



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΕΛΛΑΔΟΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

“ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ”

**‘Βελτιστοποίηση Χρόνου-Κόστους Κατασκευής Σηράγγων με
την Εφαρμογή Εναλλακτικών Μεθόδων Εκσκαφής και
Υποστήριξης’**

Παπαγιάννης Νικόλαος



ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2023

“ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ”

‘Βελτιστοποίηση Χρόνου-Κόστους Κατασκευής Σηράγγων με την Εφαρμογή
Εναλλακτικών Μεθόδων Εκσκαφής και Υποστήριξης’

Παπαγιάννης Νικόλαος

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Φανή Αντωνίου

Κων/νος Αναγνωστόπουλος

Θεοδόσιος Παπαλιάγκας

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2023

© Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος, 2023

Η παρούσα Εργασία καθώς και τα αποτελέσματα αυτής, αποτελούν συνιδιοκτησία του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης, αναπαραγωγής και αναδιανομής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα της Εργασίας καθώς και το όνομα του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος όπου εκπονήθηκε.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	9
SUMMARY	10
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 Αντικείμενο της εργασίας	11
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	13
2.1. Γενικά.....	13
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	19
4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ	22
4.1. Διάνοιξη Σηράγγων	22
4.1.1. Διάνοιξη με TBM	23
4.1.2. Διάνοιξη με τη μέθοδο NATM.....	24
4.2. Σχεδιασμός Σήραγγας	31
4.2.1. Γεωλογικό Προσομοίωμα.....	33
4.2.2. Γεωλογική Έρευνα.....	33
4.2.3. Μέθοδοι υπολογισμού σηράγγων	33
4.2.4. Ενόργανη παρακολούθηση.....	34
4.3. Κοστολόγηση Τεχνικών Έργων	37
4.3.1. Γενικά.....	37
4.3.2. Κοστολόγηση Σήραγγας	38
4.3.2.1. Άμεσο Κόστος.....	41

4.3.2.2. Έμμεσο Κόστος	42
4.3.2.3. Χρονικός Προγραμματισμός	42
4.3.2.4. Υπέρβαση Κόστους.....	42
5. ΣΗΡΑΓΓΑ ΤΕΜΠΩΝ T2.....	45
5.1. Περιγραφή Έργου	45
5.2. Γενικά Γεωμορφολογικά και Γεωλογικά Δεδομένα	46
5.2.1. Θέση του Έργου	46
5.2.2. Γεωλογικό Προφίλ της Ευρύτερης Περιοχής του Έργου.....	46
5.3. Κατηγορίες Εκσκαφής.....	48
5.3.1. Γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI.....	56
5.3.2. Γεωλογικές συνθήκες της Σήραγγας Τεμπών	63
6. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	66
6.1. Μεθοδολογία Εκσκαφής Σήραγγας Τεμπών	66
6.1.1. Στόμια Σηράγγων	66
6.1.2. Υπόγεια Τμήμα	67
6.1.3. Γεωμετρία Εκσκαφής	67
6.1.4. Μηχανολογικός εξοπλισμός.....	68
6.1.5. Εργατικό Προσωπικό	68
6.1.6. Όργανα Παρακολούθησης Σήραγγας	68
6.1.7. Ηλεκτρομηχανολογικές Εγκαταστάσεις Ηλεκτροφωτισμός.....	69
6.1.8. Αερισμός Σήραγγας.....	69
6.2. Χρονικός Προγραμματισμός.....	70
6.3. Κόστος Εκσκαφής της Σήραγγας T2	75
6.4. Κατηγορίες εκσκαφής σύμφωνα με τη μελέτη	78

7. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	79
7.1. Μέθοδος Εκσκαφής CD & VCD	79
7.2. Σύστημα Αυτόματης Επεξεργασίας Δεδομένων	86
7.3. Τεχνολογία Ομαλής Ανατίναξης	89
7.4. Εκτίμηση Κόστους σε Σχέση με τις Γεωτεχνικές Συνθήκες.	91
7.5. Σεισμική Μέθοδος Πρόβλεψης Γεωλογικών Συνθηκών	93
7.6. Μέθοδος διπλού δακτυλίου (Double Ring Method).....	95
8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	97
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	99
Βιβλιογραφία.....	101

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Κόστος ανά μέτρο μήκους	14
Εικόνα 2.2 Κόστος Σήραγγας σε σχέση με την εξωτερική διάμετρο της διατομής(Andreas Benardos 2013).....	17
Εικόνα 2.3 Κόστος Σήραγγας σε συνάρτηση με το μήκος της (Andreas Benardos 2013).....	17
Εικόνα 3.1 Ομαδοποίηση εργασιών στο WBS	21
Εικόνα 4.1 a-f: διατομές ,g,h,i: διπλές σήραγγες, j-p: τρόποι στήριξης (Παπαλιάγκας 2021)....	22
Εικόνα 4.2 EPB TBM 1.κοπτική κεφαλή 2.θάλαμος εκσκαφής 3.διάφραγμα 4.κύλινδροι ώθησης 5.κοχλιωτός μεταφορέας 6.μεταφορική ταινία 7.δακτύλιοι από μπετό (ΑΚΤΩΡ ΑΤΕ,2019)	24
Εικόνα 4.3 Διάγραμμα Καμπύλης σύγκλισης-αποτόνωσης βραχόμαζας (Μ. Καββαδάς 2004) 25	
Εικόνα 4.4 Φάσεις Εκσκαφής, top heading-bench-invert,(Μ.Καββαδάς 2004)	26
Εικόνα 4.5 Διάνοιξη σήραγγας σε έξι φάσεις (Μ.Καββαδάς 2004).	28
Εικόνα 4.6 : Διάνοιξη σήραγγας με δυο πλευρικές στοές και κεντρικό πυλώνα, (Μ.Καββαδάς 2004)	29
Εικόνα 4.7 Ηλεκτρικά Πιεζόμετρα(www.euotech-ltd.gr).....	35
Εικόνα 4.8 Ηλεκτρικές κυψέλες φορτίου αγκυρώσεων(www.euotech-ltd.gr)	35
Εικόνα 4.9 Υδραυλικές κυψέλες πίεσης(www.euotech-ltd.gr).....	36
Εικόνα 4.10 Μηκυσιόμετρα διατρήματος(www.euotech-ltd.gr).....	36
Εικόνα 4.11 Οπτικοί Τοπογραφικοί στόχοι(www.euotech-ltd.gr)	37
Εικόνα 5.3.1 Διατομή Σήραγγας T2.....	48
Εικόνα 5.3.1.1 Διάγραμμα GSI.....	57
Εικόνα 5.3.1.2 Δελτίο Γεωλογικής Χαρτογράφησης Μετώπου (Olympria JV 2011).....	59
Εικόνα 5.3.1.3 Δελτίο Καταγραφής Γεωλογικών Στοιχείων (έντυπο ποιότητας MKC).....	60
Εικόνα 5.3.1.4 Πίνακας GSI (Olympria JV 2011).	61
Εικόνα 5.3.1.5 Έντυπο επιλογής Προσωρινών Μέτρων Αντιστήριξης (Olympria JV 2011).....	62
Εικόνα 5.3.1.6 Φωτογραφία Μετώπου (Olympria JV 2011)	63
Εικόνα 5.3.2.1 Γεωλογική μηκοτομή όπως κατασκευάστηκε(Olympria JV 2011)	64
Εικόνα 5.3.2.2 Γεωλογική μηκοτομή σύμφωνα με τη μελέτη (Olympria JV 2011).....	64
Εικόνα 5.3.2.3 Γεωλογική Μηκοτομή όπως κατασκευάστηκε(Olympria JV 2011).....	65
Εικόνα 5.3.2.4 Γεωλογική Μηκοτομή όπως κατασκευάστηκε(Olympria JV 2011).....	65
Εικόνα 6.2.1 Διάγραμμα Gantt Νότιος κλάδος	71

Εικόνα 6.2.2.Διάγραμμα Gantt Βόρειος Κλάδος	72
Εικόνα 6.2.3 Διάγραμμα Μέτρων εκσκαφής ανά κατηγορία εκσκαφής	73
Εικόνα 6.2.4 Διάγραμμα -Μηνιαία μέτρα εκσκαφής ανά κατηγορία	74
Εικόνα 6.2.5 Διάγραμμα Μέτρα εκσκαφής ανά μήνα	75
Εικόνα 6.3.1 Καμπύλη εξόδων (κόστος/μήνα)	76
Εικόνα 6.3.2 Διάγραμμα Κόστους-Παραγωγής	77
Εικόνα 6.3.4 Κόστος ανά κατηγορία εκσκαφής.....	77
Εικόνα 6.4.1 Διάγραμμα μέτρων εκσκαφής ανά Κατηγορίας Εκσκαφής σύμφωνα με τη μελέτη	78
Εικόνα 6.4.2.Διάγραμμα Κατηγορίες Εκσκαφών - Μελέτης (Olympia JV 2011)	79
Εικόνα 7.1.1 Μέθοδοι εκσκαφής.....	80
Εικόνα 7.1.2 Στάδια εκσκαφής με τη CD μέθοδο (Zhenliang Zhou et al 2020).....	81
Εικόνα 7.1.3 Μηκοτομή κατασκευής της CD μεθόδου, Zhenliang Zhou et.al (2020)	82
Εικόνα 7.1.4 Εκσκαφή με τη Vertical Center Method VCD, Zhenliang Zhou et.al (2020).....	82
Εικόνα 7.1.5 Τοποθέτηση των σημείων μέτρησης Zhenliang Zhou et.al (2020.....	84
Εικόνα 7.1.6 Επιφανειακή καθίζηση σε σχέση με τα υπερκείμενα Zhenliang Zhou et.al (2020)	84
Εικόνα 7.1.7 Σήραγγα με διαφορετικό βάθος υπερκειμένων Zhenliang Zhou et.al (2020)	85
Εικόνα 7.1.8 Καθίζηση οροφής σε σχέση με τα υπερκείμενα	85
Εικόνα 7.2.1 Ασύρματο δίκτυο (Wireless network System) Cho. D et.al (2013).....	88
Εικόνα 7.2.2 Εφαρμογή του συστήματος σε πιλοτικό πρόγραμμα.(Cho. D et.al 2013).....	89
Εικόνα 7.3.1 Τυπικό σχήμα οπής περιμετρικά της σήραγγας (Chunde Ma et al 2020)	90
Εικόνα 7.3.2 Οπή διατρήματος,(Chunde Ma et al 2020)	91
Εικόνα 7.4.1 .Σύγκριση κόστους GSI -Πραγματικό κόστος ανά κατηγορία.	93
Εικόνα 7.5.1 Εξοπλισμός της TSP μεθόδου,(Hong- Kee Tzou et al 2020)	95
Εικόνα 7.6.1 Εφαρμογή διπλής υποστήριξης.....	97

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1 Κατηγορίες Βραχόμαζας και Γεωλογικοί Δείκτες	15
Πίνακας 2-2 Κατηγορίες Βραχόμαζας ανά Σήραγγα.....	16
Πίνακας 2-3 Κόστος Εκσκαφής ανά Κατηγορία Βραχόμαζας.....	16
Πίνακας 5.3-1 Μήκη Εφαρμογής Κατηγοριών Βόρειου Κλάδου	49
Πίνακας 5.3-2 Μήκη Εφαρμογής Κατηγοριών Νότιου Κλάδου	49
Πίνακας 5.3-3 Ποσοστά Κατηγοριών ανά Κλάδο	50
Πίνακας 5.3.1-1 Γεωτεχνικά Χαρακτηριστικά Εφαρμογής Κατηγοριών Εκσκαφής (Olympia JV) ...	58
Πίνακας 5.3.2-1 Τύπος Βραχόμαζας μελέτης και εκσκαφής ανά χιλιόμετρηση	66
Πίνακας 6.2-1 Μηνιαία Καταγραφή Κατηγορίας Εκσκαφή και Υποστήριξης.....	74
Πίνακας 6.4-1 Κατηγορίες εκσκαφής σύμφωνα με τη μελέτη.....	78
Πίνακας 8-1 Θέσεις Ερευνητικών Γεωτρήσεων.....	97

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω την γυναίκα μου και την κόρη μου για τη στήριξη που μου προσφέρανε. Θέλω επίσης να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Φανή Αντωνίου για τις κατευθύνσεις που μου έδωσε προκειμένου να υλοποιηθεί η παρούσα εργασία. Η πτυχιακή εργασία έχει αντλήσει αρκετά στοιχεία κόστους και οικονομικού προγραμματισμού από τη Σήραγγα Τεμπών και ευχαριστώ γι' αυτό τον διευθυντή της Κοινοπραξίας Μαλιακός Κλειδί κ. Δημοσθένη Παπακριβόπουλο, τον μηχανικό του Cost Control , και τον μηχανικό υπεύθυνο για θέματα περιβάλλοντος για τον χρόνο τους για να βρουν αυτά τα στοιχεία καθώς το έργο έχει ολοκληρωθεί το 2017.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στις οδικές σήραγγες τόσο της Ελλάδος όσο και του εξωτερικού. Γίνεται εκτενής αναφορά στην οδική Σήραγγα Τεμπών τη μεγαλύτερη οδική σήραγγα σε μήκος της Ελλάδας και των Βαλκανίων, παρουσιάζεται η μεθοδολογία εκσκαφής και υποστήριξης καθώς και στοιχεία του χρόνου εκτέλεσης των εργασιών και του τελικού κόστους κατασκευής. Παρουσιάζονται επίσης οι γεωλογικές συνθήκες που συναντήθηκαν και τα προβλήματα που δημιούργησαν κατά τη διάρκεια της διάνοιξης. Προτείνονται τρόποι που μπορούν να βελτιώσουν το κόστος και το χρόνο εκτέλεσης των εργασιών μιας Σήραγγας χρησιμοποιώντας την τεχνολογία.

