μέσον περίπου της μελετώμενης σήραγγας, το πέτρωμα εμφανίζεται σε διάφορες ποιότητες, σε ορισμένες θέσεις (κυρίως σε μικρά βάθη) σχετικά συμπαγές με λίγες διακλάσεις, στις περισσότερες όμως θέσεις με αρκετές διακλάσεις και διαρρήξεις ενώ σε ρηξιγενείς κατά πάσα πιθανότητα ζώνες, που συναντήθηκαν στο βάθος διέλευσης της σήραγγας, το πέτρωμα εμφανίζεται όπως και στην περίπτωση της περιοχής του στομίου εισόδου, έντονα τεκτονισμένο και κατακερματισμένο με δειγματοληψία ασύνδετων υλικών.

Ο περιορισμός της διάνοιξης γεωτρήσεων σε δύο μόνο θέσεις κατά μήκος της σήραγγας λόγω της δυσκολίας πρόσβασης σε άλλες θέσεις, έχει περιορίσει σημαντικά την άμεση γεωτεχνική πληροφορία, δηλαδή την πληροφορία που έχουμε για συγκεκριμένες θέσεις της «ζώνης επιρροής» της σήραγγας. Έτσι οι αναμενόμενες γεωτεχνικές συνθήκες κατά μήκος της σήραγγας μόνο σε εύλογες υποθέσεις μπορούν να βασιστούν συναξιολογώντας την εικόνα του πετρώματος στην επιφάνεια, και την διακύμανση της ποιότητας του πετρώματος καθ' ύψος της γεώτρησης ΓΝ4. Δεδομένου ότι η γεώτρηση ΓΝ4 αποτελεί την μοναδική πηγή πληροφορίας για την ποιότητα του πετρώματος στο εσωτερικό της ορεινής μάζας της Κνημίδας εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές και μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων (RGD, ασυνέχειες) σε όλο το ύψος της γεώτρησης, και στην συνέχεια έγινε γεωμηχανική κατάταξη των διαφόρων ζωνών που συναντήθηκαν σε διάφορα συστήματα γεωμηχανικής ταξινόμησης. Σκοπός της παραπάνω εργασίας είναι να

προσδιοριστούν τα ποσοστά συμμετοχής των διαφόρων κατηγοριών στο συνολικό μήκος της γεώτρησης.

Θεωρώντας ότι η ποιότητα της βραχώμαζας (RGD, Q, GSI) αποτελεί μια τυχαία μεταβλητή (υπόθεση που είναι εύλογη σε περιπτώσεις σχηματισμών χωρίς δομή ή σε περιπτώσεις που η δομή αυτή είναι άγνωστη) μπορεί να υποτεθεί ότι τα ποσοστά που υπολογίστηκαν είναι αντίστοιχα με τα ποσοστά των κατηγοριών βραχώμαζας που θα συναντηθούν και κατά τη διάνοιξη της σήραγγας. Η παραπάνω διαδικασία επιτρέπει αφενός την εστίαση του σχεδιασμού στις επικρατέστερες γεωτεχνικές συνθήκες και αφ' ετέρου στην ορθολογική κοστολόγηση έργου. Δεδομένου ότι η παραπάνω διαδικασία δεν αποτελεί παρά μια άσκηση εκτέλεσης εύστοχων υποθέσεων και όχι επιτυχών προβλέψεων (που είναι το ζητούμενο), λαμβάνονται υπ' όψιν κατά το σχεδιασμό και την κοστολόγηση του έργου και δυσμενέστερες περιπτώσεις αναφορικά με τα ποσοστά συμμετοχής των διαφόρων κατηγοριών βραχώμαζας που θα χρειαστεί να διατρηθούν και να υποστηριχθούν.

4.2.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά

Σε αντιπροσωπευτικά δείγματα της γεώτρησης ΓΝ4 έγιναν πετρογραφικές και ορυκτολογικές αναλύσεις προκειμένου να μελετηθεί η μικροδομή του υλικού και να εξακριβωθεί η ορυκτολογική του σύσταση. Συγκεκριμένα ελήφθησαν πέντε δείγματα από βάθη 179 έως 279m από τα οποία διαμορφώθηκαν λεπτές τομές οι οποίες εξετάστηκαν σε πολωτικό μικροσκόπιο και στη συνέχεια εκτελέστηκαν περιθλασιμετρικές μετρήσεις ακτίνων Χ σε παρασκευάσματα κόνεως. Σε όλα τα δείγματα που εξετάστηκαν διαπιστώθηκε ότι έχουν μια λατυποποιημένη υφή και ένα κατακλαστικό ιστό που είναι προιόν περισσότερων του ενός τεκτονικού επεισοδίου. Η σύσταση των δειγμάτων κυμαίνεται από ασβεστόλιθο και δολομιτικό ασβεστόλιθο έως καθαρό δολομίτη. Επίσης εντοπίστηκαν ίχνη οξειδίων και υπεροξειδίων του σιδήρου. Τα αποτελέσματα των περιθλασιμετρήσεων συνοψίζονται στον Πίνακα 4.1

Πίνακας 4.1 Ορυκτολογική Σύσταση Ανθρακικών Πετρωμάτων – Γεώτρηση ΓΝ4

Βάθος (m)	Χαρακτηρισμός Σχηματισμού	Περιεκτικότητα σε Ασβεσίτη CaO (%)	Περιεκτικότητα σε Δολομίτη CaMg(CO ₃) ₂ (%)
178	Λατυποποιημένος Δολομίτης	10	90
198	Ωολιθικός Ασβεστόλιθος	97	3
245	Λατυποποιημένος Δολομιτωμένος Ασβεστόλιθος	80	20
265	Λατυποποιημένος Δολομίτης	10	90
279	Λατυποποιημένος Δολομίτης	3	97

Στα βραχώδη δείγματα που επιλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για εργαστηριακές δοκιμές μετρήθηκε συστηματικά (για πλήθος 31 δοκιμών) το ειδικό βάρος αυτών και βρέθηκε να έχει τιμές $\min \gamma = 21.52 \text{ KN/m}^3$ $\max \gamma = 27.05 \text{ KN/m}^3$ με μέση τιμή $\gamma = 25.47 \text{ KN/m}^3$. Οι μετρήσεις του ειδικού βάρους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2. Σύμφωνα με αυτά οι χαμηλότερες τιμές του ειδικού βάρους εντοπίζονται στα τελευταία 50 m της γεώτρησης σε βάθος 250-300m, όπου ο σχηματισμός εμφανίζεται ισχυρά καταπονημένος και διατμημένος. Η μείωση αυτή του ειδικού βάρους υποδεικνύει την παρουσία όλο και πιο εκτεταμένου δικτύου μικροδιακλάσεων και κενών που υπάρχουν και στα δείγματα του άρρηκτου βράχου.

4.2.2 Μηχανικά Χαρακτηριστικά

Σε βραχώδεις πυρήνες δολομητικού υλικού διαμορφώθηκαν δοκίμια και εκτελέστηκαν δοκιμές μονοαξονικής θλίψης (UCS), φόρτισης κατά γενέτειρα (Brazilian Test) και σημειακής φόρτισης (Point Load Test) τα αποτελέσματα των οποίων συνοψίζονται στον Πίνακα 4.2.

Από τα συγκεντρωτικά στοιχεία προκύπτει ότι ως προς τη θλιπτική αντοχή ο βραχώδης σχηματισμός είναι επιφανειακά και μέχρι βάθος 150 m μέτρια ασθενούς αντοχής με τόση (10-30MPa), βαθύτερα είναι ασθενούς αντοχής με μέση τιμή δοκιμών ανεμπόδιστης θλίψης 10 MPa, μετά δε το βάθος των 250 m η θλιπτική αντοχή μειώνεται περισσότερο σε πολύ ασθενή (5 MPa). Η προοδευτική μείωση των αντοχών μονοαξονικής θλίψης δεν οφείλεται σε μια διαφοροποίηση του υλικού αλλά στην αυξανόμενη επικράτηση ενός δικτύου μικροδιακλάσεων (στην κλίμακα των δειγμάτων) με την αύξηση του βάθους.

Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών φόρτισης κατά γενέτειρα ο σχηματισμός εμφανίζει εφελκυστική αντοχή που κυμαίνεται 1-2 MPa που διατηρείται μάλλον σταθερή με το βάθος και στα τελευταία 50 m μειώνεται σημαντικά μέχρι σημείου που να καθίστανται αδύνατον να διαμορφωθούν δείγματα με τον δίσκο κοπής. Από τις δοκιμές σημειακής φόρτισης που έγιναν μέχρι περίπου τα πρώτα 100 m προκύπτει ότι η αντοχή σε σημειακή φόρτιση κυμαίνεται από 1.8-2.8 MPa αν και πρέπει να επισημανθεί ότι αυτές οι δοκινές χαρακτηρίζουν το άνω όριο των τιμών αφού σε ένα σημαντικό αριθμό δειγμάτων που επιχειρήθηκε να εκτελεστούν δοκιμές σημειακής φόρτισης (κυρίως σε δείγματα που βρίσκονται βαθύτερα των 100 m) αυτά αποχωρίζονται πριν αναπτυχθεί μετρήσιμη πίεση στην μηχανή φόρτισης.

Οι χαμηλές τιμές της εφελκυστικής αντοχής οφείλονται στην κυριαρχία ενός πυκνού δικτύου μικροδιακλάσεων πληρωμένων με ασβεστίτικο υλικό το οποίο παρέχει μεν μια συνεκτικότητα στα δείγματα (που εκφράζεται και από την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη) αλλά προκαλεί μια σημαντική μείωση της εφελκυστικής αντοχής των δειγμάτων.

Πίνακας 4.2 Φυσικά και Μηχανικά Χαρακτηριστικά Δολομιτικών Ασβεστολίθων

Γεώτρηση	Βάθος (m)	Φαιν. Βάρος γ (kN/m ³)	Θλιπτική Αντοχή σ_c (MPa)	Εφελκυστική Αντοχή σ_t (MPa)	Δείκτης Σημ. Φόρτισης I_{s50} (MPa)
ΓΝ4	13	25.76	13.37		2.10
	24		7.94		
	25	25.94		1.16	2.02
	36	25.91	27.89		1.70
	45	25.88	24.71	1.42	
	46	26.49			2.69
	55	25.97	13.48		0.84
	56				1.65
	58	26.43	21.47		
	66	25.47	10.88		2.15
	67	26.56		3.39	2.62
	88	26.18	34.20		
	117	26.17	43.60		
	118	25.35		5.67	
	125	26.17	20.42		2.71
	133	26.88		1.6	
	134	27.05	15.61		0.46
	135	23.90	6.96		
	139	25.92	20.48	1.02	
	139	24.55			
	164	26.21		1.45	
	166	24.74	6.65		
	173	25.95	7.07		
	177	26.65	11.95		2.01
	192	24.73	7.84		
	197	26.73	20.17		
197	25.01		2.14		
214	26.48	20.94			
254	21.52		1.2		
256	23.94	4.62			
260	24.87	5.88			
260	24.30	9.66			
262	21.80		0.14		
Μέση Τιμή		25.47	16.17	1.92	1.90
Τυπ. Απόκλιση		1.30	9.80	1.48	0.70
Max		27.05	43.60	5.67	2.71
Min		21.52	4.62	0.14	0.41
Αρ. Δοκιμών		31	22	10	11

5. ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΧΡΗΣΗΣ

5.1 Γενικά

Η διατομή του εσωραχίου των κυρίως σηράγγων καθορίζεται από το απαιτούμενο περιτύπωμα για την κυκλοφορία των οχημάτων, αλλά και για την κίνηση πεζών στα πεζοδρόμια, την τοποθέτηση της σήμανσης και του εξαερισμού. Στη φάση της προμελέτης το περιτύπωμα κυκλοφορίας ελήφθη από τις τυπικές απαιτήσεις διατομών του ΠΑΘΕ (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. 1994 Τυπικές Διατομές και Διαμορφώσεις). Με βάση τις παραπάνω οδηγίες το πλάτος για κάθε λωρίδα κυκλοφορίας είναι 3.75, ενώ το συνολικό ελεύθερο ύψος είναι 5.00 m. Προβλέπεται επίσης και στις δύο οριογραμμές χώρος 0.25 m για την λωρίδα καθοδήγησης, καθώς και 0.25 m περιθώριο μέχρι το πεζοδρόμιο. Το πλάτος του πεζοδρομίου ορίζεται σε 0.75 m με ελεύθερο ύψος 2.30 m. Για να εξασφαλιστεί ο απαιτούμενος χώρος του παραπάνω περιτυπώματος, το άνω τμήμα της διατομής είναι κυκλικό με ακτίνα 5.25 m.

