

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΔΡΙΣΚΟΥ



ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ
ΕΠΟΠΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΕΙΡΗΝΗ ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ
ΕΤΟΣ : 2013 -2014

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	4
1.0 ΓΕΝΙΚΑ.....	5
1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ΒΙΕΝΙΑWSKI.....	5
1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΔΕΙΚΤΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI)	10
Η ΣΗΡΑΓΓΑ ΤΟΥ ΔΡΙΣΚΟΥ.....	13
2.0 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....	14
2.1 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	16
2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ - ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....	19
2.3 ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	20
2.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....	33
2.5 ΜΕΤΡΑ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΥΣΧΕΡΕΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	40
2.6 ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗ ΔΙΑΝΟΙΧΘΕΝ ΤΜΗΜΑ.....	42
2.7 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΝΕΩΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	46
2.8 ΜΕΤΡΑ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ.....	48
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ PLAXIS 3D TUNNEL 2.4	54
3.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	55
3.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕ ΤΟ PLAXIS3D TUNNEL 2.4.....	55
3.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	55
3.3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ.....	57
3.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΥΔΕΤΕΡΩΝ ΩΘΗΣΕΩΝ	58
3.5 ΔΙΑΤΟΜΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....	59
3.6 ΣΤΑΔΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....	61
3.7 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	62
3.7.1 ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ	62
3.7.2 ΠΥΘΜΕΝΑΣ ΑΝΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗΣ	63
3.8 ΑΓΚΥΡΙΑ	64
3.8.1 ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΤΩΝ ΑΓΚΥΡΙΩΝ.....	64
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	66
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	70
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΕΡΓΟ.....	72

(ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ)	72
Φορείο Τοποθέτησης Σιδηρού Οπλισμού - Φορείο Τοποθέτησης ΜεμβρανώνΜεταλλότυποι Σκυροδέτησης	74
Μεταλλότυποι Σκυροδέτησης.....	75
Τελική Επένδυση	75
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	77

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την παρουσίαση σχεδιασμού και κατασκευής της οδικής σήραγγας Δρίσκου Ιωαννίνων που αποτελεί τμήμα του Αράχθου – Δροσοχωρίου. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κυριότερες μέθοδοι ταξινόμησης της βραχώμαζας που είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό και την ανάλυση μιας σήραγγας. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται : οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες του έργου, οι μέθοδοι διάνοιξης – εκσκαφής της σήραγγας, τα μέτρα υποστήριξης για κάθε κατηγορία βραχώμαζας, τα προβλήματα κατά την κατασκευή της σήραγγας ,η λήψη νέων μέτρων θεραπείας για το διανοιχθέν τμήμα της σήραγγας και η αναθεώρηση σχεδιασμού για το μη διανοιχθέν υπόλοιπο τμήμα . Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάλυση της σήραγγας με χρήση του κώδικα πεπερασμένων στοιχείων Plaxis 3D Tunnel 2.4 και η προσομοίωση της σήραγγας , του εδάφους και της εκσκαφής. Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η δίδυμη οδική σήραγγα Δρίσκου, κατασκευάζεται στο τμήμα 2.3: «ΔΡΟΣΟΧΩΡΙ – ποταμός ΑΡΑΧΘΟΣ» της Εγνατίας Οδού στην περιοχή των Ιωαννίνων. Οι δύο κλάδοι του αυτοκινητόδρομου διέρχονται από τους δύο ανεξάρτητους κλάδους της σήραγγας μήκους 4.563,94 μέτρων για τον αριστερό κλάδο και 4.476,79 μέτρων για το δεξιό κλάδο. Η διατομή των σηράγγων είναι πεταλοειδής με ημικυκλικό θόλο ακτίνας εσωραχίου τελικής επένδυσης 5,5 μέτρων και μέγιστου ελεύθερου πλάτους 11,00 μέτρων σύμφωνα με την τυπική διατομή της ΕΟΑΕ. Οι δύο κλάδοι της σήραγγας συνδέονται μεταξύ τους ανά 350 μέτρα με εγκάρσιους διαδρόμους διαφυγής , ενώ ανά 1.000 μέτρα προβλέπονται διάδρομοι προσπέλασης οχημάτων εκτάκτου ανάγκης. Επίσης, για τις ανάγκες αερισμού της σήραγγας προβλέπεται η κατασκευή κατακόρυφου φρέατος αερισμού. Το έργο έχει προϋπολογισμό δημοπράτησης 29,5 δις και κατασκευάζεται από την Κ/Ξ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΤΕΧΝΟΔΟΜΙΚΗ ΑΕ – ΘΕΜΕΛΙΟΔΟΜΗ ΑΕ – ΠΑΝΤΕΧΝΙΚΗ ΑΕ – ΕΥΚΛΕΙΔΗΣ ΑΤΕ. Οι μελέτες των έργων πολιτικού μηχανικού εκπονήθηκαν από τα γραφεία μελετών ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ Α.Ε. και ΟΜΙΚΡΟΝ ΚΑΠΑ ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ Ε.Π.Ε.

Η σήραγγα διανοίχτηκε εντός των σχηματισμών του Ιονίου φλύσχη, με μέγιστα υπερκείμενα 220 μέτρα. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί εντός των οποίων έγινε η διάνοιξη των σηράγγων αποτελούνται κυρίως από στρώσεις μεσοστρωματωδών έως παχυστρωματωδών ψαμμιτών της τάξης των 30cm –70cm σε συνεχή εναλλαγή με λεπτοστρωματώδεις ιλύολίθους.

Οι κατηγορίες των μέτρων υποστήριξης οριστικοποιήθηκαν με βάση τα αποτελέσματα εκτεταμένων αριθμητικών αναλύσεων τάσεων – παραμορφώσεων κατά τις οποίες ελήφθη υπόψη, το εύρος διακύμανσης της ποιότητας της βραχομάζας, ο αντίστοιχος λιθολογικός σχηματισμός, το ύψος των υπερκειμένων , οι φάσεις εκσκαφής (δύο φάσεις για κατηγορία μέτρων II και III και τέσσερις φάσεις για κατηγορία IV και V) και το βήμα προχώρησης της εκσκαφής.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για την προσωρινή υποστήριξη χρησιμοποιήθηκαν : ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αγκύρια τσιμενταρισμένης πάκτωσης, αγκύρια Fiber Glass, προεντεταμένα αγκύρια, πλαίσια (HEB, L.G.), δοκοί προπορείας βαρέως τύπου (Forepolling) και μικροπάσσαλοι ποδός. Οι προχωρήσεις έγιναν από δύο μέτωπα με αντίθετες φορές

Σήραγγα Δρίσκου
Εγνατία Οδός, Τμήμα 2.3
Βόρεια Ελλάδα

Έργο

- Σήραγγα αυτοκινητόδρομου τμήμα 2.3
- Φρέαρ αερισμού

Κόστος Κατασκευής

Συνολικό κόστος: περίπου €129 εκ.

Χρονοδιάγραμμα Έργου

Σχεδιασμός: 1999-2001

Κατασκευή: 1999-2005

Περιγραφή Έργου

- Δίδυμη σήραγγα αυτοκινητόδρομου

Μήκος: 2 x 4500m

Διατομή: 105m²

- **Φρέαρ αερισμού**

Ύψος: 186m

Διατομή: 22.4m²

Μέθοδος Όρυξης

NATM – Χρήση εκρηκτικών και μηχανικών μέσων

Τελική Επένδυση

Οπλισμένο σκυρόδεμα C20/25

Μέθοδος Όρυξης Φρέατος

Κατασκευή Top down εκτός από τα τελευταία μέτρα τα οποία θα ορυχθούν μέσα από τη σήραγγα

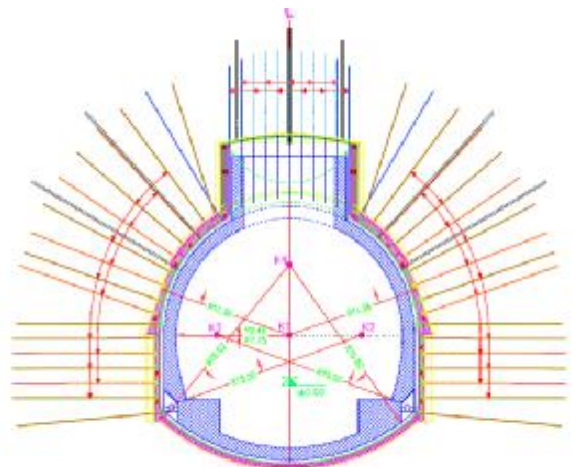
Γεωλογία

Εναλλαγές ψαμμιτών και ιλυολίθων με ζώνες διάτμησης και ρήγματα

Μέγιστα υπερκείμενα: 220m

Λεπτομέρειες Κατασκευής

- Τσιμεντενέσεις σταθεροποίησης
- Προεντεταμένα αγκύρια



Τυπική διατομή σήραγγας στη θέση του φρέατος αερισμού

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

1.0 ΓΕΝΙΚΑ

Για το σχεδιασμό και την ανάλυση μιας σήραγγας, βασική προϋπόθεση είναι η εκτίμηση των γεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή διάνοιξης της σήραγγας. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για να εκτιμηθεί η ποιότητα της βραχώμαζας είναι :

1. BIENIAWSKI
2. GSI (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ)

1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ BIENIAWSKI

Ο Bieniawski πρότεινε μια πολυπαραμετρική ανάλυση που θα μπορούσε να περιγράψει ποσοτικά σε ικανοποιητικό βαθμό τη συμπεριφορά της βραχώμαζας για την ανάγκη κατασκευής μιας σήραγγας. Οι παράμετροι που απαιτούνται μπορούν εύκολα να μετρηθούν στον ύπαιθρο και είναι οι εξής:

- Η ανεμπόδιστη θλίψη του υλικού του πετρώματος
- Ο δείκτης RQD που υπολογίζεται όπως αναφέρθηκε προηγουμένως
- Η συχνότητα και ο προσανατολισμός των ασυνεχειών (διακλάσεις, στρώσεις, σχιστότητα) του πετρώματος
- Η κατάσταση των ασυνεχειών από πλευράς εύρους του κενού που δημιουργούν, συνέχειας, τραχύτητας των επιφανειών τους και του υλικού πλήρωσης του κενού τους
- Το υπόγειο νερό μειώνει την αντοχή και την ευστάθεια της βραχώμαζας.

Η ταξινόμηση της βραχώμαζας με τη χρήση των παραπάνω παραμέτρων και η βαθμονόμηση αυτών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

A. Παράμετροι ταξινόμησης και βαθμονόμησή τους									
1	Αντοχή συμπαγούς πετρώματος	Δείκτης αντοχής φόρτισης αιχμής (MPa)	>10	4-10	2-4	1-2	Προτιμάται η δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης		
		Αντοχή στην ανεμπόδιστη θλίψη (MPa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Βαθμός	15	12	7	4	2	1	0	
2	Ποιότητα πυρήνα RQD(%)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25			
	Βαθμός	20	17	13	8	3			
3	Απόσταση μεταξύ ασυνεχειών(m)	>2	0,6-2	0,2-0,6	0,06-0,2	<0,06			
	Βαθμός	20	15	10	8	5			
4	Κατάσταση διακλάσεων	Πολύ τραχείες επιφάνειες. Ασυνεχείς. Χωρίς διαχωρισμό. Σκληρά πετρώματα	Ελαφρά τραχείες επιφάνειες. Διαχωρισμός <1mm. Σκληρά πετρώματα	Ελαφρά τραχείες επιφάνειες. Διαχωρισμός <1mm. Μαλακά πετρώματα	Επιφάνεια ολίσθησης ή υλικό πλήρωσης <5mm ή διακλάσεις ανοικτές 1-5mm. Συνεχείς διακλάσεις	Μαλακό υλικό πλήρωσης πάχους > 5mm ή διακλάσεις ανοιχτές >5mm. Συνεχείς διακλάσεις			
		Βαθμός	30	25	20	10	0		
5	Υπόγειο νερό	Εισροή για 10m μήκους σήραγγας	καμία	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min		
		Τιμή κλάσματος πίεσης νερού διακλάσεων δια της μέγιστης κύριας τάσης	ή 0	ή 0,0-0,1	ή 0,0-0,2	ή 0,2-0,5	ή >0,5		

	Γενικές συνθήκες	ή εντελώς στεγνό	ή λίγο νερό	ή υγρό μόνο	ή νερό κάτω από μέτρια πίεση	ή Σοβαρά προβλήματα νερού
	Βαθμός	15	10	7	4	0
Β. Προσαρμογή με βάση τον προσανατολισμό των ασυνχειών						
	Διεύθυνση και κλίση διακλίσεων	Πολύ ευνοϊκή	Ευνοϊκή	Μέτρια	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής
Βαθμός	Σηραγγες	0	-2	-5	-10	-12
	Θεμελιώσεις	0	-2	-7	-15	-25
	Πρανή	0	-5	-25	-50	-60
Γ. Ταξινόμηση και βαθμολογία της βραχώμαζας						
Κατηγορία	I	II	III	IV	V	
Χαρακτηρισμός	Πολύ καλή	Καλή	Μέτρια	Πτωχή	Πολύ πτωχή	
Βαθμολογία	81-100	61-80	41-60	21-40	<20	
Δ. Τεχνική σημασία της ταξινόμησης						
Κατηγορία	I	II	III	IV	V	
Μέσος χρόνος διατήρησης της διατομής	10 χρόνια για άνοιγμα 15m	6 μήνες για 8m άνοιγμα	1 εβδομάδα για 5m άνοιγμα	10 ώρες για 2,5m άνοιγμα	30min για 1m άνοιγμα	
Συνοχή βραχώμαζας (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100	
Γωνία τριβής βραχώμαζας	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	<15°	

Πίνακας 1 βαθμολογία κατά Bieniawski

Ο χαρακτηρισμός του προσανατολισμού των ασυνεχειών δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Ανεξάρτητα από παράταξη	
<i>Γωνία κλίσης</i>	<i>Εκτίμηση</i>
0-20°	Δυσμενής
Παράταξη παράλληλη στον άξονα της σήραγγας	
<i>Γωνία κλίσης</i>	<i>Εκτίμηση</i>
45-90°	Πολύ δυσμενής
20-45°	Μέτρια
Παράταξη κάθετη στον άξονα της σήραγγας	
<i>Διάνοιξη σύμφωνα με την κατεύθυνση βύθισης</i>	
<i>Γωνία κλίσης</i>	<i>Εκτίμηση</i>
45-90°	Πολύ ευνοϊκή
20-45°	Ευνοϊκή
<i>Διάνοιξη αντίθετα με την κατεύθυνση βύθισης</i>	
<i>Γωνία κλίσης</i>	<i>Εκτίμηση</i>
45-90°	Μέτρια
20-45°	Δυσμενής

Πίνακας 2

Ο Bieniawski συσχετίζει τις κλάσεις βραχομαζας της ταξινόμησης του με τα συστήματα υποστήριξης που εφαρμόζονται σε σήραγγα μικρού βάθους, πεταλοειδούς διατομής, διαμέτρου 10μ που διανοίγεται με συμβατικό τρόπο (διατρήματα- εκρηκτικά). Ο πίνακας που δίνει τα προτεινόμενα μέτρα υποστήριξης έχει συνταχθεί βάσει εμπειριών που αντιπροσωπεύουν τις σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές σε Ευρώπη, Αμερική και Ν.Αφρική.

Σχήμα: Πεταλοειδής. Μέση διάμετρος εκσκαφής: 10m. Κατακόρυφες τάσεις:<25Μρα (βάθος<900m).Μέθοδος διάνοιξης: διάτρηση και ανατίναξη.				
		Εναλλακτικά συστήματα υποστήριξης σε κατασκευή με συμβατικά μέσα		
Ποιότητα βραχομάζας	Μέθοδος εκσκαφής	Ηλώσεις (διάμετρος 20mm με πλήρη πάκτωση)	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	Μεταλλικά πλαίσια
I	Ολομέτωπη εκσκαφή. Βήμα εκσκαφής 3m.	Δεν απαιτείται καμία υποστήριξη εκτός από περιπτώσιακές σημειακές επί τόπου αγκυρώσεις.		
II	Ολομέτωπη εκσκαφή. Βήμα εκσκαφής 1-1,5m. Ολοκλήρωση υποστήριξης 20m από το μέτωπο.	Τοπικά, ηλώσεις στην οροφή μήκους 3m με αραιώση 2,5m και κατά περίπτωση πλέγμα.	50mm στην οροφή όπου χρειάζεται.	Κανένα
III	Εκσκαφή μετώπου και βαθμίδας, εκσκαφή πρώτα στο ανώτερο τμήμα κατά 1,5-3m. Έναρξη υποστήριξης μετά από κάθε ανατίναξη. Ολοκλήρωση υποστήριξης 10m από το μέτωπο.	Συστηματικές ηλώσεις μήκους 4m, με αραιώση 1,5-2m στην οροφή και τους τοίχους και πλέγμα στην οροφή.	50-100mm στην οροφή και 30mm στις πλευρές.	Κανένα
IV	Εκσκαφή μετώπου και βαθμίδας, εκσκαφή πρώτα στο ανώτερο τμήμα κατά 1-1,5m. Τοποθέτηση υποστήριξης συγχρόνως με την εκσκαφή. Ολοκλήρωση υποστήριξης 10m από το μέτωπο.	Συστηματικές ηλώσεις μήκους 4-5m, με αραιώση 1-1,5m στην οροφή και τους τοίχους με πλέγμα.	100-150mm στην οροφή και 100mm στις πλευρές.	Ελαφρά προς μέσα πλαίσια με αραιώση 1,5m όπου απαιτείται.
V	Τμηματική εκσκαφή πολλαπλών φάσεων. Βήμα εκσκαφής στο ανώτερο τμήμα 0,5-	Συστηματικές ηλώσεις μήκους 5-6m, με αραιώση 1-1,5m στην	150-200mm στην οροφή, 150mm στις πλευρές και	Μέσα προς βαριά, με αραιώση 0,75m με επικάλυψη λαμαρίνας και στήριξη του
	1,5m. Τοποθέτηση υποστήριξης συγχρόνων με την εκσκαφή. Εφαρμογή σκυροδέματος όσο το δυνατόν γρηγορότερα μετά από κάθε ανατίναξη.	οροφή και τους τοίχους και χαλύβδινο πλέγμα. Ηλώση του ανάστροφου τόξου.	50mm στο μέτωπο.	μετώπου. Κλείσιμο του αντίστροφου τόξου.

Πίνακας 3

1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΔΕΙΚΤΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI)





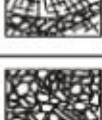

Ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής έχει καθιερωθεί διεθνώς για τον ποσοτικά χαρακτηρισμό της ποιότητας της βραχόμαζας. Εισήχθη από τους Hoek, Kaiser και Bawden το 1995 λόγω της ανεπάρκειας της χρήσης των RMR για βραχόμαζες πολύ πτωχής ποιότητας. Επεκτάθηκε για ασθενείς βραχόμαζες από τους Hoek, Marinos και Benissi το 1998 και Marinos και Hoek το 2000. Το 2002 έγινε ειδική ταξινόμηση για το φλύσχη από τους Marinos και Hoek. Εκτός από την ταξινόμηση εκφράζει αριθμητικά την απομείωση των σταθερών της βραχόμαζας ανάλογα με τη ρηγματώση. Βασίζεται στην εκτίμηση της δομής και της κατάστασης των ασυνεχειών της βραχόμαζας, δηλαδή βασίζεται περισσότερο σε γεωλογικές παρατηρήσεις και λιγότερο σε νούμερα σε αντίθεση με την ταξινόμηση κατά Bieniawski και Barton.

Συστάσεις και περιορισμοί για την εφαρμογή του GSI :

- Η χαλάρωση της βραχόμαζας αξιολογείται από την παράμετρο διαταραχής D του κριτηρίου θραύσης Hoek-Brown της βραχόμαζας λόγω χρήσης ανατινάξεων ή λόγω χαλάρωσης (0 για αδιατάρακτη έως 1 για πολύ διαταραγμένη βραχόμαζα) και όχι μέσω τον δείκτη GSI
- Η ύπαρξη ασυνεχειών με υλικά πλήρωσης περιγράφεται με την πτωχή κατάσταση ασυνεχειών στον πίνακα GSI ενώ αν είναι συστηματικά και παχύ συνίσταται η χρήση του πίνακα GSI για ετερογενείς βραχόμαζες (φλύσχης).
- Το κριτήριο Hoek-Brown προϋποθέτει ότι η βραχόμαζα συμπεριφέρεται ισοτροπικά και δεν υπάρχουν προτιμητέες διευθύνσεις αστοχίας. Σε περίπτωση που η αστοχία ελέγχεται από συγκεκριμένες διακριτές ασυνέχειες όπως πχ στην ολίσθηση σφήνας, τότε ο πίνακας GSI δεν μπορεί να εφαρμοστεί.
- Σε πολύ μεγάλα βάθη υπάρχει τόσο σφιχτή δομή που πλησιάζει το πέτρωμα τη συμπεριφορά άρρηκτου βράχου. Τότε η τιμή GSI πρέπει να μετακινείται αριστερά και πάνω. Αυτό δεν ισχύει αν υπάρχει μεγάλη τεκτονική καταπόνηση.
- Αν υπάρχει παρουσία νερού στο πέτρωμα ή στο υλικά πλήρωσης των ασυνεχειών τότε η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών μειώνεται.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ ΟΠΩΣ Ο ΦΑΛΥΣΧΗΣ (B. Marinos, 2007, υπό δημοσίευση)		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (κυρίως επίπεδα στρώσης)	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, υγιείς, μη αποσπασμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρώς αποσπασμένες και σφραγισμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετριώς αποσπασμένες και ελαφρώς ομαλές επιφάνειες	ΠΟΛΥ ΠΟΛΥ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ομαλές επιφάνειες με σημαντική επιρροή από ή υλικό πλήρωσης με γυαλίδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΟΛΥ Πολύ ομαλές επιφάνειες ή πολύ αποσπασμένες με μεταβολή ογκώδη υλικό πλήρωσης ή επιρροή από									
ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΞΗ								ΜΕΙΟΫΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ								
	ΤΥΠΟΣ I. Αδιπράκτος, μεσοκρυσταλλικός, ένας ποικιλομορφικός ψαμμίτης με σποραδικές πολύ λεπτούς υαλινές ιακίδες. Σε ορισμένες περιπτώσεις ή προήγησης μηχανικός αστάθειας λόγω έλλειψης βραχυκίβου παρεπιδημίου (υαλάρι δομή) έχει κηγματικό χαρακτήρα που ελέγχεται από το επίπεδο στρώσης τότε δεν εφαρμόζεται ο δείκτης GSI		ΤΥΠΟΣ II. Αδιπράκτος συμπαγής ιακίδας (δεν διακρίνονται τα επίπεδα στρώσεων) με σποραδικές λεπτούς ενσπράσεις ψαμμίτη		ΤΥΠΟΣ III. Μέτρια διατεταγμένος ψαμμίτης με λεπτούς ενσπράσεις ιακίδων		ΤΥΠΟΣ IV. Μέτρια διατεταγμένος βραχυκίβου που αποτελείται από αναλλοίγες ψαμμίτη και ιακίδων σε ίσες περίπου αναλογίες		ΤΥΠΟΣ V. Μέτρια διατεταγμένος ιακίδας με ενσπράσεις ψαμμίτη		ΤΥΠΟΣ VI. Μέτρια διατεταγμένος ιακίδας με αραιές ενσπράσεις ψαμμίτη	80	I	II		
	ΤΥΠΟΣ VII. Έντονα διατεταγμένος ψαμμίτης, η οποία διατηρεί τη δομή της και οι ομαλές αναλλοίγες ψαμμίτη και ιακίδων σε ίσες περίπου αναλογίες		ΤΥΠΟΣ VIII. Έντονα διατεταγμένος βραχυκίβου, η οποία διατηρεί τη δομή της και δεν έχει παραμορφωθεί διατηρεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελείται από ιακίδες και αρχαίκο σχισματόλιθο με ενσπράσεις ψαμμίτη		ΤΥΠΟΣ IX. Μετρια διατεταγμένος βραχυκίβου που αποτελείται από αναλλοίγες ψαμμίτη και ιακίδων σε ίσες περίπου αναλογίες		ΤΥΠΟΣ X. Τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα ψαμμίτης, διατεταγμένος ιακίδας ή αρχαίκο σχισματόλιθο με κερματισμένα και παραμορφωμένα ψαμμιτικά τεμάχια που διαμορφώνουν σχεδόν χωρική δομή. Οι σπράσεις του ψαμμίτη παραμένουν παράλληλες με αυτές του ιακίδου	60	III	IV	V	VI				
	ΤΥΠΟΣ XI. Τεκτονικά ισχυρά διατεταγμένος ιακίδας ή αρχαίκο σχισματόλιθο σε χωρική δομή με ούλετες ομαλές, λεπτά σπράσματα ψαμμίτη έχουν μετατραπεί σε κερματισμένα πολύ μικρά βραχυκίβου τεμάχια. Οριστικά η συμπεριφορά των γεωτεχνικών μπορεί να προσομοιωθεί με ομοιογενή											40	VII	VIII		
												30	IX	X		
												10			XI	
												N/A	N/A			

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ GSI ΓΙΑ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ

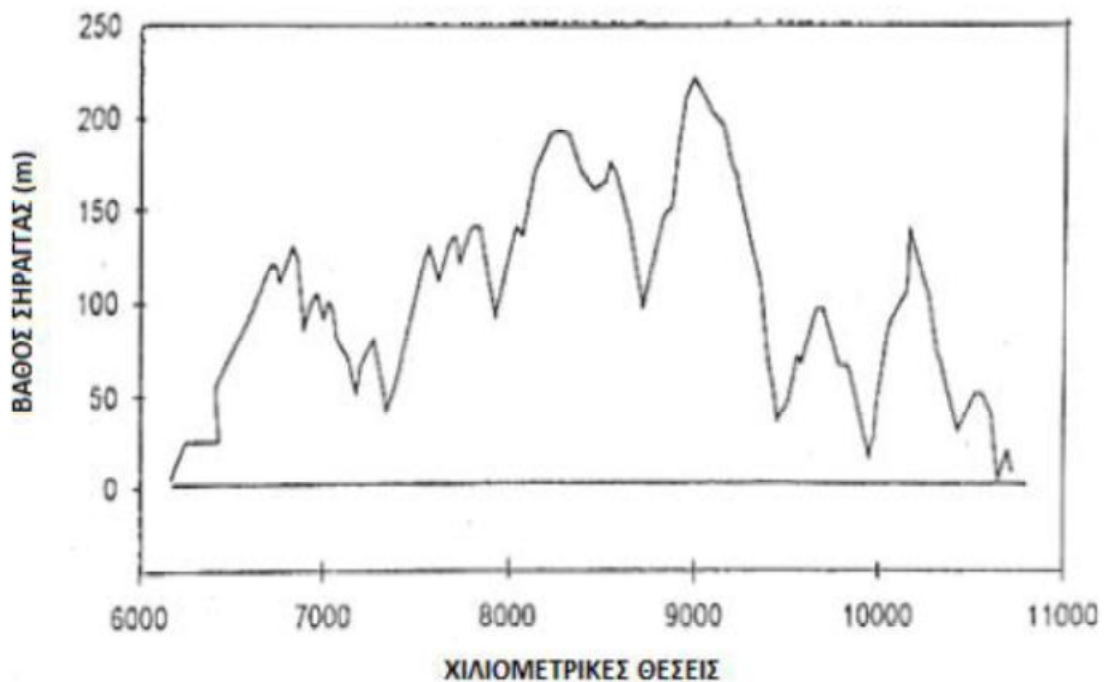
<p>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζομενοι στην εμφάνιση της βραχόμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφανείας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε κινηματικά ελεγχόμενες αστάθειες. Στην περίπτωση που οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρηνές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η διατμητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένηση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχόμαζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων. ΔΟΜΗ</p>	<p>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ</p>	<p>ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, μη αποσφραγισμένες επιφάνειες</p>	<p>ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσφραγισμένες και οξυδωμένες επιφάνειες</p>	<p>ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετριώς αποσφραγισμένες και εφραγισμένες επιφάνειες</p>	<p>ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολισθητές, πολύ αποσφραγισμένες με σημαντική επιφύλαξη ή υλικό πλήρωσης με κωνοειδή θραύσματα</p>
ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →					
<p>ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΝΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΟΣΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ</p>	<p>90</p>	<p>80</p>	<p>70</p>	<p>60</p>	<p>50</p>
 <p>INTACT OR MASSIVE - Άρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
 <p>BLOCKY - Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
 <p>VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
 <p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
 <p>DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγυλωμένων τεμαχίων</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
 <p>LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχόμαζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<p>↓</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

ΠΙΝΑΚΑΣ 5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ GSI

Η ΣΗΡΑΓΓΑ ΤΟΥ ΔΡΙΣΚΟΥ

2.0 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Η δίδυμη σήραγγα του Δρίσκου αποτελεί τη μεγαλύτερη σε μήκος σήραγγα της Εγνατίας Οδού. Συγκεκριμένα, κατασκευάστηκε στο τμήμα << Δροσοχώρι – Ποταμός-Άραχθος>> της Εγνατίας από τη χιλιομετρική θέση 6+160.21 έως 10+637. Αποτελείται από 2 ανεξάρτητες σήραγγες ουσιαστικά, σε κάθε μια από τις οποίες διέρχεται ο αντίστοιχος κλάδος του αυτοκινητοδρόμου. Ο αριστερός κλάδος έχει μήκος 4563,94m (από τη Χ.Θ. 6+166.06 έως τη Χ.Θ. 10+730) και ο δεξιός 4476,79m (από τη Χ.Θ. 6+160.21 έως Χ.Θ. 10+637). Η διατομή της σήραγγας που έχει επιλεγεί είναι πεταλοειδούς μορφής, με ημικυκλικό θόλο ακτίνας εσωραχίου τελικής επένδυσης 5,50m και μέγιστο ελεύθερο πλάτος 11,00m, σύμφωνα με την τυπική διατομή της ΕΟΑΕ. Το μέγιστο ύψος υπερκειμένων που συναντήθηκε είναι τα 220m ενώ στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται το βάθος της σήραγγας σε κάθε χιλιομετρική θέση.



Σχήμα 1 : Διάγραμμα ύψους υπερκειμένων συναρτήσει της χιλιομετρικής θέσης

Χάρτης Σήραγγας Δρίσκου

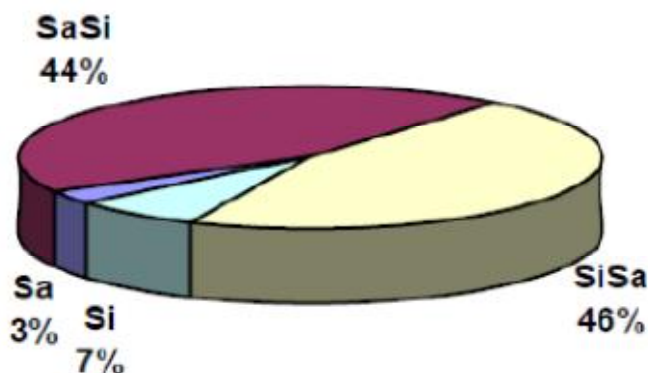


2.1 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η σήραγγα του Δρίσκου διανοίχθηκε σε διαφόρους σχηματισμούς Ιονίου Φλύσχη, οι κυριότεροι είναι :

- Ιλυόλιθοι με λεπτές ενστρώσεις ψαμμιτών (Si)
- Λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις εναλλαγές ιλιόλιθων και ψαμμιτών (SiSa)
- Μεσοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις ψαμμίτες με εναλλαγές λεπτοστρωματωδών ιλυόλιθων (SaSi)
- Παχυστρωματώδεις ψαμμίτες με ενστρώσεις λεπτοστρωματωδών ιλυόλιθων (Sa)

ΠΟΣΟΣΤΑ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ



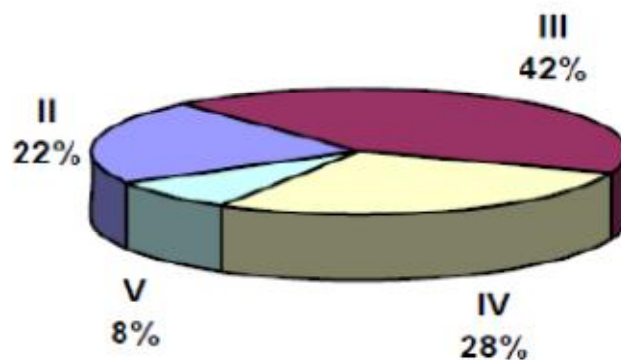
Σχήμα 2 Ποσοστά των λιθολογικών σχηματισμών στην περιοχή της σήραγγας

Κυρίως, όμως, στην περιοχή της διάνοιξης της σήραγγας οι σχηματισμοί αποτελούνται από μεσοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις ψαμμίτες της τάξης των 30-70 cm σε εναλλαγή με λεπτοστρωματώδεις ιλυόλιθους. Οι στρώσεις αυτές χαρακτηρίζονται από περίπου παραοριζόντια κλίση, σε σχέση με τη διεύθυνση της σήραγγας, στο 60% της

μηκοτομικής διάνοιξης (από το νότιο μέτωπο) και από περίπου παρακατακόρυφη κλίση για το υπόλοιπο της σήραγγας. Επιπλέον, διακλάσεις εμφανίζονται στις ψαμμιτικές, κυρίως, στρώσεις, καθώς επίσης εμφανίζονται και στις στρώσεις ιλυόλιθου πάχους 10-40 cm με εναλλαγές μεταξύ τους από 1 έως 5cm. Στις περιοχές ρηγμάτων, οι επιφάνειες στρώσεις κυρίως στα ιλυολιθικά μέρη των μέσο-παχυστρωματοδών ψαμμιτών/ιλυολίθων, αποτελούν διαμημένες επιφάνειες, προκαλώντας δυσμενείς συνθήκες για την ευστάθεια της προσωρινής υποστήριξης. Οι διαφορικές καθιζήσεις που αποτελούν χαρακτηριστικό του φλύσχη έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της αντοχής του ιλυόλιθου και κυρίως στο κεντρικό τμήμα της σήραγγας το οποίο επιβεβαιώνεται ύστερα από γεωτρήσεις. Αναμενόμενη ήταν και η εμφάνιση ροής νερού κατά την διάνοιξη της σήραγγας λόγω των υψηλών επιπέδων υπόγειου νερού.

Οι λιθολογικοί σχηματισμοί, τελικά, διακρίθηκαν σε μέσης, χαμηλής και πολύ χαμηλής αντοχής. Τα ποσοστά για κάθε κατηγορία βραχώμαζας φαίνονται στο παρακάτω σχήμα :

ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ



Σχήμα 3 Ποσοστά ποιοτήτων βραχώμαζας που συναντούνται στην περιοχή της σήραγγας

Το μορφολογικό ανάγλυφο είναι έντονο με αποτέλεσμα το ύψος της βραχομάζας που υπέρκειται της σήραγγας να ξεπερνάει κατά τόπους τα 200m.

Εκσκαφή - Διαμόρφωση Καθρέπτη Μετώπου Εισόδου



2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ - ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Η επιλογή της μεθόδου διάνοιξης και του αναγκαίου εξοπλισμού της σήραγγας, που έγινε με βάση τα γεωλογικά και γεωτεχνικά στοιχεία, τις επιτόπου συνθήκες και την εμπειρία του Αναδόχου, έγινε με βάση τις δύο παρακάτω μεθόδους

α) Εκσκαφή με ανατινάξεις, εκεί όπου οι συνθήκες το επέτρεπαν (κατηγορίες III και IV επιλεκτικά).

β) Εκσκαφή με μηχανικά μέσα (π.χ υδραυλικοί εκσκαφείς) ή συνδυασμός μηχανικών μέσων και ανατινάξεων (κατηγορίες IV , V, Va και Vb).

Η επιλογή της μεθόδου εκσκαφής για κάθε βήμα προχώρησης γίνονταν με βάση την κατηγοριοποίηση της βραχώμαζας η οποία προηγούνταν. Η εκσκαφή έγινε σε δύο φάσεις (Top Head – Α΄ φάση και Bench – Β΄ φάση). Μετά από κάθε προχώρηση εφαρμόζονταν τα μέτρα υποστήριξης όπως ορίζονταν ανά κατηγορία βραχώμαζας στην Οριστική Μελέτη

2.3 ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

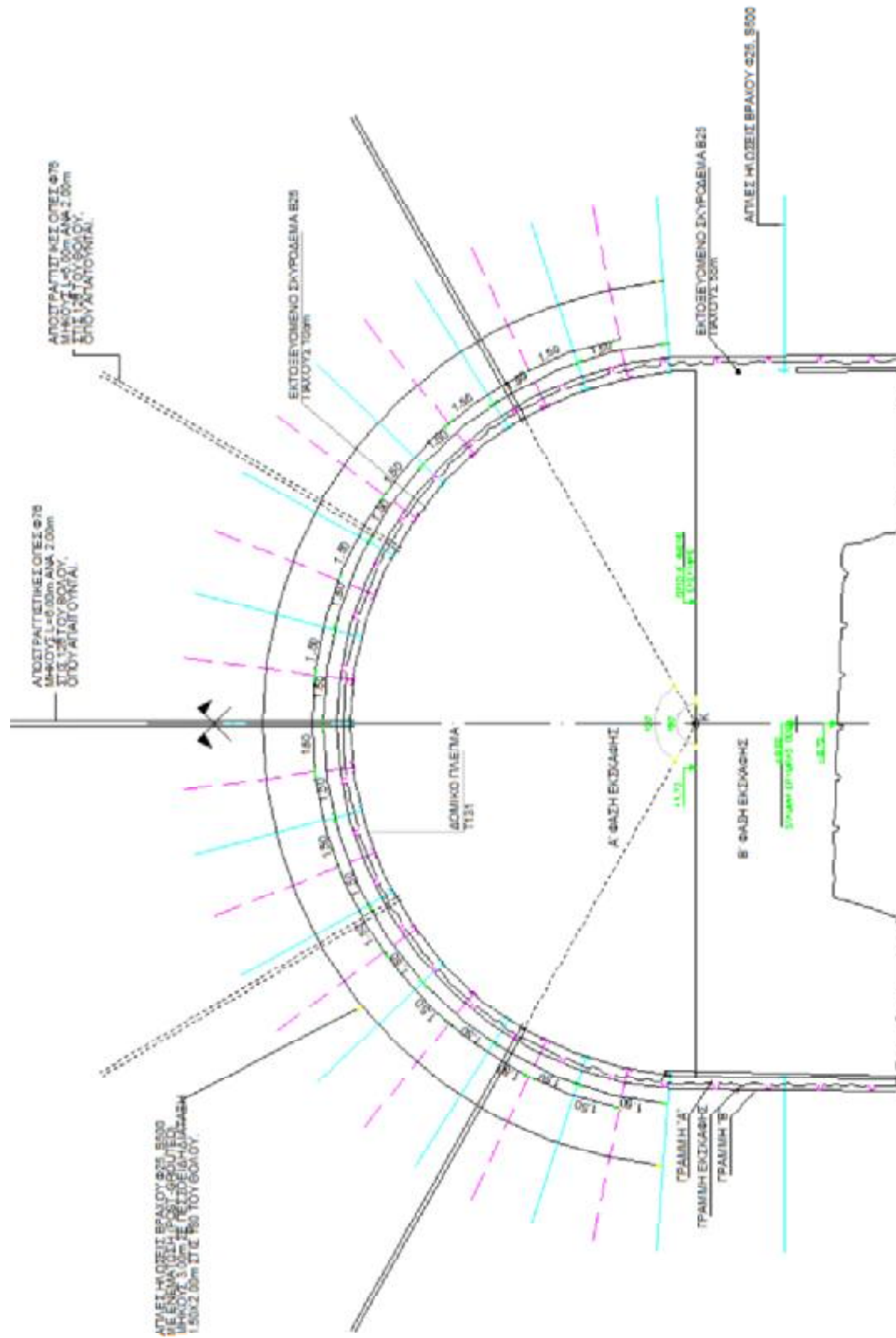
Λαμβάνοντας υπόψιν το εύρος διακύμανσης της ποιότητας της βραχώμαζας, τον αντίστοιχο λιθολογικό σχηματισμό και το ύψος των υπερκείμενων πραγματοποιήθηκαν εκτεταμένες αριθμητικές αναλύσεις τάσεων-παραμορφώσεων με τις οποίες έγινε έλεγχος επάρκειας του φορτίου των αγκυρίων ή της έκτασης της τοπικής αστοχίας για την περίπτωση υπέρβασης του φορτίου, του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και των πλαισίων καθώς και έλεγχος επάρκειας για το μήκος των αγκυρίων με βάση το εύρος χαλάρωσης της βραχώμαζας. Διαστασιολογήθηκαν με αυτόν τον τρόπο 5 τυπικές διατομές εκσκαφής και μέτρων προσωρινής υποστήριξης (II, III, IV, Va, Vb). Για τις κατηγορίες II και III προβλεπόταν εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε συνδυασμό με κάνναβο αγκυρίων μήκους 3 – 4m. για την κατηγορία IV επιλέχθηκε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, μεταλλικά δικτυωτά πλαίσια και αγκύρια μήκους 4 – 6 m ενώ για τις κατηγορίες Va και Vb συνδυασμός εκτοξευόμενου σκυροδέματος, χαλύβδινων πλαισίων τύπου HEA160 ή HEB180, αγκυρίων μήκους 5 – 6m και κλείσιμο του πυθμένα.



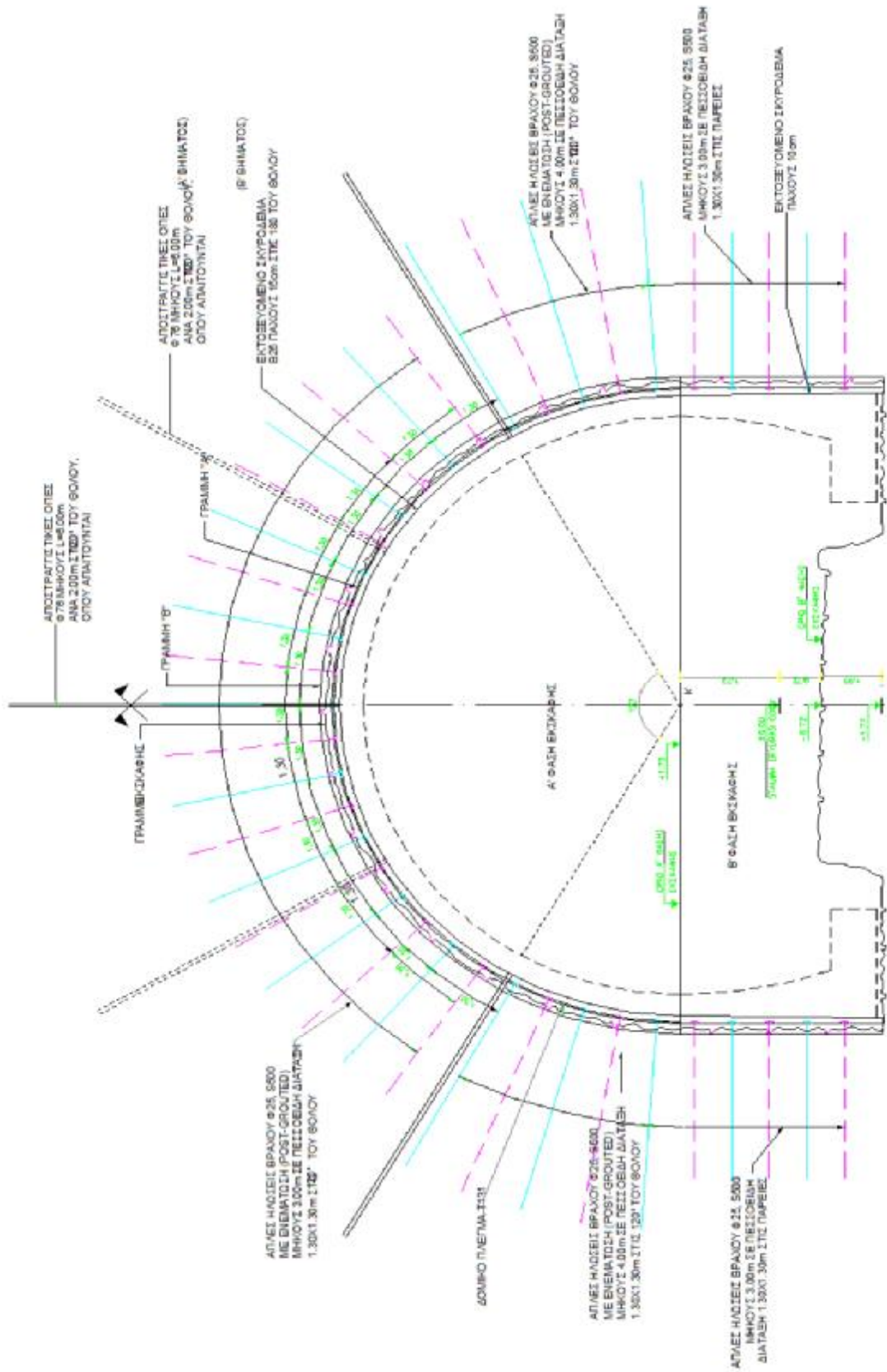
Προπλάισια – Διάτρηση Α.Κ. Μετώπου Εισόδου



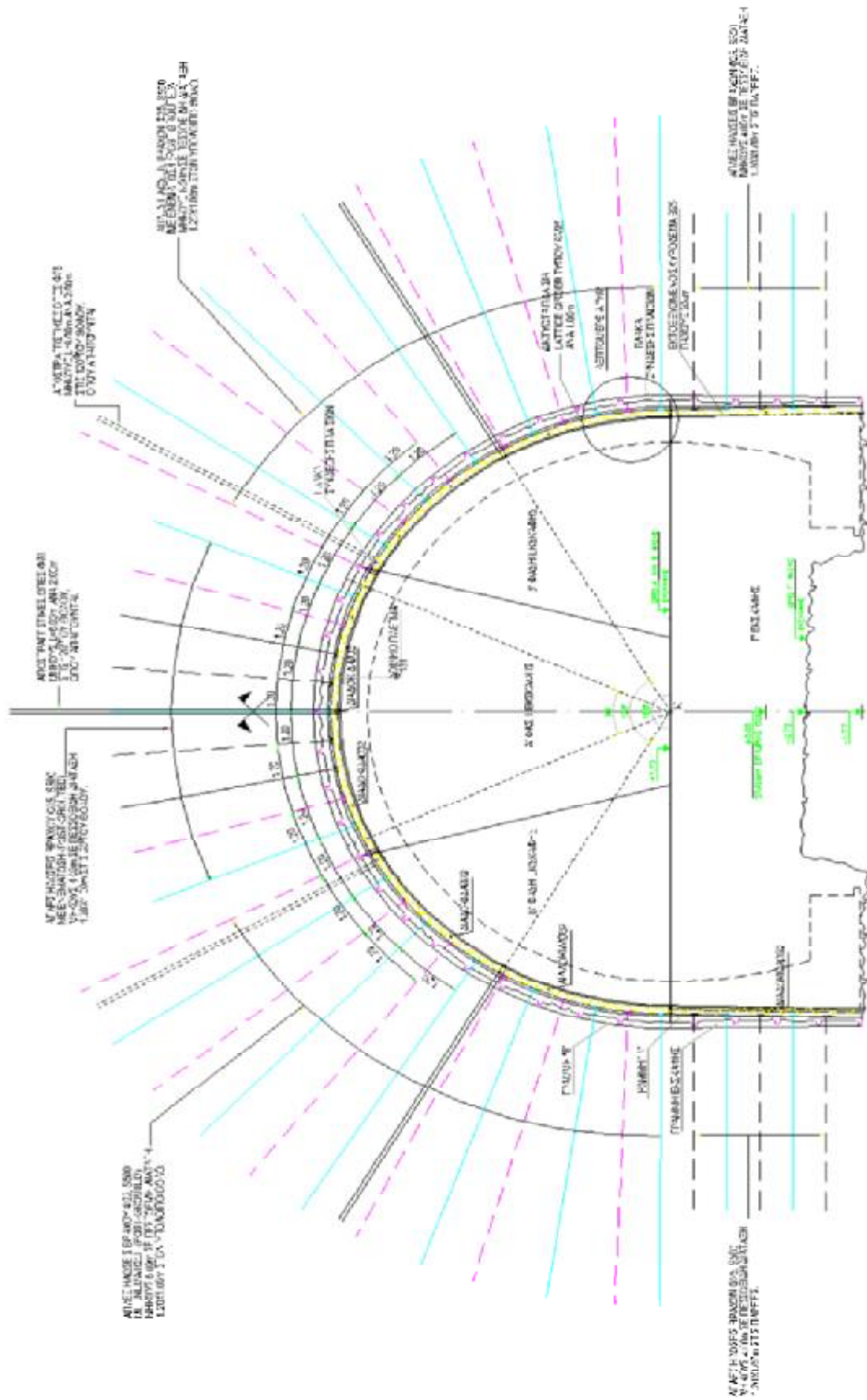
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η κάθε κατηγορία μέτρων υποστήριξης :



ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ II



ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ III



KATHOPIA IV

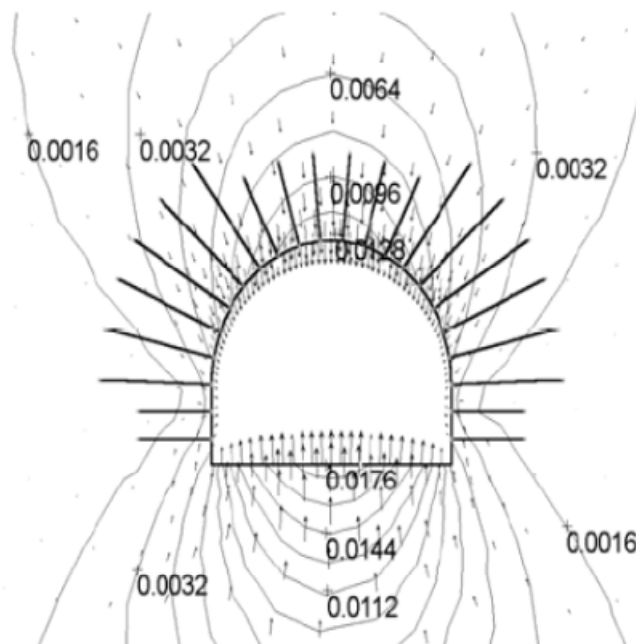
Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται αναλυτικά τα προσωρινά μετρά υποστήριξης που επιλέχθηκαν για κάθε κατηγορία σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό :

	Φάσεις Εκσκαφής	Προχώριση top heading	Απόσταση πλήρους υποστηριγμένης διατομής από το μέτωπο	Μέτρα υποστήριξης				Πρόσθετα
				Χρόνος εφαρμογής	Αγκυρώσεις	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	Πλάισια	
II	2: -top heading -benching	<2,25m	6m	18 ώρες από την ανατίναξη	Αγκύρια μήκους 3.0 m σε διάταξη 1.50 x 2.0 m στον θόλο (180°) και σποραδικά στις παρειές	180° του θόλου 10 cm με πλέγμα στις παρειές 5 cm	-	Αποστράγγιση εφόσον απαιτηθεί
III	2: -top heading -benching	<1,50m	3m	12 ώρες από την ανατίναξη	Αγκύρια μήκους 3.0 m σε διάταξη 1.30 x 1.30 m στις 120° του θόλου, μήκους 4.0 m στον υπόλοιπο θόλο, και μήκους 3.0 m στις παρειές	180° του θόλου 15 cm με πλέγμα στις παρειές 10 cm	-	Αποστράγγιση εφόσον απαιτηθεί
IV	3: -2 top heading -benching	<1,0m	2m	Κατά την διάρκεια της εκσκαφής	Αγκύρια μήκους 4.0 m σε διάταξη 1.20 x 1.00 m στις 50° του θόλου, μήκους 6.0 m στον υπόλοιπο θόλο, και μήκους 4.0 m στις παρειές Αγκύρια τύπου Swellex, μήκους 4 m σε κώνυφο 2.0 x 2.0 m, στο μέτωπο, εφόσον απαιτηθεί	20 cm με πλέγμα στον θόλο και τις παρειές 10 cm στο μέτωπο του top heading	Lattice girder τύπου 95 / D26 Σε αποστάσεις 1.0 m	Αποστράγγιση εφόσον απαιτηθεί
V	4: -2 top heading -2 bench	<1,0m	2m	Κατά την διάρκεια της εκσκαφής	Αγκύρια μήκους 6.0 m σε διάταξη 1.5 x 1.0 m στον θόλο, στις παρειές και 4 m στον ποθμένα Αγκύρια τύπου Swellex, μήκους 4 m σε κώνυφο 2.0 x 2.0 m, στο μέτωπο	20 cm με ίνες σε όλη την επιφάνεια της εκσκαφής τελευταία στρώση πάχους 5 cm χωρίς ίνες 10 cm στο μέτωπο του top heading	Μεταλλικά πλαίσια HEA 160 Σε αποστάσεις 1.0 m	Δοκοί Προσορείας εφόσον απαιτηθεί Αποστράγγιση εφόσον απαιτηθεί

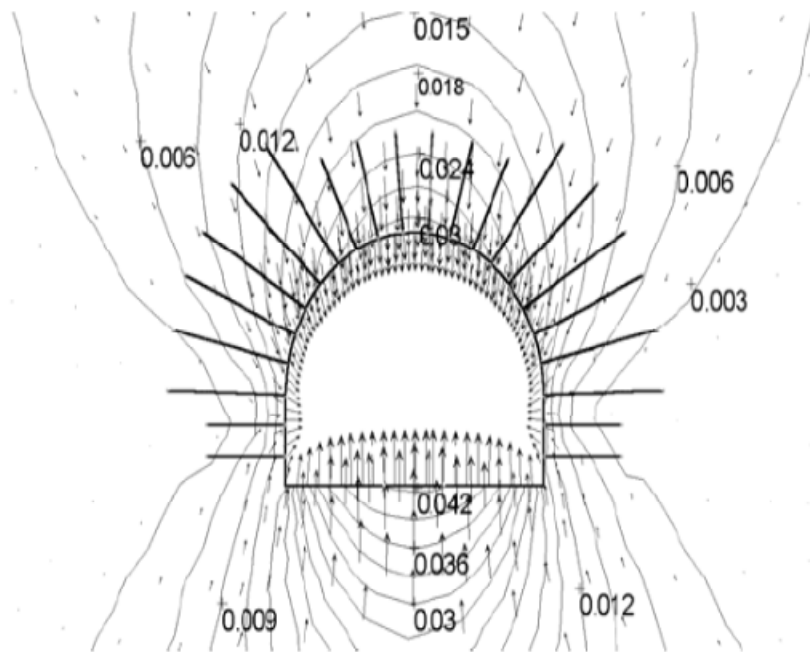
Πίνακας 6

Στη συνέχεια ,υπολογίστηκαν οι μέγιστες επιτρεπόμενες μετακινήσεις στη κλείδα για κάθε κατηγορία υποστήριξης, οι οποίες κυμαίνονται από 7,5mm για την κατηγορία II έως 8cm για την κατηγορία Vb.

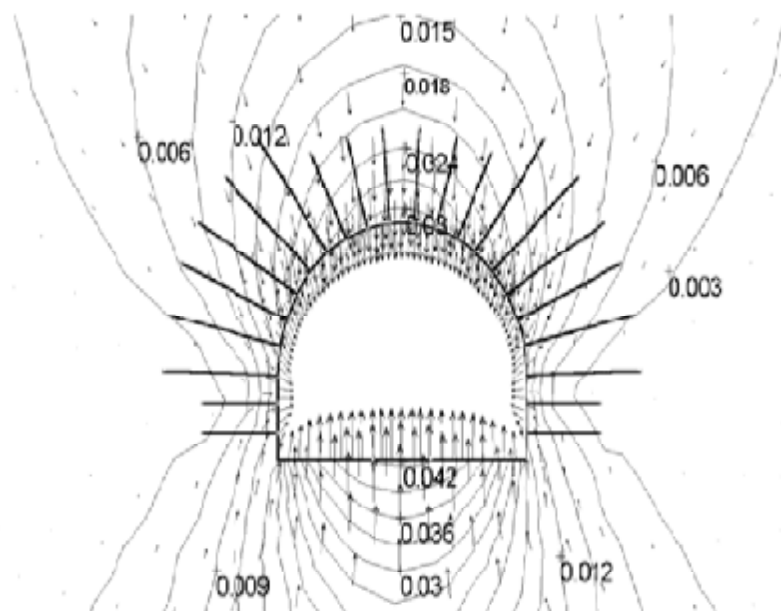
Προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη κατηγορία υποστήριξης για κάθε χιλιομετρική θέση της σήραγγας, χρησιμοποιήθηκαν οι καμπύλες μεταβολής της μέγιστης μετακίνησης στην κλείδα ανάλογα με το ύψος των υπερκείμενων και το είδος του λιθολογικού σχηματισμού μαζί με τις μέγιστες επιτρεπόμενες μετακινήσεις. Οπότε ανάλογα την μετακίνηση θα επιλέξουμε και την κατηγορία υποστήριξης. Ενδεικτικά δίνονται στα σχήματα (4) , (5) , (6) οι ισοϋψείς των μετακινήσεων για ποιότητα βραχώμαζας IV και για ύψος υπερκείμενων 100 , 170 και 220m αντίστοιχα, με εφαρμογή υποστήριξης IV.Στα ύψη 100 και 170m οι μετακινήσεις είναι 1,3 και 2,25 cm στην κλείδα ,δηλαδή μικρότερες από την μέγιστη ανεκτή για αυτήν την κατηγορία που είναι 2,5cm.Αντίθετα για υπερκείμενα 220m η μετακίνηση στην κλείδα είναι 3cm ,μεγαλύτερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη. Επομένως απαιτούνται μέτρα υποστήριξης κατηγορίας V καθώς δεν επαρκεί η κατηγορία IV.



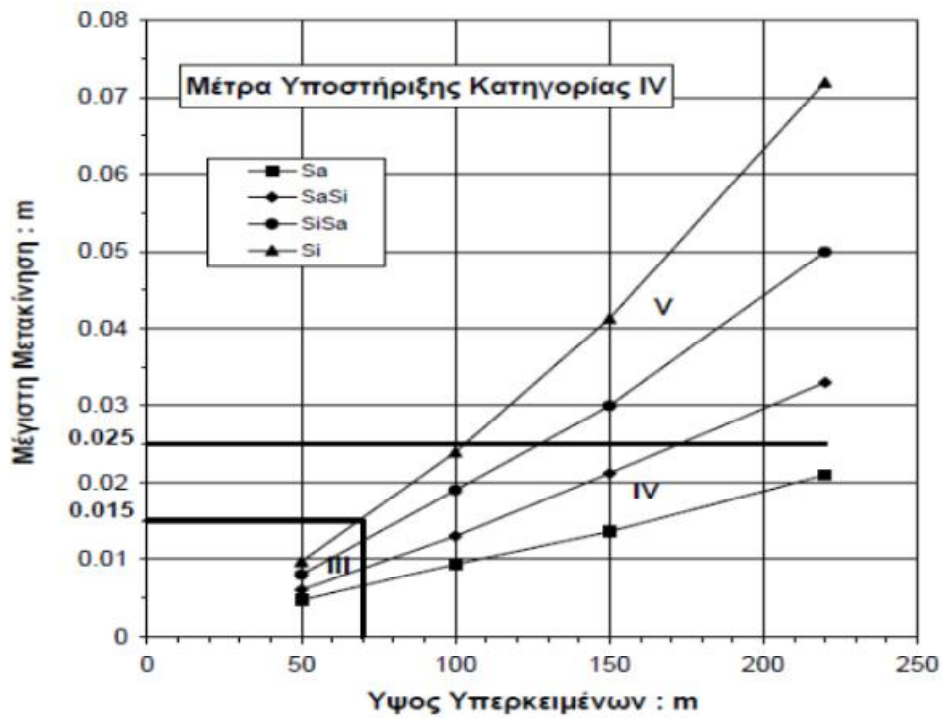
Σχήμα 4 ισοϋψείς των μετακινήσεων για ύψος υπερκείμενων 100m



Σχήμα 5 ισοϋψείς των μετακινήσεων για ύψος υπερκείμενων 170m



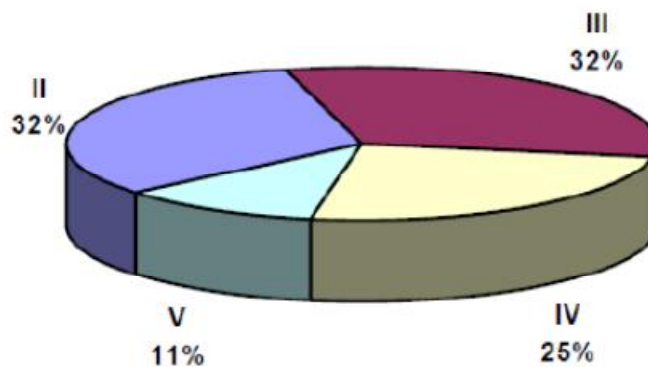
Σχήμα 6 ισοϋψείς των μετακινήσεων για ύψος υπερκείμενων 220m



Σχήμα 7 Κατηγορία μέτρων υποστήριξης ανάλογα με τις μέγιστες μετακινήσεις και το ύψος υπερκειμένων

Με βάση, λοιπόν, την παραπάνω μεθοδολογία, η ποσοστιαία κατανομή των μέτρων υποστήριξης κατά μήκος της σήραγγας προέκυψε ως εξής :

ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ



Σχήμα 8 : ποσοστά ανά κατηγορία μέτρων υποστήριξης

Στον πίνακα 7 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι κατηγορίες υποστήριξης που επιλέχθηκαν για κάθε λιθολογικό σχηματισμό, ανάλογα με την ποιότητα της βραχομαζας (δείκτη GSI) και το ύψος των υπερκειμένων.

Λιθολογικός σχηματισμός	GSI	Ύψος υπερκειμένων (m)	Κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης
<i>Ψαμμίτης (Sa)</i>	15÷19	15÷60	IV
		>60	V
	20÷29	15÷60	III
		60÷120	IV
		>120	V
	30÷39	15÷70	III
		>70	IV
	40÷49	15÷150	II
		>150	III
	50÷59	15÷150	II
		>150	III
	≥60	>15	II
<i>Ευολιθικός Ψαμμίτης (SaSi)</i>	15÷19	15÷50	IV
		>50	V
	20÷29	15÷45	III
		45÷110	IV
		>110	V
	30÷39	15÷50	III
		50÷170	IV
		>170	V
	40÷49	15÷130	II
		>130	III
	50÷59	15÷130	II
		>130	III
≥60	>15	II	
<i>Ψαμμόχορς Ευολιθός (SiSa)</i>	15÷19	15÷40	IV
		>40	V
	20÷29	15÷40	III
		40÷100	IV
		>100	V
	30÷39	15÷45	III
		45÷150	IV
		>150	V
	40÷49	15÷110	II
		110÷200	III
		>200	IV

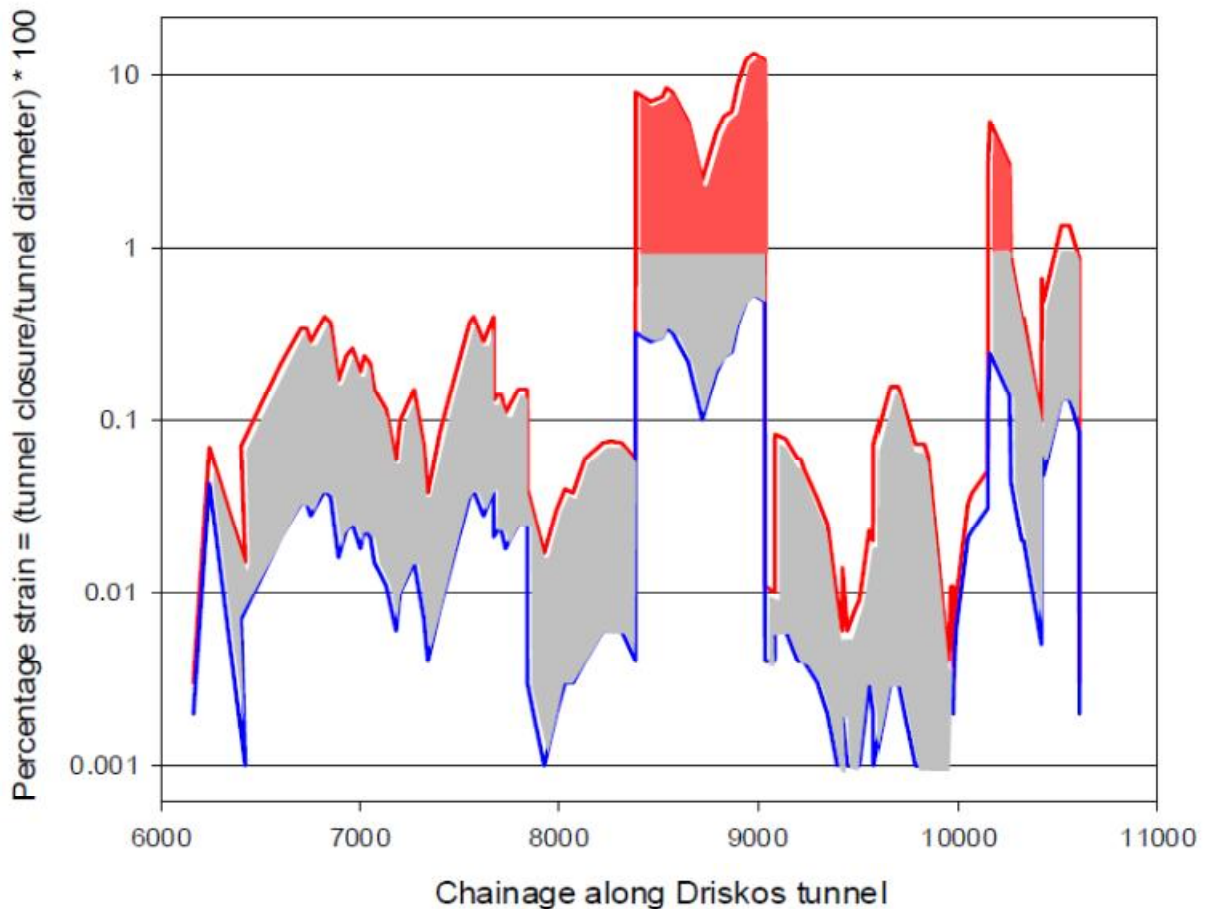
	50+59	15+110	II
		>110	III
	≥60	>15	II
<i>Γυάλιθος (Si)</i>	15+19	>15	V
	20+29	15+40	IV
		>40	V
	30+39	15+40	III
		40+60	IV
		>60	V
	40+49	15+45	II
		45+120	III
		>120	IV
	50+59	15+45	II
		45+190	III
		>190	IV
	≥60	>15	II

Πίνακας 7 Επιλογή κατηγορίας υποστήριξης για κάθε λιθολογικό σχηματισμό, ανάλογα με το ύψος υπερκείμενων και την ποιότητα της βραχώμαζας

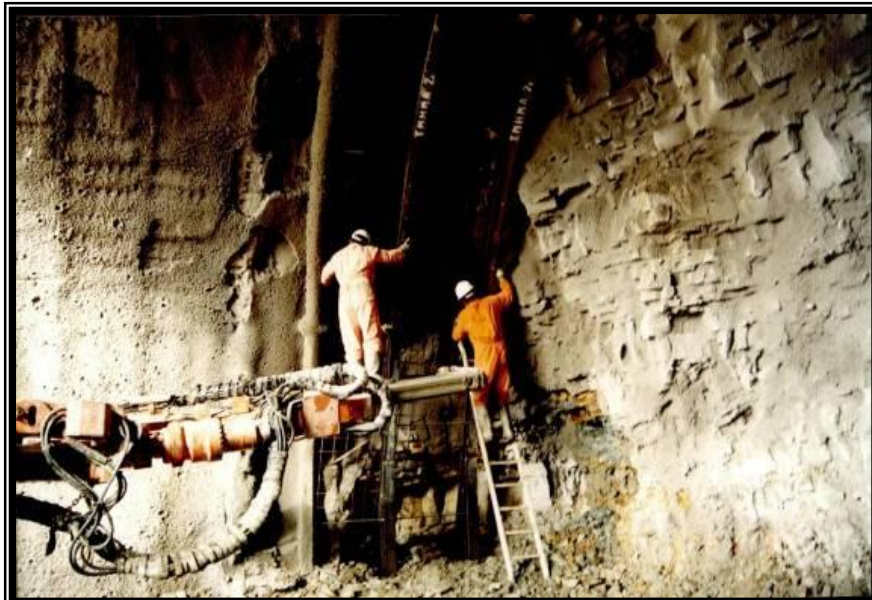


Έναρξη Εκσκαφών Υπογείου
Αριστερός Κλάδος Μετώπου Εισόδου

Παρακάτω δίδεται το διάγραμμα (9) της κρίσιμης παραμόρφωσης και συγκεκριμένα για τη βραχώμαζα στην οποία επρόκειτο να διανοιχθεί η σήραγγα η κρίσιμη παραμόρφωση είναι κατά Sakurai 1%. Δηλαδή για παραμορφώσεις άνω του 1% η σήραγγα χαρακτηρίζεται ως μη ευσταθής και χρειάζεται συγκεκριμένα μέτρα υποστήριξης ενώ για κάτω από 1% αρκεί η ελάχιστη υποστήριξη.



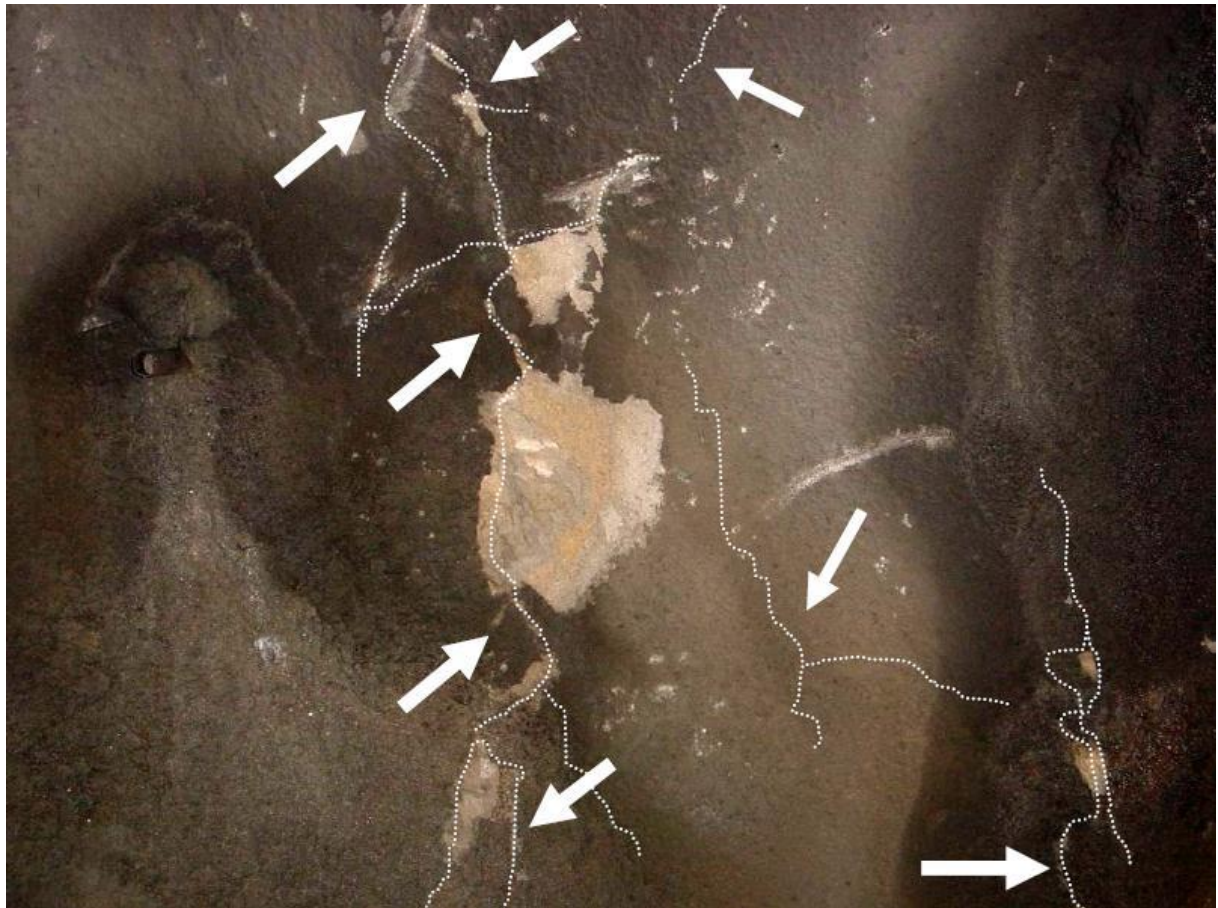
Σχήμα 9 Κατανομή ποσοστού παραμόρφωσης κατά μήκος τα σήραγγας



Όπως φαίνεται στο διάγραμμα , για τις μέγιστες αντοχές βραχόμαζας, σε καμία θέση δεν υπερβαίνει η παραμόρφωση την κρίσιμη 1%, ενώ για τις ελάχιστες αντοχές, μόνο στις θέσεις 8385 – 9035, 10150 – 10260 και 10520 – 10560, η παραμόρφωση ξεπερνά το 1% .

2.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Κατά τα πρώτα στάδια διάνοιξης της σήραγγας πρόέκυψαν κάποια προβλήματα λόγω της υπερεκτίμησης της ποιότητας και της αντοχής της βραχώμαζας κατά τη φάση μελέτης. Παρουσιάστηκαν αστοχίες των μέτρων προσωρινής υποστήριξης σε διάφορες θέσεις κατά μήκος της σήραγγας. Εμφανίστηκαν ρωγμές στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, παραμορφώσεις στα αγκύρια και συγκεκριμένα στις πλάκες αγκύρωσης και κάποια μεταλλικά πλαίσια τοπικό λυγισμό. Παρακάτω δίνονται κάποιες εικόνες ενδεικτικές των μορφών αστοχίας της προσωρινής υποστήριξης σε διάφορες θέσεις κατά μήκος της σήραγγας.



Σχήμα 10 Ανάπτυξη ρωγμών στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα της άνω ημιδιατομής



Σχήμα 11 Ρηγμάτωση εκτοξευόμενου σκυροδέματος γύρω από δικτυωτό πλαίσιο



Σχήμα 12 Παραμορφωμένη πλάκα αγκυρίου (face plate) λόγω αστοχίας υποστήριξης

Η εμφάνιση αυτών των αστοχιών αποδεικνύει την ανεπάρκεια των μέτρων υποστήριξης όπως είχαν επιλεγεί κατά την αρχική μελέτη, για τη συγκεκριμένη βραχόμαζα λόγω των υψηλών υπερκείμενων σε συνδυασμό με τη χαμηλή αντοχή του φλύσχη η οποία ήταν χαμηλότερη από την αρχικά εκτιμηθείσα.

Ένα δεύτερο πρόβλημα που πρόεκυψε κατά τη διάνοιξη της σήραγγας σχετίζεται με τις μετακινήσεις στο τοίχωμα της σήραγγας. Σε σημεία που αστόχησαν τα μέτρα της προσωρινής υποστήριξης, οι μετακινήσεις που μετρήθηκαν ήταν μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες. Η αιτία για αυτές τις μετακινήσεις είναι η ανεπαρκής υποστήριξη της βάσης του κελύφους από

εκτοξευόμενο σκυρόδεμα της άνω ημιδιατομής. Αυτό το κέλυφος που είναι ενισχυμένο με δικτυωτά πλαίσια, έχει ελάχιστη ή καθόλου ενεργή επαφή με το δάπεδο της άνω ημιδιατομής, με αποτέλεσμα να υποχωρεί λόγω της περιβάλλουσας βραχώμαζας. Οπότε για να μπορέσει να φτάσει τη μέγιστη αντοχή σχεδιασμού του το κέλυφος, θα έπρεπε να έχει εκσκαφτεί πρώτα ο πυθμένας και να έχει τοποθετηθεί εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στον πυθμένα και να έχει εγκατασταθεί το κάτω μέρος του κελύφους.