Λέξεις κλειδιά: σήραγγα, κόστος, βελτιστοποίηση, εκσκαφή

SUMMARY

«Time-Cost Optimization of Tunnel Construction by Applying Alternative Excavation and Support Methods»

This paper refers to road tunnels both in Greece and abroad. Extensive reference is made to the Tempi Road Tunnel, the longest road tunnel in Greece and the Balkans, the excavation and support methodology is presented as well as details of the execution time of the works and the final construction cost. The geological conditions encountered and the problems they created during the tunneling are also presented. Ways that can improve the cost and time of execution of a Tunnel using technology are suggested.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Οι σήραγγες είναι υπόγειες εκσκαφές και η γένεσή τους συνδέεται με τα Αιγυπτιακά μνημεία κάτω από τις πυραμίδες και τα μεταλλεία της αρχαίας Ελλάδας (Λαύριο -Παγγαίο). Στη σύγχρονη εποχή παρουσιάζουν μια πολύ μεγάλη ποικιλία ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετούν, το χαρακτήρα και το σχεδιασμό τους και για το λόγο αυτό χαρακτηρίζονται σαν σιδηροδρομικές, οδοποιίας, μετρό, εκτροπής, αποστραγγιστικές, ενεργειακών σταθμών, υδρευτικές, μεταλλευτικές (Γ. Κούκης & Ν. Σαμπατακάκης 2007).

Οι σήραγγες αποτελούν ένα από τα βασικά έργα υποδομής που αναβαθμίζουν την ασφάλεια των πολιτών και φέρνουν πιο κοντά τις πόλεις μιας χώρας. Στην Ελλάδα τις τελευταίες δεκαετίες ολοκληρώθηκε ένας μεγάλος αριθμός έργων που την εντάσσουν στο χάρτη των χωρών με τις πιο σύγχρονες οδικές υποδομές. Μία από τις σύγχρονες οδικές Σήραγγες είναι και η σήραγγα των Τεμπών (Σήραγγα T2) μήκους έξι χιλιομέτρων. Η πτυχιακή εργασία εξετάζει την μεγαλύτερη αυτή οδική σήραγγα των Βαλκανίων παρουσιάζοντας τον τρόπο κατασκευής της, τις δύσκολες γεωλογικές συνθήκες που συναντήθηκαν, τον αρχικό σχεδιασμό της σήραγγας όσο αφορά το χρόνο και το κόστος κατασκευής της αλλά και τα , πραγματικά στοιχεία τα οποία συλλέχτηκαν από το μητρώο του Έργου. Η προσωπική μου σχέση με το εν λόγω έργο είναι πολύ στενή καθώς εργάστηκα ως υπεύθυνος κατασκευής κατά τη διάρκεια της διάνοιξης από το Νοέμβριο του 2009 έως τον Μάιο του 2011.

Τα στοιχεία που παρουσιάζονται στην εργασία αφορούν την εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη της σήραγγας T2 η οποία ξεκίνησε το καλοκαίρι του 2008 και ολοκληρώθηκε τον Μάιο του 2011. Τον Μάιο του 2011 με την ολοκλήρωση των εργασιών εκσκαφής διακόπηκαν οι εργασίες για ένα χρόνο λόγω της Οικονομικής κρίσης. Η παράδοση της Σήραγγας σε κυκλοφορία έγινε τον Απρίλιο του 2017. Ο αρχικός χρονικός σχεδιασμός των εργασιών εκσκαφής ήταν για δύο χρόνια (24 μήνες) από την έναρξη των εργασιών. Ο πραγματικός χρόνος ολοκλήρωσής των εργασιών εκσκαφής και υποστήριξης της σήραγγας ήταν 34 μήνες.

Η υπέρβαση του κόστους μιας οδικής σήραγγας συναντάται σε αρκετές σήραγγες τόσο στον Ελληνικό χώρο όσο και στο εξωτερικό. Μία από τις αιτίες της υπέρβασης του αρχικού σχεδιασμού είναι οι συναντώμενες γεωλογικές συνθήκες. Στη Σήραγγα Τεμπών συναντήθηκαν δύσκολες γεωλογικές συνθήκες που καθυστέρησαν σημαντικά την ολοκλήρωση των εργασιών εκσκαφής σε σημείο που να γίνει διακοπή των εργασιών σε ένα μέτωπο, λόγω της δυσκολίας εκσκαφής μιας ασθενούς βραχώμαζας (φυλλίτης). Για να αντιμετωπιστούν οι απρόβλεπτες συνθήκες στην κατασκευή μιας σήραγγας σημαντικό ρόλο παίζει η εμπειρία στην κατασκευή

τόσο των μηχανικών -γεωτεχνικών όσο και του εργατικού προσωπικού (χειριστές , γομωτές , ηλεκτρολόγοι κ.α.).

Στην πτυχιακή εργασία αναλύονται οι κατηγορίες εκσκαφής σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό και οι κατηγορίες που εφαρμόστηκαν σε πραγματικές συνθήκες. Παρατηρήθηκαν αποκλίσεις σε σχέση με τον αρχικό σχεδιασμό με αποτέλεσμα να επηρεάσουν τον χρόνο και το κόστος των εργασιών εκσκαφής.

Σκοπός της εργασίας είναι να επισημανθούν οι παράμετροι που επηρεάζουν σημαντικά το χρονικό και οικονομικό προγραμματισμό ενός έργου κατασκευής σήραγγας, να παρουσιαστούν μέθοδοι που σχετίζονται τόσο με τον τρόπο εκσκαφής όσο και με την συλλογή πληροφοριών κατά την κατασκευή, που μπορούν να εφαρμοστούν σε αρκετές σήραγγες όπως και στην Σήραγγα Τεμπών που θα μπορούσαν ενδεχομένως να βελτιώσουν τόσο τον χρόνο όσο και το κόστος των εργασιών.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

2.1. Γενικά

Γενικά το κόστος μιας Σήραγγας είναι συνάρτηση του μήκους και του μεγέθους της σήραγγας, των υπόγειων γεωτεχνικών συνθηκών και της επιλογής της μεθόδου εκσκαφής της προσωρινής υποστήριξης και της κατασκευής της τελικής επένδυσης. Επιπλέον μη τεχνικοί παράγοντες όπως οι εμπειρίες και οι δεξιότητες του κατασκευαστή, οι συμβατικές υποχρεώσεις, το είδος της χρηματοδότησης και το κόστος της χρηματοδότησης, η διαθεσιμότητα και το μέγεθος του εργοταξίου μπορεί να επηρεάσει το τελικό κόστος κατασκευής μιας Σήραγγας. Το κόστος των έργων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διάρκειά τους. Επίσης η εξοικονόμηση χρόνου θα μπορούσε να είναι πολύ σημαντική και ακόμη και ανταποδοτική. (Petroutsatou & Magavas 2021). Οποιαδήποτε μικρή απόκλιση στην παραγωγή έχει ως αποτέλεσμα μεγάλες διακυμάνσεις στο κόστος κατασκευής λόγω του ωριαίου υψηλότερου κόστους εξοπλισμού και εργασιών. Ένα δείγμα 32 δίδυμων σηράγγων από την Εγνατία οδό επιλέχθηκαν για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με το κόστος των σηράγγων. Οι σήραγγες κατασκευάστηκαν την περίοδο 1997-2009. Στην εικόνα 2.1 φαίνεται το κόστος ανά μέτρο μήκους το οποίο κυμαίνεται από 5000 ευρώ/μ έως 32000ευρώ/μ. Το μέσο κόστος ανά μέτρο είναι 14000ευρώ/μ και η σημαντική διαφοροποίηση οφείλεται στις διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες που συναντήθηκαν.



Εικόνα 2.1 Κόστος ανά μέτρο μήκους(Petroutsatou & Maravas 2021)

Υπάρχουν στην Βιβλιογραφία στατιστικά δεδομένα που αφορούν το κόστος κατασκευής σηράγγων τα οποία ποικίλουν λόγω της ετερογένειας των επι τόπου συνθηκών που συναντήθηκαν και οφείλονται όχι μόνο στο Γεωτεχνικό περιβάλλον αλλά και στην επικρατούσα κατασκευαστική κουλτούρα που διαφοροποιείτε από χώρα σε χώρα ή ακόμη από έργο σε έργο. Οι διακυμάνσεις του κόστους επηρεάζονται και από το διαφορετικό κόστος εργασίας και των υλικών κατασκευής. Μία έρευνα που έγινε στην Ελβετία από την Swiss Tunnelling Society (2001) η οποία ανέλυσε το τελικό κόστος κατασκευής των σηράγγων στη χώρα σε δείγμα 1200 σηράγγων συνολικού μήκους 1600 km αναφέρει ότι το κόστος κατασκευής βρέθηκε στα 110ευρω/μ3 για καλή ποιότητα βράχο και 1077ευρώ/μ3 για κακή ποιότητα βράχο (Chrysothemis Paraskevopoulou & Andreas Benardos 2012).

Σύμφωνα με τις έρευνες το κόστος της εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης αποτελεί τη μεγαλύτερη συνιστώσα κόστους που αποδίδει το 65% του συνολικού κόστους όπου σε μερικές περιπτώσεις όταν επικρατούν πολύ πτωχές ποιότητες βραχώμαζας το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει έως και 75%. Για τις Σήραγγες της Εγνατίας οδού σχετίζοντας το κόστος εκσκαφής με την ποιότητα της βραχώμαζας καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα(Πετρουτσάτου 2008).

- Για GSI =10-30 το κόστος εκσκαφής είναι 100-300ευρώ/μ3.
- Για GSI=25-40 το κόστος εκσκαφής είναι 50-100ευρώ/μ3.

- Για GSI=40-60 το κόστος εκσκαφής είναι 30-50 ευρώ/μ3.

Μια δεύτερη ανάλυση που αφορά το κόστος κατασκευής των οδικών σηράγγων στην Ελλάδα έγινε με επιλογή 5 σηράγγων (Σήραγγα Ραψομάτι, Σήραγγα Αγίου Ηλία, Σήραγγα Αγία Κυριακή, Σήραγγα ΑΣ1 Κακιά Σκάλα και Σήραγγα Κνημίδας (C. Paraskevoroulou & A. Benardos 2012). Το σύνολο των πέντε σηράγγων που επιλέχτηκαν καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα γεωλογικών συνθηκών στην Ελλάδα. Η αξιολόγηση έγινε με τον καθορισμό πέντε μεγάλων γεωτεχνικών κατηγοριών A,B,C,D και E όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-1 Κατηγορίες Βραχόμαζας και Γεωλογικοί Δείκτες και η ταξινόμηση της βραχόμαζας σύμφωνα με το σύστημα RMR (Rock Mass Rating) και τον δείκτη GSI (Geological Strength Index). Αυτές οι κατηγορίες καλύπτουν όλες τις κατηγορίες εδάφους από πολύ καλή έως πολύ κακή ποιότητα βραχόμαζας.