Η επάρκεια της διατομής χρήσης της προμελέτης, για της ανάγκες του συγκοινωνιακού έργου επιβεβαιώθηκε στην φάση εκπόνησης της οριστικής μελέτης με σχετική επιστολή της ΕΥΔΕ-ΠΑΘΕ (α.π.ΚΒ/ΦΚΘΒ10.00?ΜΕ9/οικ/06782-6 Σεπ. 2004) που υπογράφεται από τον υπουργό Γ. Σουφλιά. Έτσι η διατομή του εσωραχίου των σηράγγων είναι ίδια με την διατομή της εγκεκριμένης προμελέτης με εσωτερική ακτίνα στο θόλο 5.25m, με μικρές προσαρμογές σταδίου οριστικής μελέτης. Οι κυριότερες από αυτές αφορούν το κάτω τμήμα της διατομής με σκοπό να εξυπηρετηθεί ορθότερα το σύστημα αποστράγγισης των σηράγγων σύμφωνα με τις πρόσφατες οδηγίες του ΟΜΟΕ-ΟΣΥΕ και σχετικές συστάσεις της υπηρεσίας μέσω του συμβούλου διαχείρισης, αλλά και να εξασφαλιστεί χώρος για τα κανάλια Η/Μ σωληνώσεων και καλωδιώσεων που διέρχονται κάτω από τα πεζοδρόμια.

5.2 Διατάξεις Αποχέτευσης και Αποστράγγισης

Στην παρούσα φάση δεν σχεδιάζεται με λεπτομέρεια το σύστημα αποχέτευσης και αποστράγγισης της σήραγγας. Θεωρείται σκόπιμο να ολοκληρωθεί η εκπόνηση αυτού του στοιχείου της μελέτης αφού ολοκληρωθεί η διάνοιξη τουλάχιστον της Α' φάσης εκσκαφής, ώστε να διασαφηστούν οι συνθήκες υπόγειας υδροφορίας και οι πραγματικές ανάγκες παροχетеυτικότητας του συστήματος αποστράγγισης. Η λεπτομερής διάταξη του συστήματος αποχέτευσης- αποστράγγισης με τις σχετικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες (φρεάτια κ.τ.λ.) και τα αντίστοιχα οπλισμικά σχέδια των μικροκατασκευών από Ωπλισμένο σκυρόδεμα θα υποβληθούν μαζί με την μελέτη της μόνιμης επένδυσης της σήραγγας. Παρ' όλα στην παρούσα φάση μελέτης γίνεται ένας προκαταρκτικός σχεδιασμός ώστε να εξασφαλίσει ότι η γεωμετρία εκσκαφών μπορεί να εξυπηρετήσει τις απαιτήσεις του συστήματος αποχέτευσης-αποστράγγισης.

Στο εσωτερικό των σήραγγων απαιτείται το σύστημα αποχέτευσης να συλλέγει και παροχετεύει περιορισμένες ποσότητες νερών που θα ρέουν σποραδικά στο οδόστρωμα από το πλύσιμο κυρίως της σήραγγας και τυχαία από τις παροχές πυρόσβεσης ή τους υγρούς ρύπους ατυχημάτων. Το σύστημα αποστράγγισης παροχετεύει τα υπόγεια νερά που απαιτείται να συλλέγονται γύρω από τα τοιχώματα της σήραγγας ώστε να εξασφαλίζεται εκτόνωση των υδατικών πιέσεων πίσω από την μόνιμη επένδυση και να περιοριστούν κατ' αυτό τον τρόπο τα φορτία υπολογισμού.

Για να επιτευχθεί η απομάκρυνση των επιφανειακών νερών από το κατάστρωμα προβλέπεται η κατασκευή ενός σχαρωτού αποστραγγιστικού αγωγού (ή κιβωτιοειδές ρείθρο-ΚΜΕ 1.13.4.7.4) στο κρασπεδόρειθρο της χαμηλής οριογραμμής, ο οποίος εκτονώνεται μέσω φρεατίων και διατάξεων σιφωνισμού σε συλλεκτήριο αγωγό αποχέτευσης διαμέτρου $\varnothing 400$ mm. Πιο συγκεκριμένα, ο σχαρωτός αποστραγγιστικός αγωγός αποφορτίζεται ανά 50 μέτρα στον συλλεκτήριο αγωγό μέσω διάταξης σιφωνισμού για λόγους πυρασφάλειας, και για τον ίδιο λόγο ο σχαρωτός αγωγός είναι κλειστός σε ένα μήκος 10 μέτρων εκατέρωθεν της διάταξης σιφωνισμού. Η επιλογή σχαρωτού αγωγού έναντι ρείθρων σχισμής, που επίσης χρησιμοποιούνται σε ορισμένες περιπτώσεις σε σήραγγες, λαμβάνει υπ' όψιν την ανάγκη ευχερούς καθαρισμού και συντήρησης του συστήματος αποχέτευσης. Άλλωστε στον ΚΜΕ (παρ. 1.13.4.7.5) αναφέρεται ότι «για τις Ελληνικές συνθήκες δεν κρίνεται σκόπιμη η γενικευμένη χρήση των ρείθρων σχισμής ως έργου κατά μήκος αποχέτευσης».

Ο ίδιος ο αγωγός και τα φρεάτια του συλλεκτήριου αγωγού αποχέτευσης διατάσσονται στην μέση της χαμηλότερης λωρίδας κυκλοφορίας του αυτοκινητοδρόμου, όπως προκύπτει από τις επικλίσεις. Ο συλλεκτήριος αγωγός αποχέτευσης είναι αγωγός σκυροδέματος $\varnothing 400$, στεγανός και εγκιβωτισμένος σε σκυρόδεμα εγκιβωτισμού το οποίο φθάνει μέχρι το δάπεδο της σήραγγας για να προληφθούν οποιεσδήποτε καθιζήσεις που μπορούν να προκαλέσουν θραύση του αγωγού. Ο συλλεκτήριος αγωγός αποχέτευσης τοποθετείται υψηλότερα από τον συλλεκτήριο αγωγό αποστράγγισης (βλ. παρακάτω) προκειμένου να επιτραπεί η διέλευση των εγκάρσιων αγωγών τροφοδοσίας του αγωγού αποστράγγισης κάτω από τον αγωγό αποχέτευσης.

Οι υπόγειες διηθήσεις και ροές που φθάνουν στην μόνιμη επένδυση της σήραγγας συλλέγονται από την στρώση υδρομάστευσης (γαιούφασμα) του περιβάλλει την στεγάνωση της σήραγγας, και αποφορτίζονται σε ημιδιάτρητους αποστραγγιστικούς αγωγούς διαμέτρου $\varnothing 200$ που κατασκευάζονται από PVC. Οι αγωγοί αυτοί τοποθετούνται στην στάθμη περίπου του οδοστρώματος στα δύο τοιχώματα της σήραγγας και περιβάλλονται από πορώδες σκυρόδεμα για να εξασφαλιστεί η διέλευση των διηθούμενων υδάτων μέσα στους αγωγούς αυτούς. Οι αποστραγγιστικοί αγωγοί εκτονώνονται ανά 50 μέτρα σε συλλεκτήριο αποστραγγιστικό αγωγό (που κατ' αρχάς έχει διάμετρο $\varnothing 400$) μέσω κατάλληλων φρεατίων που διαμορφώνονται σε αντίστοιχες αποστάσεις σε εσοχές στο δεξιό και αριστερό

τοίχωμα της σήραγγας αντιστοιχώς και στο μέσον της λωρίδας κυκλοφορίας. Ο συλλεκτήριος αποστραγγιστικός αγωγός οδεύει στην υψηλότερη πλευρά της οδού στο μέσον της αριστερής λωρίδας κυκλοφορίας. Δεδομένης της πιθανής εναλλαγής διατομών κλειστού και ανοικτού πυθμένα και προκειμένου να αποτραπεί η συγκέντρωση υδάτων κάτω από το οδόστρωμα ο συλλεκτήριος αποστραγγιστικός αγωγός είναι ημιδιάτρητος ώστε να συλλέγει επικουρικά και τα ύδατα από την στραγγιστική στρώση που καταλαμβάνει τον χώρο κάτω από το οδόστρωμα.

Η κλίση των αγωγών των συστημάτων αποχέτευσης και αποστράγγισης ακολουθεί την κατά μήκος κλίση της σήραγγας και το βάθος τους δεν ξεπερνά το βάθος εκσκαφής της σήραγγας. Οι σχετικές θέσεις των αγωγών με την ερυθρά οδοποιίας είναι σταθερή ανεξάρτητα με τον τύπο της μόνιμης επένδυσης (Κατηγορία ανοικτού πυθμένα ή κλειστού πυθμένα).

5.3 Απαιτήσεις Η/Μ εγκαταστάσεων

Κάτω από τα πεζοδρόμια πρέπει να εξασφαλίζεται ικανός χώρος για την διέλευση των καλωδιώσεων και των σωληνώσεων της ηλεκτρομηχανολογικής εγκατάστασης της σήραγγας. Με βάση οδηγίες της υπηρεσίας το κανάλι που βρίσκεται κάτω από το πεζοδρόμιο της ταπεινωμένης οριογραμμής αρκεί να έχει διαστάσεις 60×70cm ενώ στην ανυψωμένη οριογραμμή οι διαστάσεις του καναλιού μπορούν να διατηρηθούν στις διαστάσεις που προτείνει η προμελέτη δηλαδή 60×80cm. Το ύψος του κρασπέδου του πεζοδρομίου ελήφθη 15cm, και πάλι σύμφωνα με συστάσεις της υπηρεσίας. Το βάθος του καναλιού των Η/Μ και το ύψος του κρασπέδου σε συνδιασμό με την μέγιστη επίκλιση του καταστρώματος ορίζουν ουσιαστικά το βάθος της στάθμης του θεμελίου της μόνιμης επένδυσης και στη συνέχεια της στάθμης εκσκαφής του δαπέδου της σήραγγας.

Τα κανάλια διέλευσης των Η/Μ μετά την τοποθέτηση των καλωδιώσεων γεμίζονται με άμμο για να διευκολυνθεί η ψύξη των καλωδιώσεων και καλύπτονται από προκατασκευασμένες- αφαιρετές πλάκες από σκυρόδεμα οι οποίες στην συνέχεια ένα λεπτό στρώμα αμμάσφαλο πάχους 2 cm.

5.4 Στατικές και Κατασκευαστικές Απαιτήσεις

Το απαιτούμενο πάχος του κελύφους της μόνιμης επένδυσης, καθώς και η θεμελίωση του, διαφοροποιούνται μεταξύ των κατηγοριών II και III, της κατηγορίας IV και της κατηγορίας V.

Τα απαιτούμενα πάχη προσδιορίστηκαν με στατικούς υπολογισμούς στο στάδιο της προμελέτης και προέκυψαν 35 cm για τις κατηγορίες II και III, 40 cm για την κατηγορία IV και 50 cm για την κατηγορία V εφ' όσον χρησιμοποιηθεί σκυρόδεμα ποιότητας C25/30. Οι υπολογισμοί για τον

προσδιορισμό του πάχους έγιναν με την (συνηθισμένη) παραδοχή ότι η μόνιμη επένδυση παραλαμβάνει το σύνολο των φορτίων Βραχόμαζας, αμελώντας την συνεισφορά των προσωρινών μέτρων υποστήριξης.

Στις καλές κατηγορίες βραχομάζας (II και III) το κέλυφος της μόνιμης επένδυσης εδράζεται σε λωριδωτό θεμέλιο πλάτους 1,75cm. Στην κατηγορία IV προστίθεται μια πλάκα σύνδεσης των λωρίδων θεμελίωσης ελάχιστου πάχους 20 cm έτσι ώστε να περιοριστούν οι οριζόντιες σχετικές μετακινήσεις τους, που θα μπορούσαν να προκληθούν από τις οριζόντιες ωθήσεις γαιών που αναπτύσσονται στην επένδυση. Η πλάκα αυτή έχει σχεδιαστεί στην παρούσα φάση μελέτης ελαφρά κυρτή προς την μέτρια της βραχόμαζας ώστε να ενισχυθεί η λειτουργία θόλου και να περιοριστούν οι ροπές κάμψης. Αυτή η διαμόρφωση εξυπηρετεί επίσης και την αύξηση του ωφέλιμου βάθους στο μέσον των λωρίδων κυκλοφορίας για την διέλευση των αγωγών αποχέτευσης και αποστράγγισης. Στην κατηγορία V προβλέπεται φορέας μόνιμης επένδυσης κλειστού τύπου, δηλαδή με δάπεδο ανεστραμμένου θόλου όπως και στην προμελέτη.