Η εμφάνιση αστοχιών οδήγησε στην ανάγκη λήψης μέτρων θεραπείας για το ήδη διανοιχθέν τμήμα και υπολογισμού νέων διατομών για την υπόλοιπη σήραγγα.

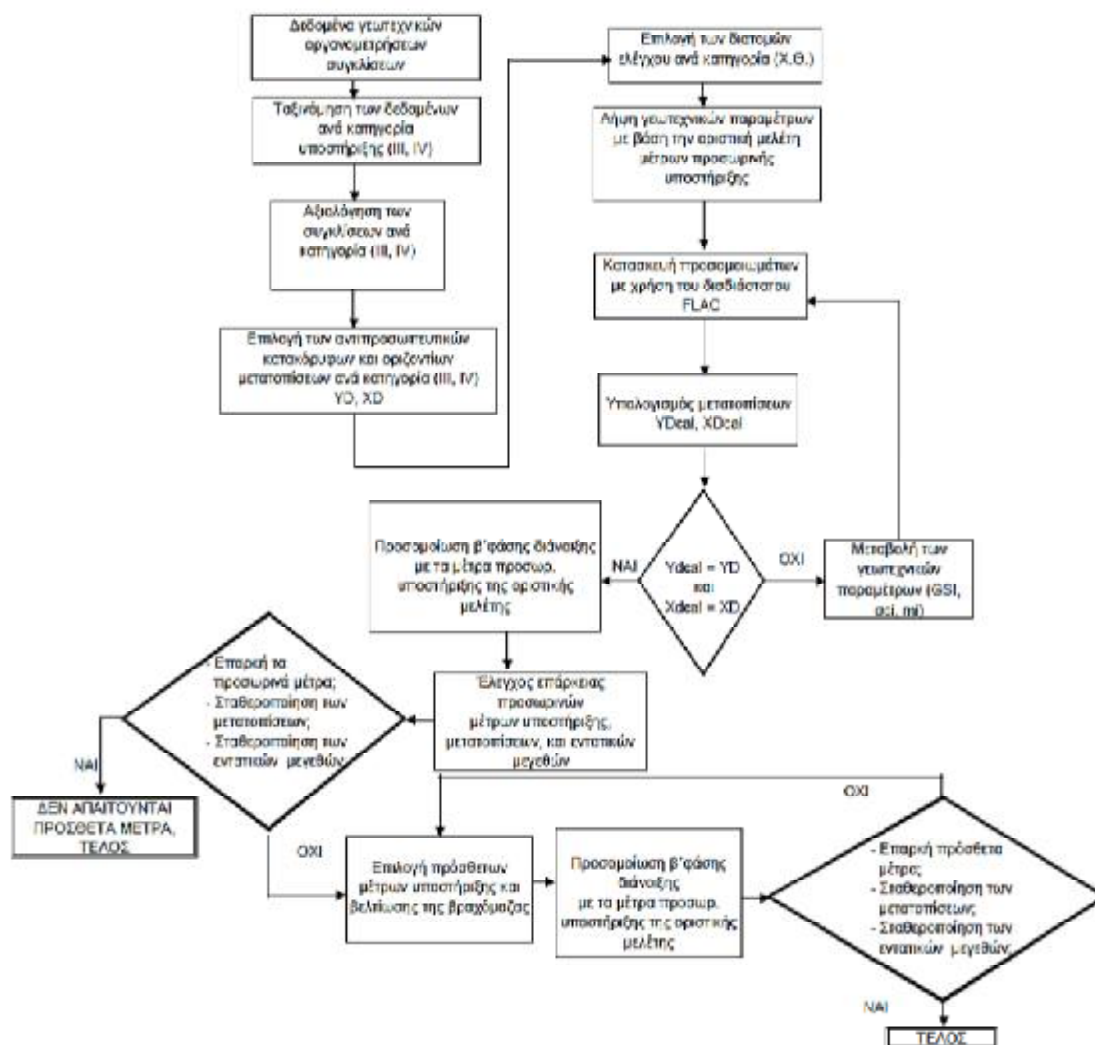
Ένας από τους λόγους υποβάθμισης της βραχώμαζας είναι η παρουσία νερού. Τα φύλλα αποτύπωσης των μετώπων, αποδεικνύουν την ύπαρξη νερού με μορφή υγρασίας έως ροή υπό μέτρια πίεση σε όλες σχεδόν τις θέσεις του μετώπου. Επιπλέον η αντοχή του φλύσχη μειώθηκε τοπικά λόγω της ύπαρξης υψηλότερων συγκεντρώσεων τάσεων από τις κανονικές. Για τον υπολογισμό, επομένως, των τιμών των μηχανικών ιδιοτήτων του φλύσχη, θα έπρεπε να ληφθεί υπόψη η επίδραση της παρουσίας υπόγειων νερών. Αυτή είναι αρνητική και για παραμέτρους (m_i και σ_{ci}) του άρρηκτου πετρώματος.

Για τον υπολογισμό των ισοδύναμων παραμέτρων αντοχής c και ϕ εφαρμόστηκε το κριτήριο Hoek – Brown σε συνδυασμό με το εύρος διακύμανσης του ύψους των υπερκείμενων. Οι τιμές GSI αλλάζουν.

Για το δυσμενέστερο συνδυασμό αρχικού εντατικού πεδίου και ποιότητας βραχώμαζας για τις κατηγορίες III, IV, Va, Vb εκτελέστηκαν αναλύσεις λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω γεωλογικές συνθήκες και το γεγονός ότι το τμήμα που έπρεπε να διανοιχθεί στη συνέχεια βρισκόταν σε περιοχή με υψηλότερα υπερκείμενα από το ήδη διανοιχθέν. Για την επιλογή του δυσμενέστερου συνδυασμού υπερκείμενου σε κάθε κατηγορία χρησιμοποιήθηκε ο λόγος της αντοχής της βραχώμαζας προς τη γεωστατική τάση σ_{cm}/ρ_0 .



Εργοτάξιο Μετώπου Εισόδου



Σχήμα 13 Διάγραμμα ροής εκτέλεσης ανάδρομων αναλύσεων και υπολογισμού μέτρων θεραπείας



Οι γεωτεχνικές παράμετροι

για κάθε κατηγορία για τον αρχικό σχεδιασμό ήταν οι εξής:

<i>Κατηγορία</i>	<i>GSI</i>	<i>m_i</i>	<i>σ_{ci}</i>	<i>γ (kN/m³)</i>
III	40	11	30	27
IV	32	8	25	27

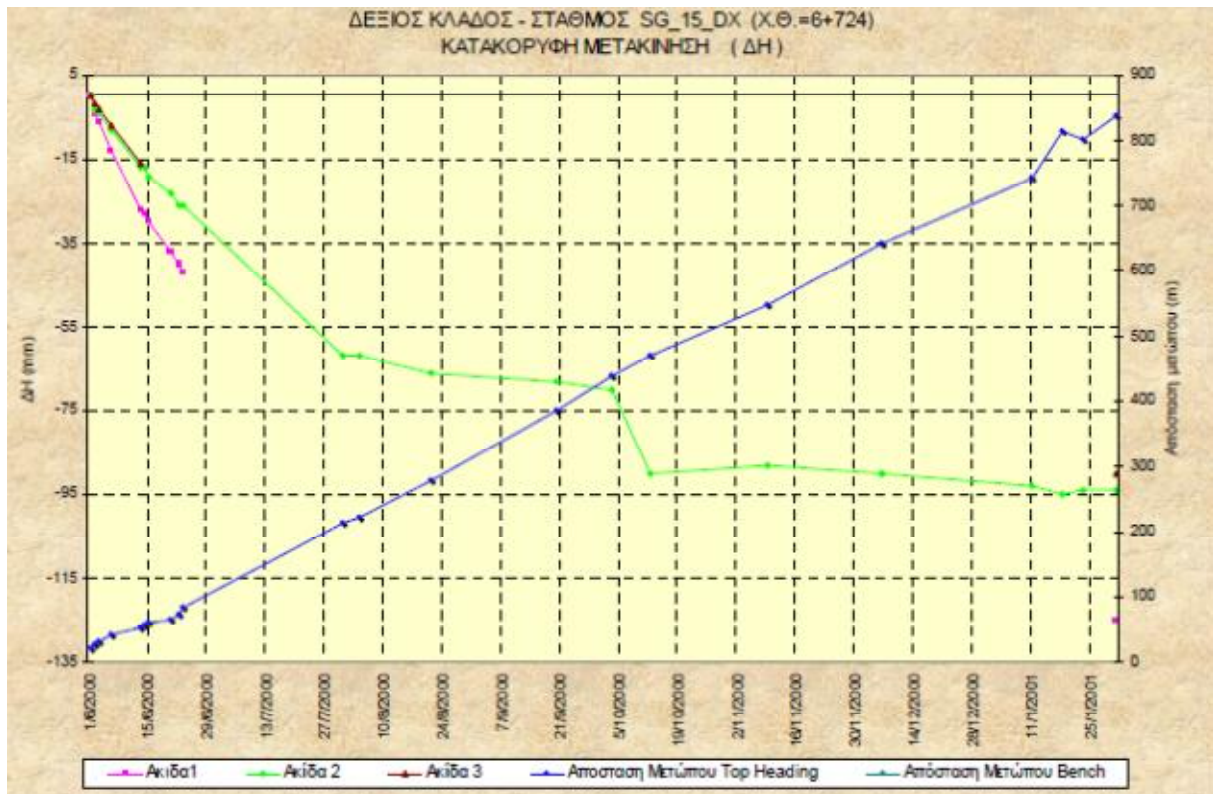
Πίνακας 8 Τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων για τον αρχικό σχεδιασμό

Ως παράδειγμα για τη μέθοδο των ανάδρομων αναλύσεων θα χρησιμοποιηθεί η κατηγορία III. Εκτελέστηκαν υπολογισμοί, διαφοροποιώντας κάθε φορά τις γεωτεχνικές παραμέτρους της βραχώμαζας και επαναλήφθηκαν μέχρι η υπολογιζόμενη κατακόρυφη μετατόπιση να προσεγγίσει τη μέγιστη μετρηθείσα που ήταν 34mm, ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη ήταν 15mm. Οι λόγοι που χρησιμοποιείται η μετατόπιση ως κύριο κριτήριο είναι ότι αποτελεί το πλέον εύκολα μετρούμενο μέγεθος, παρουσιάζει τη μικρότερη πιθανότητα σφάλματος από πλευράς οργανομετρήσεων και είναι το κυριότερο μέγεθος από άποψη λειτουργικότητας της σήραγγας.

Διατηρώντας σταθερά τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης, εκτελέστηκαν υπολογισμοί μεταβάλλοντας μόνο τις παραμέτρους GSI, σ_{ci} και m_i του πετρώματος. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων για διάφορους συνδυασμούς γεωτεχνικών παραμέτρων καθώς και το διάγραμμα κατακόρυφων μετατοπίσεων συναρτήσει του χρόνου και της απόστασης από μέτωπο στη Χ.Θ. 6+724.

<i>Παράμετροι</i>			<i>Κατακόρυφη μετατόπιση (mm)</i>		<i>Οριζόντια μετατόπιση (mm)</i>		<i>Εύρος ζώνης πλαστικοποίησης (mm)</i>	
<i>GSI</i>	<i>m_i</i>	<i>σ_{ci}</i>	<i>Δεξιός κλάδος</i>	<i>Αριστ. κλάδος</i>	<i>Δεξιός κλάδος</i>	<i>Αριστ. κλάδος</i>	<i>Δεξιός κλάδος</i>	<i>Αριστ. κλάδος</i>
40	11	30	10,8	10,8	2,8	2,8	1,0	1,0
32	8	25	15,5	15,6	5,3	5,6	2,0	2,0
25	8	20	33,8	33,3	8,9	9,2	3,5	3,5

Πίνακας 9 Μετατοπίσεις και εύρος ζώνης πλαστικοποίησης για τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων ανάδρομων αναλύσεων για κατηγορία III



Σχήμα 14 Διάγραμμα κατακόρυφης μετατόπισης στη Χ.Θ. 6+724 σε σχέση με το χρόνο και την απόσταση από το μέτωπο

Επειδή έχουν ήδη συμβεί αστοχίες σε αγκύρια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, για τον υπολογισμό των μέτρων θεραπείας για την κατηγορία III, επιλέγεται ο συνδυασμός GSI 25, σ_{ci} 20 και m_i 8, που δίνει κατακόρυφη μετατόπιση που προσεγγίζει την μετρηθείσα. Με ανάλογη διαδικασία εκτελούνται ανάδρομες αναλύσεις για την κατηγορία IV για μετρηθείσα κατακόρυφη μετατόπιση 80mm και μέγιστη επιτρεπόμενη 25mm.

Παράμετροι			Κατακόρυφη μετατόπιση (mm)		Οριζόντια μετατόπιση (mm)		Εύρος ζώνης πλαστικοποίησης (mm)	
GSI	m_i	σ_{ci}	Δεξιός κλάδος	Αριστ. κλάδος	Δεξιός κλάδος	Αριστ. κλάδος	Δεξιός κλάδος	Αριστ. κλάδος
32	11	25	10,2	10,2	4,2	4,2	0,5-1,5	0,5-1,5
25	8	20	32,2	32,2	9,7	9,8	1-2,5	1-2,5
20	8	15	69,7	69,8	27,0	27,2	4-6	4-6

Πίνακας 10 Μετατοπίσεις και εύρος ζώνης πλαστ/σης για τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων ανάδρομων αναλύσεων για κατηγορία IV

Επιλέγεται ο τρίτος συνδυασμός που προσεγγίζει περισσότερο τη μετρηθείσα μετατόπιση.

2.5 ΜΕΤΡΑ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΥΣΧΕΡΕΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η επιλογή των μέτρων θεραπείας έγινε με βάση τα εξής κριτήρια:

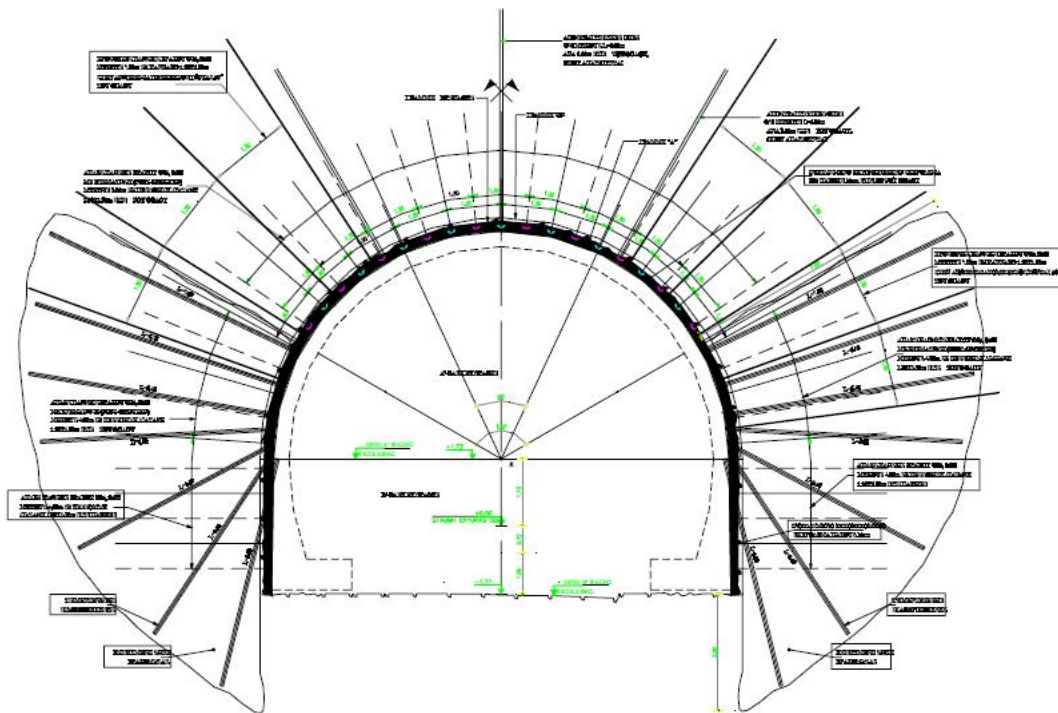
- Να μειωθεί στο ελάχιστο ή να μηδενιστεί η περαιτέρω αύξηση των συγκλίσεων και το εύρος της ζώνης πλαστικοποίησης όταν ολοκληρωθεί και η εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής
- Να μην επιφορτιστούν περισσότερο τα ήδη εφαρμοσθέντα μέτρα προσωρινής υποστήριξης όταν ολοκληρωθεί και η β' φάση εκσκαφής(κάτω ημιδιατομή)
- Να είναι επαρκή τα μέτρα υποστήριξης της β' φάσης

Για την κατηγορία III προτάθηκαν 3 συνδυασμοί. Σε όλους προβλεπόταν αύξηση του πάχους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος από 10cm σε 15cm. Επιπλέον:

- Ο συνδυασμός Α πρότεινε την εφαρμογή αγκυρίων 7m σε κάναβο 1,3m X 1,3m στις παρειές της άνω ημιδιατομής και τσιμεντενέσεων σταθεροποίησης μέσου μήκους 5m στις παρειές της άνω και κάτω ημιδιατομής.
- Ο συνδυασμός Β πρότεινε την εφαρμογή αγκυρίων 7m σε κάναβο 1,3 X 1,3m στις παρειές της άνω ημιδιατομής και τσιμεντενέσεων σταθεροποίησης μέσου μήκους 3m στις παρειές της κάτω ημιδιατομής.

- Ο συνδυασμός Γ πρότεινε την εφαρμογή αγκυρίων πλήρους πάκτωσης μήκους 7m σε κάναβο 1,3 X 1,3m στις παρειές της άνω ημιδιατομής.

Συγκρίνοντας τα αναπτυσσόμενα εντατικά μεγέθη της υποστήριξης και τις μετατοπίσεις για τους 3 συνδυασμούς, απορρίπτεται ο συνδυασμός Γ. Ο συνδυασμός Α κρίθηκε ως καταλληλότερος, ακόμη κρίθηκε απαραίτητη η αύξηση του μήκους των αγκυρίων της β' φάσης από 3m σε 4m γιατί το εύρος της πλαστικής ζώνης είχε υπερβεί τα 3m. Στο σχήμα (15) φαίνεται η διάταξη των πρόσθετων μέτρων για την άνω και κάτω ημιδιατομή.



Σχήμα 15 Πρόσθετα μέτρα υποστήριξης άνω και κάτω ημιδιατομής για την κατηγορία III

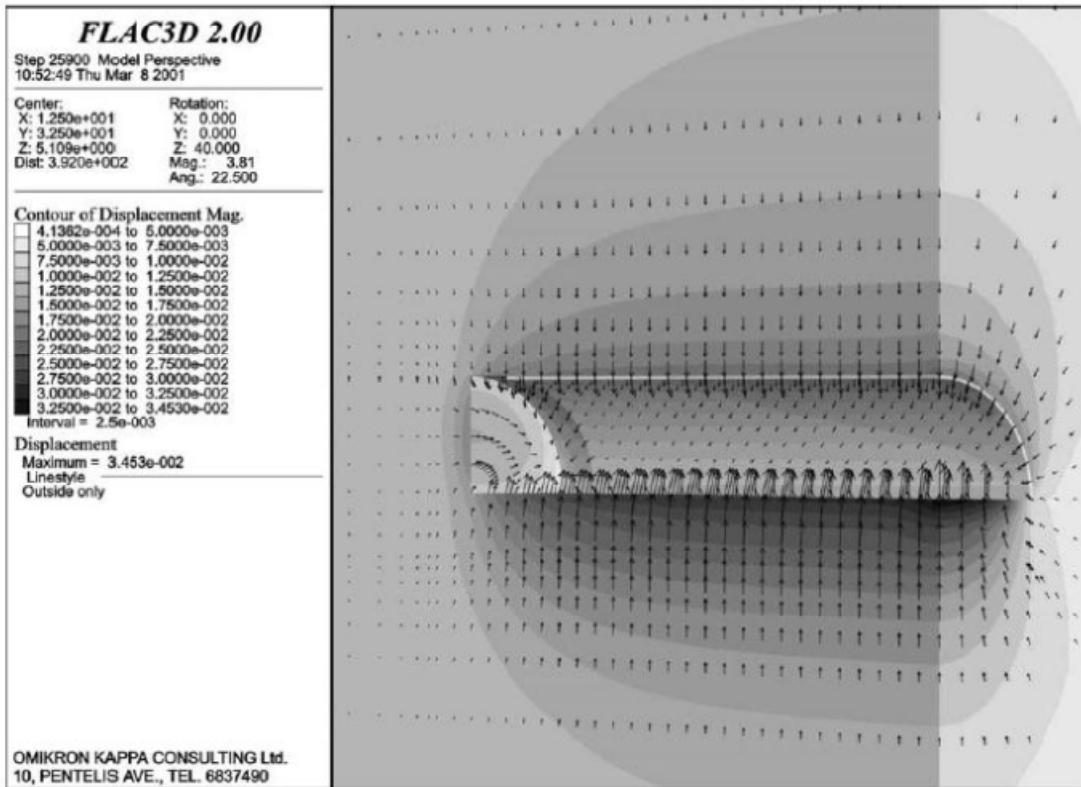
2.6 ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗ ΔΙΑΝΟΙΧΘΕΝ ΤΜΗΜΑ

Με βάση τις ελάχιστες τιμές του λόγου σ_{cm}/p_o για κάθε κατηγορία σύμφωνα με τον αρχικό συνδυασμό, επιλέχθηκαν οι τιμές των παραμέτρων για κάθε κατηγορία μέτρων υποστήριξης, όπως φαίνεται στον πίνακα (11), με μικρή απομείωση των σ_{ci} και m_i ώστε να ληφθεί υπόψη η επίδραση του νερού και της δυσμενούς στρωσιγένειας στο τμήμα που δεν έχει διανοιχθεί.

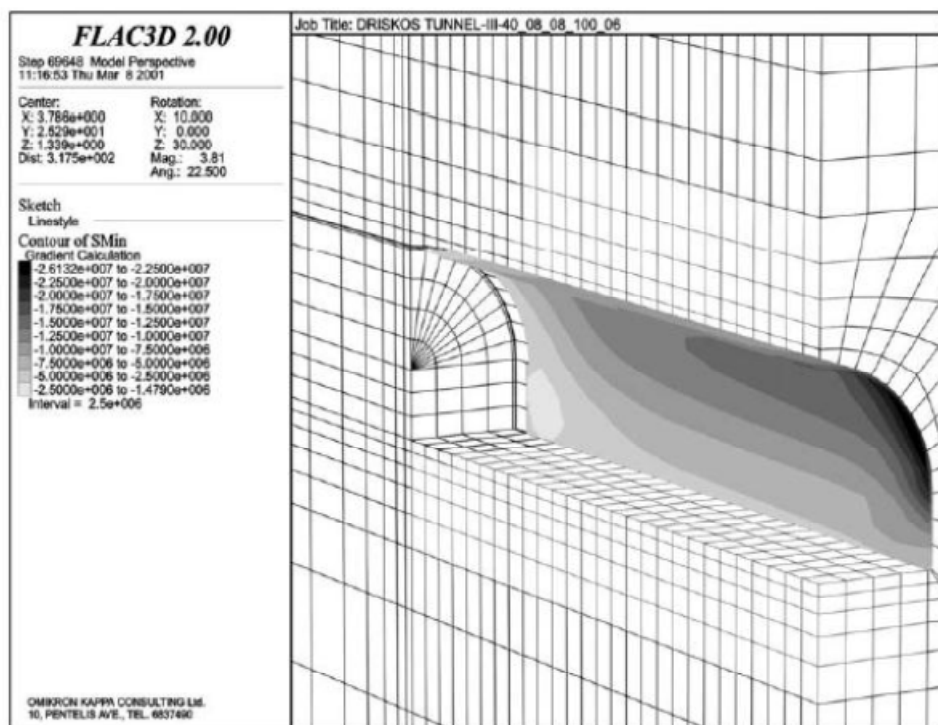
<i>Τυπική διατομή</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>Va</i>	<i>Vb</i>
<i>Λιθ. σχηματισμός</i>	Γλυόλιθος	Γλυόλιθος	SiSa/Si + SaSi	SiSa/Si + SaSi
<i>GSI</i>	40	40	25	25
<i>σ_{ci} (MPa)</i>	8	8	14	14
<i>m_i</i>	8	8	11	11
<i>σ_{cm} (MPa)</i>	0,86	0,86	1,02	1,09
<i>Ύψος υπερκ. (m)</i>	100	150	150	220
<i>P_o (MPa)</i>	2,70	4,05	4,05	5,94

Πίνακας 11 Τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων και των υπερκείμενων για την διαστασιολόγηση του μη διανοιχθέντος τμήματος

Οι υπολογισμοί για την διαστασιολόγηση των μέτρων υποστήριξης έγιναν με χρήση του τρισδιάστατου κώδικα πεπερασμένων στοιχείων FLAC 3D, προσομοιώνοντας μόνο το μισό της σήραγγας λόγω συμμετρίας. Προσομοιώθηκε πρώτα η α' φάση και μετά η β' . Τα ακύρια τοποθετήθηκαν σε κάρναβο πεσσοειδούς διάταξης, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα προσημειώθηκε ως ελαστικό μέσο μεταβαλλόμενου μέτρου ελαστικότητας ανάλογα με την απόσταση από το μέτωπο, και τα πλαίσια προσομοιώθηκαν ως ραβδωτά πεπερασμένα στοιχεία. Ακόμη προσομοιώθηκε η διεύρυνση elephant foot για τη θεμελίωση της άνω ημιδιατομής προκειμένου οι μετατοπίσεις να λαμβάνουν τη μέγιστη υπολογιζόμενη τελική τιμή τους, προσομοιώθηκαν 40m εκσκαφής. Έγιναν υπολογισμοί για λόγο $K=0,6$ και $K=0,9$.