Πίνακας 2-1 Κατηγορίες Βραχόμαζας και Γεωλογικοί Δείκτες

Κατηγορίες Βραχόμαζας όπως καθορίστηκαν για την ανάλυση		
Κατηγορία Βραχόμαζας	GSI	Ποιότητα Βραχόμαζας RMR-(Beniawski)
A	55-100	Καλή-πολύ καλή RMR 60-100
B	35-55	Καλή- RMR 40-60
C	15-35	Φτωχή- RMR 20-40
D	<15	Πολύ φτωχή -RMR<20
E	έδαφος	Εδαφική συμπεριφορά

Η εφαρμογή των κατηγοριών βραχόμαζας σε κάθε σήραγγα φαίνεται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2-2 Κατηγορίες Βραχόμαζας ανά Σήραγγα

Κατηγορία Βραχόμαζας	Όνομα Σηράγγων και τελικό μήκος (m)	Μήκος εφαρμογής της κατηγορίας(μ)
A(GSI 55-100)	Κρημνίδα(5000μ)	676μ
B(GSI 35-55)	Ραψομάτι(1405,5μ)	570μ
	Αγ.Κυριακή(1030μ)	61μ
	Κρημνίδα(5000μ)	3632μ
C(GSI 15-35)	Ραψομάτι(1405,5)	600μ
	Αγ.Κυριακή(1030μ)	978μ
	Κακιά Σκάλα-ΑΣ1(843,5μ)	484,34μ
	Κρημνίδα(5000μ)	979,11μ
D(GSI =<15)	Ραψομάτι(1405,5μ)	34μ
	Κακιά Σκάλα-ΑΣ1(843,5μ)	153μ
	Αγ.Ηλίας(644μ)	150,58μ
	Κρημνίδα(5000μ)	72μ
E(GSI<15-Εδαφική συμπεριφορά)	Αγ.Ηλίας(644μ)	293μ

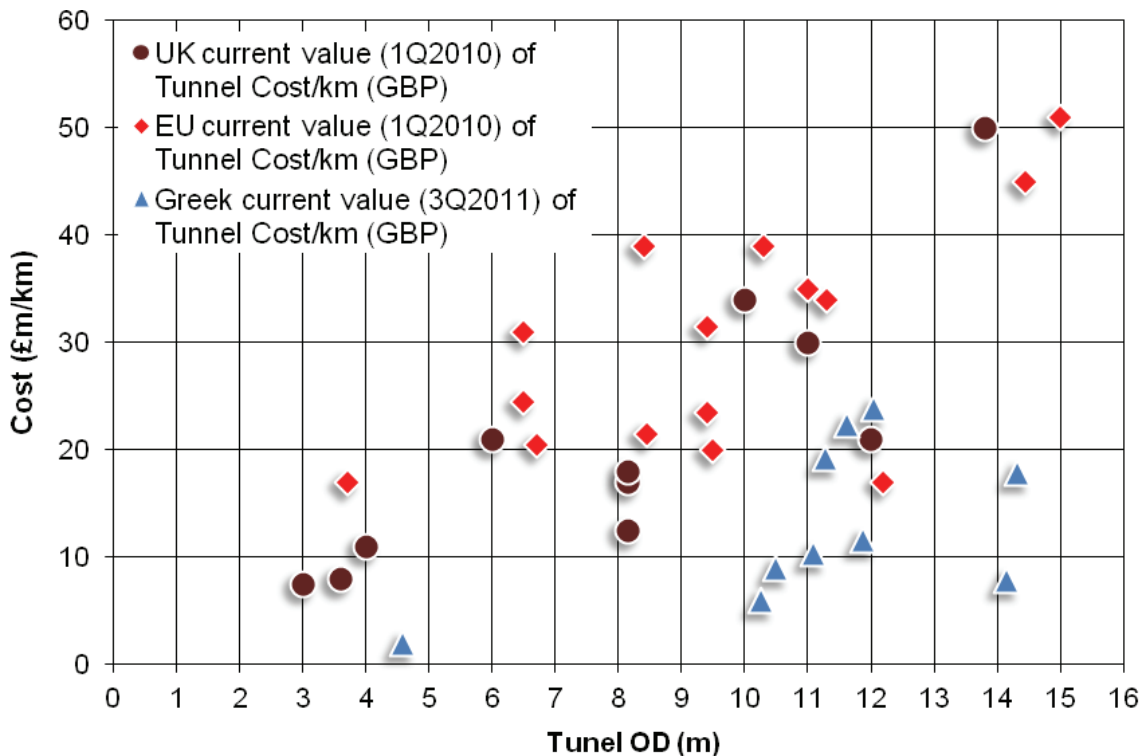
Στον Πίνακα 2-3 δίνεται το κόστος ανά κατηγορία εκσκαφής σε ευρώ/μ³ και σε ευρώ/μ.

Πίνακας 2-3 Κόστος Εκσκαφής ανά Κατηγορία Βραχόμαζας.

Κόστος εκσκαφής και υποστήριξης ανα κατηγορία		
Κατηγορία Βραχόμαζας	Ευρώ/μ ³	Ευρώ/μ
A	27	4579
B	48	6800
C	68	9220
D	104	14404
E	191	20363

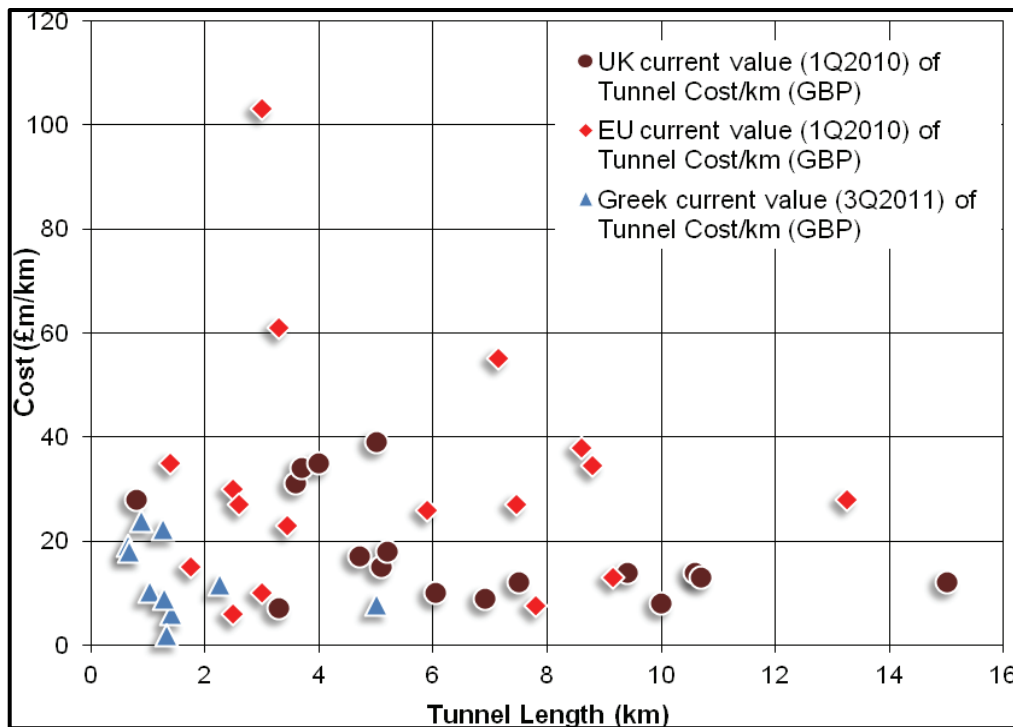
Μία ακόμη μελέτη κάνει σύγκριση του κόστους κατασκευής των Ελληνικών Σηράγγων και σηράγγων που κατασκευάστηκαν στην υπόλοιπη Ευρωπαϊκή Ένωση σύμφωνα με δημοσιευμένα δεδομένα που προέρχονται από χώρες της Ε.Ε. Η σύγκριση έγινε μεταξύ 14 σηράγγων που κατασκευάστηκαν στο Ηνωμένο Βασίλειο, 21 σήραγγες που κατασκευάστηκαν σε άλλες χώρες της Ε.Ε και 10 σήραγγες που κατασκευάστηκαν στην Ελλάδα. Στην μελέτη παρατηρείτε ότι οι φάσεις σχεδιασμού και προκατασκευής του έργου ήταν η κύρια πηγή αύξησης του κόστους. Μικρότερος παράγοντας που επηρεάζει το κόστος κατασκευής περιλαμβάνει το συνολικό μήκος, τις συνθήκες του εδάφους και τις μεθόδους διάνοιξης

(Andreas Benardos 2013). Στην *Εικόνα 2.1* το κόστος των σήραγγων παρουσιάζεται σε σχέση με την εξωτερική τους διάμετρο.



Εικόνα 2.2 Κόστος Σήραγγας σε σχέση με την εξωτερική διάμετρο της διατομής (Andreas Benardos 2013)

Στην Εικόνα 2.3 παρουσιάζεται η επιρροή του μήκους μιας σήραγγας στο κόστος της .



Εικόνα 2.3 Κόστος Σήραγγας σε συνάρτηση με το μήκος της (Andreas Benardos 2013)

Στους δύο παραπάνω πίνακες το νόμισμα που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση του κόστους είναι η Αγγλική λίρα.

Παρατηρούμε ότι το κόστος κατασκευής των Ελληνικών Σηράγγων είναι μικρότερο σε σχέση με τις σήραγγες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην πτυχιακή εργασία παρουσιάζονται στοιχεία χρονικού και οικονομικού προγραμματισμού της Σήραγγας Τεμπών στο στάδιο κατασκευής καθώς και η αρχική εκτίμηση του κόστους πριν την έναρξη των εργασιών.

Για την αρχική εκτίμηση του κόστους βασικά στοιχεία υπολογισμού αποτέλεσαν οι κατηγορίες εκσκαφής της μελέτης που προέκυψαν από την αρχική γεωλογική έρευνα, το μήκος εφαρμογής κάθε κατηγορίας και ο χρόνος ενός βήματος εργασιών εκσκαφής και υποστήριξης. Με βάση αυτά τα στοιχεία έγινε η αρχική κοστολόγηση του έργου και υπολογίστηκε το κόστος και ο χρόνος κατασκευής για κάθε κατηγορίας εκσκαφής.

Για την τελική κοστολόγηση του έργου απαιτήθηκε η συλλογή και η καταγραφή των παρακάτω δεδομένων κατά τη διάρκεια της κατασκευής:

- Ποσότητες των υλικών εκσκαφής (Βραχώμαζας, εδαφικό υλικό) που καταγράφονται μέσω τοπογραφικής αποτύπωσης.
- Ποσότητες Υλικών που τοποθετήθηκαν για την προσωρινή υποστήριξη της Σήραγγας (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα , χαλύβδινα πλαίσια , ηλώσεις βράχου, εκρηκτικές ύλες , μεταλλικές ίνες).

Διατρητικός εξοπλισμός (Διατρητικό μηχάνημα τύπου Jumbo , φορτωτής , φορτηγά αποκομιδής υλικών εκσκαφής τύπου Dumper, πρέσα εκτοξευόμενου σκυροδέματος, πρέσσα ενεμάτωσης αγκυρίων) και κόστος ενοικίασης ή αγοράς αυτών.

Εργατικό προσωπικό που απασχολείται στην Σήραγγα. (Ωρες και ημέρες εργασίας κάθε ειδικότητας)

Χρόνοι εργασίας. Σε ένα καταγραφικό δελτίο εργασιών συμπληρώνεται ο χρόνος διάρκειας κάθε εργασίας. Ένας κύκλος εργασιών για ένα βήμα εκσκαφής παρουσιάζεται παρακάτω.