Η μόνιμη επένδυση σκυροδετείται, ανεξαρτήτως κατηγορίας βραχόμαζας, σε δύο φάσεις: θεμελίωση (ή δάπεδο) και θόλος. Ο θόλος σκυροδετείται με μεταλλότυπο ο οποίος «κλείνει» στην στάθμη -0,93 (σε σχέση με την ερυθρά οδοποιίας) στην οποία διαμορφώνεται κατάλληλο επίπεδο κοινό και στις τρεις διατομές που σχεδιάστηκαν. Η στάθμη αυτή επιλέχθηκε έτσι ώστε στις θέσεις με την μέγιστη επίκλιση (6,5%) να παραμένει χώρος για την διέλευση των Η/Μ καλωδιώσεων και σωληνώσεων κάτω από το πεζοδρόμιο ελάχιστου βάθους 70cm.

5.5 Διατομές Κυρίως Σηράγγων

Με βάση τις απαιτήσεις αποχέτευσης και αποστράγγισης, τις απαιτήσεις διέλευσης Η/Μ καλωδιώσεων και σωληνώσεων κάτω από τα πεζοδρόμια ανάγκης και με δεδομένη την γεωμετρία της διατομής του θόλου, σχεδιάστηκαν οι τυπικές διατομές των τριών τύπων που εφαρμόζονται αντίστοιχα στις κατηγορίες II και III, IV και V και που παρουσιάζονται στα σχέδια Σ-KN-4-B1 και Σ-KN-4-B2.

Στα σχέδια αυτά δείχνονται και οι εσωτερικές διαμορφώσεις με τον σχαρωτό αποστραγγιστικό αγωγό, τα σκυροδέματα διαμόρφωσης των καναλιών Η/Μ κάτω από τα πεζοδρόμια, τις θέσεις των αγωγών αποχέτευσης και αποστράγγισης, όπου φαίνεται ότι ο διαθέσιμος ελεύθερος χώρος εξυπηρετεί (σε ορισμένες θέσεις οριακά) την διέλευση των σωληνώσεων. Επισημαίνεται ότι η οριστική διάταξη και τα κατασκευαστικά σχέδια των μικροκατασκευών του εσωτερικού των σηράγγων θα υποβληθεί μαζί με την μελέτη της μόνιμης επένδυσης αφού έχει ολοκληρωθεί η διάνοιξη.

Στα σχέδια Σ-KN-4-B1 και Σ-KN-4-B2 φαίνεται επίσης ότι κάτω από την οδοστρωσία τοποθετείται στραγγιστική στρώση η οποία εξασφαλίζει την συλλογή και αποστράγγιση των υδάτων που περνούν κάτω από το οδόστρωμα. Τα ύδατα αυτά συλλέγονται από τον ημιδιάτρητο συλλεκτήριο αγωγό που συλλέγει και τις λοιπές διηθήσεις. Δεδομένου του μεγάλου μήκους της σήραγγας και της ενιαίας κλίσης της ερυθράς προς την περιοχή εξόδου, σε συνδυασμό με την πιθανότητα εναλλαγής διατομών κλειστού και ανοικτού τύπου, είναι απαραίτητο να αντιμετωπίζεται το θέμα της συλλογής των υδάτων που περνούν κάτω από το οδόστρωμα ή διέρχονται από το ανοικτό δάπεδο, ώστε να μην αρχίσουν τέτοια εγκλωβισμένα ύδατα να κινούνται ανεξέλεγκτα προς τα κατόντη κάτω από το οδόστρωμα.

5.6 Εσοχές ΕΑΣ- ΦΕΑ και τηλ. Θαλάμων

Ανά πενήντα μέτρα στο δεξιό τοίχωμα της σήραγγας διαμορφώνονται εσοχές στις οποίες τοποθετούνται τα ερμάρια ανάγκης σήραγγας (ΕΑΣ). Οι εσοχές αυτές έχουν σχεδιαστεί κατά τι μεγαλύτερες από αυτές που προβλέπει η προμελέτη, επιτρέποντας έτσι δίπλα στο ερμάριο ανάγκης σήραγγας να τοποθετηθεί ένα φρεάτιο ελέγχου της αποστράγγισης.

Στις ίδιες θέσεις στο απέναντι τοίχωμα της σήραγγας τοποθετείται μια μικρότερη εσοχή στο δάπεδο της οποίας διαμορφώνεται επίσης ένα φρεάτιο ελέγχου της αποστράγγισης (ΦΕΑ) και κατ' αυτόν τον τρόπο η εξωτερική αποστράγγιση της σήραγγας είναι επισκέψιμη και συντηρήσιμη από φρεάτια ανά 50 m όπως προβλέπει και ο ΟΜΟΕ- ΟΣΥΕ.

Στις θέσεις των φρεατίων αυτών τοποθετούνται και οι εγκάρσιοι αγωγοί που οδηγούν τα στραγγιζόμενα ύδατα στον συλλεκτήριο αποστραγγιστικό αγωγό. Η διάταξη του αποστραγγιστικού συστήματος στις θέσεις των εσοχών παρουσιάζεται στο σχέδιο Σ-KN-B5. Στο ίδιο σχέδιο φαίνεται ότι οι εγκάρσιοι αγωγοί που τροφοδοτούν τον συλλεκτήριο αγωγό περνούν κάτω από τον αγωγό συλλογής ακαθάρτων και έτσι καθορίζουν υψομετρικά την θέση του σε μια σχετικά ρηχή στάθμη.

6. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ

6.1 Γενικά

Ο σχεδιασμός της διάνοιξης και της διαδικασίας προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας ακολουθεί τις αρχές της Νέας Αυστριακής Μεθόδου Διάνοιξης Σηράγγων (NATM), σύμφωνα με την οποία τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης εφαρμόζονται σε διαδοχικές φάσεις, έτσι ώστε να επιτρέπεται η αποτόνωση των γεωστατικών τάσεων αλλά ταυτόχρονα με τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται έλεγχος των συγκλίσεων και η πρόληψη υπερβολικών χαλαρώσεων του πετρώματος, όπως επίσης και η εξασφάλιση της ευστάθειας των σφηνών που δημιουργούνται από τις οικογένειες ασυνεχειών και την υπόγεια διάνοιξη.

Ο σχεδιασμός αποσκοπεί στην πρόβλεψη συστημάτων προσωρινής υποστήριξης για τις επικρατέστερες κατηγορίες βραχομάζας που αναμένεται να συναντηθούν στο υπό διάνοιξη μήκος, και αποτελεί ένα σημείο εκκίνησης για την εφαρμογή των μέτρων προσωρινής υποστήριξης. Ανάλογα με τις συναντηθείσες συνθήκες αρκετές προσαρμογές θα πρέπει να μπορούν να γίνουν επί τόπου και κατά περίπτωση. Ο σχεδιασμός στο στάδιο της προμελέτης κάλυψε ένα ευρύ φάσμα γεωμηχανικών κατηγοριών και τύπων συμπεριφοράς πετρώματος οι οποίες υιοθετούνται και σε αυτή την φάση της μελέτης.

6.2 Διάκριση Κατηγοριών – Συμπεριφορά Βραχομάζας

Αρχικό βήμα στο σχεδιασμό της μεθόδου διάνοιξης της σήραγγας και των μέτρων προσωρινής υποστήριξης αποτελεί η διάκριση κατηγοριών βραχομάζας που έχουν διαφοροποιημένη γεωμηχανική συμπεριφορά. Τα βασικά κριτήρια για την διάκριση είναι:

- Η λιθογραφία του πετρώματος
- Η δομή της βραχομάζας
- Οι μηχανικές ιδιότητες της βραχομάζας
- Οι μηχανικές ιδιότητες των ασυνεχειών
- Το γεωστατικό πεδίο
- Οι συνθήκες υπόγειας υδροφορίας

Η βραχομάζα, σύμφωνα με τα στοιχεία της γεωτεχνικής μελέτης, στο μεγαλύτερο μέρος της σήραγγας αποτελείται από δολομιτικούς ασβεστόλιθους και μόνο στην έξοδο της σήραγγας συναντώνται σε μικρό μήκος υπόγειας διάνοιξης οφιολιθικοί σχηματισμοί. Έτσι η λιθολογία μπορεί να θεωρηθεί ενιαία σε όλο το μήκος της διάνοιξης.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας ρυθμίζονται από τα μηχανικά χαρακτηριστικά του άρρηκτου πετρώματος και το βαθμό κερματισμού του. Η διάκριση κατηγοριών ανάλογα με τον βαθμό κερματισμού γίνεται με βάση τον Γεωμηχανικό Δείκτη Αντοχής GSI. Με βάση το GSI διακρίθηκαν τέσσερις κατηγορίες βραχομάζας όπως παρουσιάστηκε και στο κεφάλαιο 3.

Κατηγορία	GSI
II	55÷74
III	35÷54
IV	25÷34
V_A	<24

Το ύψος υπερκειμένων, ρυθμίζει το πεδίο των τάσεων και αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα στις πτωχές κυρίως κατηγορίες βραχομάζας όπου η αντοχή της βραχομάζας είναι συγκρίσιμη με τις επικρατούσες τάσεις. Έτσι, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3, κατά μήκος του έργου διακρίνονται επιμέρους τρεις κλάσεις υπερκειμένων που είναι:

Κατηγορία	Ύψος Υπερκειμένων
A	0-150m
B	150-250m
Γ	>250m

Ο συνδυασμός κλάσεως υπερκειμένου και κατηγορίας βραχομάζας παράγει τις υποκατηγορίες των μέτρων προσωρινής υποστήριξης στις οποίες βασίστηκε ο σχεδιασμός.

Σύμφωνα με την γεωλογική μελέτη, στη στάθμη διέλευσης της ερυθράς δεν αναμένεται να συναντηθεί σταθερός υδροφόρος ορίζοντας αλλά μόνο διηθούμενα ύδατα ή ταχέως εκτονωνόμενοι υδροφόροι ορίζοντες που γενικά δεν επηρεάζουν τις συνθήκες ευστάθειας της σήραγγας και έτσι δεν λαμβάνονται υπ' όψιν στην διάκριση κατηγοριών.

6.3 Διάνοιξη της Σήραγγας

Η διάνοιξη των σηράγγων στις καλύτερες κατηγορίες θα γίνει με διατρήματα και ανατινάξεις (drill and blast). Για τον περιορισμό της διατάραξης της βραχομάζας από τις ανατινάξεις και τον περιορισμό των υπερεκσκαφών μπορούν, εφ' όσον απαιτηθεί, να χρησιμοποιηθούν σε ορισμένες κατηγορίες τεχνικές προρηγμάτωσης (Presplitting) ή ήπιας ανατίναξης (Smooth Blasting).

Η διάνοιξη γίνεται σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση εκσκαφής διανοίγεται η άνω ημιδιατομή, ενώ η δεύτερη φάση εκσκαφής περιλαμβάνει την βαθμίδα (Bench). Η εκσκαφή της βαθμίδας εκτελείται με μια υστέρηση μεγαλύτερη των 15 μέτρων από την Α' φάση εκσκαφής, ώστε να έχει ολοκληρωθεί η αποτόνωση της άνω ημιδιατομής, να έχει σταθεροποιηθεί η εξέλιξη των συγκλίσεων και να έχει αναλάβει ικανοποιητικές αντοχές η επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Στην πράξη, η Β' φάση εκσκαφής ακολουθεί σε μια σημαντική απόσταση την Α' φάση εκσκαφής και συχνά ξεκινά μετά την ολοκλήρωση της Α' φάσης εκσκαφής. Κυριότερος λόγος τα κωλύματα στην κυκλοφορία των οχημάτων που δημιουργούνται από την εργασία σε δύο μέτωπα.

Στην πτωχότερη κατηγορία βραχομάζας (V) πιθανώς να μην απαιτηθούν ανατινάξεις αλλά να μπορεί η διάνοιξη να γίνει με υδραυλική σφύρα ή με έναν συνδυασμό ανατινάξεων χαλάρωσης του πετρώματος και υδραυλικής σφύρας. Στην κατηγορία V προβλέπεται η διαμόρφωση δαπέδου ανεστραμμένου θόλου τόσο στην Α' φάση εκσκαφής όσο και στην Β' φάση εκσκαφής, η διαμόρφωση και η σκυροδέτηση του οποίου ακολουθεί σε μικρή απόσταση από το μέτωπο διάνοιξης. Κατ'αυτόν τον τρόπο οι δύο φάσεις εκσκαφής διαχωρίζονται σε δύο υποφάσεις (άνω ημιδιατομή και διαμόρφωση δαπέδου).

6.4 Γραμμές εκσκαφής

Η γεωμετρία της εκσκαφής οριοθετείται από δύο θεωρητικές γραμμές, την Γραμμή Α και την Γραμμή Β που ορίζονται ως εξής:

Η γραμμή Α ορίζει την περιοχή εντός της οποίας δεν πρέπει να προεξέχει κανένα κομμάτι της βραχομάζας.