Σχήμα 16 Κατανομή μετατοπίσεων κατά μήκος της σήραγγας για κατηγορία III και $K=0,9$



Σχήμα 17 Κατανομή ελάχιστων κύριων τάσεων στο κέλυφος μετά το πέρας της εκσκαφής για κατηγορία III και $K=0,6$

Η διαστασιολόγηση των νέων διατομών βασίστηκε στις διατομές όπως είχαν προβλεφθεί από τον αρχικό σχεδιασμό, με κάποιες διαφοροποιήσεις. Για όλες τις διατομές αυξήθηκε το εύρος της γραμμής A, δηλαδή της γραμμής που καθορίζει το όριο της εκσκαφής βάσει της απαιτούμενης γεωμετρίας της διατομής και των αναμενόμενων συγκλίσεων και κατασκευαστικών ανοχών. Οι διαφοροποιήσεις για κάθε κατηγορία ήταν οι εξής:

- **Για την κατηγορία III :** Αυξήθηκε το πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος κατά 5cm και το μήκος των αγκυριών από 3 σε 4m και από 5 σε 6m αντίστοιχα, και ο κάρναβος από 1,3X1,3m έγινε 1,3X1,5m. Το βήμα προχώρησης της άνω και κάτω ημιδιατομής αυξήθηκε από 1,3 και 2,6m αντίστοιχα σε 1,5m και 3,0m.
- **Για την κατηγορία IV:** Αυξήθηκε το πάχος εκτοξευόμενου σκυροδέματος κατά 5cm. Αντικαταστάθηκαν τα δικτυωτά πλαίσια που τοποθετούνταν ανά 1m με μεταλλικά πλαίσια τύπου HEB140 ανά 1,3m και αυξήθηκε το μήκος των αγκυριών τόσο στο θόλο της διατομής όσο και στις παρειές της β' φάσης από 4 σε 6m, και ο κάρναβος από 1,2mX1,0m έγινε 1,2X1,3m. Το βήμα προχώρησης άνω και κάτω ημιδιατομής αυξήθηκε από 1,0m και 2,0m αντίστοιχα σε 1,3m και 2,6m. Εφαρμόστηκε επιπλέον διεύρυνση της θεμελίωσης (elephant foot) των πλαισίων της άνω ημιδιατομής για αντιμετώπιση καθιζήσεων.

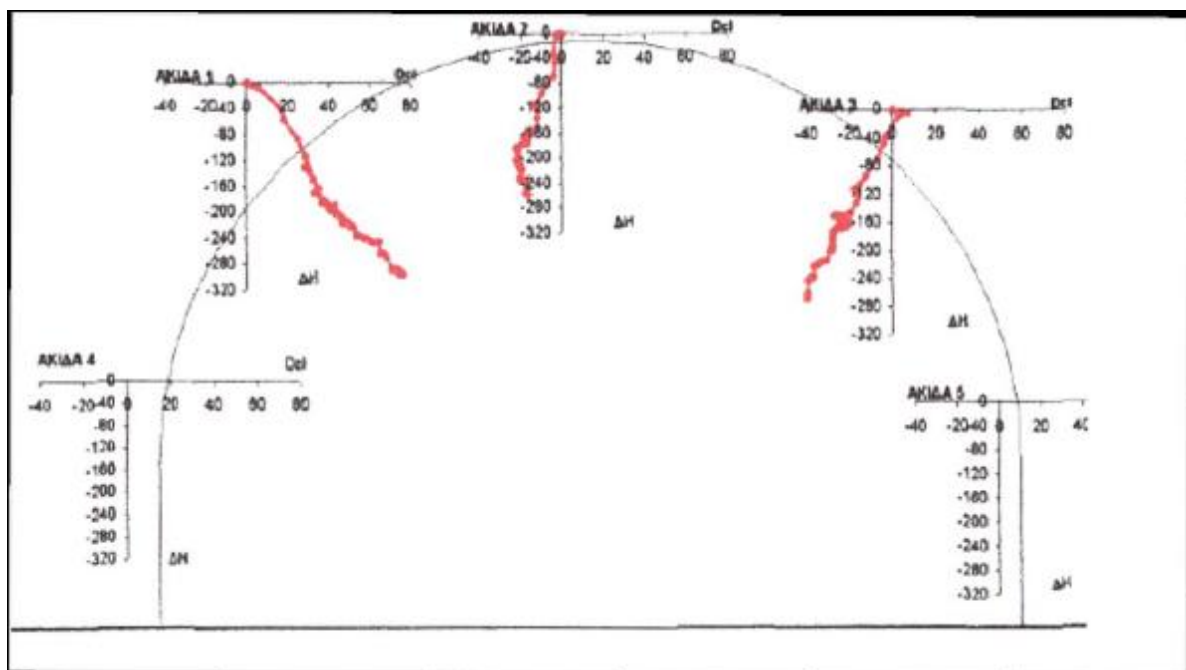
- **Για την κατηγορία Vb:** Αντικαταστάθηκαν τα πλαίσια τύπου HEA με πλαίσια τύπου HEB160 μεγαλύτερης ακαμψίας και πυκνώθηκε ο κάναβος των αγκυριών από 1,5X1,0m σε 1,2X1,0m με ταυτόχρονη αύξηση της φέρουσας ικανότητας των αγκυριών. Εφαρμόστηκε προσωρινό ανάστροφο τόξο και διεύρυνση elephant foot για τη θεμελίωση των πλαισίων της άνω ημιδιατομής. Αφαιρέθηκαν τα αγκύρια του πυθμένα της β' φάσης και διαφοροποιήθηκε η γεωμετρία του τελικού ανάστροφου τόξου.
- **Για την κατηγορία Vb:** Άλλαξε η γεωμετρία του τελικού ανάστροφου τόξου και αυξήθηκε η απόσταση των πλαισίων από 0,5m σε 0,8m. Το βήμα προχώρησης άνω και κάτω ημιδιατομής αυξήθηκε από 0,5m και 1,0m αντίστοιχα σε 0,8m και 1,6m.



Διαμόρφωση Καθρέπτη Μετώπου Εξόδου

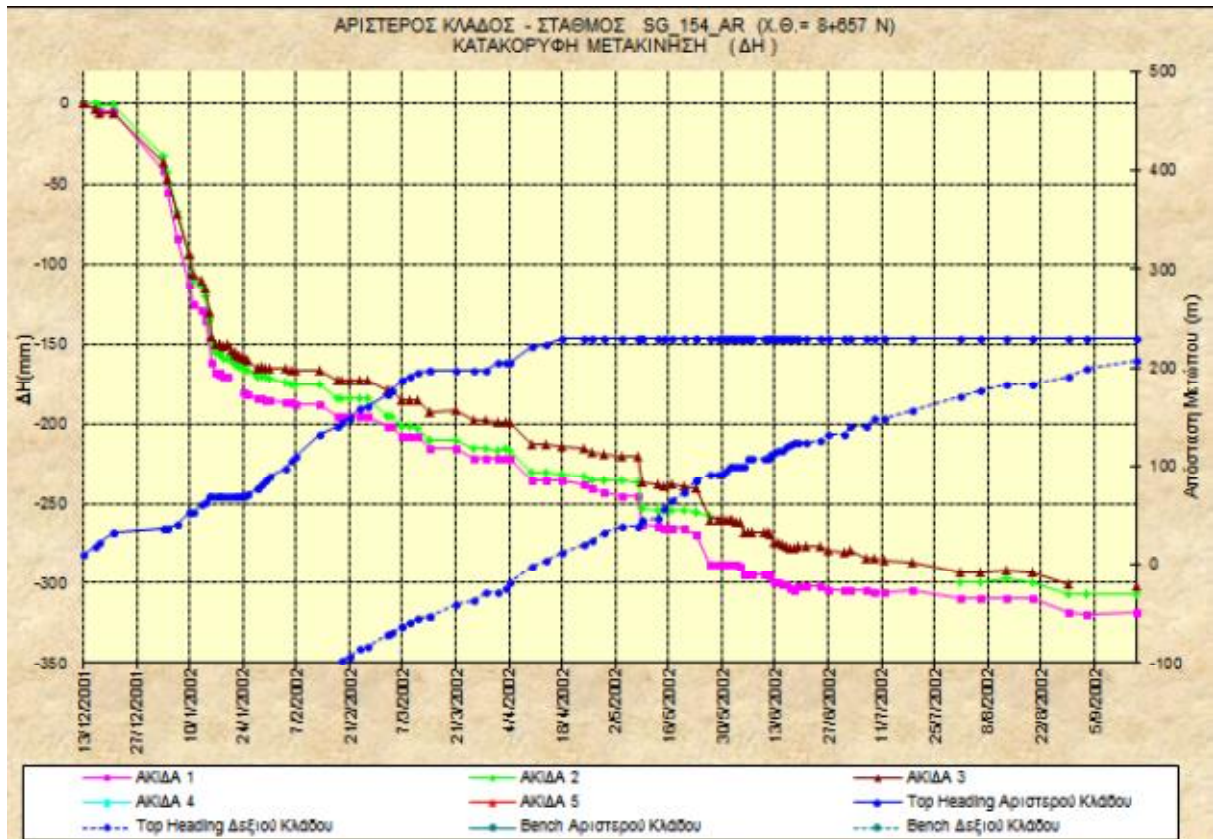
2.7 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΝΕΩΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Παρά την εφαρμογή των πρόσθετων μέτρων ,κατά την διάνοιξη της σήραγγας παρουσιάστηκαν ξανά προβλήματα αστοχίας της προσωρινής υποστήριξης. Συγκεκριμένα αστόχησε το κέλυφος της άνω ημιδιατομής σε διατομές ανάμεσα στις Χ.Θ. 8+657.



Σχήμα 18 Μετακινήσεις στην άνω ημιδιατομή της αριστερής σήραγγας στη Χ.Θ. 8+657

Οι μετακινήσεις αυτές είναι αναμενόμενες για μια σήραγγα που υπόκειται σε συνθήκες σύνθλιψης λόγω υψηλών υπερκειμένων και χαμηλής αντοχής της βραχομαζας. Η σχέση των μετακινήσεων με το χρόνο φαίνεται στο σχήμα (19) για την ίδια χιλιομετρική θέση, φανερώνει την αύξηση των μετακινήσεων με την πάροδο του χρόνου με ένα ρυθμό 12mm το μήνα. Αφού λοιπόν δεν σταθεροποιήθηκαν οι μετακινήσεις είναι φανερό οι η βραχώμαζα γύρω από το μέτωπο έχει αστοχήσει.



Σχήμα 19 Διάγραμμα μετακινήσεων σε συνάρτηση με το χρόνο στον αριστερό κλάδο στη Χ.Θ. 8+657

Εκτός από τις μετακινήσεις που μετρήθηκαν, ενδείξεις για την αστοχία της προσωρινής υποστήριξης, ήταν και ο τοπικός λυγισμός και η στρέψη των χαλύβδινων πλαισίων καθώς και η εμφάνιση ρωγμών στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

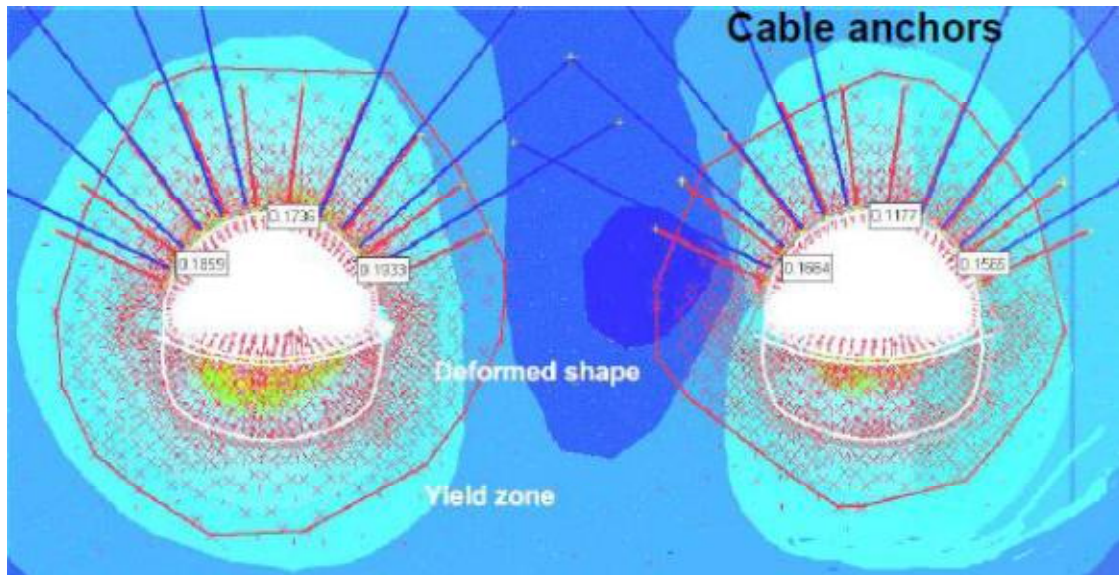
Ο έλεγχος αυτής της συνεχούς παραμόρφωσης έγινε με την εγκατάσταση καλωδίων μήκους 18m στις προβληματικές περιοχές. Συγκεκριμένα αποτελούνταν από ένα ζεύγος καλωδίων διαμέτρου 15mm ενσωματωμένο σε ένα αγκύριο μήκους 6m, ενώ το ελεύθερο μήκος του αγκυρίου ήταν 12m. Το ζεύγος καλωδίων με αντοχή 40t έχει προενταθεί με 20t. Η εφαρμογή των αγκυριών αυτών αποδείχτηκε επιτυχής στη σταθεροποίηση των συγκλίσεων στις περισσότερες από τις προβληματικές περιοχές, εκτός από ορισμένα μόνο τμήματα όπως η Χ.Θ. 8+657.

2.8 ΜΕΤΡΑ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

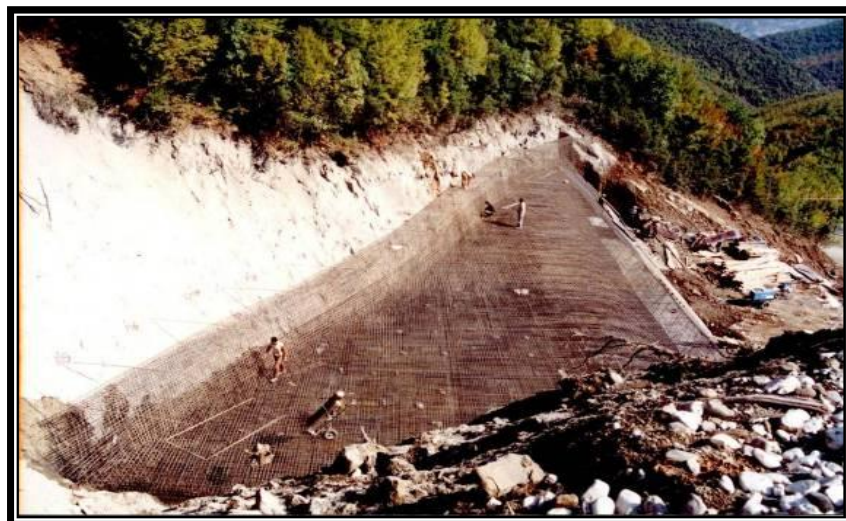
Με χρήση του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων Phase2, οι Marinou και Hoek πραγματοποίησαν αναλύσεις, με στόχο τα μέτρα που θα εφαρμοστούν να μην απαιτούν την κατεδάφιση του υπάρχοντος κελύφους. Τα βήματα εκσκαφής κατά την ανάλυση είναι τα εξής:

- Η εκσκαφή της άνω ημιδιατομής για την αριστερή σήραγγα προχώρησε 2m και τοποθετήθηκε το κέλυφος από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και τα αγκύρια μήκους 6m. Αυτό προσεγγίστηκε αριθμητικά με μείωση του μέτρου παραμόρφωσης της βραχώμαζας κατάλληλα.
- Το μαλακό υλικό στη συνέχεια απομακρύνθηκε για να προσομοιωθεί περαιτέρω προώθηση της σήραγγας.
- Τα ίδια βήματα ακολουθηθήκαν και για τη δεξιά σήραγγα.
- Εγκαταστάθηκαν, έπειτα τα καλώδια 18m της άνω ημιδιατομής και εντάθηκαν στους 20t.
- Η κάτω ημιδιατομή της αριστερής σήραγγας προχώρησε 2m, ο προσωρινός πυθμένας αφαιρέθηκε και τοποθετήθηκε ο τελικός πυθμένας από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
- Το υλικό που απέμεινε απομακρύνθηκε για να προσομοιωθεί η πρόοδος της σήραγγας.
- Τα δυο παραπάνω βήματα ακολουθήθηκαν και για τη δεξιά σήραγγα.

Στο σχήμα (20) παρουσιάζεται το στάδιο εκσκαφής όταν παρουσιάστηκαν τα προβλήματα, δηλαδή για εκσκαφή μόνο της άνω ημιδιατομής, σε συνδυασμό με την εφαρμογή των καλωδίων 18m και για τις 2 σήραγγες. Τα αγκύρια 6m έχουν όλα αστοχήσει. Φαίνεται επίσης οι μετακινήσεις, η παραμορφωμένη διατομή και το εύρος της ζώνης πλαστικοποίησης.

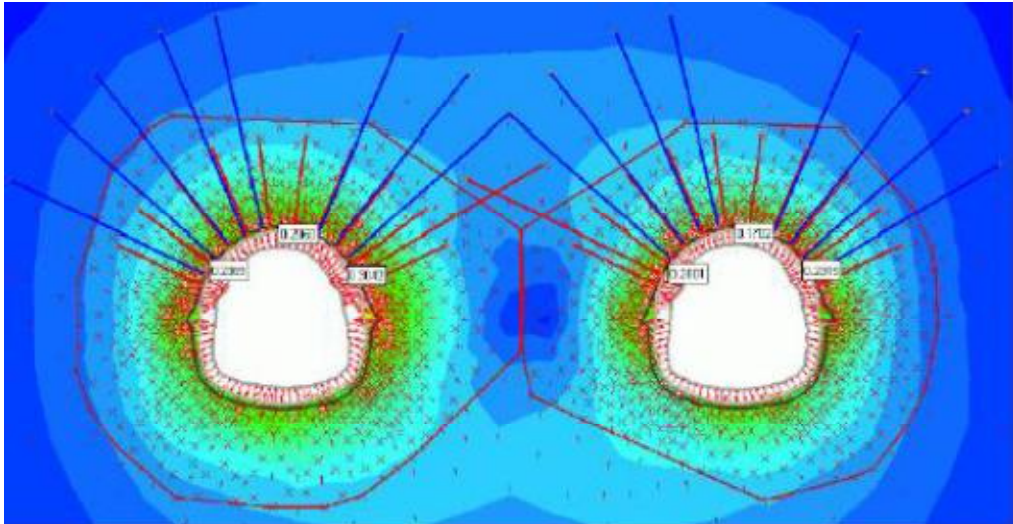


Σχήμα 20 Μοντέλο εκσκαφής της άνω ημιδιατομής στην κρίσιμη περιοχή όπως παρατίθεται στην έκθεση των Marinou και Hoek



Τεχνικό Μισάγγειας στο Δεξιό Κλάδο
Μετόπου Εξόδου

Μετά την εκσκαφή και της κάτω ημιδιατομής τόσο οι μετακινήσεις όσο και το εύρος της πλαστικής ζώνης αυξήθηκαν, όπως φαίνεται και στο σχήμα (21)



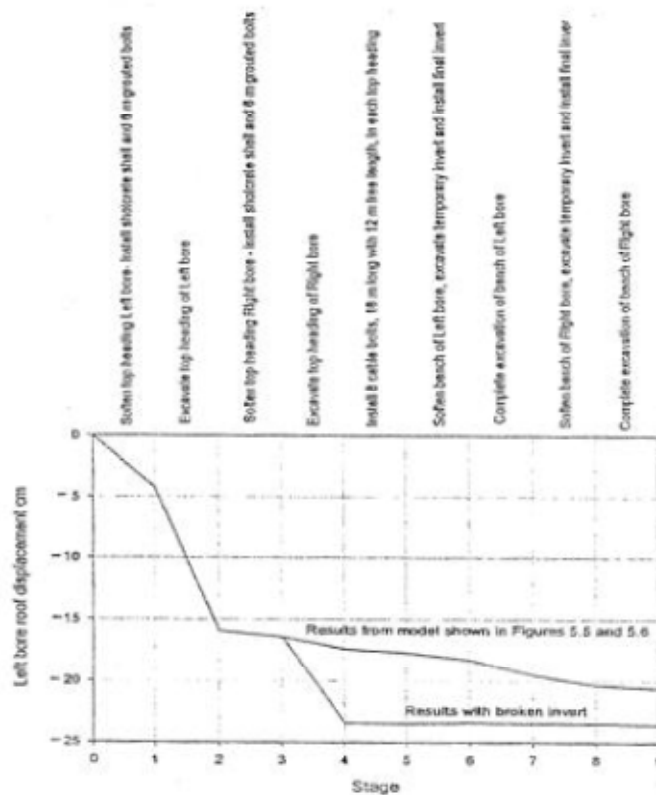
Σχήμα 21 Μοντέλο της πλήρους εκσκαφής στην κρίσιμη περιοχή όπως παρατίθεται στην έκθεση των Marinou και Hoek

Παρατηρούμε ότι τα 2 καλώδια στην περιοχή ανάμεσα στις 2 σήραγγες αστόχησαν. Για αυτό το λόγο έγινε περαιτέρω ανάλυση με εφαρμογή 2 επιπλέον σειρών αγκυρίων στην οροφή και την εγκατάσταση μικροπασσάλων ανάμεσα στα χαλύβδινα πλαίσια.



Προσωρινή Επένδυση Σηράγγων

Μια ακόμη ανάλυση που έγινε βασίστηκε στη θεώρηση ότι η σύνδεση ανάμεσα στο κέλυφος της άνω ημιδιατομής και του προσωρινού πυθμένα είχε σπάσει. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα (22) μαζί με το αντίστοιχο της πρώτης ανάλυσης (σχήμα 21). Παρατηρούμε ότι σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει μια απότομη αύξηση στη μετακίνηση που φτάνει τα 23 cm. Όμως η μετακίνηση παραμένει σχεδόν σταθερή μετά από αυτήν την μεγάλη αύξηση, γεγονός που αποδεικνύει ότι η εκσκαφή του υλικού της ημιδιατομής ελάχιστα επηρεάζει τις μετακινήσεις.



Σχήμα 22 Θεωρητικές μετακινήσεις στην κλειδα της αριστερής σήραγγας

Συμπεραίνουμε, επομένως ότι η εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής δεν επιφέρει μεγάλες πρόσθετες μετακινήσεις. Οι περισσότερες παραμορφώσεις που ήταν αναμενόμενες, έχουν ήδη συμβεί και σε συνδυασμό με την εγκατάσταση των καλωδίων η προσωρινή υποστήριξη της άνω ημιδιατομής επαρκεί για να διατηρηθεί η ευστάθεια της σήραγγας κατά την εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται για την εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής που έχει παραμείνει, στον αριστερό κλάδο, ώστε το κλείσιμο του πυθμένα να γίνει όσο το δυνατόν πιο κοντά στο μέτωπο εκσκαφής. Για αυτό το λόγο εγκαταστάθηκαν οι 2 σειρές αγκυρίων στην οροφή και οι μικροπάσσαλοι, όπως προαναφέρθηκαν. Επιπλέον προτάθηκε η εγκατάσταση πλέγματος στην οροφή και στα πλαϊνά τοιχώματα πάνω από την περιοχή της κάτω ημιδιατομής, που μπορεί να είναι πλέγμα τύπου αλυσίδας ή συγκολλητό πλέγμα ανοιγμάτων 100mm, και πάχους σύρματος 4mm που είναι είτε συνδεδεμένο στα καλώδια είτε είναι καρφωμένο με πρόσθετα κοντά αγκύρια τύπου Swellex. Αυτό αποσκοπεί στην εξασφάλιση ασφαλών συνθηκών εργασίας για το προσωπικό και την αποφυγή αποκοπής τμημάτων από το κέλυφος εκτοξευόμενου σκυροδέματος.