1. Διάτρηση μετώπου εκσκαφής για την τοποθέτηση των εκρηκτικών υλών.
2. Διάτρηση και η τοποθέτηση των αγκυρίων βράχου.
3. Απομάκρυνση των μηχανημάτων από το μέτωπο εκσκαφής για την εκτέλεση της ανατίναξης.
4. Χρόνος αερισμού της σήραγγας μετά την ανατίναξη
5. Φόρτωση και απομάκρυνση των υλικών εκσκαφής στο χώρο απόθεσης με την χρήση φορτωτή υπογείων και φορτηγών.
6. Απομάκρυνση επισφαλών τμημάτων βράχου από το μέτωπο εκσκαφής με εκσκαπτικό μηχάνημα.

7. Τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο ανυποστήρικτο τμήμα της εκσκαφής. Όταν η κατηγορία εκσκαφής περιέχει και χαλύβδινα πλαίσια, μετά την απομάκρυνση των επισφαλών τμημάτων βράχου τοποθετείται μια στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm και εν συνεχεία γίνεται η τοποθέτηση του χαλύβδινου πλαισίου και επαναλαμβάνεται η ρίψη εκτοξευόμενου σκυροδέματος, για να ολοκληρωθεί η υποστήριξη με την τοποθέτηση των ηλώσεων βράχου (αγκύρια).

9 .Καθαρισμός του δαπέδου εκσκαφής για την έναρξη του κύκλου των εργασιών.

Όλες οι παραπάνω εργασίες καταγράφονται στο χρόνο που υλοποιήθηκαν και οι ποσότητες που καταναλώθηκαν για κάθε κατηγορία εκσκαφής καθώς διαφέρουν από κατηγορία σε κατηγορία τόσο στα υλικά που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη όσο και για τους χρόνους εκτέλεσης των εργασιών.

Έχοντας τα υλικά τους χρόνους και το κόστος κάθε εργαζόμενου σύμφωνα με την ειδικότητά του μπορεί να κοστολογηθεί η κάθε κατηγορία για το μήκος της σήραγγας σε μέτρα που εφαρμόστηκε. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζουμε το άμεσο κόστος που αφορά την εκσκαφή της σήραγγας .Το έμμεσο κόστος δεν υπολογίζεται στην πτυχιακή εργασία.

Για τον υπολογισμό του κόστους του έργου έγινε κατάτμησή του στις εργασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω WBS (Work Breakdown Structure). Η αναλυτική δομή εργασιών είναι μια διαγραμματική ανάλυση που αντικατοπτρίζεται σε ένα ιεραρχικό σχεδιάγραμμα (top-down). Αναλύει το πεδίο εφαρμογής σε διακριτά τμήματα έτσι ώστε να γίνονται κατανοητά από τις ομάδες του έργου. Παρέχει ένα δομημένο σχέδιο για το τι πρέπει να παραδοθεί. Κάθε επίπεδο της WBS παρέχει περαιτέρω ορισμό και λεπτομέρεια . Ο αναλυτικός προσδιορισμός των εργασιών είναι πολύ σημαντική εργασία. Κάθε στοιχείο της WBS μπορεί να είναι ένα προϊόν , μια εργασία, μια υπηρεσία ή ένας συνδυασμός των ανωτέρω. Η ελλιπής αποτύπωση των απαιτούμενων εργασιών, μπορεί να οδηγήσει και σε αποτυχία του έργου. Το WBS μπορεί να βασίζεται στις φάσεις των εργασιών ή στην χρονική αλληλουχία τους. Ένας εναλλακτικός τρόπος διαμόρφωσης της WBS βασίζεται στην αντίστροφη λογική (bottom-up). Πρώτα καταγράφονται όλες οι εργασίες /δραστηριότητες που πρέπει να πραγματοποιηθούν για την υλοποίηση του έργου και στη συνέχεια ομαδοποιούνται σύμφωνα με τα τελικά παραδοτέα. Το WBS θα πρέπει να είναι αρκετά λεπτομερές, ώστε οι δραστηριότητες που περιέχει να είναι δυνατό να ανατεθούν σε πρόσωπα, να εκτιμηθεί η διάρκειά τους και το κόστος τους και να προσδιοριστούν τυχόν συσχετισμοί και εξαρτήσεις μεταξύ τους Εικόνα 3.1.

Επίπεδο	Στοιχείο WBS	Περιγραφή	Σύνοψη έργου	Προγραμματ. στοιχείο	Στοιχ. αντισ. λογ.
1	36192	ΠΑΘΕ ΤΜΗΜΑ ΜΑΛΙΑΚΟΣ ΚΛΕΙΔΙ (Κ/Ξ ΟΛΥΜΠΙΑ)		X	X
2	36192-1	INDIRECT COST CENTERS FOR SUB JV			
3	36192-1-900701	EXPATRIATE STAFF		X	X
3	36192-1-900901	LOCAL STAFF		X	X
3	36192-1-901101	EXPATRIATE - ACCOMODATION		X	X
3	36192-1-901102	LOCAL -ACCOMODATION		X	X
3	36192-1-901401	SITE INSTALLATION PREPARATION		X	X
3	36192-1-901402	MAIN AND SITE OFFICES, CANTEEN, KITCHEN,		X	X
3	36192-1-901403	INSTALLATION OF STORE, WORKSHOPS, YARDS,		X	X
3	36192-1-901404	DEMOBILIZATION OF SITE INSTALLATION		X	X
3	36192-1-901405	LABORATORY SAMPLING EQUIPMENT		X	X
3	36192-1-901501	TEMPORARY ROAD-WATER-POWER SUPPLY etc.		X	X
3	36192-1-901502	WATER SUPPLY - CONSUMPTION & MAINTENANCE		X	X
3	36192-1-901503	POWER SUPPLY - CONSUMPTION (INCL. GENERA		X	X
3	36192-1-901504	SURVEY OFFICE - RUNNING COST		X	X
3	36192-1-901505	CANTEEN, FIRE OFFICE RUNNING COST		X	X
3	36192-1-901506	WORKSHOP RUNNING COST		X	X
3	36192-1-901507	SECURITY		X	X
3	36192-1-901508	RENTAL OF LAND		X	X
3	36192-1-901509	RUNNING COST OF WASTE WATER, DISPOSAL, R		X	X
3	36192-1-901601	OFFICE EQUIPMENT-OFFICES RUNNING COSTetc		X	X
3	36192-1-901602	OFFICES RUNNING COST -INTERNET, LOCAL AN		X	X
3	36192-1-901603	SOCIAL ACTIVITIES -REPRESENTATION, ADVER		X	X
3	36192-1-901607	SELLING & SERVICES TO THIRD PARTIES		X	X
3	36192-1-901608	INSURANCE CLAIMS		X	X
3	36192-1-901701	SERVICES TO LABOUR		X	X
3	36192-1-901801	GEOTECHNICAL/ARCHAEOLOGICAL./ENVIRONMENT		X	X
3	36192-1-901901	SERVICES TO SITE		X	X
3	36192-1-902001	DESIGN		X	X
3	36192-1-902101	HANDING OVER AND MAINTENANCE		X	X
3	36192-1-902301	WORKSHOP RUNNING COST		X	X
3	36192-1-902701	ESCALATION & MARKET RISK		X	X
3	36192-1-902801	RISK		X	X
3	36192-1-903101	TAXES		X	X
3	36192-1-903201	VARIOUS FEE		X	X

Εικόνα 3.1 Ομαδοποίηση εργασιών στο WBS

Για την επεξεργασία των παραπάνω στοιχείων χρησιμοποιήθηκε το Microsoft Excel.

Από την καταγραφή και επεξεργασία των στοιχείων που αναφέρθηκαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής προέκυψε το τελικό κόστος της Σήραγγας. Στην εργασία αυτή έγινε η σύγκριση του τελικού κόστους με το αρχικό κόστος, που είχε εκτιμηθεί από την Εταιρεία, το οποίο απεικονίζεται σε πίνακες και διαγράμματα.

Με το Microsoft Excel παρουσιάζεται ο αρχικός χρονικός προγραμματισμός του έργου, και ο πραγματικός χρόνος κατασκευής του.

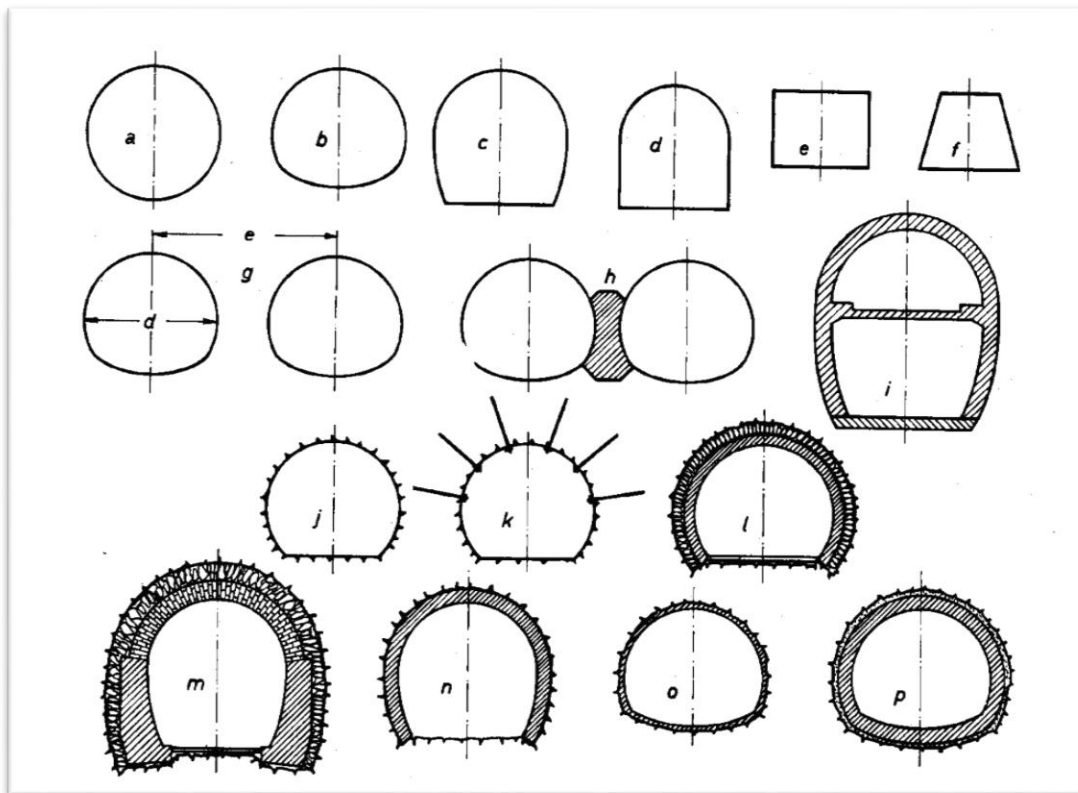
4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

4.1. Διάνοιξη Σηράγγων

Στη σύγχρονη εποχή οι απαιτήσεις για υποδομές αυξάνονται με την αύξηση του πληθυσμού, την αύξηση των μέσων μεταφοράς. Οι σήραγγες αποτελούν ένα είδος υποδομών που αξιοποιούν τους υπόγειους χώρους συμβάλλοντας είτε στο κυκλοφοριακό πρόβλημα μιας μεγαλούπολης είτε στην μείωση της απόστασης ενός οδικού ή σιδηροδρομικού δικτύου.

Η εκσκαφή τους είναι οριζόντια ή με κλίση και είναι ανοικτές στις θέσεις των εισόδων (Portals). Όταν η εκσκαφή είναι κατακόρυφη ή με κλίση ονομάζεται φρεάτιο (Shaft). (Γ. Κούκης & Ν. Σαμπατακάκης 2007)

Υπάρχουν διάφορα σχήματα διατομής και τύποι κατασκευής σηράγγων Εικόνα 4.1.



Εικόνα 4.1 α-φ: διατομές, γ, h, i: διπλές σήραγγες, j-p: τρόποι στήριξης (Παπαλιάγκας 2021)

Η διάνοιξη των σηράγγων γίνεται με διάφορους τρόπους οι οποίοι αναφέρονται παρακάτω:

1. Διάνοιξη με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής TBM (Tunnel Boring Machines) καθώς κατά τη μέθοδο αυτή η κοπτική κεφαλή του μηχανήματος ασκεί πίεση επί του μετώπου της εκσκαφής.

2. Διάνοιξη σηράγγων με τη μέθοδο NATM χωρίς την εφαρμογή πίεσης με μηχανικά μέσα και υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και αγκύρια βράχου.