Η γραμμή Α σε κάθε κατηγορία βραχομάζας είναι διαφορετική και γεωμετρικά καθορίζεται από:

- Το περιτύπωμα της διατομής χρήσεως
- Το στατικό απαιτούμενο πάχος της τελικής επένδυσης
- Το περιθώριο για κατασκευαστικές αντοχές
- Τις αναμενόμενες συγκλίσεις
- Το πάχος των μέτρων προσωρινής υποστήριξης

Η γραμμή Β είναι η γραμμή εκείνη η οποία καθορίζει τα εξωτερικά όρια, ως προς τα οποία δικαιολογείται πρόσθετη εκσκαφή. Εκσκαφή πέραν της γραμμής Β χαρακτηρίζεται σαν υπερεκσκαφή.

Η απόσταση της γραμμής Α-Β που έχει επιμετρητικό κυρίως χαρακτήρα διαφοροποιείται ανάλογα με την κατηγορία βραχομάζας όπως φαίνεται στον πίνακα 5.2.

Στις προμετρήσεις ποσοτήτων εκσκαφών που παρουσιάζονται στα σχέδια και στο τεύχος Προμέτρησης, προμετράται το σύνολο των εκσκαφών που περιβάλλει τη γραμμή Β και αντιστοιχεί στην μέγιστη πληρωνόμενη ποσότητα εκσκαφών.

Στον πίνακα 6.1. συνοψίζονται τα επί μέρους γεωμετρικά στοιχεία των διατομών για κάθε κατηγορία διάνοιξης.

Πίνακας 6.1 Προσδιορισμός Γεωμετρίας Εκσκαφών Διατομών Σήραγγας

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	II	III	IV	V
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ				
Ακτίνα Εσωραχίου Μόνιμης Επένδυσης R (m)	5.25	5.25	5.25	5.25
Στατικά απαιτούμενο πάχος Μόνιμης Επένδυσης (m)	0.35	0.35	0.40	0.50
Περιθώριο για σύγκλιση και Κατασκευαστικές ανοχές (m)	0.06	0.07	0.15	0.20
Πάχος εκτοξ. σκυ. Προσωρινής Υποστήριξης (m)	0.15	0.20-0.30	0.25-0.40	0.30-0.45
Απόσταση γραμμών Α και Β (m)	0.30	0.25	0.20	0.10

6.5 Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης

Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης ακολουθούν την γενική λογική των διατομών της προμελέτης. Μόνο δευτερεύουσες προσαρμογές στην ελαφρά διαφοροποιημένη γεωμετρία του εσωραχίου και άλλες που έχουν κατασκευαστικό κυρίως χαρακτήρα γίνονται σε αυτή την φάση.

Για την επιλογή των μέτρων προσωρινής υποστήριξης και το σχεδιασμό της διαδικασίας διάνοιξης στα πλαίσια της εκπόνησης της προμελέτης ελήφθησαν υπ' όψιν:

Εμπειρικές συστάσεις μέτρων προσωρινής υποστήριξης με βάση την γεωμηχανική ταξινόμηση της βραχομάζας (RMR-Bieniawski (1989), Q-Barton et al. (1974)).

- Εμπειρίες από παρόμοια έργα όπου έχει χρησιμοποιηθεί η τρέχουσα κατασκευαστική πρακτική της χώρας μας.
- Οι αναλύσεις ευστάθειας με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών
- Αναλύσεις αστάθειας σφηνών

Επιδίωξη των μέτρων προσωρινής υποστήριξης αποτελεί:

- Η ενεργοποίηση και διατήρηση των εγγενών μηχανικών χαρακτηριστικών της βραχομάζας, ώστε να αξιοποιηθεί η ικανότητά της να αυτοφέρεται.
- Η έγκαιρη σταθεροποίηση της διατομής εκσκαφής και ο έλεγχος των παραμορφώσεων της βραχομάζας στην περιοχή του μετώπου με στόχο την ελαχιστοποίηση των χαλαρώσεων.
- Ο περιορισμός των υπερεκσκαφών και των καταπτώσεων για τον περιορισμό των δομικών υλικών πλήρωσης των κενών (εκτ. σκυροδεμα, οπλισμοί κτλ).
- Η προστασία των εργαζομένων σε κάθε στάδιο εργασίας.
- Η εξασφάλιση υψηλής ταχύτητας εργασίας σε κάθε βήμα υποστήριξης και υψηλή παραγωγή διάνοιξης γενικότερα.
- Η ελαχιστοποίηση του κόστους.

Όπως αναφέρθηκε και πρωτίτερα, τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης που χρησιμοποιούνται είναι αγκύρια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα οπλισμένο με χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια (Lattice Girders).

Χρησιμοποιούνται δύο είδη αγκυρώσεων, αγκύρια άμεσης ενέργειας τύπου Swellex ή ισοδύναμων, τα οποία έχουν το πλεονέκτημα της ταχύτητας εγκατάστασης και άμεσης ανάληψης φορτίου και αγκύρια πακτώσεως τα οποία έχουν μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα αλλά και χαμηλότερο κόστος.

Όσον αφορά στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Με την προσθήκη χαλύβδινων ινών (30 kg/m^3) εξασφαλίζεται ικανοποιητική παραμένουσα φέρουσα ικανότητα μετά από τοπικές υπερβάσεις αντοχής. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα οπλίζεται με χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια, τα οποία πέραν της ευκολίας τοποθέτησής τους (λόγω χαμηλότερου βάρους) έχουν το πλεονέκτημα της πολύ καλύτερης συνεργασίας με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Επιπροσθέτως, η χρήση δικτυωτών πλαισίων συμβάλλει στην βελτίωση της ποιότητας του κελύφους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, αφού δεν επιτρέπει την δημιουργία σκιών κατά την φάση εκτόξευσης όπως οι ολόσωμες διατομές.

Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης εφαρμόζονται προοδευτικά σε διαδοχικές φάσεις, έτσι ώστε να επιτρέπεται η αποτόνωση των γεωστατικών τάσεων, ιδιαίτερα σε περιοχές υψηλών υπερκειμένων, αλλά ταυτόχρονα με τρόπο ώστε να ελέγχονται οι συγκλίσεις και να προλαμβάνεται η χαλάρωση της βραχομάζας. Η τοποθέτηση ορισμένων από τα μέτρα (αγκύρια, εκτ. σκυρόδεμα) σε κάποια απόσταση από το μέτωπο, πέραν από την πρόληψη της υπερφόρτισής τους, διευκολύνει την εργασία και δίνει την δυνατότητα για ταχύτερη προχώρηση.

Σε όλες τις κατηγορίες υποστήριξης αμέσως μετά την εκσκαφή ακολουθεί μια στρώση ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος που καλείται στρώση ασφαλείας (safety shotcrete) και σκοπό έχει την άμεση σφράγιση της βραχομάζας. Δεδομένου ότι η εφαρμογή αυτής της στρώσης (όπως και των επόμενων) γίνεται με τον μηχανικό βραχίονα της αντλίας εκτόξευσης, εξασφαλίζεται ότι σε κάθε φάση κατασκευής οι εργαζόμενοι δεν εργάζονται κάτω από ανεπένδυτο βράχο, κάτι που βελτιώνει σημαντικά τις συνθήκες ασφαλείας και την μείωση της έκθεσης των εργαζομένων σε κινδύνους καταπτώσεων. Σε περίπτωση που τοπικά (ή καθολικά σε πτωχότερες κατηγορίες βραχομάζας) εμφανίζεται κίνδυνος αστοχιών και στο μέτωπο, αυτή η στρώση σφράγισης καλύπτει και το μέτωπο.

Στην κατηγορία II το βήμα εκσκαφής πρέπει να είναι μικρότερο από 3.00 m κατά την εκσκαφή της άνω ημιδιατομής, ενώ κατά την εκσκαφή της βαθμίδας το βήμα μπορεί να αυξηθεί σε 4.50 m. Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης περιλαμβάνουν ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 15 cm και αγκυρώσεις άμεσης ενέργειας (αγκύρια Swellex). Ο κάρναβος των αγκυριών άμεσης ενέργειας, τα οποία τοποθετούνται σε μικρή σχετικά απόσταση από το μέτωπο, συμπληρώνεται στην συνέχεια στην περιοχή του θόλου με αγκύρια συνεχούς πακτώσεως. Δεδομένου ότι, σε καλές κατηγορίες βραχομάζας ο σημαντικότερος κίνδυνος είναι η ολίσθηση σφηνών η οποία ρυθμίζεται κυρίως από την γεωμετρία των συστημάτων διακλάσεων και διαρρήξεων και δευτερευόντως από το πεδίο των τάσεων, δεν προβλέπεται διαφοροποίηση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης ανάλογα με το υπερκείμενο όπως στις άλλες κατηγορίες.

Στην κατηγορία III το βήμα προχώρησης περιορίζεται στην Α' φάση εκσκαφής σε 1.50 m και σε 3.00 m στην Β' φάση εκσκαφής. Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης περιλαμβάνουν αγκυρώσεις και 20-30 cm ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ανάλογα με την κλάση υπερκείμενου. Τα χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια τοποθετούνται στην Α' φάση εκσκαφής, όπως προβλέπει και η εγκεκριμένη Προμελέτη, με εξαίρεση τις θέσεις διάνοιξης των εσοχών και των διασυνδετήριων στοών όπου θα επεκτείνονται και στην Β' φάση εκσκαφής, σε μήκος 6.00 και 9.00 m αντίστοιχα εκατέρωθεν του άξονα της εκάστοτε διατομής. Ο συστηματικός κάρναβος αγκυρώσεων περιλαμβάνει αγκύρια άμεσης ενέργειας (Swellex) τα οποία τοποθετούνται σε μικρή σχετικά απόσταση από το μέτωπο και σε αγκύρια συνεχούς πάκτωσης που

συμπληρώνουν τον κάνναβο και μπορούν να τοποθετηθούν όταν το μέτωπο έχει προχωρήσει.

Στην κατηγορία IV, όπου λόγω του έντονου κερματισμού του πετρώματος αναμένονται περισσότερες καταπτώσεις ή υπερεκσκαφές στο ανυποστήρικτο τμήμα, προστίθενται ράβδοι προαγκύρωσης –κεκλιμένες χάλκινες ράβδοι Ø32, L=6.00m. Οι ράβδοι αυτοί σκοπό έχουν να συγκρατήσουν μέσω κυρίως της δράσης βλήτρου, σφήνες και τεμάχια βράχου που μπορούν να ολισθήσουν, πριν την άφιξη του μετώπου εκσκαφής. Σε θέσεις όπου ο κερματισμός είναι πολύ υψηλός (πιθανώς και στην κατηγορία IV) και ο θόλος εμφανίζει αστάθειες, η δράση των ράβδων προαγκύρωσης μπορεί να ενισχυθεί με την εκτέλεση τσιμεντενέσεων από οπές παράλληλες με τις ράβδους προαγκύρωσης ή με την αντικατάσταση των ράβδων προαγκύρωσης με αυτοδιατρώμενες αγκυρώσεις και την εκτέλεση τσιμεντενέσεων μέσα από αυτές. Το βήμα προχώρησης εδώ είναι 1.20m για την άνω ημιδιατομή και 2.40m για την βαθμίδα. Ο κάνναβος των αγκυρώσεων είναι κάπως πυκνότερος σε σχέση με την προηγούμενη κατηγορία και το πάχος της επένδυσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι 25-40cm αναλόγως της κλάσης υπερκείμενου, που λόγω της χαμηλότερης αντοχής της βραχομάζας παίζει έναν πιο σημαντικό ρόλο εδώ.

Στην κατηγορία V το δολομιτικό ή το ασβεστολιθικό πέτρωμα αναμένεται ιδιαίτερα κερματισμένο και τοπικά εδαφοποιημένο και για αυτό απαιτείται η τοποθέτηση δοκών προπορείας για την συγκράτηση των καταπτώσεων. Η ευστάθεια της διατομής βασίζεται στην δημιουργία ενός δύσκαμπτου κλειστού δακτυλίου από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και για αυτόν τον λόγο διαμορφώνεται δάπεδο ανεστραμμένου θόλου επενδεδυμένο με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα τόσο στην Α' φάση εκσκαφής όσο και στην Β' φάση εκσκαφής. Η ευστάθεια του μετώπου της σήραγγας διασφαλίζεται με την τοποθέτηση δοκών προπορείας (forepolling) και αγκυρίων υαλοϊνών (fiberglass). Το πάχος της επένδυσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι 30-45cm ανάλογα με το υπερκείμενο.

Στα σχέδια Σ-KN-4-Γ1, Σ-KN-4-Γ2, Σ-KN-4-Γ3, Σ-KN-4-Γ4, Σ-KN-4-Γ5 και Σ-KN-4-Γ6 παρουσιάζονται τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης των κατηγοριών II, III, IV και V. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στις κατηγορίες III, IV, και V γίνεται μια κλιμάκωση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης ανάλογα και με το ύψος υπερκείμενων, οπότε παράγονται οι υποκατηγορίες III-A, III-B, III-Γ, IV-A, IV-B, IV-Γ, V-A, V-B και V-Γ.