Η μόνιμη υποστήριξη, έτσι, θα τοποθετηθεί στην πλήρη εκσκαφή της διατομής, χωρίς να χρειαστεί να εκσκαφτεί εκ νέου η κρίσιμη διατομή και να επανατοποθετηθεί η προσωρινή υποστήριξη. Λόγω, όμως, των μετακινήσεων που έχουν ήδη συμβεί η γεωμετρία της διατομής της σήραγγας άλλαξε, για αυτό και χρειάζεται τοπικά αντιστάθμιση για να αυξηθεί

ο χώρος που απαιτείται για την τοποθέτηση της μόνιμης υποστήριξης. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να μειωθεί η ερυθρά για να μειωθούν οι εσωτερικές διαστάσεις της σήραγγας ή να μειωθεί το πάχος της μόνιμης επένδυσης με χρήση σκυροδέματος υψηλότερης αντοχής και με ενίσχυση. Σε κάθε περίπτωση πάντως θεωρείται ότι δεν λαμβάνεται υπόψη η υποστήριξη που προσφέρει η προσωρινή επένδυση.



Προσωρινή Επένδυση Σηράγγων

Παρακάτω δίνεται η γεωλογική μηκοτομή:

- FIELD DATA**
- 1. LOCATION
 - 2. DATE
 - 3. TIME
 - 4. NAME
 - 5. PROJECT
 - 6. DRAWING NO.
 - 7. SCALE
 - 8. SHEET NO.
 - 9. TOTAL SHEETS
 - 10. PROJECT NO.
 - 11. CLIENT
 - 12. DESIGNER
 - 13. CHECKER
 - 14. APPROVER
 - 15. DATE
 - 16. TIME
 - 17. NAME
 - 18. PROJECT
 - 19. DRAWING NO.
 - 20. SCALE
 - 21. SHEET NO.
 - 22. TOTAL SHEETS
 - 23. PROJECT NO.
 - 24. CLIENT
 - 25. DESIGNER
 - 26. CHECKER
 - 27. APPROVER
 - 28. DATE
 - 29. TIME
 - 30. NAME
 - 31. PROJECT
 - 32. DRAWING NO.
 - 33. SCALE
 - 34. SHEET NO.
 - 35. TOTAL SHEETS
 - 36. PROJECT NO.
 - 37. CLIENT
 - 38. DESIGNER
 - 39. CHECKER
 - 40. APPROVER
 - 41. DATE
 - 42. TIME
 - 43. NAME
 - 44. PROJECT
 - 45. DRAWING NO.
 - 46. SCALE
 - 47. SHEET NO.
 - 48. TOTAL SHEETS
 - 49. PROJECT NO.
 - 50. CLIENT
 - 51. DESIGNER
 - 52. CHECKER
 - 53. APPROVER
 - 54. DATE
 - 55. TIME
 - 56. NAME
 - 57. PROJECT
 - 58. DRAWING NO.
 - 59. SCALE
 - 60. SHEET NO.
 - 61. TOTAL SHEETS
 - 62. PROJECT NO.
 - 63. CLIENT
 - 64. DESIGNER
 - 65. CHECKER
 - 66. APPROVER
 - 67. DATE
 - 68. TIME
 - 69. NAME
 - 70. PROJECT
 - 71. DRAWING NO.
 - 72. SCALE
 - 73. SHEET NO.
 - 74. TOTAL SHEETS
 - 75. PROJECT NO.
 - 76. CLIENT
 - 77. DESIGNER
 - 78. CHECKER
 - 79. APPROVER
 - 80. DATE
 - 81. TIME
 - 82. NAME
 - 83. PROJECT
 - 84. DRAWING NO.
 - 85. SCALE
 - 86. SHEET NO.
 - 87. TOTAL SHEETS
 - 88. PROJECT NO.
 - 89. CLIENT
 - 90. DESIGNER
 - 91. CHECKER
 - 92. APPROVER
 - 93. DATE
 - 94. TIME
 - 95. NAME
 - 96. PROJECT
 - 97. DRAWING NO.
 - 98. SCALE
 - 99. SHEET NO.
 - 100. TOTAL SHEETS
 - 101. PROJECT NO.
 - 102. CLIENT
 - 103. DESIGNER
 - 104. CHECKER
 - 105. APPROVER
 - 106. DATE
 - 107. TIME
 - 108. NAME
 - 109. PROJECT
 - 110. DRAWING NO.
 - 111. SCALE
 - 112. SHEET NO.
 - 113. TOTAL SHEETS
 - 114. PROJECT NO.
 - 115. CLIENT
 - 116. DESIGNER
 - 117. CHECKER
 - 118. APPROVER
 - 119. DATE
 - 120. TIME
 - 121. NAME
 - 122. PROJECT
 - 123. DRAWING NO.
 - 124. SCALE
 - 125. SHEET NO.
 - 126. TOTAL SHEETS
 - 127. PROJECT NO.
 - 128. CLIENT
 - 129. DESIGNER
 - 130. CHECKER
 - 131. APPROVER
 - 132. DATE
 - 133. TIME
 - 134. NAME
 - 135. PROJECT
 - 136. DRAWING NO.
 - 137. SCALE
 - 138. SHEET NO.
 - 139. TOTAL SHEETS
 - 140. PROJECT NO.
 - 141. CLIENT
 - 142. DESIGNER
 - 143. CHECKER
 - 144. APPROVER
 - 145. DATE
 - 146. TIME
 - 147. NAME
 - 148. PROJECT
 - 149. DRAWING NO.
 - 150. SCALE
 - 151. SHEET NO.
 - 152. TOTAL SHEETS
 - 153. PROJECT NO.
 - 154. CLIENT
 - 155. DESIGNER
 - 156. CHECKER
 - 157. APPROVER
 - 158. DATE
 - 159. TIME
 - 160. NAME
 - 161. PROJECT
 - 162. DRAWING NO.
 - 163. SCALE
 - 164. SHEET NO.
 - 165. TOTAL SHEETS
 - 166. PROJECT NO.
 - 167. CLIENT
 - 168. DESIGNER
 - 169. CHECKER
 - 170. APPROVER
 - 171. DATE
 - 172. TIME
 - 173. NAME
 - 174. PROJECT
 - 175. DRAWING NO.
 - 176. SCALE
 - 177. SHEET NO.
 - 178. TOTAL SHEETS
 - 179. PROJECT NO.
 - 180. CLIENT
 - 181. DESIGNER
 - 182. CHECKER
 - 183. APPROVER
 - 184. DATE
 - 185. TIME
 - 186. NAME
 - 187. PROJECT
 - 188. DRAWING NO.
 - 189. SCALE
 - 190. SHEET NO.
 - 191. TOTAL SHEETS
 - 192. PROJECT NO.
 - 193. CLIENT
 - 194. DESIGNER
 - 195. CHECKER
 - 196. APPROVER
 - 197. DATE
 - 198. TIME
 - 199. NAME
 - 200. PROJECT
 - 201. DRAWING NO.
 - 202. SCALE
 - 203. SHEET NO.
 - 204. TOTAL SHEETS
 - 205. PROJECT NO.
 - 206. CLIENT
 - 207. DESIGNER
 - 208. CHECKER
 - 209. APPROVER
 - 210. DATE
 - 211. TIME
 - 212. NAME
 - 213. PROJECT
 - 214. DRAWING NO.
 - 215. SCALE
 - 216. SHEET NO.
 - 217. TOTAL SHEETS
 - 218. PROJECT NO.
 - 219. CLIENT
 - 220. DESIGNER
 - 221. CHECKER
 - 222. APPROVER
 - 223. DATE
 - 224. TIME
 - 225. NAME
 - 226. PROJECT
 - 227. DRAWING NO.
 - 228. SCALE
 - 229. SHEET NO.
 - 230. TOTAL SHEETS
 - 231. PROJECT NO.
 - 232. CLIENT
 - 233. DESIGNER
 - 234. CHECKER
 - 235. APPROVER
 - 236. DATE
 - 237. TIME
 - 238. NAME
 - 239. PROJECT
 - 240. DRAWING NO.
 - 241. SCALE
 - 242. SHEET NO.
 - 243. TOTAL SHEETS
 - 244. PROJECT NO.
 - 245. CLIENT
 - 246. DESIGNER
 - 247. CHECKER
 - 248. APPROVER
 - 249. DATE
 - 250. TIME
 - 251. NAME
 - 252. PROJECT
 - 253. DRAWING NO.
 - 254. SCALE
 - 255. SHEET NO.
 - 256. TOTAL SHEETS
 - 257. PROJECT NO.
 - 258. CLIENT
 - 259. DESIGNER
 - 260. CHECKER
 - 261. APPROVER
 - 262. DATE
 - 263. TIME
 - 264. NAME
 - 265. PROJECT
 - 266. DRAWING NO.
 - 267. SCALE
 - 268. SHEET NO.
 - 269. TOTAL SHEETS
 - 270. PROJECT NO.
 - 271. CLIENT
 - 272. DESIGNER
 - 273. CHECKER
 - 274. APPROVER
 - 275. DATE
 - 276. TIME
 - 277. NAME
 - 278. PROJECT
 - 279. DRAWING NO.
 - 280. SCALE
 - 281. SHEET NO.
 - 282. TOTAL SHEETS
 - 283. PROJECT NO.
 - 284. CLIENT
 - 285. DESIGNER
 - 286. CHECKER
 - 287. APPROVER
 - 288. DATE
 - 289. TIME
 - 290. NAME
 - 291. PROJECT
 - 292. DRAWING NO.
 - 293. SCALE
 - 294. SHEET NO.
 - 295. TOTAL SHEETS
 - 296. PROJECT NO.
 - 297. CLIENT
 - 298. DESIGNER
 - 299. CHECKER
 - 300. APPROVER
 - 301. DATE
 - 302. TIME
 - 303. NAME
 - 304. PROJECT
 - 305. DRAWING NO.
 - 306. SCALE
 - 307. SHEET NO.
 - 308. TOTAL SHEETS
 - 309. PROJECT NO.
 - 310. CLIENT
 - 311. DESIGNER
 - 312. CHECKER
 - 313. APPROVER
 - 314. DATE
 - 315. TIME
 - 316. NAME
 - 317. PROJECT
 - 318. DRAWING NO.
 - 319. SCALE
 - 320. SHEET NO.
 - 321. TOTAL SHEETS
 - 322. PROJECT NO.
 - 323. CLIENT
 - 324. DESIGNER
 - 325. CHECKER
 - 326. APPROVER
 - 327. DATE
 - 328. TIME
 - 329. NAME
 - 330. PROJECT
 - 331. DRAWING NO.
 - 332. SCALE
 - 333. SHEET NO.
 - 334. TOTAL SHEETS
 - 335. PROJECT NO.
 - 336. CLIENT
 - 337. DESIGNER
 - 338. CHECKER
 - 339. APPROVER
 - 340. DATE
 - 341. TIME
 - 342. NAME
 - 343. PROJECT
 - 344. DRAWING NO.
 - 345. SCALE
 - 346. SHEET NO.
 - 347. TOTAL SHEETS
 - 348. PROJECT NO.
 - 349. CLIENT
 - 350. DESIGNER
 - 351. CHECKER
 - 352. APPROVER
 - 353. DATE
 - 354. TIME
 - 355. NAME
 - 356. PROJECT
 - 357. DRAWING NO.
 - 358. SCALE
 - 359. SHEET NO.
 - 360. TOTAL SHEETS
 - 361. PROJECT NO.
 - 362. CLIENT
 - 363. DESIGNER
 - 364. CHECKER
 - 365. APPROVER
 - 366. DATE
 - 367. TIME
 - 368. NAME
 - 369. PROJECT
 - 370. DRAWING NO.
 - 371. SCALE
 - 372. SHEET NO.
 - 373. TOTAL SHEETS
 - 374. PROJECT NO.
 - 375. CLIENT
 - 376. DESIGNER
 - 377. CHECKER
 - 378. APPROVER
 - 379. DATE
 - 380. TIME
 - 381. NAME
 - 382. PROJECT
 - 383. DRAWING NO.
 - 384. SCALE
 - 385. SHEET NO.
 - 386. TOTAL SHEETS
 - 387. PROJECT NO.
 - 388. CLIENT
 - 389. DESIGNER
 - 390. CHECKER
 - 391. APPROVER
 - 392. DATE
 - 393. TIME
 - 394. NAME
 - 395. PROJECT
 - 396. DRAWING NO.
 - 397. SCALE
 - 398. SHEET NO.
 - 399. TOTAL SHEETS
 - 400. PROJECT NO.
 - 401. CLIENT
 - 402. DESIGNER
 - 403. CHECKER
 - 404. APPROVER
 - 405. DATE
 - 406. TIME
 - 407. NAME
 - 408. PROJECT
 - 409. DRAWING NO.
 - 410. SCALE
 - 411. SHEET NO.
 - 412. TOTAL SHEETS
 - 413. PROJECT NO.
 - 414. CLIENT
 - 415. DESIGNER
 - 416. CHECKER
 - 417. APPROVER
 - 418. DATE
 - 419. TIME
 - 420. NAME
 - 421. PROJECT
 - 422. DRAWING NO.
 - 423. SCALE
 - 424. SHEET NO.
 - 425. TOTAL SHEETS
 - 426. PROJECT NO.
 - 427. CLIENT
 - 428. DESIGNER
 - 429. CHECKER
 - 430. APPROVER
 - 431. DATE
 - 432. TIME
 - 433. NAME
 - 434. PROJECT
 - 435. DRAWING NO.
 - 436. SCALE
 - 437. SHEET NO.
 - 438. TOTAL SHEETS
 - 439. PROJECT NO.
 - 440. CLIENT
 - 441. DESIGNER
 - 442. CHECKER
 - 443. APPROVER
 - 444. DATE
 - 445. TIME
 - 446. NAME
 - 447. PROJECT
 - 448. DRAWING NO.
 - 449. SCALE
 - 450. SHEET NO.
 - 451. TOTAL SHEETS
 - 452. PROJECT NO.
 - 453. CLIENT
 - 454. DESIGNER
 - 455. CHECKER
 - 456. APPROVER
 - 457. DATE
 - 458. TIME
 - 459. NAME
 - 460. PROJECT
 - 461. DRAWING NO.
 - 462. SCALE
 - 463. SHEET NO.
 - 464. TOTAL SHEETS
 - 465. PROJECT NO.
 - 466. CLIENT
 - 467. DESIGNER
 - 468. CHECKER
 - 469. APPROVER
 - 470. DATE
 - 471. TIME
 - 472. NAME
 - 473. PROJECT
 - 474. DRAWING NO.
 - 475. SCALE
 - 476. SHEET NO.
 - 477. TOTAL SHEETS
 - 478. PROJECT NO.
 - 479. CLIENT
 - 480. DESIGNER
 - 481. CHECKER
 - 482. APPROVER
 - 483. DATE
 - 484. TIME
 - 485. NAME
 - 486. PROJECT
 - 487. DRAWING NO.
 - 488. SCALE
 - 489. SHEET NO.
 - 490. TOTAL SHEETS
 - 491. PROJECT NO.
 - 492. CLIENT
 - 493. DESIGNER
 - 494. CHECKER
 - 495. APPROVER
 - 496. DATE
 - 497. TIME
 - 498. NAME
 - 499. PROJECT
 - 500. DRAWING NO.
 - 501. SCALE
 - 502. SHEET NO.
 - 503. TOTAL SHEETS
 - 504. PROJECT NO.
 - 505. CLIENT
 - 506. DESIGNER
 - 507. CHECKER
 - 508. APPROVER
 - 509. DATE
 - 510. TIME
 - 511. NAME
 - 512. PROJECT
 - 513. DRAWING NO.
 - 514. SCALE
 - 515. SHEET NO.
 - 516. TOTAL SHEETS
 - 517. PROJECT NO.
 - 518. CLIENT
 - 519. DESIGNER
 - 520. CHECKER
 - 521. APPROVER
 - 522. DATE
 - 523. TIME
 - 524. NAME
 - 525. PROJECT
 - 526. DRAWING NO.
 - 527. SCALE
 - 528. SHEET NO.
 - 529. TOTAL SHEETS
 - 530. PROJECT NO.
 - 531. CLIENT
 - 532. DESIGNER
 - 533. CHECKER
 - 534. APPROVER
 - 535. DATE
 - 536. TIME
 - 537. NAME
 - 538. PROJECT
 - 539. DRAWING NO.
 - 540. SCALE
 - 541. SHEET NO.
 - 542. TOTAL SHEETS
 - 543. PROJECT NO.
 - 544. CLIENT
 - 545. DESIGNER
 - 546. CHECKER
 - 547. APPROVER
 - 548. DATE
 - 549. TIME
 - 550. NAME
 - 551. PROJECT
 - 552. DRAWING NO.
 - 553. SCALE
 - 554. SHEET NO.
 - 555. TOTAL SHEETS
 - 556. PROJECT NO.
 - 557. CLIENT
 - 558. DESIGNER
 - 559. CHECKER
 - 560. APPROVER
 - 561. DATE
 - 562. TIME
 - 563. NAME
 - 564. PROJECT
 - 565. DRAWING NO.
 - 566. SCALE
 - 567. SHEET NO.
 - 568. TOTAL SHEETS
 - 569. PROJECT NO.
 - 570. CLIENT
 - 571. DESIGNER
 - 572. CHECKER
 - 573. APPROVER
 - 574. DATE
 - 575. TIME
 - 576. NAME
 - 577. PROJECT
 - 578. DRAWING NO.
 - 579. SCALE
 - 580. SHEET NO.
 - 581. TOTAL SHEETS
 - 582. PROJECT NO.
 - 583. CLIENT
 - 584. DESIGNER
 - 585. CHECKER
 - 586. APPROVER
 - 587. DATE
 - 588. TIME
 - 589. NAME
 - 590. PROJECT
 - 591. DRAWING NO.
 - 592. SCALE
 - 593. SHEET NO.
 - 594. TOTAL SHEETS
 - 595. PROJECT NO.
 - 596. CLIENT
 - 597. DESIGNER
 - 598. CHECKER
 - 599. APPROVER
 - 600. DATE
 - 601. TIME
 - 602. NAME
 - 603. PROJECT
 - 604. DRAWING NO.
 - 605. SCALE
 - 606. SHEET NO.
 - 607. TOTAL SHEETS
 - 608. PROJECT NO.
 - 609. CLIENT
 - 610. DESIGNER
 - 611. CHECKER
 - 612. APPROVER
 - 613. DATE
 - 614. TIME
 - 615. NAME
 - 616. PROJECT
 - 617. DRAWING NO.
 - 618. SCALE
 - 619. SHEET NO.
 - 620. TOTAL SHEETS
 - 621. PROJECT NO.
 - 622. CLIENT
 - 623. DESIGNER
 - 624. CHECKER
 - 625. APPROVER
 - 626. DATE
 - 627. TIME
 - 628. NAME
 - 629. PROJECT
 - 630. DRAWING NO.
 - 631. SCALE
 - 632. SHEET NO.
 - 633. TOTAL SHEETS
 - 634. PROJECT NO.
 - 635. CLIENT
 - 636. DESIGNER
 - 637. CHECKER
 - 638. APPROVER
 - 639. DATE
 - 640. TIME
 - 641. NAME
 - 642. PROJECT
 - 643. DRAWING NO.
 - 644. SCALE
 - 645. SHEET NO.
 - 646. TOTAL SHEETS
 - 647. PROJECT NO.
 - 648. CLIENT
 - 649. DESIGNER
 - 650. CHECKER
 - 651. APPROVER
 - 652. DATE
 - 653. TIME
 - 654. NAME
 - 655. PROJECT
 - 656. DRAWING NO.
 - 657. SCALE
 - 658. SHEET NO.
 - 659. TOTAL SHEETS
 - 660. PROJECT NO.
 - 661. CLIENT
 - 662. DESIGNER
 - 663. CHECKER
 - 664. APPROVER
 - 665. DATE
 - 666. TIME
 - 667. NAME
 - 668. PROJECT
 - 669. DRAWING NO.
 - 670. SCALE
 - 671. SHEET NO.
 - 672. TOTAL SHEETS
 - 673. PROJECT NO.
 - 674. CLIENT
 - 675. DESIGNER
 - 676. CHECKER
 - 677. APPROVER
 - 678. DATE
 - 679. TIME
 - 680. NAME
 - 681. PROJECT
 - 682. DRAWING NO.
 - 683. SCALE
 - 684. SHEET NO.
 - 685. TOTAL SHEETS
 - 686. PROJECT NO.
 - 687. CLIENT
 - 688. DESIGNER
 - 689. CHECKER
 - 690. APPROVER
 - 691. DATE
 - 692. TIME
 - 693. NAME
 - 694. PROJECT
 - 695. DRAWING NO.
 - 696. SCALE
 - 697. SHEET NO.
 - 698. TOTAL SHEETS
 - 699. PROJECT NO.
 - 700. CLIENT
 - 701. DESIGNER
 - 702. CHECKER
 - 703. APPROVER
 - 704. DATE
 - 705. TIME
 - 706. NAME
 - 707. PROJECT
 - 708. DRAWING NO.
 - 709. SCALE
 - 710. SHEET NO.
 - 711. TOTAL SHEETS
 - 712. PROJECT NO.
 - 713. CLIENT
 - 714. DESIGNER
 - 715. CHECKER
 - 716. APPROVER
 - 717. DATE
 - 718. TIME
 - 719. NAME
 - 720. PROJECT
 - 721. DRAWING NO.
 - 722. SCALE
 - 723. SHEET NO.
 - 724. TOTAL SHEETS
 - 725. PROJECT NO.
 - 726. CLIENT
 - 727. DESIGNER
 - 728. CHECKER
 - 729. APPROVER
 - 730. DATE
 - 731. TIME
 - 732. NAME
 - 733. PROJECT
 - 734. DRAWING NO.
 - 735. SCALE
 - 736. SHEET NO.
 - 737. TOTAL SHEETS
 - 738. PROJECT NO.
 - 739. CLIENT
 - 740. DESIGNER
 - 741. CHECKER
 - 742. APPROVER
 - 743. DATE
 - 744. TIME
 - 745. NAME
 - 746. PROJECT
 - 747. DRAWING NO.
 - 748. SCALE
 - 749. SHEET NO.
 - 750. TOTAL SHEETS
 - 751. PROJECT NO.
 - 752. CLIENT
 - 753. DESIGNER
 - 754. CHECKER
 - 755. APPROVER
 - 756. DATE
 - 757. TIME
 - 758. NAME
 - 759. PROJECT
 - 760. DRAWING NO.
 - 761. SCALE
 - 762. SHEET NO.
 - 763. TOTAL SHEETS
 - 764. PROJECT NO.
 - 765. CLIENT
 - 766. DESIGNER
 - 767. CHECKER
 - 768. APPROVER
 - 769. DATE
 - 770. TIME
 - 771. NAME
 - 772. PROJECT
 - 773. DRAWING NO.
 - 774. SCALE
 - 775. SHEET NO.
 - 776. TOTAL SHEETS
 - 777. PROJECT NO.
 - 778. CLIENT
 - 779. DESIGNER
 - 780. CHECKER
 - 781. APPROVER
 - 782. DATE
 - 783. TIME
 - 784. NAME
 - 785. PROJECT
 - 786. DRAWING NO.
 - 787. SCALE
 - 788. SHEET NO.
 - 789. TOTAL SHEETS
 - 790. PROJECT NO.
 - 791. CLIENT
 - 792. DESIGNER
 - 793. CHECKER
 - 794. APPROVER
 - 795. DATE
 - 796. TIME
 - 797. NAME
 - 798. PROJECT
 - 799. DRAWING NO.
 - 800. SCALE
 - 801. SHEET NO.
 - 802. TOTAL SHEETS
 - 803. PROJECT NO.
 - 804. CLIENT
 - 805. DESIGNER
 - 806. CHECKER
 - 807. APPROVER
 - 808. DATE
 - 809. TIME
 - 810. NAME
 - 811. PROJECT
 - 812. DRAWING NO.
 - 813. SCALE
 - 814. SHEET NO.
 - 815. TOTAL SHEETS
 - 816. PROJECT NO.
 - 817. CLIENT
 - 818. DESIGNER
 - 819. CHECKER
 - 820. APPROVER
 - 821. DATE
 - 822. TIME
 - 823. NAME
 - 824. PROJECT
 - 825. DRAWING NO.
 - 826. SCALE
 - 827. SHEET NO.
 - 828. TOTAL SHEETS
 - 829. PROJECT NO.
 - 830. CLIENT
 - 831. DESIGNER
 - 832. CHECKER
 - 833. APPROVER
 - 834. DATE
 - 835. TIME
 - 836. NAME
 - 837. PROJECT
 - 838. DRAWING NO.
 - 839. SCALE
 - 840. SHEET NO.
 - 841. TOTAL SHEETS
 - 842. PROJECT NO.
 - 843. CLIENT
 - 844. DESIGNER
 - 845. CHECKER
 - 846. APPROVER
 - 847. DATE
 - 848. TIME
 - 849. NAME
 - 850. PROJECT
 - 851. DRAWING NO.
 - 852. SCALE
 - 853. SHEET NO.
 - 854. TOTAL SHEETS
 - 855. PROJECT NO.
 - 856. CLIENT
 - 857. DESIGNER
 - 858. CHECKER
 - 859. APPROVER
 - 860. DATE
 - 861. TIME
 - 862. NAME
 - 863. PROJECT
 - 864. DRAWING NO.
 - 865. SCALE
 - 866. SHEET NO.
 - 867. TOTAL SHEETS
 - 868. PROJECT NO.
 - 869. CLIENT
 - 870. DESIGNER
 - 871. CHECKER
 - 872. APPROVER
 - 873. DATE
 - 874. TIME
 - 875. NAME
 - 876. PROJECT
 - 877. DRAWING NO.
 - 878. SCALE
 - 879. SHEET NO.
 - 880. TOTAL SHEETS
 - 881. PROJECT NO.
 - 882. CLIENT
 - 883. DESIGNER
 - 884. CHECKER
 - 885. APPROVER
 - 886. DATE
 - 887. TIME
 - 888. NAME
 - 889. PROJECT
 - 890. DRAWING NO.
 - 891. SCALE
 - 892. SHEET NO.
 - 893. TOTAL SHEETS
 - 894. PROJECT NO.
 - 895. CLIENT
 - 896. DESIGNER
 - 897. CHECKER
 - 898. APPROVER
 - 899. DATE
 - 900. TIME
 - 901. NAME
 - 902. PROJECT
 - 903. DRAWING NO.
 - 904. SCALE
 - 905. SHEET NO.
 - 906. TOTAL SHEETS
 - 907. PROJECT NO.
 - 908. CLIENT
 - 909. DESIGNER
 - 910. CHECKER
 - 911. APPROVER
 - 912. DATE
 - 913. TIME
 - 914. NAME
 - 915. PROJECT
 - 916. DRAWING NO.
 - 917. SCALE
 - 918. SHEET NO.
 - 919. TOTAL SHEETS
 - 920. PROJECT NO.
 - 921. CLIENT
 - 922. DESIGNER
 - 923. CHECKER
 - 924. APPROVER
 - 925. DATE
 - 926. TIME
 - 927. NAME
 - 928. PROJECT
 - 929. DRAWING NO.
 - 930. SCALE
 - 931. SHEET NO.
 - 932. TOTAL SHEETS
 - 933. PROJECT NO.
 - 934. CLIENT
 - 935. DESIGNER
 - 936. CHECKER
 - 937. APPROVER
 - 938. DATE
 - 939. TIME
 - 940. NAME
 - 941. PROJECT
 - 942. DRAWING NO.
 - 943. SCALE
 - 944. SHEET NO.
 - 945. TOTAL SHEETS
 - 946. PROJECT NO.
 - 947. CLIENT
 - 948. DESIGNER
 - 949. CHECKER
 - 950. APPROVER
 - 951. DATE
 - 952. TIME
 - 953. NAME
 - 954. PROJECT
 - 955. DRAWING NO.
 - 956. SCALE
 - 957. SHEET NO.
 - 958. TOTAL SHEETS
 - 959. PROJECT NO.
 - 960. CLIENT
 - 961. DESIGNER
 - 962. CHECKER
 - 963. APPROVER
 - 964. DATE
 - 965. TIME
 - 966. NAME
 - 967. PROJECT
 - 968. DRAWING NO.
 - 969. SCALE
 - 970. SHEET NO.
 - 971. TOTAL SHEETS
 - 972. PROJECT NO.
 - 973. CLIENT
 - 974. DESIGNER
 - 975. CHECKER
 - 976. APPROVER
 - 977. DATE
 - 978. TIME
 - 979. NAME
 - 980. PROJECT
 - 981. DRAWING NO.
 - 982. SCALE
 - 983. SHEET NO.
 - 984. TOTAL SHEETS
 - 985. PROJECT NO.
 - 986. CLIENT
 - 987. DESIGNER
 - 988. CHECKER
 - 989. APPROVER
 - 990. DATE
 - 991. TIME
 - 992. NAME
 - 993. PROJECT
 - 994. DRAWING NO.
 - 995. SCALE
 - 996. SHEET NO.
 - 997. TOTAL SHEETS
 - 998. PROJECT NO.
 - 999. CLIENT
 - 1000. DESIGNER
 - 1001. CHECKER
 - 1002. APPROVER
 - 1003. DATE
 - 1004. TIME
 - 1005. NAME
 - 1006. PROJECT
 - 1007. DRAWING NO.
 - 1008. SCALE
 - 1009. SHEET NO.
 - 1010. TOTAL SHEETS
 - 1011. PROJECT NO.
 - 1012. CLIENT
 - 1013. DESIGNER
 - 1014. CHECKER
 - 1015. APPROVER
 - 1016. DATE
 - 1017. TIME
 - 1018. NAME
 - 1019. PROJECT
 - 1020. DRAWING NO.
 - 1021. SCALE
 - 1022. SHEET NO.
 - 1023. TOTAL SHEETS
 - 1024. PROJECT NO.
 - 1025. CLIENT
 - 1026. DESIGNER
 - 1027. CHECKER
 - 1028. APPROVER
 - 1029. DATE
 - 1030. TIME
 - 1031. NAME
 - 1032. PROJECT
 - 1033. DRAWING NO.
 - 1034. SCALE
 - 1035. SHEET NO.
 - 1036. TOTAL SHEETS
 - 1037. PROJECT NO.
 - 1038. CLIENT
 - 1039. DESIGNER
 - 1040. CHECKER
 - 1041. APPROVER
 - 1042. DATE
 - 1043. TIME
 - 1044. NAME
 - 1045. PROJECT
 - 1046. DRAWING NO.
 - 1047. SCALE
 - 1048. SHEET NO.
 - 1049. TOTAL SHEETS
 - 1050. PROJECT NO.
 - 1051. CLIENT
 - 1052. DESIGNER
 - 105