4.1.1 Διάνοιξη με TBM

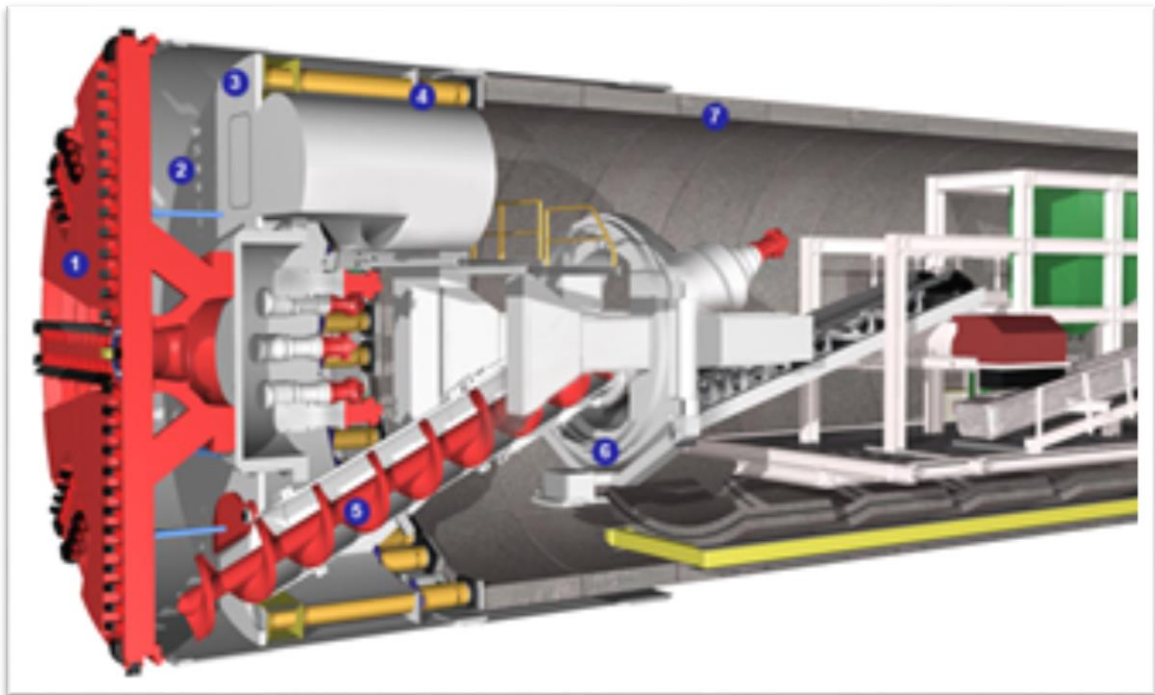
Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για τη διάνοιξη σηράγγων είναι μηχανήματα ολομέτωπης κοπής που διανοίγουν ολόκληρο το εύρος του μετώπου εκσκαφής και χρησιμοποιούνται για κυκλικής διατομής σήραγγες.

Το μηχάνημα ολομέτωπης κοπής αποτελείται από κυκλική κοπτική κεφαλή περιστρεφόμενη, ενσωματωμένη με δίσκους κοπής και κοπίδια των οποίων ο βαθμός σκληρότητας και το σχήμα τους εξαρτώνται από το πέτρωμα που προβλέπεται να εκσκαφτεί Εικόνα 4.2.

Η κοπτική κεφαλή προωθείται από ένα σύστημα μετάδοσης που την κινεί περιστροφικά. Η αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής εκτελείται από μεταφορικές ταινίες που τα οδηγούν σε χώρο απόθεσης. Η συγκράτηση των καταπτώσεων κατά την εκσκαφή επιτυγχάνεται με την ασπίδα που είναι ένας μεταλλικός σωλήνας που περιβάλλει το TBM.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι TBM ολομέτωπης εκσκαφής, η επιλογή του τύπου εξαρτάται από την ποιότητα της Βραχώμαζας:

- TBM ανοικτού τύπου κατάλληλο για καλής ποιότητας βραχώμαζες
- TBM με διπλή ή απλή ασπίδα για μέτριες και πτωχής ποιότητας βραχώμαζες
- TBM με ασπίδα εξισορρόπησης της πίεσης εδάφους (Earth pressure balance) για αργιλοαμμώδη υλικά.
- TBM κλειστού τύπου για αμμώδη χαλικώδη εδάφη.



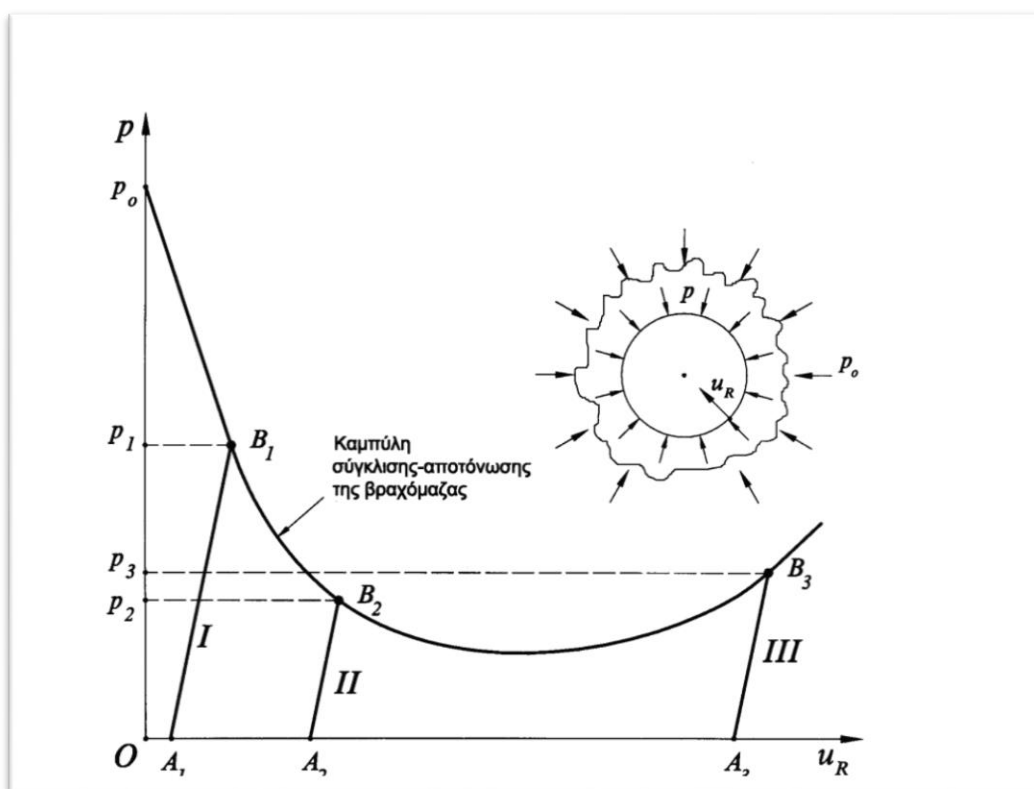
Εικόνα 4.2 EPB TBM 1.κοπτική κεφαλή 2.θάλαμος εκσκαφής 3.διάφραγμα 4.κύλινδροι ώθησης 5.κοχλιωτός μεταφορέας 6.μεταφορική ταινία 7.δακτύλιοι από μπετό (ΑΚΤΩΡ ΑΤΕ,2019)

4.1.2. Διάνοιξη με τη μέθοδο NATM

Η Νέα Αυστριακή Μέθοδος Διάνοιξης Σηράγγων (New Austrian Tunneling Method) εμπεριέχει διάφορες τεχνικές διάνοιξης και υποστήριξης σηράγγων οι οποίες εφαρμόστηκαν στη διάνοιξη σηράγγων τόσο στις Αυστριακές Άλπεις πριν τη δεκαετία του 1960, όσο και σε άλλες περιοχές του κόσμου. Η ονομασία δόθηκε από Αυστριακούς Μηχανικούς Rabcewicz, Mueller, Brunner και Pacher. Η διάνοιξη της διατομής της σήραγγας με τη μέθοδο NATM γίνεται σε μία ή περισσότερες φάσεις και για την άμεση υποστήριξη του τοιχώματος εφαρμόζουμε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα απλό, ινοπλισμένο με μεταλλικές ή πλαστικές ίνες, σπλισμένο με χαλύβδινο πλέγμα ή χαλύβδινες ράβδους ή μεταλλικά πλαίσια τύπου HEB. Ολοκληρώνουμε την υποστήριξη με αγκύρια, με διαμέτρους και μήκη που προκύπτουν από τις εκάστοτε γεωτεχνικές συνθήκες που συναντήθηκαν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας. Την άμεση υποστήριξη ακολουθεί η κατασκευή της Τελικής Επένδυσης της σήραγγας η οποία θεωρείται ως φέρον στοιχείο.

Η διάνοιξη της σήραγγας και η κατασκευή της άμεσης υποστήριξης γίνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ενεργοποιηθεί η αντοχή της περιβάλλουσας βραχώμαζας (μέσω της ελεγχόμενης σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας) σε ικανό βαθμό ώστε να μειωθούν αρκετά οι πιέσεις της άμεσης υποστήριξης αλλά όχι τόσο ώστε να προκληθεί αποδιοργάνωση

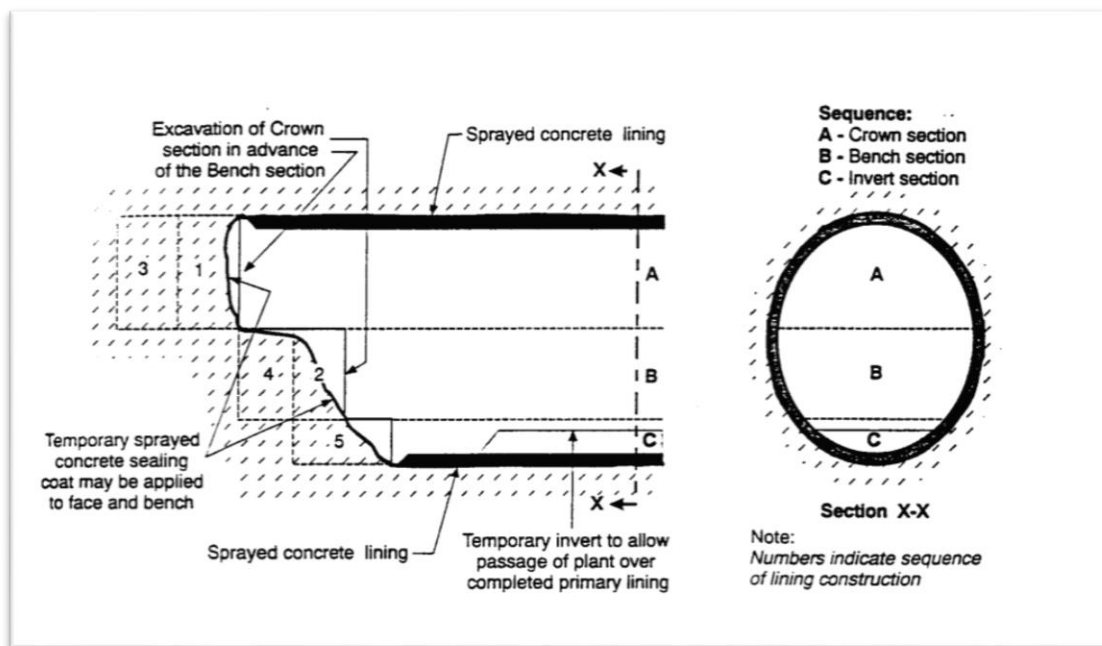
της βραχώμαζας με συνέπεια την αύξηση των πιέσεων στην άμεση υποστήριξη και τελικά κατάρρευση της διατομής της σήραγγας (Μ.Καββαδάς, 2004). Το μεγαλύτερο ποσοστό της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας συμβαίνει μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής και επιπλέον η σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας αυξάνει με γρήγορους ρυθμούς στην περιοχή του μετώπου εκσκαφής και προκύπτει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η αντοχή της βραχώμαζας έχει ενεργοποιηθεί επαρκώς πολύ κοντά στο μέτωπο της εκσκαφής και συνεπώς η άμεση υποστήριξη θα πρέπει να κατασκευαστεί κατά το δυνατόν πλησιέστερα στο μέτωπο εκσκαφής Εικόνα 4.3.