6.6 Διάνοιξη στην περιοχή του στομίου εισόδου

Η διαδικασία διάνοιξης και τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης στα πρώτα μέτρα που οριοθετούν την περιοχή του στομίου εισόδου, λόγω του υψηλού βαθμού κερματισμού (έως και εδαφοποίησης) του δολομίτη στη ζώνη του ρήγματος, λόγω του χαμηλού υπερκειμένου αλλά και λόγω της εγγύτητας των δύο κλάδων, ακολουθεί τα μέτρα κατηγορίας V για χαμηλά υπερκείμενα δηλαδή κατηγορία κατηγορία VA, όπως προβλέπει και η εγκεκριμένη προμελέτη. Εφ' όσον μετά την εφαρμογή των μέτρων αυτών (VA) σε ένα αρχικό τμήμα τριάντα έξι μέτρων (τέσσερις ομπρέλες δοκών προπορείας) το πέτρωμα που θα συναντηθεί είναι καλύτερης ποιότητας από αυτή που αναμένεται μπορεί να εφαρμοστεί στο εναπομένον τμήμα των πρώτων εξήντα μέτρων η αμέσως ελαφρύτερη κατηγορία μέτρων προσωρινής υποστήριξης, δηλαδή Κατηγορία IVA.

Το υπό διάνοιξη τμήμα παρουσιάζεται σε κάτοψη στο σχέδιο Σ-KN-4-Z1 όπου φαίνεται επιπρόσθετα το μικρό πάχος της βραχοκολώνας που απομένει μεταξύ των δυο κλάδων και παραμένει ιδιαίτερα λεπτό για τα πρώτα 27 μέτρα της διάνοιξης. Στην περιοχή αυτή (από την Χ.Θ. 8+720 έως τη Χ.Θ. 8+747), όπου η αξονική απόσταση των δύο κλάδων είναι πολύ μικρή και η αλληλεπίδραση των δύο κλάδων είναι σημαντική, λαμβάνεται επιπρόσθετως για την περιοχή της βραχοκολώνας πρόσθετα μέτρα προβελτίωσης και περίσφιξης. Οι κύριοι κίνδυνοι στην περιοχή αυτή είναι:

- i) Η υπερφόρτιση της βραχοκολώνας υπό θλιπτικό φορτίο το οποίο δεν μπορεί να αναλάβει,
- ii) Η υπονόμηση της κολώνας λόγω υπερεσκαφών (θρυμματισμού και ανεξέλεγκτων καταπτώσεων),
- iii) Η διατμητική αστοχία σε κάποια κύρια ασυνέχεια.

Για την αντιμετώπιση αυτών των κινδύνων λαμβάνονται τα εξής μέτρα:

- Στο τμήμα αυτό δεν τοποθετούνται τα αγκύρια συνεχούς πάκτωσης που προβλέπονται στις συνήθεις διατομές διότι τα αγκύρια περνούν από τον ένα κλάδο στον άλλο.
- Μετά την διάνοιξη της άνω ημιδιατομής του ενός κλάδου τοποθετούνται αγκύρια υαλοϊνών προς τον δεύτερο κλάδο με σκοπό την αύξηση της διατμητικής αντοχής της βραχομάζας πριν την εκσκαφή της δεύτερης σήραγγας.
- Τοποθετούνται αυτοδιατρώμενα αγκύρια τα οποία μετά την διάνοιξη του δεύτερου κλάδου δημιουργούν αμφίπλευρες αγκυρώσεις και με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται περίσφιξη της βραχοκολώνας.

- Εκτελούνται τσιμεντενέσεις σταθεροποίησης του πετρώματος για να αυξηθεί η συνοχή του και να περιοριστούν οι υπερεσκαφές και οι καταπτώσεις κατά την διάνοιξη. Οι λεπτομέρειες της διαδικασίας εκτέλεσης τσιμεντενέσεων θα προσδιοριστούν επί τόπου μετά από κατάλληλες δοκιμές και σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Τεχνικής Συγγραφής Υποχρεώσεων. Επικουρικά μπορούν να ληφθούν υπ' όψιν οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες που παρουσιάζονται στο σχέδιο Σ-ΚΝ-4-Γ12.

Λεπτομερέστερα η διαδικασία ενίσχυσης της βραχοκολώνας έχει ως εξής:

ΣΤΑΔΙΟ 1

Εκσκαφή άνω ημιδιατομής αριστερού κλάδου με βήμα προχώρησης 1.00m. Σε κάθε βήμα τοποθετούνται:

-6 αγκύρια Fiberglass μήκους L=6.00m

-2 αυτοδιατρώμενα αγκύρια, μήκους L=4.00~5.00m

-Μέσα από τα αυτοδιατρώμενα αγκύρια εκτελούνται κατά την εγκατάστασή τους τσιμεντενέσεις σταθεροποίησης της βραχομάζας.

ΣΤΑΔΙΟ 2

Εκσκαφή άνω ημιδιατομής δεξιού κλάδου με βήμα προχώρησης 1.00m. Η εκσκαφή του Β' κλάδου γίνεται με μια υστέρηση μεγαλύτερη των 15 μέτρων από την εκσκαφή του Α' κλάδου για να περιοριστεί η αλληλεπίδραση των εργασιών διάνοιξης στους δύο κλάδους.

Τα εξέχοντα στελέχη των αυτοδιατρώμενων αγκυρίων που έχουν τοποθετηθεί στο προηγούμενο βήμα και από τα οποία έχει εισπιαστεί ένεμα, τα οποία συναντώνται κατά την εκσκαφή του δεξιού κλάδου κόβονται με τροχό κοπής (και όχι με φλόγα) και στο απομένον τμήμα εφαρμόζεται κατάλληλη πλάκα αγκύλωσης η οποία κοχλιώνεται αναλόγως. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται αμφίπλευρες αγκυρώσεις περίσφιξης της λεπτής κατά τα άλλα βραχοκολώνας.

ΣΤΑΔΙΟ 3

Εκσκαφή βαθμίδας αριστερού κλάδου με βήμα προχώρησης 2.00m. Η εκσκαφή της βαθμίδας γίνεται με μια υστέρηση μεγαλύτερη των 15 μέτρων από την Α' φάση εκσκαφής οποιουδήποτε από τους δύο κλάδους για να περιοριστεί η αλληλεπίδραση των εργασιών διάνοιξης μεταξύ των δύο φάσεων εκσκαφής.

Σε κάθε βήμα εκσκαφής της βαθμίδας τοποθετούνται (ανά τρέχον μέτρο) :
-4 αυτοδιατρώμενα αγκύρια, μήκους $L=4.00-5.00m$.
-Μέσα από τα αυτοδιατρώμενα αγκύρια εκτελούνται κατά την εγκατάστασή τους τσιμεντενέσεις σταθεροποίησης της βραχομάζας.

ΣΤΑΔΙΟ 4

Εκσκαφή βαθμίδας δεξιού κλάδου με βήμα προχώρησης 2.00m. Η εκσκαφή της βαθμίδας του δεξιού κλάδου γίνεται με μια υστέρηση μεγαλύτερη των 15 μέτρων από την εκσκαφή της βαθμίδας του αριστερού κλάδου για να περιοριστεί η αλληλεπίδραση των εργασιών διάνοιξης μεταξύ των δύο κλάδων.

Τα συναντώμενα στελέχη των αυτοδιατρώμενων αγκυρίων, που έχουν τοποθετηθεί στο προηγούμενο βήμα, κόβονται (και πάλι με τροχό κοπής) και κοχλιώνονται όπως στο βήμα 2 δημιουργώντας πρόσθετες αμφίπλευρες αγκυρώσεις περίσφιξης της βραχοκολώνας.

Η διαδικασία εφαρμογής αυτών των πρόσθετων μέτρων περιγράφεται στο σχέδιο Σ-KN-4-Z2.

6.7 Διάνοιξη στην περιοχή του Στομίου Εξόδου

Στην περιοχή του στομίου εξόδου η αλληλεπίδραση των δύο κλάδων είναι περιορισμένη διότι η απόστασή τους είναι αυξημένη. Παρ' όλα αυτά, η διάνοιξη θα αρχίσει μέσα από τους περιδοτίτες της περιοχής και θα διασχίσει την τεκτονική επαφή για να διέλθει μέσα στο σώμα του δολομιτικού σχηματισμού. Δεδομένης της πτωχής ποιότητας των περιδοτιτών και ενδεχομένως της πτωχής ποιότητας των δολομιτών της επαφής των δύο σχηματισμών στην ζώνη επώθησης, η διάνοιξη στην περιοχή θα γίνει εφαρμόζοντας μέτρα κατηγορίας VA για μήκος που εκτιμάται σε 45-60m. Το μήκος αυτό μπορεί να περιοριστεί εφ' όσον συναντηθεί υγιέστερη βραχομάζα νωρίτερα.

Ιδιαίτερη προσοχή θα απαιτηθεί αναφορικά με την συνολική ευστάθεια των πρानών στην περιοχή του στομίου εξόδου και την πιθανότητα διατάραξης κάποιας οριακής ισορροπίας με την διάνοιξη των σηράγγων. Στο κεφάλαιο 3 αλλά και στην γεωτεχνική μελέτη του έργου έχει αναφερθεί η υποψία ότι κάποια από τα υλικά που συναντήθηκαν κατά το γεωρευνητικό πρόγραμμα μπορεί να είναι ολισθημένα. Οι συνθήκες ευστάθειας των πρानών θα αξιολογούνται κατά την εκτέλεση των εργασιών διαμόρφωσης των μετώπων αλλά και διάνοιξης των σηράγγων με βάση τις μετρήσεις μετακινήσεων στόχων που θα έχουν τοποθετηθεί τόσο σε χαρακτηριστικά σημεία των αντιστηρίξεων όσο και του επικλινούς εδάφους. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι οι εργασίες ενεργοποιούν κάποια γενικευμένη αστάθεια στην

περιοχή θα πρέπει να διακοπούν οι εργασίες και να ληφθούν πρόσθετα μέτρα, τα οποία θα σχεδιαστούν (εάν και εφόσον απαιτηθεί) με βάση τα διαθέσιμα γεωτεχνικά και οργανομετρικά στοιχεία.

Κατά την διάνοιξη των πρώτων μέτρων των σιηράγγων στην περιοχή του στομίου εξόδου δεν αναμένεται να εκδηλωθούν εισροές υδάτων, καθ'ότι οι οφιολιθικοί σχηματισμοί αφ' ενός χαρακτηρίζονται στο σύνολο από υδατοστεγανότητα λόγω της επικράτησης των αργιλικών συστατικών. Πιθανότατα τα πετρώματα να είναι στεγνά ή να εμφανίζεται μόνο στάγδην ροή δεδομένου ότι η περιοχή βρίσκεται πάνω από τα επίπεδα υπόγειας υδροφορίας. Παρ' όλα αυτά, υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας εποχιακά επικρεμάμενου υδροφόρου ορίζοντα, με συνέπεια να υπάρχει το ενδεχόμενο να αναπτυχθούν υδροστατικές πιέσεις πίσω από την προσωρινή υποστήριξη και για αυτό θα πρέπει να δοθεί στην περιοχή, προσοχή στην διάνοιξη και συντήρηση των αποστραγγιστικών οπών που σημειώνονται στα σχέδια. Στην περιοχή αυτή υπάρχει η δυνατότητα φραγμού κάποιου υδροφορέα που μπορεί να αναπτύσσεται εντός των δολομιτών, από το αδιαπέρατο κάλυμμα των περιδοτιτών. Κατά την διάνοιξη της σιηραγγας σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσαν να προκληθούν ιδιαίτερα προβλήματα από την απότομη (και ανεξέλεγκτη) εκφόρτιση ενός τέτοιου υδροφορέα από την περιοχή του μετώπου. Γι' αυτό τον λόγο θα πρέπει στην ευρύτερη περιοχή της επαφής των δύο σχηματισμών να διανοίγονται συστηματικά διερευνητικές-αποστραγγιστικές οπές στο μέτωπο.

6.8 Διασυνδετήριες Στοές

Τα μέτρα υποστήριξης των διασυνδετηρίων στοών ακολουθούν αυτά που προτείνει η προμελέτη. Οι διασυνδετήριες στοές διαφυγής πεζών διανοίγονται με βήμα προχώρησης 1.00m. Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης περιλαμβάνουν 30cm ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αγκύρια Swellex στο θολό και συνεχούς πακτώσεως στα τοιχώματα.

Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης καλύπτουν τις συνθήκες διάνοιξης για κατηγορία βραχομάζας IV. Με βάση την εμπειρία που θα έχει αποκτηθεί από την διάνοιξη των κυρίως σιηράγγων και με βάση τις ενόργανες παρατηρήσεις της συμπεριφοράς των κυρίως σιηράγγων στην περιοχή όπου θα διανοιχθεί η διασυνδετήρια στοά, μπορούν να επιτραπούν ελαφρύνσεις των μέτρων προσωρινής υποστήριξης εφ' όσον το πέτρωμα είναι καλύτερης ποιότητας. Οι ελαφρύνσεις αυτές μπορούν να είναι αύξηση του βήματος σε 1.20cm για κατηγορία III και 1.50cm για κατηγορία II με ανάλογη αραιώση της πυκνότητας των δικτυωτών πλαισίων και των αγκυρώσεων.

Η διασυνδετήρια στοά προσέγγισης οχημάτων εκτάκτου ανάγκης έχει κάπως αυξημένο άνοιγμα (7.50m έναντι των 6.00m της προηγούμενης). Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης περιλαμβάνουν 30cm ινοπλισμένο εκτοξευόμενο

σκυρόδεμα και χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια ανά 1.00m σε συνδυασμό με αγκυρώσεις Swellex στο θόλο και συνεχούς πακτώσεως στα τοιχώματα.

Αυτά τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης καλύπτουν τις κατηγορίες II και III. Στην περίπτωση που κατά την διάνοιξη της διασυνδετηρίου συναντηθεί βραχομάζα κατηγορίας IV το πάχος της προσωρινής υποστήριξης αυξάνεται σε 40cm.

Τόσο όσο αφορά στις διασυνδετήριες στοές προσέγγισης οχημάτων έκτακτης ανάγκης όσο και στις διασυνδετήριες στοές διαφυγής πεζών συνιστάται, εφόσον συναντηθεί βραχομάζα υποδεέστερη της κατηγορίας IV (δηλ. kat. V), να εξεταστεί εάν με μικρή σχετικά μετακίνηση της θέσεως της διασυνδετηρίου μπορεί να αποφευχθεί αυτή η δυσμενής γεωτεχνική ζώνη χωρίς σημαντικές όμως επιπτώσεις στα λειτουργικά χαρακτηριστικά του τελικού έργου.

6.9 Διευρύνσεις Στάθμευσης Έκτακτης Ανάγκης

Οι διατομές των διευρύνσεων στάθμευσης έκτακτης ανάγκης έχουν μια σημαντική διατομή διάνοιξης πλάτους 15.00m. Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης και εδώ ακολουθούν τις προβλέψεις της προμελέτης. Η διατομή διανοίγεται με βήμα 1.00m και υποστηρίζεται με ένα κέλυφος ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 30cm οπλισμένο με χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια. Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης περιλαμβάνουν επίσης αγκυρώσεις Swellex που τοποθετούνται σε μια πρώτη φάση εφαρμογής αγκυρώσεων και αγκύρια συνεχούς πάκτωσης που εφαρμόζονται σε δεύτερη φάση, πυκνώνοντας έτσι τον αρχικό κάρνα των αγκυρώσεων.

Σύμφωνα με τις προβλέψεις της προμελέτης, αυτά τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης αντιστοιχούν σε κατηγορία βραχομάζας III. Δεδομένου όμως του μήκους της διεύρυνσης (50m), θεωρείται σκόπιμο σε αυτή τη φάση μελέτης να σχεδιαστεί και μια δυσμενέστερη κατηγορία που να καλύπτει βραχομάζα κατηγορίας IV.

Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης αυτής της διατομής ακολουθούν εκείνα της διατομής της κύριας σήραγγας. Δηλαδή περιλαμβάνουν μια ομπρέλα ράβδων προαγκύρωσης και ένα κέλυφος εκτοξευόμενου σκυροδέματος που τώρα έχει πάχος 40cm. Οι αγκυρώσεις είναι και εδώ δύο τύπων, σε πυκνότερους καννάβους σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση.

6.10 Σημεία ιδιαίτερης προσοχής

6.10.1 Καρστικοποιημένες Ζώνες

Παρά το γεγονός ότι ορυκτολογικά η δολομιτική φύση των ανθρακικών σχηματισμών αναμένεται να έχει περιορίσει την εξέλιξη της καρστικοποίησης του πετρώματος, δεν μπορούν να αποκλειστούν οι περιπτώσεις όπου η σήραγγα θα συναντήσει μικρά ή και μεγαλύτερα καρστικά έγκοιλα, και θα πρέπει αυτά να αντιμετωπιστούν αναλόγως. Η σημαντικότερη διακινδύνευση από παρουσία καρστικών συνίσταται σε:

- Καταπτώσεις στην οροφή από ανοικτά κενά τα οποία δεν έχουν σφραγιστεί σωστά.
- κατάλληλες δοκιμές και με την σύμφωνη γνώμη της επίβλεψης. Στην παρούσα παράγραφο αναπτύσσονται μερικές Υποχώρηση του δαπέδου της διάνοιξης από καρστικά κενά που αναπτύσσονται κάτω από το δάπεδο της σήραγγας και η διάνοιξη μπορεί να προκαλέσει την κατάρρευση της οροφής τους.
- Υποχώρηση του κελύφους εκτοξευόμενου σκυροδέματος από υποχωρήσεις της περιοχής έδρασής του (περιοχή elephant foot), εφόσον στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται καρστικά κενά.
- Υπερφόρτιση της επένδυσης της προσωρινής υποστήριξης από συγκέντρωση εποχιακών υδάτων πίσω από σφραγισμένο καρστικό αγωγό.
- Απότομη εισροή υδάτων, ή υδάτων και λάσπης, ή υδάτων, άμμου και θραυσμάτων βράχου από την συνάντηση καρστικών κενών πληρωμένων με τα παραπάνω υλικά με ταυτόχρονη ανάπτυξη υψηλών υδροστατικών πιέσεων, λόγω παρουσίας επικρεμάμενων υδροφόρων οριζόντων.

Οι περιπτώσεις συνάντησης κενών καρστικών εγκοίλων, διαφόρων μεγεθών και σε διάφορες θέσεις σε σχέση με την σήραγγα αντιμετωπίζονται με τις τεχνικές που παρουσιάζονται στο σχέδιο Σ-ΚΝ-4-Γ13. Αναλυτικότερα, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

Περίπτωση A1 Καρστικά έγκοιλα εύρους $B < 2.00m$ στο θόλο διάνοιξης.

1. Αποσπώνται όλοι οι ασταθείς όγκοι (ξεσκάρωμα)
2. Τοποθετούνται τα δικτυωτά πλαίσια με πυκνά πλέγματα για τη συγκράτηση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και στη συνέχεια εφαρμόζεται κανονικά το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα της προσωρινής επένδυσης.

3. Το καρστικό κενό όπισθεν της ολοκληρωμένης επένδυσης γεμίζεται με σκυρόδεμα πλήρωσης ποιότητας C12/15 μέχρις ύψους $H > B$, από σωλήνα σκυροδέτησης που έχει τοποθετηθεί στο προηγούμενο βήμα σε κατάλληλη θέση.
4. Τοποθετούνται αγκυρώσεις στη θέση του εγκοίλου για την εξασφάλιση της σύνδεσης της «τάπας» με τους βράχους.
5. Διανοίγονται αποστραγγιστικές οπές.

Περίπτωση A2 Καρστικά έγκοιλα εύρους $2.00m < B < 4.00m$ στο θόλο της διάνοιξης

1. Αποσπώνται όλοι οι ασταθείς όγκοι (ξεσκάρωμα).
2. Στο εσωτερικό του καρστικού κενού στηρίζονται χαλύβδινες δοκοί και φύλλα λαμαρίνας ή πυκνά πλέγματα.
3. Εφαρμόζεται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για την πλήρωση του κενού ενδεχομένως σε περισσότερες από μια φάσεις.
4. Τοποθετούνται τα χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια της προσωρινής υποστήριξης και ολοκληρώνεται η προσωρινή επένδυση με επιπλέον εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος.
5. Το καρστικό κενό όπισθεν της ολοκληρωμένης επένδυσης πληρώνεται με σκυρόδεμα ποιότητας 12/15 μέχρι ύψους $H > B$, από σωλήνες σκυροδέτησης που έχουν τοποθετηθεί στα προηγούμενα βήματα σε κατάλληλη θέση.
6. Τοποθετούνται αγκυρώσεις στη θέση του έγκοιλου για την εξασφάλιση της σύνδεσης της «τάπας» με το βράχο.
7. Διανοίγονται αποστραγγιστικές οπές.

Περιπτώσεις A3 Καρστικά έγκοιλα εύρους $B > 4.00m$ στο θόλο διάνοιξης

1. Αποσπώνται όλοι οι ασταθείς όγκοι (ξεσκάρωμα).
2. Με κατάλληλες εκσκαφές, με υδραυλική σφύρα, διαμορφώνονται κατάλληλες εσοχές για την στήριξη των δοκών του επόμενου σταδίου.
3. Στο εσωτερικό του καρστικού κενού στηρίζονται χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια είτε ολόσωμες δοκοί είτε και τα δύο, σε συνδιασμό με φύλλα λαμαρίνας και /η πυκνά πλέγματα. Σε αυτή τη φάση μπορεί να απαιτηθεί η τοποθέτηση και αγκυρώσεων για τη στήριξη αυτών των πλαισίων.
4. Εφαρμόζεται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για την πλήρωση του κενού, ενδεχομένως σε περισσότερες από μια φάσεις.
5. Τοποθετούνται τα χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια της προσωρινής υποστήριξης και ολοκληρώνεται η προσωρινή επένδυση με επιπλέον εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

6. Το καρστικό κενό όπισθεν της ολοκληρωμένης επένδυσης πληρώνεται με σκυρόδεμα ποιότητας C12/15 μέχρι ύψους $H > B$, από σωλήνες σκυροδέτησης που έχουν τοποθετηθεί στα προηγούμενα βήματα σε κατάλληλες θέσεις. Συνιστάται η σκυροδέτηση να γίνεται σε στρώσεις πάχους 2m για να μην υπερφορτιστεί η επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος από το βάρος σκυροδέματος.
7. Τοποθετούνται αγκυρώσεις στην διεπιφάνεια του έγκοιλου με σκοπό την εξασφάλιση της σύνδεσης της «τάπας» με τον βράχο.
8. Διανοίγονται αποστραγγιστικές οπές.

Περίπτωση A4 Μεγάλα καρστικά κενά στο τοίχωμα της σήραγγας

Γενικά ακολουθεί διαδικασία των περιπτώσεων A2 και A3.

Εφ' όσον το καρστικό έγκοιλο συνεχίζεται προς τα κατόπι μπορεί να προηγηθεί πλήρωση του κενού με λιθορριπή σε συνδυασμό με τις τεχνικές πλήρωσης κενών στο δάπεδο της διάνοιξης που διακρίνονται παρακάτω. Βασικό στοιχείο αυτής της κατηγορίας είναι η εξασφάλιση ασφαλούς έδρασης του κελύφους της προσωρινής υποστήριξης σε υγιή βράχο.

Περίπτωση B1 Καρστικά έγκοιλα εύρους $B < 2.00m$ στο δάπεδο της διάνοιξης

1. Πλήρωση του κενού με λιθορριπή. Το ανώτερο τμήμα του κενού γεμίζεται με σκυρόδεμα πλήρωσης πάχους $H > 1.5B$.
2. Εάν το βάθος του έγκοιλου είναι σημαντικό μπορούν να χρησιμοποιηθούν σάκοι έτοιμου σκυροδέματος ή Bulflex για την δημιουργία μιας προσωρινής «τάπας» στο βάθος του κενού και στη συνέχεια να πληρωθεί το κενό με σκυρόδεμα πλήρωσης.
3. Πριν την προώθηση του μετώπου πρέπει να γίνουν διερευνητικές διατρήσεις στο δάπεδο για να εξασφαλιστεί ότι το έγκοιλο δεν μεγαλώνει προς την κατεύθυνση διάνοιξης της σήραγγας και δεν επαπειλούνται καταπτώσεις από κατακρήμνιση της οροφής του εγκοίλου.

Περίπτωση B2 Καρστικά έγκοιλα εύρους $2 < B < 4.00\text{M}$ στο δάπεδο της διάνοιξης

Γενικά ακολουθούνται τα βήματα της περίπτωσης B1.

Στο δάπεδο της διάνοιξης σκυροδετείται μια πλάκα γεφύρωσης του κενού πάχους $H=0.25 B$ και πλάτους κατ' ελάχιστον $1.5 B$ από σκυρόδεμα C20/25, οπλισμένη στην άνω και κάτω παρειά με ποσοστά οπλισμού που πρέπει να υπερβαίνουν το 0.16%.

Περίπτωση B3 Καρστικά έγκοιλα εύρους $B > 4.00\text{m}$ στο δάπεδο της διάνοιξης.