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ
ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ PLAXIS 3D TUNNEL 2.4**

3.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πρόκειται για ένα γεωτεχνικό πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ειδικά σχεδιασμένο για την τρισδιάστατη ανάλυση της παραμόρφωσης και της σταθερότητας για έργα διάνοιξης σήραγγων. Σε αυτό το κεφάλαιο θα προσομοιωθεί η εκσκαφή και η υποστήριξη της σήραγγας για τη Χ.Θ. 8+657 με χρήση του Plaxis 3D Tunnel 2.4. Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στοχεύουν στην παρακολούθηση των συγκλίσεων του τοιχώματος της σήραγγας για διάφορους συνδυασμούς των τιμών των γεωτεχνικών παραμέτρων της περιβάλλουσας βραχώμαζας.

3.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕ ΤΟ PLAXIS3D TUNNEL 2.4

Το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα να δημιουργεί ένα τρισδιάστατο πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων 15 κόμβων από ένα δισδιάστατο. Αρχικά δημιουργήθηκε ένα δισδιάστατο μοντέλο του εδάφους και της σήραγγας, και στη συνέχεια μετατράπηκε σε τρισδιάστατο με τον ορισμό επιπέδων στη διεύθυνση του άξονα z.

Μέτωπο Εξόδου : Τσιμεντενέσεις – Εκσκαφή
Α΄ Φάσης –
Εκσκαφή Β΄ Φάσης και invert στα πρώτα μέτρα



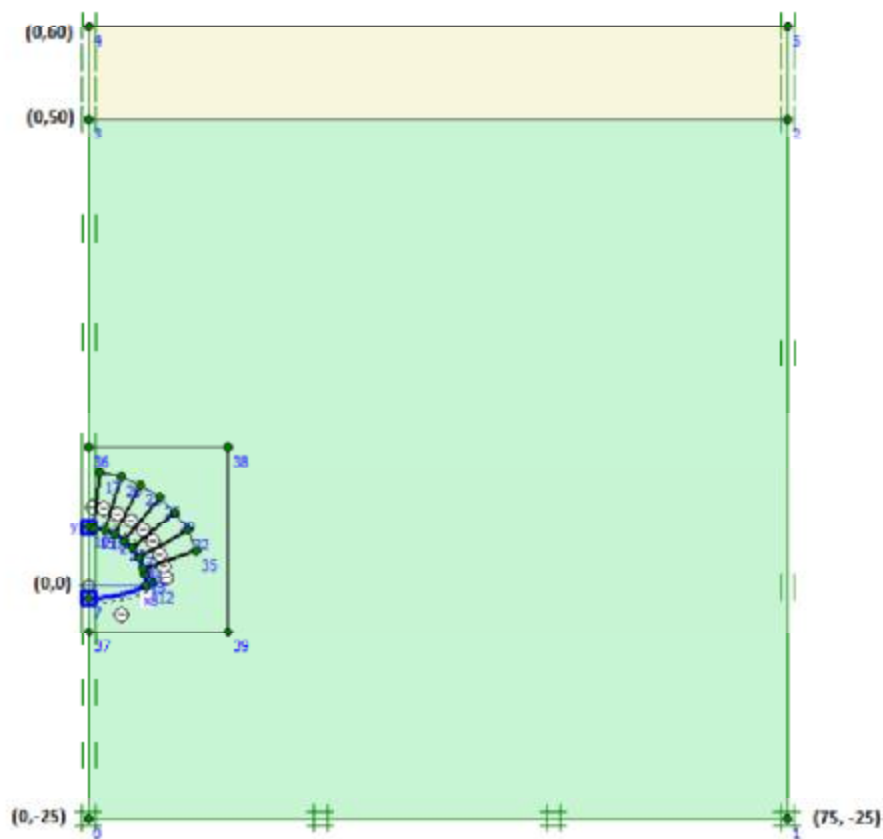
3.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Εκμεταλλευόμενοι τη συμμετρία της σήραγγας, χρησιμοποιούμε τη μίση διατομή ώστε το δίκτυο των πεπερασμένων στοιχείων να είναι πολύ μικρότερο διευκολύνοντας με αυτόν τον τρόπο τη λειτουργία του προγράμματος και μειώνοντας τον υπολογιστικό χρόνο. Επομένως το ένα όριο του μοντέλου είναι ο άξονας συμμετρίας της διατομής, όπως φαίνεται στο σχήμα 23. Στη Χ.Θ. 8+657 το ύψος των υπερκείμενων φτάνει τα 150m. Εμείς θα πάρουμε τα 50m

ύψος υπερκείμενων, με διαφορά υπερκείμενων $\Delta H=100m$, πυκνή στρώση φλύσχη πάχους $10m$ με ειδικό βάρος $\gamma=23KN/m^3$. Το πυκνό βάρος είναι :

$$\gamma_{\text{πυκνό}} = \frac{\frac{23KN}{m^3} * 100m}{10m} = 230KN/m^3$$

Τα υπόλοιπα όρια επεκτείνονται σε επαρκή απόσταση γύρω από τη σήραγγα, όπως φαίνεται στο σχήμα (23).



Σχήμα 23 Δισδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης της σήραγγας και του εδάφους

3.3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Προκειμένου να εξεταστούν οι συγκλίσεις στη συγκεκριμένη διατομή που μελετήθηκε, επιλέχθηκαν 3 συνδυασμοί γεωτεχνικών παραμέτρων, εντός βεβαία των ορίων για τις συγκεκριμένες συνθήκες στη Χ.Θ. 8+657. Ξεκινώντας από μια χαμηλής αντοχής βραχώμαζα, με αύξουσα ποιότητα, επιλέχθηκαν οι εξής συνδυασμοί.

Για όλους τους συνδυασμούς, θεωρήθηκε ειδικό βάρος φλύσχη $\gamma=23\text{KN/m}^3$ και λόγος Poisson $\nu=0,25$. Ο συντελεστής διαταραχής $D = 0$. Ο συντελεστής $MR = 250$.

		ROCK 1	ROCK 2	ROCK 3
Γεωλογικός δείκτης αντοχής	GSI	20	25	30
Μονοαξονική Αντοχή βραχώμαζας	σ_{ci} (MPa)	8	10	15
Σταθερά βραχώμαζας	m_i	7	8	8
συνοχή	C (kPa)	156	206	272
Γωνία εσωτ. τριβής	ϕ	20,81	24,94	29,48
Αντοχή βραχώμαζας	σ_{cm} (kPa)	536	848	1466
Μέτρο παραμόρφωσης βραχώμαζας	E_{rm} (Mpa)	228,553	349,724	611,706

Πίνακας 12 Χαρακτηριστικά μεγέθη για κάθε τύπο εδάφους

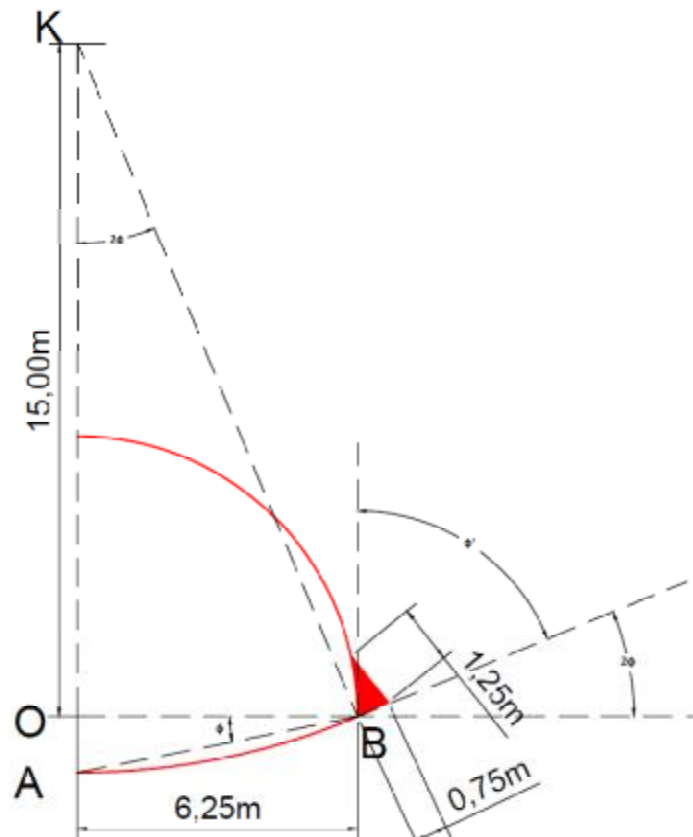
3.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΟΥΔΕΤΕΡΩΝ ΩΘΗΣΕΩΝ

Ο λόγος k_0 των οριζόντιων προς τις κατακόρυφες τάσεις, δεν είναι δυνατόν να υπολογιστεί με ακρίβεια. Για αυτόν τον λόγο θεωρείται το $k_0 = 0,5$ και $k_0=0,8$



Διατρητικά Μηχανήματα

3.5 ΔΙΑΤΟΜΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ



Σχήμα 24 Γεωμετρία άνω ημιδιατομής

Η ακτίνα του άνω ημικυκλίου της διατομής είναι $(OB) = 6,25\text{m}$, ενώ η απόσταση $(OA) = 1,25\text{m}$. Επομένως, η γωνία φ είναι :

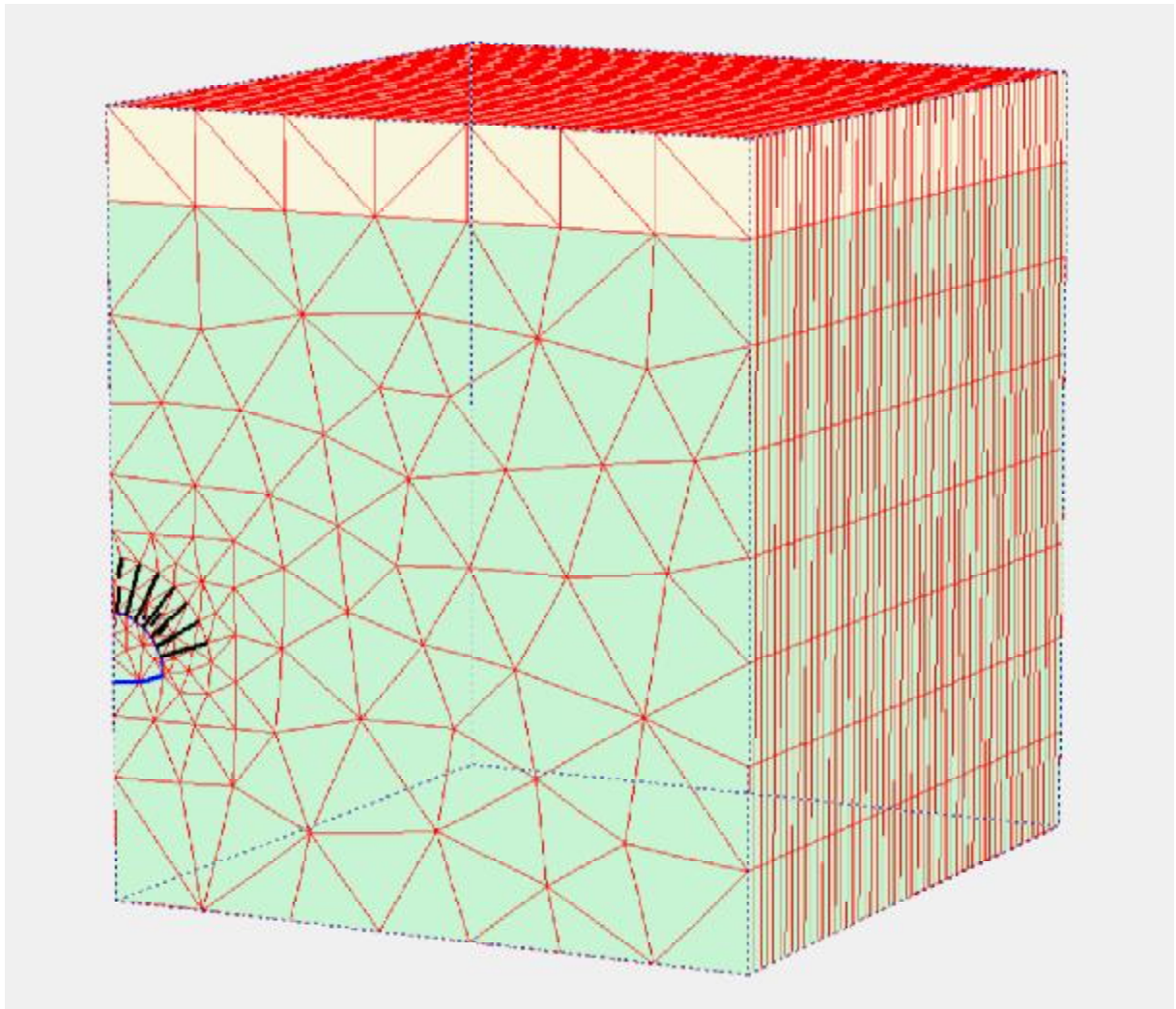
$$\tan\varphi = \frac{(OA)}{(OB)} = 0,20 \rightarrow \varphi = 11,31^\circ \rightarrow 2\varphi = 22,62 \rightarrow \varphi' = 90^\circ - 2\varphi = 67,38^\circ$$

Η ακτίνα του ημικυκλίου που σχηματίζει ο ανάστροφος πυθμένας είναι :

$$R = (OK) + (OA) \quad \text{όμως,} \quad (OK) = \frac{(OB)}{\tan 2\varphi} = 15\text{ m} \quad \text{όποτε} \quad R = 15 + 1,25 = 16,25\text{ m}$$

Με τη βοήθεια των παραπάνω στοιχείων παρουσιάζεται το τρισδιάστατο μοντέλο

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΚΑΝΝΑΒΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



3.6 ΣΤΑΔΙΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Το πρόγραμμα Plaxis 3D Tunnel δίνει τη δυνατότητα να προσομοιωθεί η εκσκαφή της σήραγγας μέσω σταδίων κατασκευής (stage construction). Με αυτόν τον τρόπο, γίνεται τμηματικά η εκσκαφή κατά μήκος της σήραγγας, ενώ διαχωρίζονται τα στάδια τοποθέτησης των μέτρων προσωρινής υποστήριξης σε κάθε φάση. Υποθέτοντας ότι σε κάποια φάση της εκσκαφής το μέτωπο βρίσκεται μπροστά από τη λωρίδα n (slice n) τότε τα βήματα είναι

- Βήμα 1 : Εκσκαφή της slice n και τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0,05m στην οροφή της άνω ημιδιατομής.
- Βήμα 2 : Ενεργοποίηση των αγκυρίων στο επίπεδο $n-1$ και των μεταλλικών πλαισίων και ενεργοποίηση του elephant foot για τη λωρίδα $n-1$.
- Βήμα 3 : Τοποθέτηση πρόσθετου εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0,20m στην οροφή στη slice $n-2$.
- Βήμα 4 : Καμία τροποποίηση στη slice $n-3$.
- Βήμα 5 : Τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0,20m στο ανάστροφο τόξο του σκυροδέματος στη slice $n-4$



Τεχνικό Μισγάνγειας στο Δεξιό Κλάδο
Μετώπου Εξόδου

3.7 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

3.7.1 ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Οροφή άνω ημιδιατομής

Η προσωρινή υποστήριξη της οροφής της διατομής αποτελείται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και χαλύβδινα πλαίσια που ενσωματώνονται σε αυτό. Γιαυτό υπολογίστηκε πρώτα η δυστένεια EA και η ακαμψία EI για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και το πλαίσιο ξεχωριστά και στη συνέχεια αθροιστήκαν για να προκύψουν τα αντίστοιχα μεγέθη της σύνθετης διατομής.

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα : Για την οροφή επιλέχτηκε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα Guinite πάχους 0,25m και μέτρου ελαστικότητας 15 GPa
- Μεταλλικά πλαίσια: Χρησιμοποιήθηκαν χαλύβδινα πλαίσια διατομής HEB160 τοποθετημένα 1/m. Το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα είναι 200 GPa, η διατομή του είναι $A_s=54,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ και ροπή αδρανείας $I_s=2490 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$

Υπολογίζονται τα EA ΚΑΙ EI :

$$\begin{aligned} \text{Για το σκυρόδεμα : } E_b A_b &= 15 \cdot 10^6 \cdot 0,25 = 3750000 \text{ kN/m} \\ E_b I_b &= 15 \cdot 10^6 \cdot 0,25^3 / 12 = 19531 \text{ kNm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Για τα μεταλλικά πλαίσια : } E_s A_s &= 200 \cdot 10^6 \cdot 54,3 \cdot 10^{-4} = 1086000 \text{ kN/m} \\ E_s I_s &= 200 \cdot 10^6 \cdot 2490 \cdot 10^{-8} = 4980 \text{ kNm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Επομένως για την σύνθετη διατομή ισχύει : } EA &= 3750000 + 1086000 = 4836000 \text{ kN/m} \\ EI &= 19531 + 4980 = 24511 \text{ kNm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Επειδή η ανάλυση είναι ελαστοπλαστική, είναι απαραίτητα τα οριακά μεγέθη αντοχής, δηλαδή της ροπής ακαμψίας διαρροής M και της αξονικής δύναμης διαρροής N .

- Για το σκυρόδεμα : $M_b = 150 \text{ kNm/m}$
 $N_b = 6250 \text{ kN/m}$
- Για τα πλαίσια : $M_s = 158 \text{ kNm/m}$
 $N_s = 2000 \text{ kN/m}$

Για τη σύνθετη διατομή υπολογίζονται τα μεγέθη διαρροής με τη χρήση του προσεγγιστικού μειωτικού συντελεστή 2/3:

$$M_y = 2/3 * (150 + 158) = 205 \text{ kNm/m}$$

$$N_y = 2/3 * (6250 + 2000) = 5500 \text{ kN/m}$$

Η τιμή του ειδικού βάρους w είναι 7 kN/m

Χρειαζόμαστε όμως να υπολογιστούν και τα μεγέθη για τα στάδια πριν την ολοκλήρωση της υποστήριξης.:

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους $0,05 \text{ m}$

$$EA = 750000 \text{ kN/m}$$

$$EI = 156,25 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους $0,05 \text{ m}$ και μεταλλικά πλαίσια

$$EA = 1836000 \text{ kN/m}$$

$$EI = 5136,25 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

ELEPHANT FOOT

Όταν ενεργοποιούνται τα μεταλλικά πλαίσια, ενεργοποιούνται και οι διευρύνσεις τύπου elephant foot, στη βάση αυτών. Θεωρήθηκε ότι συμπεριφέρεται γραμμικώς ελαστικά και έχει ειδικό βάρος $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$, δηλαδή όσο και του σκυροδέματος.

3.7.2 ΠΥΘΜΕΝΑΣ ΑΝΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗΣ

Το ανάστροφο τόξο του πυθμένα αποτελείται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους $0,20 \text{ m}$ και έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στην οροφή. Επομένως, με χρήση των τύπων που εφαρμόστηκαν παραπάνω για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που προσομοιώνεται με στοιχειά ενιαίας δοκού προκύπτει για πάχος σκυροδέματος $0,20 \text{ m}$ και για λωρίδα $1,5 \text{ m}$:

$$EA = 3000000 \text{ kN/m}$$

$$EI = 10000 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

Το ειδικό βάρος είναι $w = 5 \text{ kN/m}$, ενώ τα οριακά μεγέθη αντοχής είναι :

$$M = 65 \text{ kNm/m}$$

$$N = 3300 \text{ kN/m}$$

3.8 ΑΓΚΥΡΙΑ

Στην οροφή της άνω ημιδιατομής τοποθετήθηκαν αγκύρια διαμέτρου Φ32 S400, μήκους 6m σε κάναβο 1,2m x 1,0m. Δεδομένου ότι το μετρό ελαστικότητας του χάλυβα είναι 200GPa, πρόεκυψε για τα αγκύρια :

$$EA=200 * 10^6 * \pi * 3,2^2 * 10^{-4} = 160850 \text{ kN}$$

Η οριακή δύναμη κάθε αγκυρίου υπολογίστηκε ως εξής :

$$T_{op} = f_y * A = 400 * 10^3 * \pi * 3,2^2 * 10^{-4} / 4 = 320 \text{ kN}$$

Επειδή τα αγκύρια είναι τοποθετημένα ανά 1/m, αλλά τα βήματα εκσκαφής έχουν μήκος 1,5m, πολλαπλασιάζουμε τα παραπάνω μεγέθη των αγκυρίων με 1,5m:

$$EA = 1,5 * 160850 = 241275 \text{ kN}$$

$$T_{op} = 1,5 * 320 = 480 \text{ kN}$$

3.8.1 ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΤΩΝ ΑΓΚΥΡΙΩΝ

Προκειμένου να προσημειωθούν τα αγκύρια στο input του προγράμματος επιλέχθηκε ο τύπος αγκυρίου <<node-to-node anchor>>. Έτσι, ήταν απαραίτητος ο προσδιορισμός των συντεταγμένων αρχής και τέλους για κάθε αγκύριο. Αρχή των αξόνων (0,0) θεωρήθηκε το κέντρο του ημικυκλίου της άνω ημιδιατομής. Γνωρίζουμε ότι τα αγκύρια είναι τοποθετημένα σε κάναβο 1,2m x 1,0m, όποτε στο επίπεδο της διατομής απέχουν ανά δυο 1,2m επί της υποστήριξης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Συνολικά τοποθετήθηκαν 7 αγκύρια και υπολογίστηκε για κάθε ένα η γωνία ω .