Εικόνα 4.3 Διάγραμμα Καμπύλης σύγκλισης-αποτόνωσης βραχώμαζας (Μ. Καββαδάς 2004)

Η παραπάνω αρχή της μεθόδου NATM αναλύεται ως εξής:

1. Η εκσκαφή της σήραγγας γίνεται σε περισσότερες από μια φάσεις. Η εκσκαφή της σήραγγας με την μέθοδο NATM γίνεται από πάνω προς τα κάτω. Η πάνω φάση εκσκαφής (top heading) κατασκευάζεται σε πρώτο χρόνο μέχρι ένα ορισμένο ύψος και ακολουθεί η δεύτερη φάση (Bench) και Τρίτη φάση (invert) αν χρειαστεί, ανάλογα με τις γεωτεχνικές συνθήκες της βραχώμαζας για την ολοκλήρωση της διατομής εκσκαφής, Εικόνα 4.4.



Εικόνα 4.4 Φάσεις Εκσκαφής, top heading-bench-invert, (Μ.Καθβαδάς 2004)

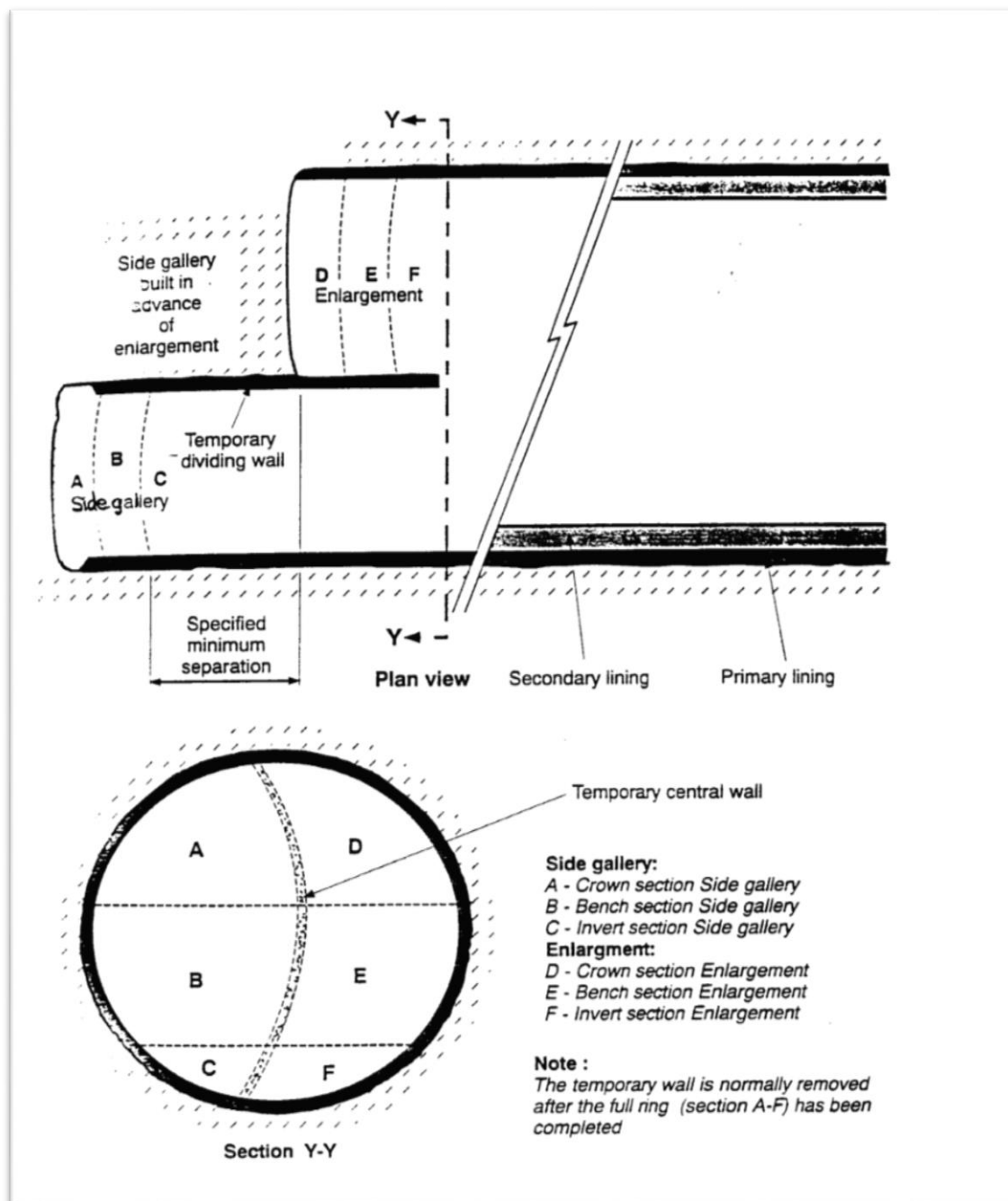
Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η επιφάνεια του μετώπου εκσκαφής κάθε φάσης και συνεπώς μειώνεται η συνολική σύγκλιση του τοιχώματος σε περίπτωση που γινόταν σε μια φάση και υπάρχει βελτίωση της ευστάθειας της διατομής αποφεύγοντας την αποδιοργάνωση της περιβάλλουσας βραχώμαζας.

2. Κατασκευή της άμεσης υποστήριξης σε μικρή απόσταση από το μέτωπο εκσκαφής ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και να αποφευχθεί η αποδιοργάνωση της δομής της Βραχώμαζας. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκσκαφή της σήραγγας σε μικρά βήματα της τάξης 1-2μ ανάλογα με την ποιότητα της βραχώμαζας. Το μήκος του βήματος εκσκαφής μειώνεται όσο πτωχότερη είναι η ποιότητα της βραχώμαζας.

3. Η άμεση υποστήριξη της κατασκευής θα πρέπει να αναλάβει φορτία όσο το δυνατόν ταχύτερα ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και συνεπώς η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι που αναλαμβάνει άμεσα τα φορτία επειδή βρίσκεται σε επαφή με την περιβάλλουσα βραχώμαζα και επιπλέον έχει μικρό χρόνο πήξης (λίγες ώρες). Η χρήση αγκυρίων βράχου οπλίζει την περιβάλλουσα βραχώμαζα και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της λειτουργίας τόξου στη βραχώμαζα. Η τάση της βραχώμαζας να παραμορφωθεί διατμητικά προκαλεί την ανάπτυξη εφελκυσμού στα αγκύρια και συνεπώς θλίψη στη βραχώμαζα. Η θλίψη της βραχώμαζας αυξάνει την αντοχή της και μειώνει την παραμορφωσιμότητα της λόγω εγκιβωτισμού

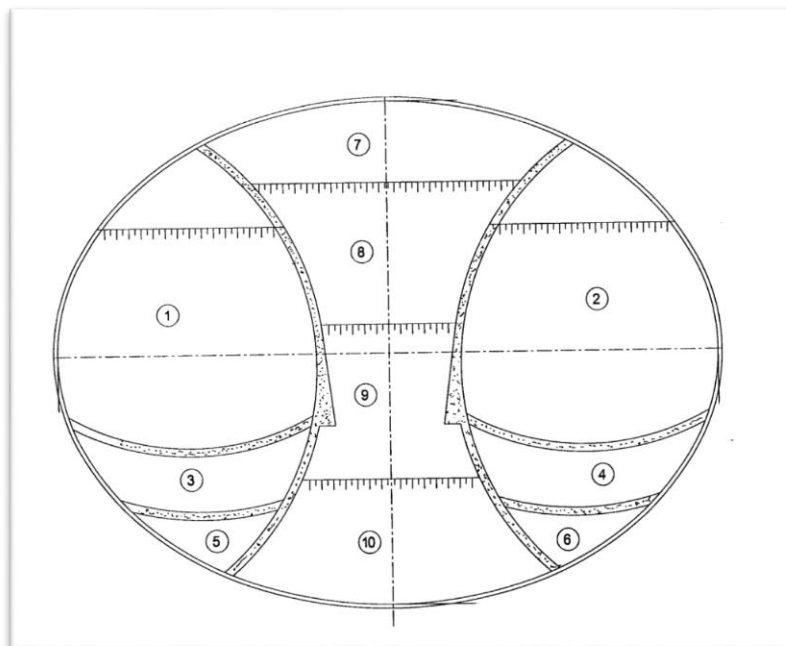
4. Ολοκλήρωση του δακτυλίου του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο σύνολο της διατομής(περιμετρικά και στο δάπεδο). Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας κλειστός δακτύλιος με πολύ μικρή παραμορφωσιμότητα ώστε να περιορίζονται η περαιτέρω συγκλίσεις του τοιχώματος. Η δημιουργία κλειστού δακτυλίου με την ταχεία σκυροδέτηση του δαπέδου συντελεί τα μέγιστα στη μείωση της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας και στην ευστάθεια της διατομής. Στην περίπτωση βραχόμαζας με καλά μηχανικά χαρακτηριστικά συχνά δεν είναι απαραίτητο να ολοκληρώνεται ο δακτύλιος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

5. Στην περίπτωση διάνοιξης σηράγγων με πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά ή σε εδαφικούς σχηματισμούς είναι συνήθης η αστάθεια του μετώπου εκσκαφής. Τα φαινόμενα αυτά προκαλούν αύξηση της σύγκλισης και αποδιοργάνωση της δομής της βραχόμαζας με πιθανή εξέλιξη την κατάρρευση της σήραγγας. Ένας άλλος τρόπος εκσκαφής που εφαρμόζεται σε τέτοιες συνθήκες είναι με πλευρικές στοές (side- wall drifts), Εικόνα 4.5. Σε εξαιρετικά δύσκολες συνθήκες κατασκευάζονται δύο πλευρικές στοές με ενδιάμεσο πυλώνα. Πρώτα γίνεται διάνοιξη των πλευρικών στοών και στο τέλος γίνεται η διάνοιξη του κεντρικού πυλώνα, Εικόνα 4.6.



Εικόνα 4.5 Διάνοξη σήραγγας σε έξι φάσεις (Μ.Καββαδάς 2004).

Σε τέτοιες περιπτώσεις λαμβάνονται μέτρα βελτίωσης της ευστάθειας του μετώπου, όπως αύξηση του αριθμού των φάσεων εκκαψής (ώστε να μειωθούν οι διαστάσεις του μετώπου), διαμόρφωση του μετώπου με κλίση ως προς την κατακόρυφο (αφήνοντας ένα εδαφικό τάκο στον πόδα του μετώπου), ενίσχυση του μετώπου με αγκύρια, ενίσχυση της οροφή με ράβδους (spiles) ή δοκούς προπορείας (forepoling), κατασκευή τιμμεντενέσεων, επένδυση του μετώπου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κτλ.



Εικόνα 4.6 : Διάνοιξη σήραγγας με δυο πλευρικές στοές και κεντρικό πυλώνα, (Μ.Καββαδάς 2004)

6. Η πυκνότητα των μέτρων άμεσης υποστήριξης προσαρμόζεται στις επι τόπου συνθήκες. Η μέθοδος NATM βασίζεται σε μετρήσεις συμπεριφοράς του τμήματος της σήραγγας που έχει ήδη διανοιχθεί (όπως μετρήσεις της σύγκλισης του τοιχώματος, της πίεσης της βραχώμαζας στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, της θλιπτικής τάσης στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κτλ. Με τον τρόπο αυτό, οποιαδήποτε απόκλιση από την προηγούμενη συμπεριφορά θα πρέπει να αξιολογείται και να ερμηνεύεται, στη συνέχεια δε να αντιμετωπίζεται με κατάλληλη προσαρμογή των μέτρων άμεσης υποστήριξης (Μ.Καββαδάς 2004).

Ο κύκλος εργασιών που απαιτείται κατά τη φάση διάνοιξης είναι:

1. Διαμόρφωση των μετώπων στα στόμια (είσοδος-έξοδος) με την τοποθέτηση προπλαισίων καθώς και μέτρων προστασίας από καταπτώσεις βραχωδών τεμαχίων στα πρανή των στομιών (φράκτες συγκράτησης, πλέγματα).