Γενικά ακολουθούνται τα βήματα των περιπτώσεων B1 και B2.

Εφ' όσον το βάθος του έγκοιλου είναι σημαντικό και δεν είναι εφικτή η πλήρωση του με λιθορριπή, συνιστάται η τοποθέτηση ή η χύδην ρίψη σιδηροδοκών ή δικτυωτών πλαισίων και φύλλων δομικού πλέγματος στο κενό και στη συνέχεια η εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος με σκοπό την δημιουργία μιας προσωρινής «τάπας» η οποία θα συγκρατήσει την λιθορριπή.

Η σημασία των διερευνητικών διατρήσεων σε αυτή την περίπτωση είναι μεγαλύτερη και πρέπει να γίνεται σε μεγαλύτερη πυκνότητα.

Οι παραπάνω περιπτώσεις αναφέρονται σε καρστικά έγκοιλα που δεν έχουν υλικό πλήρωσης και κατά τον χρόνο της διάνοιξης δεν έχουν σημαντική υδροφορία. Εφ' όσον υπάρχουν υπόνοιες ότι μπορούν να συναντηθούν καρστικά έγκοιλα πλήρη λάσπης και με νερό υπό πίεση με κίνδυνο τα υλικά αυτά να εισέλθουν στην σήραγγα συνιστάται η συνεχής διάτρηση διερευνητικών οπών στο μέτωπο.

Εφ' όσον πράγματι εντοπιστούν τέτοια έγκοιλα θα πρέπει πριν φθάσει το μέτωπο στην θέση αυτή να γίνει αποφόρτιση των πιέσεων πόρων με συστηματική αποστράγγιση του καρστικού αγωγού και στην συνέχεια η διέλευση κάτω από αυτόν με χρήση δοκών προπορείας. Εφ' όσον οι υδατικές πιέσεις δεν αποτονώνονται λόγω υψηλού δυναμικού του υδροφορέα ή αλληπάλληλων εμφράξεων των αποστραγγιστικών οπών θα πρέπει να εξεταστούν κατά περίπτωση άλλες τεχνικές όπωςτσιμεντενέσεις ή κατάψυξη του εδάφους. Τέτοια προβλήματα αντιμετωπίζονται κατά περίπτωση με την συνεργασία επίβλεψης μελετητή και κατασκευαστή.

6.10.2 Συνθήκες Σύνθλιψης

Σύμφωνα με τον Barla (1995) οι συνθήκες σύνθλιψης (Squeezing) γύρω από ένα υπόγειο άνοιγμα σχετίζονται με την ταχεία εξέλιξη ερπυστικών παραμορφώσεων, που οδηγούν σε ανεξέλεγκτες συγκλίσεις και υπερβολικά μεγάλες πιέσεις στα μέτρα υποστήριξης. Οι συνθήκες σύνθλιψης εμφανίζονται όταν οι τάσεις που δημιουργούνται κατά την διάνοιξη του υπογείου ανοίγματος υπερβαίνουν κάποια οριακή τιμή, που εξαρτάται από την διατμητική αντοχή του υλικού και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του. Οι Hoek & Marinos (2000) συσχετίζουν τα προβλήματα σύνθλιψης με την υπέρβαση κάποιας οριακής παραμόρφωσης (Critical strain), όπως την ορίζει και ο Sakurai (1983), πέρα από την οποία αρχίζουν να εμφανίζονται δυσκολίες υποστήριξης του υπόγειου ανοίγματος και ελέγχου των συγκλίσεων.

Το φαινόμενο της σύνθλιψης είναι ιδιαίτερα συχνό σε αργιλώδη κυρίως υλικά σε μεγάλα ύψη υπερκειμένων, αλλά προβλήματα σύνθλιψης έχουν εμφανιστεί και σε διανοίξεις σηράγγων σε φυλλίτες, σχιστολίθους, αργιολίθους, κιμωλίες, ιλυολίθους, ηφαιστειακούς τόφφους, μάργες, και γενικά πτωχής ποιότητας βραχομάζες που έχουν προκύψει είτε από χημική αποσάθρωση και εξαλλοίωση των υλικών της υγιούς βραχομάζας, είτε σε τεκτονικό κερματισμό ή συνηθέστερα σε συνδυασμό των δύο. Οι λεπτομέρειες της διαδικασίας διάνοιξης παίζουν επίσης έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση αυτών των ερπυστικών παραμορφώσεων, με πρωτεύοντα παράγοντα την ταχύτητα προχώρησης, η οποία πρέπει να διατηρείται υψηλή. Σε πολλές περιπτώσεις ιστορικών περιστατικών όπου εκδηλώθηκαν προβλήματα σύνθλιψης, αυτά ακολούθησαν περιόδους διακοπής των εργασιών διάνοιξης οι οποίες επέτρεψαν την χαλάρωση της ούτως ή άλλως πτωχής βραχομάζας μπροστά από το μέτωπο. (Lunardi 2000).

Η απουσία αργιλικών συστατικών από την δολομιτική ή ασβεστολιθική βραχομάζα που αναμένεται να συναντηθεί κατά την διάνοιξη της σήραγγας Κνημίδας αναμένεται να περιορίσει σημαντικά τέτοια προβλήματα ερπυστικών παραμορφώσεων και αναμένεται να διευκολύνει σημαντικά την αντιμετώπισή τους εφ' όσον εκδηλωθούν. Αντίθετα, σε περιοχές υψηλών υπερκειμένων, εφ' όσον συναντηθούν ζώνες ρηγμάτων πληρωμένες με αργιλικά υλικά, αναμένεται να δημιουργηθούν ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες διάνοιξης από την σκοπιά της εκδηλώσεως συνθηκών σύνθλιψης. Τέτοιες ζώνες δεν εντοπίστηκαν από την επιφανειακή γεωλογική χαρτογράφηση ούτε συναντήθηκαν στην μοναδική γεώτρηση που διανοίχθηκε κατά μήκος της διαδρομής της σήραγγας, αλλά δεν θα πρέπει α priori να αποκλειστεί η ύπαρξή τους.

Οι συνθήκες σύνθλιψης θα πρέπει να αντιμετωπιστούν (εφ' όσον συναντηθούν με την εκδήλωση σημαντικών συγκλίσεων) με έναν συνδυασμό ενεργητικών και παθητικών μέτρων. Τα ενεργητικά μέτρα αποσκοπούν στην δημιουργία μιας βελτιωμένης ζώνης γύρω από το άνοιγμα η οποία θα

αναλάβει τα γεωστατικά φορτία, και δημιουργείται με πυκνούς καννάβους αγκυρίων σημαντικού μήκους και ενδεχομένως με τσιμεντενέσεις σταθεροποίησης (βλ. επόμενη παράγραφο). Τα παθητικά μέτρα βασίζονται στην ενίσχυση της διατομής με βαριά πλαίσια και την δημιουργία ενός κελύφους με σημαντικά και διαδοχικά αυξανόμενα πάχη εκτοξευόμενου σκυροδέματος μέχρι την αναχαίτιση των εκδηλούμενων συγκλίσεων. Μια τρίτη τεχνική αποτελεί η δημιουργία μιας επένδυσης που μπορεί να υφίσταται σημαντικές παραμορφώσεις χωρίς να καταστρέφεται (π.χ. με την δημιουργία εγκοπών στο κέλυφος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος), έτσι ώστε να αποτονωθούν οι υψηλές γεωστατικές τάσεις και να καταστεί εφικτή από την επένδυση η ανάληψη των μειωμένων πια φορτίων.

Σε κάποιο βαθμό η βαρύτερη κατηγορία των μέτρων προσωρινής υποστήριξης (κατηγορία V) με τα σημαντικά πάχη του κελύφους εκτοξευόμενου σκυροδέματος που περιλαμβάνει και με την δημιουργία ενός κλειστού κελύφους δακτυλοειδούς διατομής, τόσο στην πρώτη όσο και στην δεύτερη φάση εκσκαφής, αντιμετωπίζει και ελαφρά προβλήματα σύνθλιψης. Σε περίπτωση που με βάση αποτελέσματα μετρήσεων διαπιστωθεί ότι απαιτούνται πρόσθετα μέτρα για την αναχαίτιση της εξέλιξης των συγκλίσεων, αυτά θα ενσωματωθούν στα μέτρα προσωρινής υποστήριξης που προβλέπονται για την κατηγορία V λαμβάνοντας υπ' όψιν τις εκάστοτε γεωτεχνικές συνθήκες και τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

6.10.3 Αέρια στη Σήραγγα

Παρά το γεγονός ότι στα πλαίσια της οριστικής γεωλογικής μελέτης δεν επισημαίνονται πιθανά προβλήματα από την συγκέντρωση επικίνδυνων αερίων στο εσωτερικό της σήραγγας κατά την φάση διάνοιξής της, και με δεδομένο ότι κατά την διάνοιξη σήραγγων σε αντίστοιχους σχηματισμούς στον Ελληνικό χώρο δεν προέκυψαν τέτοια προβλήματα, θεωρείται ότι η συγκέντρωση αερίων δεν θα αποτελέσει ένα σημαντικό πρόβλημα. Παρ' όλα αυτά δεδομένου ότι ο σχηματισμός που διανοίγεται η σήραγγα είναι ιζηματογενής δεν μπορεί να αποκλειστεί η πιθανότητα συγκέντρωσης επικίνδυνων αερίων, ιδιαίτερα σε περιόδους παύσης της λειτουργίας του συστήματος αερισμού του εργοταξίου. Για αυτό τον λόγο από την Τεχνική Συγγραφή Υποχρεώσεων (ΤΣΥ άρθρο Δ-84.9) προβλέπεται να υπάρχει κατά την διάνοιξη όργανο ανίχνευσης και αυτόματης καταγραφής επικίνδυνων αερίων (όπως μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα κτλ). Η εγκατάσταση και λειτουργία ενός τέτοιου οργάνου εκτιμάται ότι αντιμετωπίζει ικανοποιητικά την διακινδύνευση από συγκέντρωση αερίων.

6.11 Τεχνικές Βελτίωσης της Βραχομάζας με Τσιμεντενέσεις.

Σε περιοχές όπου εμφανίζονται ιδιαίτερα προβλήματα καταπτώσεων ή ανεξέλεγκτων συγκλίσεων, ενδεχομένως να απαιτηθεί η λήψη πρόσθετων μέτρων είτε υποστήριξης είτε βελτίωσης του εδάφους με τσιμεντενέσεις. Τα

μέτρα αυτά είναι συμπληρωματικά κάποιας κατηγορίας υποστήριξης και εφαρμόζονται εφόσον απαιτηθεί μετά από προτάσεις για πιθανά μέτρα βελτίωσης με τσιμεντενέσεις οι οποίες μπορούν να υιοθετούνται κατά περίπτωση. Η αποδοτικότητα των μέτρων αυτών θα πρέπει να ελέγχεται με ένα δοκιμαστικό πεδίο τσιμεντενέσεων στην περιοχή που υπάρχει προϋπόθεση να εφαρμοστούν.

Οι τσιμεντενέσεις μπορούν να διακριθούν σε τσιμεντενέσεις προβελτίωσης και τσιμεντενέσεις σταθεροποίησης του υπόγειου ανοίγματος. Ενδεικτικές διατάξεις τσιμεντενέσεων για τις κατηγορίες IV και V παρουσιάζονται στο σχέδιο Σ-KN-4-Γ14.

6.11.1 Τσιμεντενέσεις προβελτίωσης

Οι τσιμεντενέσεις προβελτίωσης εκτελούνται πριν από την εκσκαφή του πετρώματος, είτε από το μέτωπο διάνοιξης, είτε από το δάπεδο της Α΄φάσης εκσκαφής προς τα τοιχώματα της Β΄φάσης εκσκαφής.

Σκοπός των τσιμεντενέσεων προβελτίωσης είναι η βελτίωση της συνοχής και της δυστημής της βραχομάζας πριν από την εκσκαφή του υπόγειου ανοίγματος, προκειμένου να περιοριστούν οι καταπτώσεις και οι εκτεταμένες υπερεκσκαφές που σημειώνονται σε ήδη διανοιχθέντα τμήματα, όπως επίσης και του περιορισμού της αποτόνωσης της βραχομάζας κατά την εκσκαφή.

Στην κατηγορία IV τα προβλήματα ευστάθειας, αναμένεται να εμφανιστούν στον θόλο όπου το αρκετά κερματισμένο πέτρωμα θα έχει την τάση, υπό τις αρκετά υψηλές πιέσεις, να αποκολλάται (raveling) και να δημιουργεί προοδευτικά υπερεκσκαφές και καταπτώσεις. Σε αυτή την περίπτωση οι τσιμεντενέσεις πρέπει να επικεντρωθούν στην ενίσχυση του υλικού σε αυτή την περιοχή. Αυτό, μπορεί να επιτευχθεί με την εισπίεση τσιμεντενεμάτων από τις οπές που διανοίγονται για την τοποθέτηση των ράβδων προαγκύρωσης με την αντικατάστασή τους από αυτοδιατρώμενες αγκυρώσεις όπως δείχνεται στο σχέδιο Σ-KN-4-Γ12 ή από οπές τσιμεντενέσεων που διανοίγονται στην περιοχή του θόλου περίπου παράλληλα με τις οπές για τις ράβδους προαγκύρωσης.