Υπολογισμοί συντεταγμένων :

$$\text{Το μήκος τόξου δίνεται από τη σχέση : } S = \omega * R, \quad \omega = S/R$$

Για τον υπολογισμό της γωνίας ω που είναι κοινή για τον κόμβο αρχής και τέλους :

$$R = 6,25\text{m}$$

Οι συντεταγμένες των κόμβων (x,y) υπολογίζονται από τους τύπους :

$$X=R*\sin\omega$$

$$Y=R*\cos\omega$$

Όπου $R = 6,25\text{m}$ για τον υπολογισμό των κόμβων αρχής και $R = 6,25+I_{\text{αγκ}} = 12,25\text{m}$ για τον κόμβο τέλους.

Πίνακας συντεταγμένων :

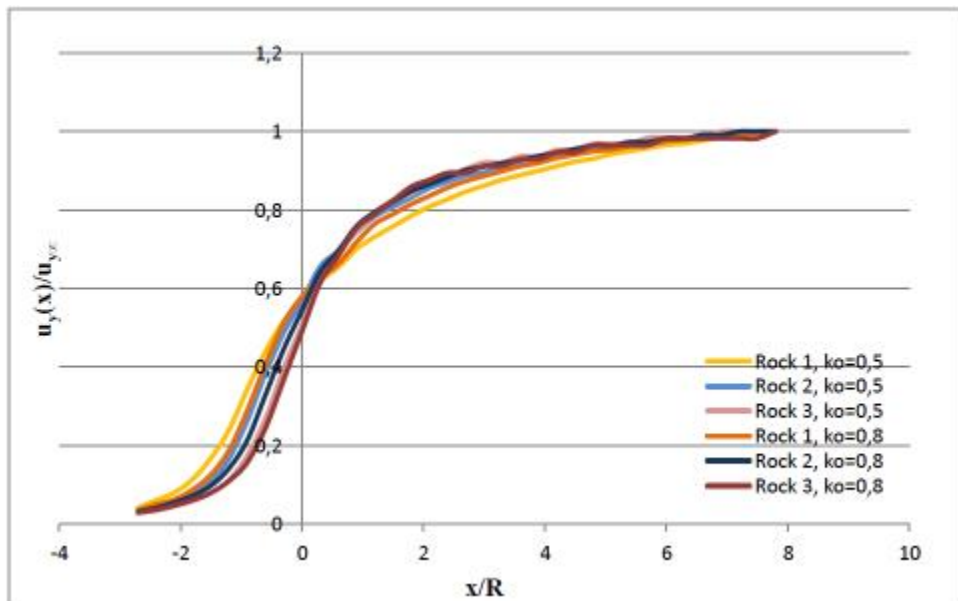
αγκυριο	S (m)	$\omega(\text{rad})$	Xαρχής	Yαρχής	Xτέλους	Yτέλους
1	0,6	0,096	0,599	6,221	1,174	12,194
2	1,8	0,288	1,775	5,993	3,479	11,745
3	3	0,480	2,886	5,544	5,657	10,866
4	4,2	0,672	3,891	4,891	7,626	9,587
5	5,4	0,864	4,753	4,059	9,315	7,955
6	6,6	1,056	5,44	3,077	10,662	6,031
7	7,8	1,248	5,927	1,983	11,617	3,886

Ξετύπωμα Αριστερού Κλάδου



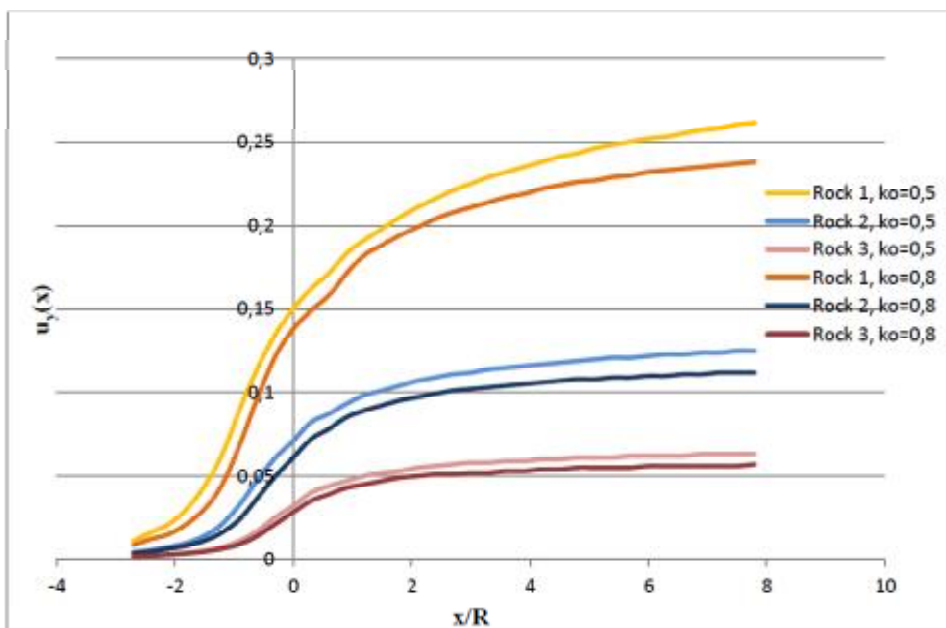
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται ότι ο λόγος u_y/u_{y00} στο μέτωπο λαμβάνει τη μικρότερη τιμή του Rock 3 και $k_0=0,8$ και τη μεγαλύτερη τιμή του Rock 1 και $k_0=0,8$.

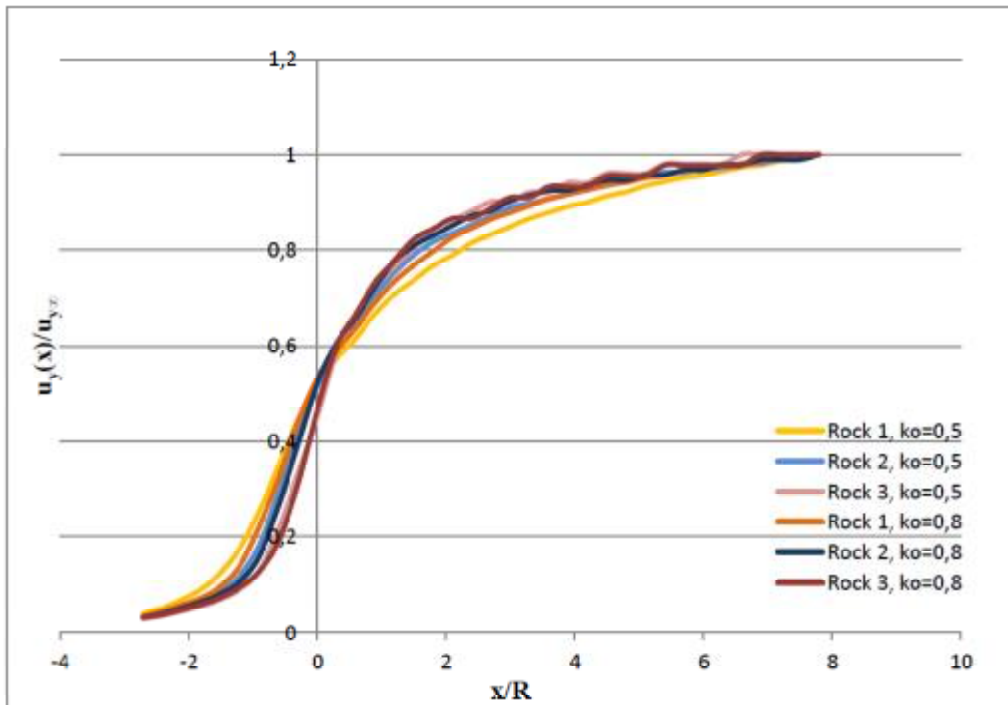


Σχήμα 25 Σύγκριση διαγραμμάτων κατακόρυφων συγκλίσεων $u_y(X)/u_{y00}$ για το σημείο A

Η μεγαλύτερη σύγκλιση σε μεγάλη απόσταση από το μέτωπο παρατηρείται για την χειρότερη περίπτωση βραχώμαζας Rock 1 και για $k_0=0,5$ και φτάνει τα 261mm. Όσο βελτιώνεται η ποιότητα της βραχώμαζας, τόσο μειώνονται οι κατακόρυφες συγκλίσεις, ενώ η αύξηση του συντελεστή οριζόντιων ωθήσεων προκαλεί μια μικρή μείωση στις συγκλίσεις.



Σχήμα 26 Σύγκριση διαγραμμάτων κατακόρυφων μετακινήσεων u_y , για το σημείο A

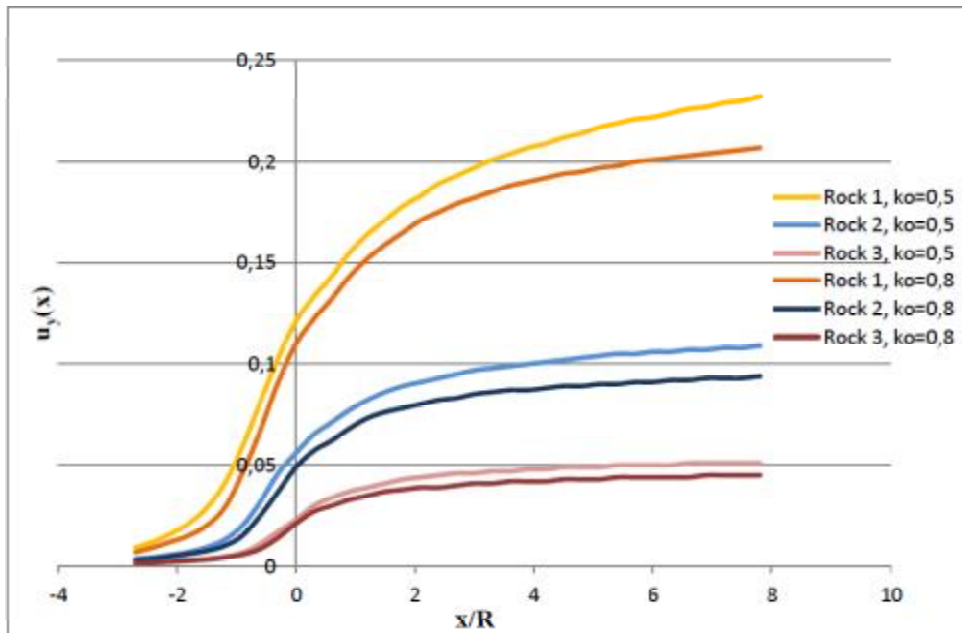


Σχήμα 27 Σύγκριση διαγραμμάτων κατακόρυφων συγκλίσεων $u_y(X)/u_{y00}$ για το σημείο B

Ανάλογη συμπεριφορά παρουσιάζουν και οι κατακόρυφες μετακινήσεις στο σημείο B.

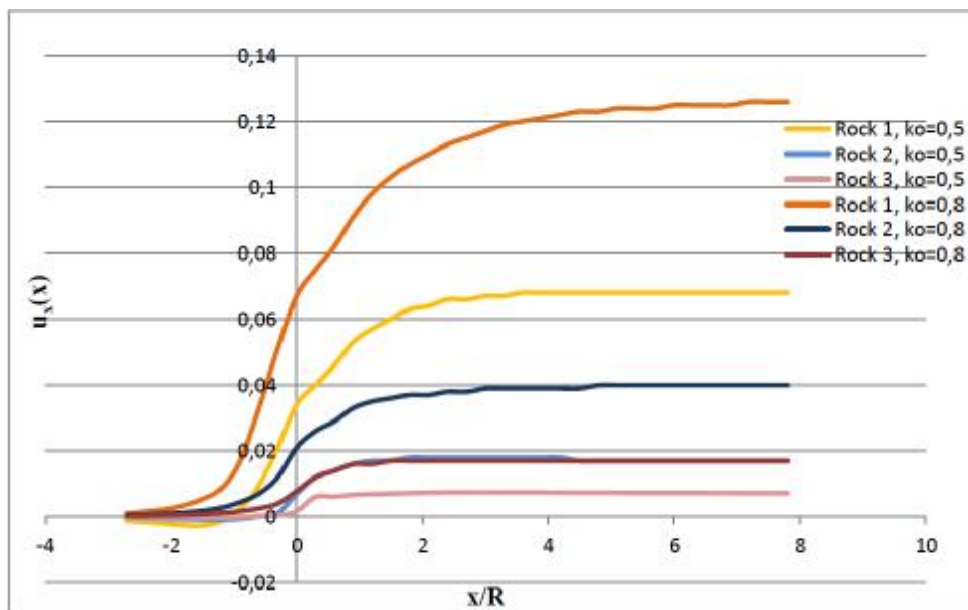
Για $x/R=0$, η τιμή του λόγου $u_y(x)/u_{y00}$ λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του για Rock 1 και $k_0=0,8$, και την ελάχιστη για Rock 3 και $k_0=0,5$.

Στο σχήμα (28) που ακολουθεί παρουσιάζονται οι κατακόρυφες μετακινήσεις στο B συναρτήσει του λόγου x/R . Όπως και στη στέψη, η μεγαλύτερη τιμή της σύγκλισης προκύπτει για Rock 1 και $k_0=0,5$ και φτάνει τα 232mm.

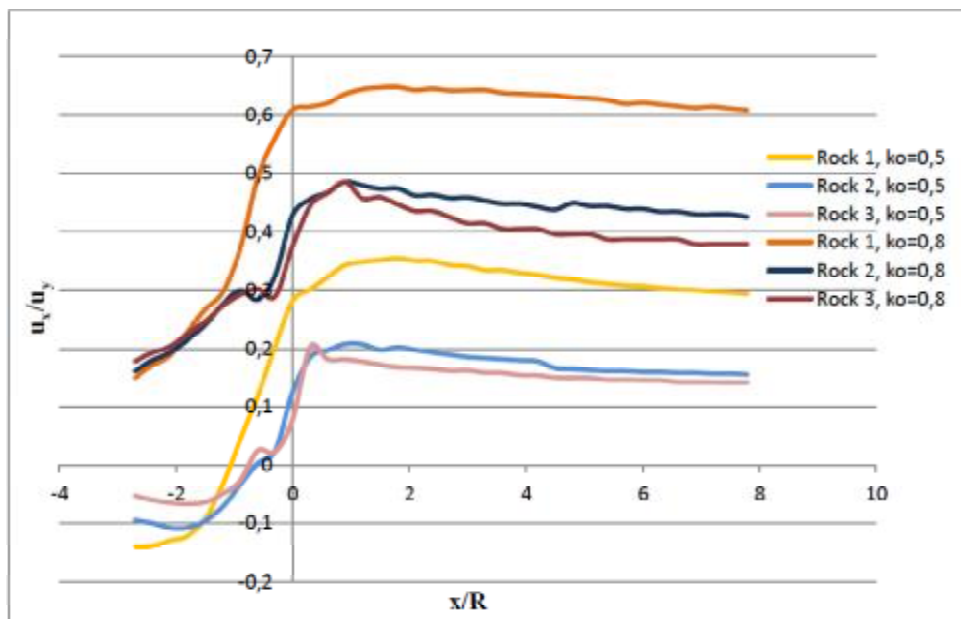


Σχήμα 28 Σύγκριση διαγραμμάτων κατακόρυφων μετακινήσεων u_y για το σημείο Β

Οριζόντιες συγκλίσεις



Σχήμα 29 Σύγκριση οριζόντιων μετακινήσεων u_x για το σημείο Β



Σχήμα 30 Σύγκριση διαγραμμάτων μετακινήσεων u_x/u_y για το σημείο Β

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση της σήραγγας με το πρόγραμμα Plaxis 3D Tunnel και τα αποτελέσματα μέσω σύγκρισης των καμπύλων συγκλίσεων παρατηρείται ότι :

Για τις κατακόρυφες μετακινήσεις στο σημείο Α (στέψη)

- Για την ίδια ποιότητα βραχομαζας η αύξηση του συντελεστή k_0 από 0,5 σε 0,8 οδήγησε σε μείωση συγκλίσεων.
- Για σταθερό συντελεστή οριζόντιων ωθήσεων k_0 , η βελτίωση της ποιότητας της βραχομαζας (αύξηση GSI, σ_{ci} , m_i) είχε ως αποτέλεσμα να μειωθεί η κατακόρυφη μετακίνηση αλλά και ο λόγος σύγκλισης στο μέτωπο.
- Για τη σήραγγα στη Χ.Θ. 8+657 η μεγαλύτερη τελική σύγκλιση είναι 261mm

Για τις οριζόντιες μετακινήσεις στο σημείο B

- Για την ίδια ποιότητα βραχομάζας η αύξηση του συντελεστή k_0 από 0,5 σε 0,8 επηρέασε αρνητικά τις οριζόντιες μετακινήσεις προκαλώντας αύξηση σε αυτές. Παρατηρείται, μάλιστα, μεγαλύτερη αύξηση, όσο ασθενέστερη είναι η βραχώμαζα.
- Για σταθερό συντελεστή ωθήσεων, οι οριζόντιες μετακινήσεις αυξάνονται καθώς μειώνεται η ποιότητα βραχώμαζας. Η βελτίωση όμως, της ποιότητας του εδάφους, φαίνεται να οδηγεί σε σταθεροποίηση των οριζόντιων συγκλίσεων σε αρκετά μικρότερη απόσταση από το μέτωπο
- Στο διάγραμμα των οριζόντιων προς τις κατακόρυφες μετακινήσεις $u_x/u_y-x/R$, είναι εμφανής η σημαντική αύξηση λόγω της αύξησης του συντελεστή k_0 . Όσο μειώνεται η ποιότητα της βραχώμαζας, ο λόγος u_x/u_y αυξάνεται στη θέση του μετώπου για $x/R=0$, καθώς οι τιμές των u_x και u_y πλησιάζουν.

Από τον έλεγχο της αξονικής δύναμης που αναπτύχθηκε στα αγκύρια για κάθε διαφορετική ποιότητα βραχώμαζας συμπεραίνουμε ότι :

- Όσο μειώνεται η ποιότητα της περιβάλλουσας βραχώμαζας για σταθερό συντελεστή οριζόντιων ωθήσεων, ο αριθμός των αγκυρίων που φτάνουν την οριακή δύναμη διαρροής αυξάνεται.
- Για τη χαμηλότερη ποιότητα βραχώμαζας Rock 1, η αύξηση του συντελεστή k_0 από 0,5 σε 0,8 , προκάλεσε αύξηση στο αριθμό των αγκυρίων που διέρρησαν, ενώ για τις κατηγορίες Rock 2 και Rock 3 καμία επιρροή δεν παρατηρήθηκε.
- Σε κάθε περίπτωση που υπήρχαν αγκύρια που αστόχησαν τότε αυτά ήταν κοντά στον πυθμένα και όχι στη στέψη.

Από τον έλεγχο της ζώνης πλαστικοποίησης για τους διάφορους συνδυασμούς γεωτεχνικών παραμέτρων εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα :

- Για σταθερό συντελεστή οριζόντιων ωθήσεων k_0 , η μείωση των παραμέτρων GSI, σ_{ci} και m_i της βραχώμαζας αυξάνει την έκταση της ζώνης πλαστικοποίησης.
- Για την ίδια ποιότητα βραχώμαζας, η αλλαγή του συντελεστή k_0 διαφοροποιεί τη μορφή της ζώνης πλαστικοποίησης. Συγκεκριμένα για $k_0 = 0,8$ καθώς δηλαδή πλησιάζει τη μονάδα , η πλαστική ζώνη τείνει να έχει κυκλικό σχήμα και γιαυτό φυσικά αστοχούν και τα αγκύρια για Rock 3 και $k_0=0,8$. Για $k_0=0,5$ το σχήμα της ζώνης είναι περισσότερο πεταλοειδές.

**ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΕΡΓΟ
(ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ)**

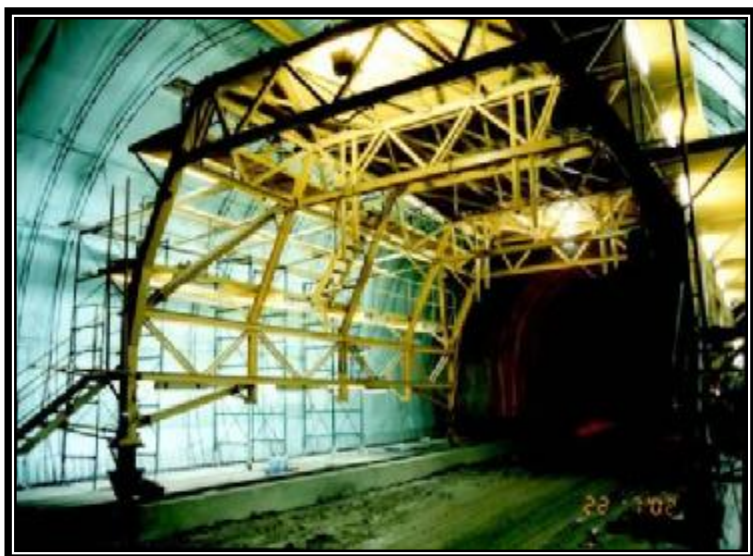
Ξετύπωμα Αριστερού Κλάδου



Σιδηρός Οπλισμός Θεμελίων - Invert



Φορείο Τοποθέτησης Σιδηρού Οπλισμού - Φορείο Τοποθέτησης Μεμβρανών



Μεταλλότυποι Σκυροδέτησης



Τελική Επένδυση



ΦΡΕΑΡ ΕΚΚΑΠΝΙΣΜΟΥ



BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Grasso P., Scotti G., Blasini G., Pescara M., Floria V., Kazilis N.,** Successful application of the observational design method to difficult tunnel conditions – Driskos tunnel
- 2. Hoek E.,** Tunnel support in weak rock, Keynote address, Symposium of Sedimentary Rock Engineering, Tapei, Taiwan, November 20-22, 1998
- 3. Hoek E.,** Support for very weak rock associated with faults and shear zones. Distinguished lecture for the opening of the International Symposium on rock support and reinforcement practice in mining, Kalgoorlie, Australia 14-19 March 1999
- 4. Hoek E., Carranza-Torres C. and Corzum B.,** Hoek-Brown criterion-2002 edition, Proc Narms-Tac conference, Toronto 2002
- 5. Hoek E. and Diederichs M.S.,** Empirical estimation of rock mass modulus, International journal of rock mechanics and mining, 2006
- 6. Hoek E. and Marinou P.,** Αποφραζκα έθζεζεο, Egnatia Highway Geotechnical and Tunneling Panel of Experts Sixth report, 1999
- 7. Hoek E. and Marinou P.,** Αποφραζκα έθζεζεο, Egnatia Highway Geotechnical and Tunneling Panel of Experts Tenth report, 2000
- 8. Hoek E. and Marinou P.,** Predicting tunnel squeezing, Tunnels and Tunnelling International, Part 1 November 2000, Part 2 December 2000
- 9. Hoek E. and Marinou P.,** Αποσπασμα εκθεσης για την σηραγγα του Δρίσκου, 2002
- 10. Hoek E. and Marinou P.,** A brief history of the development of the Hoek-Brown failure criterion, November 2007
- 11. Hoek E. and Marinou P.,** Tunnelling in overstressed rock, 2009
- 12. Καββαδάς Μ.,** Σχεδιασμός Υπογείων Έργων Εκδόσεις ΕΜΠ
- 13. Μαρινός Π.,** Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1998
- 14. Marinou P.,** The tunnels of Egnatia Highway. Design and construction in a variety of rock masses under difficult conditions, Cross Canada lecture tour, May 13 2005

15. Marinos P. and Hoek E., GSI- A geologically friendly tool for rock mass estimation. Proc GeoEng conference, Melbourne 2000

16. Marinos P. and Hoek E., Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch, Bulletin of engineering geology and environment, 2001

17. Marinos V, Marinos P and Hoek E., The geological strength index: applications and limitations, Bull. Eng. Geol. Environ.

18. Μελετη Σχεδιασμου

19. Μπουρζανος Ι, Δελαπογλου Π. και Κοντοθανασης Π., Σήραγγα Δρίσκου-Μελετες,εμπειριες,προοδος εργασιών, στοιχειά κατασκευης.Διημεριδα «Οι σήραγγες της Εγνατίας Οδου>>Ιωαννινα 7-8/12/2001

20. Παριγορης Γ., Σταρα-Γκαζετα Ε. και Κοντοθαναση Π., Σήραγγα Δρίσκου-Σχεδιασμός της προσωρινής υποστήριξης και τελικής επένδυσης σήραγγας σε φλύσχι