2. Τοπογραφική χάραξη της γραμμής ελάχιστης εκσκαφής.

3. Εξόρυξη βράχου με μηχανική εκσκαφή ή χρήση εκρηκτικών. Η μέθοδος εξόρυξης αν γίνει με τη χρήση μηχανικών μέσων ή εκρηκτικών, καθορίζεται ανάλογα από τις απαιτήσεις και την ποιότητα της βραχώμαζας και του γεωυλικού που συναντάται καθώς επίσης και τον περιβάλλοντα χώρο της κατασκευής (π.χ. η χρήση εκρηκτικών σε αστικές περιοχές είναι απαγορευτική). Η χρήση εκρηκτικών απαιτεί αρχικά διάτρηση οπών, η διάταξη και τα

γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οποίων (μήκος, διάμετρος) εξαρτώνται από την ποιότητα της βραχώμαζας και τις γενικότερες γεωλογικές συνθήκες. Με σκοπό τόσο την μείωση της διατάραξης του πετρώματος και της υπερβάλλουσας εκσκαφής (υπερεκσκαφή), όσο και των παραγόμενων δονήσεων, χρησιμοποιούνται μέθοδοι ελεγχόμενης διάτρησης, δηλαδή καψύλλια μειωμένης ευαισθησίας και γομώσεις με ειδικές εκρηκτικές ύλες. Τα βήματα εκσκαφής εξαρτώνται από την ποιότητα της βραχώμαζας και είναι αρκετά μικρά (της τάξης των 1μ-3μ) ώστε η διαταραχή του πετρώματος να είναι μικρότερη.

Η προχώρηση λοιπόν της εκσκαφής γίνεται με βήματα συγκεκριμένου μήκους, όπου στο καθένα γίνονται οι παρακάτω εργασίες:

- Απομάκρυνση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα) αμέσως μετά την εξόρυξη. Η εργασία αφαίρεσης επικρεμάμενων βραχωδών τεμαχίων από την οροφή, τις παρειές και το μέτωπο εκσκαφής αποτελεί ιδιαίτερα σοβαρή εργασία, καθόσον υπάρχει ο κίνδυνος καταπτώσεων και πραγματοποιείται με ειδικό μηχανολογικό εξοπλισμό (Εκσκαφέας).
- Αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής με φορτωτή υπογείων (Torro 010) και φορτηγά (dumper).
- Γεωλογική χαρτογράφηση-αποτύπωση του μετώπου και των τοιχωμάτων του βήματος εκσκαφής και ταξινόμηση της βραχώμαζας. Εκτελείται κατά τη διάρκεια των εργασιών του ξεσκαρώματος και πριν την τοποθέτηση της πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Χαρτογραφούνται οι γεωλογικοί σχηματισμοί, περιγράφονται τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά τους, εντοπίζονται οι δυσμενείς τεχνικογεωλογικές συνθήκες και στη συνέχεια γίνεται ταξινόμηση της βραχώμαζας. Η γεωλογική αποτύπωση και η ταξινόμηση της βραχώμαζας κάθε μετώπου εκσκαφής αποτελούν εργασίες πολύ σημαντικές καθώς η κατηγοριοποίηση της βραχώμαζας συνιστά το χαρακτηριστικό στοιχείο για τον τύπο και το είδος της υποστήριξης (προσωρινής και μόνιμης) της εκσκαφής που θα εφαρμοστεί. Για το λόγο αυτό από τη φάση της μελέτης του υπόγειου τεχνικού έργου καθορίζονται συγκεκριμένες κατηγορίες ποιότητας βραχώμαζας, σύμφωνα με τα γνωστά συστήματα ταξινόμησης (RMR, Q, GSI κ.τ.λ.) με τα αντίστοιχα μέτρα υποστήριξης, οπότε η βαθμονόμηση κάθε μετώπου εκσκαφής αναφέρεται σε συγκεκριμένο τρόπο υποστήριξης (Γ. Κούκης, Ν. Σαμπατακάκης 2007).

Οι εργασίες διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης ενός υπόγειου έργου πρέπει να προσαρμόζονται κατάλληλα, με βάση τη γεωμετρία του έργου και τις γεωλογικές συνθήκες,

έτσι ώστε η κατασκευή να πραγματοποιείται με τη βέλτιστη ασφάλεια και ταχύτητα. Ο κατάλληλος συντονισμός των εργασιών διάνοιξη και άμεσης υποστήριξης συμβάλει καθοριστικά στην

- Πρόληψη εκτεταμένων παραμορφώσεων της βραχώμαζας.
- Εξοικονόμηση του απαιτούμενου χρόνου για την εφαρμογή των ενδεδειγμένων κατά περίπτωση άμεσων μέτρων υποστήριξης.
- Ελάχιστη πρόκληση διαταράξεων στον περιβάλλοντα χώρο της κατασκευής.

4.2. Σχεδιασμός Σήραγγας

Οι σήραγγες ανάλογα το υλικό από το οποίο διέρχονται, μαλακό –σκληρό έδαφος , αδύναμο -σκληρό βράχο, απαιτούν πολύ διαφορετικές μεθόδους εκσκαφής και υποστήριξης. Όλες οι εργασίες διάνοιξης μιας σήραγγας περιλαμβάνουν ορισμένες βασικές διαδικασίες: έρευνα, εκσκαφή και μεταφορά υλικών , υποστήριξη του εδάφους και περιβαλλοντικό έλεγχο. Οι σήραγγες για εξόρυξη και για έργα πολιτικού μηχανικού διαφέρουν ως προς το σχεδιασμό τους λόγω διαφορετικού σκοπών τους. Οι σήραγγες εξόρυξης σχεδιάζονται μόνο για προσωρινή χρήση με το ελάχιστο κόστος σε αντίθεση με τις σήραγγες πολιτικού μηχανικού ιδιωτικών ή δημοσίων έργων που σχεδιάζονται για μόνιμη χρήση με μεγαλύτερο κόστος και ασφάλεια .

Σε όλες τις σήραγγες οι γεωλογικές συνθήκες διαδραματίζουν τον κυρίαρχο ρόλο στην αποδοχή των μεθόδων κατασκευής και στο σχήμα που θα δοθεί για την διάνοιξή της. Πολλές σήραγγες κατά τη διάρκεια της εκσκαφής συνάντησαν απρόβλεπτες γεωλογικές συνθήκες που προκάλεσαν μεγάλες διακοπές, επιπρόσθετη γεωτεχνική έρευνα, νέο σχεδιασμό και αλλαγές στην μέθοδο κατασκευής με αποτέλεσμα μεγάλες αυξήσεις στο χρόνο και στο κόστος κατασκευής.

Ο σχεδιασμός της διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας θα πρέπει να είναι ευπροσάρμοστος στις επι τόπου συνθήκες. Για το σκοπό αυτό ο σχεδιασμός γίνεται ως εξής (Μ. Καββαδάς 2004).

1. Με βάση τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών η βραχώμαζα που αναμένεται να συναντηθεί κατά μήκος της σήραγγας κατατάσσεται σε (3-7) κατηγορίες (με βάση τα μηχανικά χαρακτηριστικά) .Οι κατηγορίες αυτές βασίζονται στα γνωστά συστήματα κατατάξεως (RMR, GSI, Q).

2. Μορφώνονται 3-7 τυπικές διατομές διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας οι οποίες διαφέρουν ως προς το είδος των μέτρων υποστήριξης (ενίσχυση με χαλύβδινα πλαίσια) και την πυκνότητά τους π.χ. διάσταση του κανάβου των αγκυρίων ή πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος). Οι τυπικές διατομές μπορεί να διαφέρουν και ως προς τον αριθμό των φάσεων εκσκαφής. Κατά τη μόρφωση των διατομών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι θα πρέπει να είναι κατασκευαστικά δυνατή η αλλαγή της διατομής της σήραγγας από τον ένα τύπο στον άλλο με σχετική ευχέρεια.
3. Διαπιστώνεται ένα σύνολο κριτηρίων με βάση τα οποία θα είναι δυνατή η επιλογή της εφαρμοστέας τυπικής διατομής κατά την κατασκευή της σήραγγας. Τα κριτήρια αυτά βασίζονται σε ένα συνδυασμό παραγόντων όπως η ποιότητα της βραχώμαζας, το πάχος των υπερκείμενων γαιών, ο προσανατολισμός των ασυνεχειών της βραχώμαζας, τα αποτελέσματα των μετρήσεων της συμπεριφοράς του έργου σε προηγούμενες διατομές ή σε προηγούμενες φάσεις κατασκευής σε συγκεκριμένη θέση.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η άμεση υποστήριξη της σήραγγας ακολουθείτε από την κατασκευή της τελικής επένδυσης που παραλαμβάνει μέρος ή το σύνολο των φορτίων της περιβάλλουσας βραχώμαζας. Η τελική επένδυση συνήθως κατασκευάζεται μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης του συνόλου του μήκους της σήραγγας αλλά οπωσδήποτε αφού η σήραγγα ισορροπήσει με την άμεση υποστήριξη, δηλαδή αφού πρακτικώς μηδενισθούν οι ρυθμοί εξέλιξης των μετακινήσεων, εντάσεων. Η τελική επένδυση σχεδιάζεται για να αναλάβει τα εξής φορτία:

- Το φορτίο που αναλαμβάνεται από τα αγκύρια στην περίπτωση προσωρινών αγκυρίων ή στην περίπτωση βραχώμαζας με έντονη ερπυστική συμπεριφορά.
- Μέρος του φορτίου που αναλαμβάνεται από το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ώστε το απομένον φορτίο του εκτοξευόμενου σκυροδέματος να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ασφάλειας μόνιμου έργου.
- Τυχόν αυξημένα μακροχρόνια φορτία της βραχώμαζας λόγω ερπυσμού.
- Τυχόν υδατικές πιέσεις λόγω πλημμελούς αποστράγγισης ή απρόβλεπτης απόφραξης του συστήματος αποστράγγισης.
- Τυχόν φορτία από μελλοντικές κατασκευές που φορτίζουν τη σήραγγα.
- Τυχόν σεισμική επιφόρτιση της σήραγγας.

4.2.1. Γεωλογικό Προσομοίωμα

Η σύνταξη του γεωλογικού προσομοιώματος είναι το βασικό βήμα για το σχεδιασμό της σήραγγας.

- Καθορίζονται οι γεωλογικές συνθήκες που θα αντιμετωπιστούν η ποιότητα των γεωλογικών σχηματισμών και η έκταση της εμφάνισής τους στο χώρο.
- Γίνεται προσδιορισμός του είδους της θέσης και το μέγεθος των δυνητικών κινδύνων.

Ένας από τους βασικούς παράγοντες για τη δημιουργία ενός σωστού γεωλογικού προσομοιώματος καθώς και για την εξαγωγή των απαραίτητων τεχνικογεωλογικών και γεωτεχνικών πληροφοριών είναι το γεωερευνητικό πρόγραμμα:

Το πρόγραμμα διαιρείται σε διάφορες φάσεις:

- 1.Εξέταση της ευρύτερης γεωλογικής κατάστασης.
- 2.Επιφανειακή έρευνα.
- 3.Υπεδάφεια έρευνα (Γεωτρήσεις , γεωφυσικές και εργαστηριακές επι τόπου δοκιμές).(Γ. Κούκης, Ν. Σαμπατακάκης 2007).

4.2.2. Γεωλογική Έρευνα

Η γεωλογική έρευνα είναι απαραίτητη για να εξεταστούν με τον καλύτερο τρόπο οι συνθήκες του εδάφους , η υδροφορία των υπόγειων στρωμάτων στην θέση που επιλέχθηκε να κατασκευαστεί το έργο. Σε ορεινές περιοχές με μεγάλο υψόμετρο λόγω του μεγάλου βάθους γεωτρήσεων που απαιτούνται, περιορίζεται ο αριθμός τους και δεν μπορούν να διακριθούν τεκτονικές ζώνες με πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά.

Αντίθετα σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο γίνονται περισσότερες γεωτρήσεις και οι πληροφορίες που λαμβάνονται υπόψη για τον σχεδιασμό είναι αρκετά περισσότερες. Παρόλα αυτά η αρχική εκτίμηση των γεωλογικών συνθηκών που θα συναντήσει η σήραγγα, των παραμέτρων αντοχής της βραχώμαζας και των αναμενόμενων συγκλίσεων είναι πιθανόν να μην είναι ακριβής.