Στην κατηγορία V, ιδιαίτερα σε περιοχές υψηλών υπερκειμένων, οι τσιμεντενέσεις μπορούν να βελτιώσουν την αρκετά ευαίσθητη περιοχή της έδρασης του πλαισίου. Η αναπόφευκτα οξεία γωνία που σχηματίζει η επένδυση με το δάπεδο ανεστραμμένου θόλου, δημιουργεί υπερφόρτιση της θέσης αυτής. Η ενίσχυση της περιοχής αυτής με τσιμεντενέσεις μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τον περιορισμό των καθιζήσεων του θόλου και των συγκεντρώσεων τάσεων στο elephant foot. Οι τσιμεντενέσεις προβελτίωσης μπορούν να γίνονται από το μέτωπο υπό γωνία, ώστε να ενισχύεται η περιοχή αυτή έγκαιρα πριν φτάσει το μέτωπο στη θέση αυτή.

Στην κατηγορία V μια άλλη ιδιαίτερα λεπτή φάση είναι η εκσκαφή της βαθμίδας. Όπως φαίνεται και από τις αναλύσεις πεπερασμένων διαφορών που εκτελέστηκαν, με την εκσκαφή της βαθμίδας εμφανίζονται σημαντικές οριζόντιες μετακινήσεις του ανυποστήρικτου τμήματος και σημαντικές κατακόρυφες μετακινήσεις του πλαισίου, το οποίο παρά την διεύρυνση της έδρασής του (elephant foot) υποσκάπτεται κατά την εκσκαφή της δεύτερης φάσης. Σε περιοχές υψηλών υπερκειμένων και εφόσον υπάρχουν (με βάση μετρήσεις) σημεία αποσταθεροποίησης του ανοίγματος, μπορούν να διενεργούνται τσιμεντενέσεις προβελτίωσης του τμήματος αυτού από το δάπεδο της Α' φάσης εκσκαφής, πριν ξεκινήσει η εκσκαφή της βαθμίδας.

Επισημαίνεται ότι οι τσιμεντενέσεις προβελτίωσης αποτελούν ένα από τα μέτρα αντιμετώπισης δυσμενών γεωτεχνικών συνθηκών και εφαρμόζονται σε συνδυασμό με άλλα μέτρα ενίσχυσης της ευστάθειας της διατομής (αγκύρια, πρόσθετο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα) με την σύμφωνη γνώμη του μελετητή και της επιβλέπουσας αρχής.

6.11.2 Τσιμεντενέσεις σταθεροποίησης

Εκτελούνται μετά την εκσκαφή και υποστήριξη ενός τμήματος της σήραγγας και εφόσον οι συγκλίσεις εξακολουθούν να εξελίσσονται συνεπεία είτε ερπυστικών παραμορφώσεων, είτε ανεπάρκειας του εφαρμοσθέντος συστήματος υποστήριξης να σταθεροποιήσει την περιβάλλουσα βραχομάζα.

Σκοπός των τσιμεντενέσεων σταθεροποίησης είναι η ενίσχυση μιας ζώνης εγγύς του ορίου εκσκαφής, ώστε να ενισχυθεί η λειτουργία θόλου και να περιοριστεί η προοδευτική χαλάρωση του πετρώματος.

Οι τσιμεντενέσεις σταθεροποίησης εκτελούνται εφόσον, με βάση τα αποτελέσματα των οργανομετρήσεων και τους οπτικούς ελέγχους του υπόγειου ανοίγματος, παρατηρείται ότι το υπόγειο άνοιγμα δεν σταθεροποιείται αν και το μέτωπο έχει απομακρυνθεί περισσότερο από 20 μέτρα από το σημείο μέτρησης.

Οι τσιμεντενέσεις σταθεροποίησης (όπως και προβελτίωσης) αποτελούν ένα από τα μέτρα αντιμετώπισης δυσμενών γεωτεχνικών συνθηκών και εφαρμόζονται σε συνδυασμό με άλλα μέτρα ενίσχυσης της ευστάθειας της διατομής (αγκύρια, πρόσθετο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα) με την σύμφωνη γνώμη του μελετητή και της επιβλέπουσας αρχής.

7. ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ

7.1 Ευστάθεια Πρανών Στομίου Εισόδου

Στην περιοχή του στομίου εισόδου για την αποφυγή τοποθέτησης δομικών κατασκευών πάνω στο ίχνος του ρήγματος σχεδιάζεται ένα σχετικά βαθύ όρυγμα που προχωρά αρκετά μέτρα μέσα στην μάζα των δολομιτών, που στην περιοχή εμφανίζονται αρκετά κερματισμένοι λόγω του πρόσφατου τεκτονισμού. Μέρος αυτού του ορύγματος θα επανεπιχωθεί αφού κατασκευαστεί μικρό τμήμα της σήραγγας με cut & cover.

7.1.1 Πρανές Μετώπου

Το πρανές του μετώπου είναι προσωρινό και θα επανεπιχωθεί στο μεγαλύτερο μέρος του μετά την ολοκλήρωση της σήραγγας και την κατασκευή του Cut and Cover. Η διαμόρφωση των πρανών του μετώπου θα γίνει με απότομη κλίση με σκοπό να διευκολυνθούν οι εργασίες διαμόρφωσης του μετώπου προσβολής. Η κλίση του μετωπικού πρανούς σύμφωνα με την προκαταρκτική μελέτη είναι 4:1.

Η τομή AA' στην οποία επιλέχθηκε να γίνει η ανάλυση της ευστάθειας είναι κατά μήκος του δεξιού κλάδου της σήραγγας. Εκτελέστηκαν αναλύσεις ευστάθειας υπό στατικές όσο και υπό σεισμικές συνθήκες και υπολογίστηκε ο συντελεστής ασφαλείας υποθέτοντας τόσο τις παραμέτρους αντοχής Mohr – Coulomb όσο και ένα μη γραμμικό κριτήριο αστοχίας, οι παράμετροι του οποίου προέκυψαν από το εμπειρικό κριτήριο Hoek – Brown.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για στατικές συνθήκες για σεισμικές συνθήκες παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.1.

Πίνακας 7.1
Συντελεστές Ασφαλείας Πρανούς Μετώπου

	Πρανή Μετώπου (ΤΟΜΗ AA')		
	Στατικό	$\alpha=0,30g$	$\alpha=0,50g$
Mohr - Coulomb	1,192	1,064	0,830
Hoek- Brown	0,898	0,730	0,419

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των αναλύσεων, το κριτήριο Hoek – Brown οδηγεί σε σημαντικά χαμηλότερους συντελεστές ασφαλείας, που αναφέρονται σε αρκετά ρηχότερους κύκλους από το κριτήριο Mohr – Coulomb. Οι αναλύσεις δείχνουν ότι τα βραχώδη πρανή δεν κινδυνεύουν από βαθιές ολισθήσεις αλλά από ρηχές ολισθήσεις και καταπτώσεις. Δεδομένης της χαμηλής τιμής των συντελεστών ασφαλείας αυτά θα πρέπει να

ενισχυθούν με έναν κάνναβο αγκυρίων και επένδυση από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, για να γίνει μια προκαταρκτική εκτίμηση της ελάχιστης πυκνότητας των αναγκαίων αγκυρώσεων, υπολογίζεται με μια ανάλυση οριακής ισοροπίας η δύναμη με την οποία ο συντελεστής ασφαλείας φθάνει σε αποδεκτές τιμές, δηλαδή συντελεστής ασφαλείας 1,30 (βραχώδη πρανή) υπό στατικές συνθήκες και συντελεστής ασφαλείας 1,00 (για σεισμικές συνθήκες $a_g=0,15g$ (προσωρινό πρανές)).

Οι υπολογιζόμενες δυνάμεις σταθεροποίησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.2.

Πίνακας 7.2
Ελάχιστες Δυνάμεις Ενίσχυσης Πρανούς Μετώπου
(kN/m μήκους πρανούς)

	Mohr - Coulomb	Hoek - Brown
Στατικό	78	437
$a=0,15g$	-----	185

Ως δύναμη των αγκυρίων λαμβάνεται η μέγιστη τιμή από τις τέσσερις περιπτώσεις. Αυτή αντιστοιχεί σε στατικές συνθήκες και με χρήση του κριτηρίου αστοχίας Hoek – Brown. Η τιμή αυτής της δύναμης είναι $F_{απαιτ}=437kN/m$.

Ένας κάνναβος αγκυρίων 3×3 συνεχούς πάκτωσης ΦΙ 20t αρκεί για την επίτευξη της επιθυμητής δύναμης. Το μήκος των αγκυρίων θα είναι 6 m.

Για να ελεγχθούν τώρα τα τοποθετούμενα μέτρα ενίσχυσης, γίνεται ανάλυση ευστάθειας του πρανού με την ύπαρξη επιπλέον και των μέτρων ενίσχυσης. Η ενίσχυση αυτή του πρανού με τα αγκύρια, προσομοιώνεται με την εισαγωγή μιας ενισχυμένης ζώνης η οποία έχει μια αυξημένη γωνία τριβής, η οποία είναι $\varphi_r = \tan^{-1}((1,30/0,898) * \tan 42,86) \Rightarrow \varphi_r = 53,34^\circ$.

Ο συντελεστής ασφαλείας που προκύπτει είναι $FOS=1,503$, ο οποίος είναι μεγαλύτερος του ελάχιστου απαιτούμενου ($FOS_{min}=1,30$). Έτσι τα παραπάνω μέτρα ενίσχυσης του πρανού κρίνονται ικανοποιητικά και επαρκή. Επισημαίνεται ότι τα μέτρα ενίσχυσης είναι τα ελάχιστα απαιτούμενα και στη φάση σχεδιασμού των πρανών (προμελέτη) μπορούν να προκύψουν για κατασκευαστικούς λόγους και πυκνότεροι κάνναβοι αγκυρίων.

7.1.2 Πλευρικά Πρανή

Τα πρανή αυτά τα οποία θα διαμορφωθούν θα είναι μόνιμα. Η διατομή του πρανούς η οποία ελέγχεται αντιστοιχεί στην διατομή 435. Η κλίση τους έχει επιλεγεί αρχικά σε 2:1.

7.2 Συμπεράσματα

Στο στόμιο εισόδου παρά το γεγονός ότι ο δολομίτης συναντάται κατακερματισμένος τα πρανή μπορούν να διαμορφωθούν με κλίσεις 2:1 ενώ μπορούν να διατηρηθούν και πιο απότομες κλίσεις με χρήση αγκυρώσεων και εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Με κατάλληλη προστασία από επιφανειακή διάβρωση (πιθανότατα με κάλυψη με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα) και αποστράγγιση, οι κλίσεις αυτές μπορούν να υιοθετήσουν και για μόνιμα πρανή. Στα πλευρικά κορήματα που συναντώνται κατόπιν του ρήγματος και εμφανίζονται σχεδόν σαν ασύνδετα κοκκώδη υλικά, σύμφωνα με τις αναλύσεις που παρουσιάστηκαν, οι κλίσεις θα πρέπει να είναι ηπιότερες του 1:1,5.

Οι γεωτεχνικές συνθήκες στην περιοχή των στομίων εξόδου, σε συνδυασμό με το απότομο ανάγλυφο, δημιουργούν δυσκολίες στον σχεδιασμό των στομίων των σηράγγων. Τα σημαντικά πάχη πλευρικών κορημάτων και εδαφοποιημένων οφιόλιθων, που πιθανώς σε ορισμένες θέσεις να αποτελούν ολισθημένα υλικά, σε συνδυασμό με το έντονο φυσικό ανάγλυφο που δεν επιτρέπει την μείωση των κλίσεων των πρανών χωρίς να αυξηθούν δραστικά οι ποσότητες των εκσκαφών και τα ύψη των πρανών, οδηγεί σε επιλογές αντιστηρίξεων. Συγκεκριμένα, σε αντίθεση με την λύση της προκαταρκτικής επεξεργασίας φαίνεται με βάση τα πρόσθετα γεωτεχνικά στοιχεία και τις αναλύσεις ευστάθειας της παρούσας, ότι επικρατέστερη λύση είναι η κατασκευή ενός αντιστηριζόμενου ορύγματος όπου συναντώνται τα επιφανειακά κορήματα και οι σάρες, υλικά τα οποία λόγω της χαμηλής συνεκτικότητας τους θα είναι δύσκολο να σταθεροποιηθούν κατά την διαμόρφωση των πρανών.