4.2.3. Μέθοδοι υπολογισμού σηράγγων

Στο σχεδιασμό ενός υπόγειου τεχνικού έργου ελέγχεται η ευστάθεια της διατομής και προσδιορίζονται τα μέτρα υποστήριξης. Καθορίζεται το εύρος των αναμενόμενων συγκλίσεων μέσα σε αποδεκτά όρια , ώστε να αποφευχθεί η υπερβολική χαλάρωση της περιβάλλουσας

βραχώμαζας και να ενεργοποιηθεί η αντοχή της. Στη μελέτη ενός έργου καθορίζεται η μέθοδος εκσκαφής και τα μέτρα άμεσης υποστήριξης.

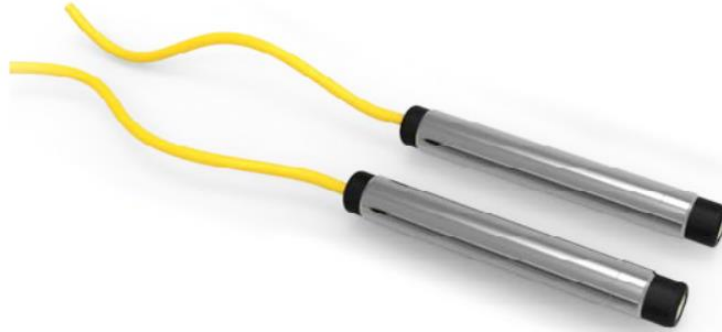
Η ανάλυση της συμπεριφοράς ενός υπόγειου τεχνικού έργου γίνεται με πεπερασμένα στοιχεία , με τη χρήση ειδικών προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή (sofistik, plaxis , phase κ.α.). Αποτέλεσμα των αναλύσεων είναι ο υπολογισμός των παραμορφώσεων των τοιχωμάτων της σήραγγας για συγκεκριμένα στάδια διάνοιξης ,τα μέτρα υποστήριξης και η έκταση της πλαστικής ζώνης που περιβάλλει την σήραγγα. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει αξιόπιστη διαστασιολόγηση της μεθοδολογίας διάνοιξης και υποστήριξης της σήραγγας (Γ. Κούκης ,Ν. Σαμπατακάκης 2007).

4.2.4. Ενόργανη παρακολούθηση

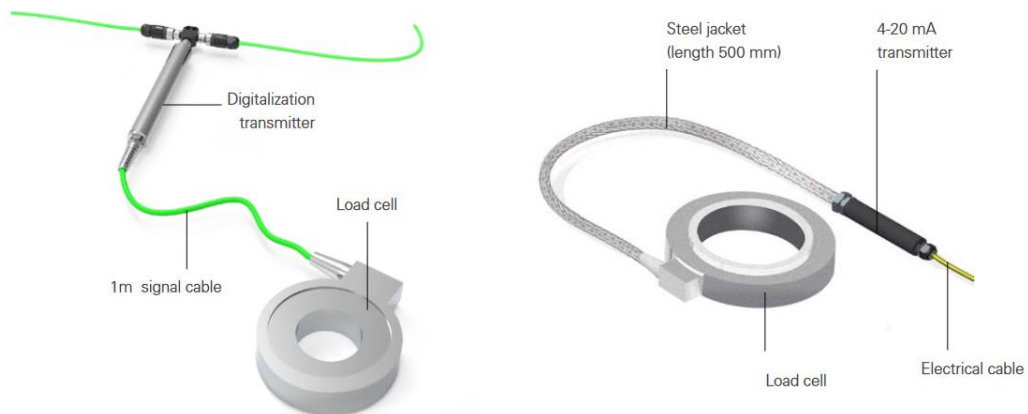
Στο στάδιο εκσκαφής μιας σήραγγας γίνεται συνεχή παρακολούθηση της συμπεριφοράς της βραχώμαζας και προσαρμογή των μέτρων υποστήριξης και της μεθόδου εκσκαφής σύμφωνα με τις γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες που συναντώνται, (βήμα εκσκαφής , φάσεις εκσκαφής , πάχος εκτοξευόμενου σκυροδέματος , τοποθέτηση χαλύβδινων πλαισίων κ.τ.λ.). Μετά την εφαρμογή των μέτρων υποστήριξης σε πολλές περιπτώσεις διάνοιξης σηράγγων παρατηρήθηκαν αστοχίες στο προσωρινό κέλυφος , με αποτέλεσμα την παύση των εργασιών και την αλλαγή του σχεδιασμού. Κρίνεται πάντα αναγκαία η τοποθέτηση γεωτεχνικών οργάνων μέτρησης των παραμορφώσεων της βραχώμαζας όπως είναι τα εξής:

- Ηλεκτρικά Πιεζόμετρα (electrical pressure transducer) και σταθμήμετρα (water levels indicators) που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του υδροφόρου ορίζοντα και της πίεσης των πόρων, Εικόνα 4.7)
- Υδραυλικές κυψέλες πίεσης (Hydraulic pressure cells) που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της πίεσης την οποία ασκούν τα εδάφη στην επένδυση υπόγειων εκσκαφών. Με τις κυψέλες φορτίου μετράτε το φορτίο αγκυρώσεων (προενταταμένων και μη) και δοκών αντιστήριξης μεταλλικών ή από σκυρόδεμα. Χρησιμοποιούνται οι Κυψέλες φορτίου αγκυρώσεων Εικόνα 4.8 υδραυλικές ή ηλεκτρικές, οι κυψέλες φορτίου πλαισίων Εικόνα 4.9.
- Μηκυσιόμετρα διατρήματος (Borehole rod extensometers) για τη μέτρηση της γραμμικής μετακίνησης στις σήραγγες, ηλεκτρικά ρωγμόμετρα (electrical and vibrating wire crackmeters), μηχανικά ρωγμόμετρα (mechanical crackmeters)για τη μέτρηση μετακίνησης ρωγμών ή αρμών σε σκυρόδεμα ή πετρώματα Εικόνα 4.10.

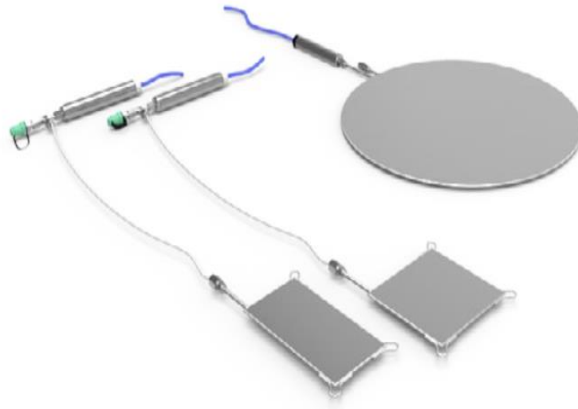
- Οπτικοί τοπογραφικοί στόχοι Εικόνα 4.11.



Εικόνα 4.7 Ηλεκτρικά Πιεζόμετρα(www.euotech-ltd.gr)



Εικόνα 4.8 Ηλεκτρικές κυψέλες φορτίου αγκυρώσεων(www.euotech-ltd.gr)



Εικόνα 4.9 Υδραυλικές κυψέλες πίεσης(www.eurotech-ltd.gr)



Εικόνα 4.10 Μηκυσιόμετρα διατρήματος(www.eurotech-ltd.gr)



Εικόνα 4.11 Οπτικοί Τοπογραφικοί στόχοι(www.eurotech-ltd.gr)

4.3. Κοστολόγηση Τεχνικών Έργων

4.3.1. Γενικά

Η έννοια της λέξης κοστολόγηση σημαίνει τον υπολογισμό του κόστους ενός έργου είτε πριν , είτε κατά τη διάρκεια, είτε μετά την ολοκλήρωσή του. Κάθε ανάδοχος εταιρεία κοστολογεί όλες τις επιμέρους εργασίες για να εκτιμήσει τον συνολικό προϋπολογισμό κόστους του έργου για να διαμορφώσει την προσφορά του. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται προκοστολόγηση. Η προκοστολόγηση (προεκτίμηση κόστους διαφέρει από εταιρεία σε εταιρεία και εξαρτάται από τη παραγωγική ικανότητα της εταιρείας, η οποία διαμορφώνει την προσφορά προς τον ΚτΕ και το τελικό κόστος του έργου.

Στις μεγάλες κατασκευαστικές εταιρείες υπάρχει ειδικό τμήμα προκοστολόγησης το οποίο ασχολείται με τα εξής θέματα.

1. Την κωδικοποίηση των εργασιών των ημερομισθίων και των υλικών , ώστε να υπάρχει η απαραίτητη βάση δεδομένων για ταχεία και ακριβή προκοστολόγηση.
2. Την οργάνωση της εταιρείας προκοστολόγησης.
3. Την αλλαγή των απαραίτητων στοιχείων κόστους και τον έλεγχο των μεταβολών στις τιμές των υλικών,(Φ. Αντωνίου 2021).

Κάθε κατασκευαστική εταιρεία έχει τους εξής στόχους:

- Πρίν την ανάληψη ενός έργου θα πρέπει να προσδιορίσει το κόστος ανά μονάδα παραγωγής με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση για να μπορεί να δώσει προσφορά υλοποιήσιμη σε περίπτωση που του ανατεθεί.
- Στη φάση της κατασκευής θα πρέπει να διατηρηθούν οι δαπάνες εντός των πραγματοποιημένων ορίων και η ελαχιστοποίηση του κόστους καθώς και η καταγραφή των πραγματοποιούμενων εξόδων ώστε να γίνει η εκτίμηση του τελικού κόστους του έργου.

Με την ολοκλήρωση της κατασκευής και την παράδοση του έργου υπολογίζεται το πραγματικό κόστος καθώς υπάρχουν όλα τα οικονομικά στοιχεία (τιμολόγια υλικών, υπεργολάβων, μισθοδοσία προσωπικού, κόστος μηχανημάτων, ασφάλειες έργου, ανατιμήσεις υλικών).

Ο ακριβής υπολογισμός του κόστους κατασκευής ενός έργου αποτελεί τη βάση του οικονομικού σχεδιασμού του και η ελαχιστοποίησή του αποτελεί τον κύριο στόχο κάθε κατασκευαστικής εταιρείας. Η κοστολόγηση είναι μια διαδικασία που αφορά την, συλλογή την ταξινόμηση, την καταγραφή, την ανάλυση, την ανακεφαλαίωση, την κατανομή και την αξιολόγηση των διαφόρων τρόπων δράσης και τον έλεγχο του κόστους. Στόχος είναι να συμβουλευεί την διοίκηση σχετικά με την πιο ενδεδειγμένη πορεία δράσης με βάση το κόστος, την αποδοτικότητα και την ικανότητα. Η κοστολόγηση παρέχει αναλυτικές πληροφορίες για το κόστος διαχείρισης και τον προγραμματισμό των μελλοντικών κινήσεων.

Το κόστος κάθε δραστηριότητας είναι το σύνολο της χρηματικής αξίας των υλικών, της εργασίας προσωπικού και των μηχανημάτων του κεφαλαίου, των υπηρεσιών και των λοιπών επιβαρύνσεων που χρησιμοποιούνται στην εκτέλεση της δραστηριότητας (ασφάλεια έργου).

Το κόστος εκφράζεται σε ευρώ ανά μονάδα μέτρησης της εκτελούμενης εργασίας, (π.χ. ευρώ/μ², ευρώ/μ³, ευρώ/τεμ. Η παραγωγική ικανότητα του συνεργείου εκτέλεσης μιας εργασίας εκφράζεται σε ποσότητες έτοιμου προϊόντος ανά μονάδα του χρόνου (π.χ. μ³/ώρα).

Ο συνδυασμός της απόδοσης του συνεργείου με την αξία της αμοιβής του δίνει την τελική εργατική δαπάνη για την εκτέλεση της εργασίας. (Φανή Αντωνίου 2021)

4.3.2. Κοστολόγηση Σήραγγας

Η κατασκευή σήραγγας σε σύγκριση με άλλα τεχνικά έργα (π.χ. γέφυρες) είναι από πλευράς κόστους το πλέον κοστοβόρο και αξίζει ιδιαίτερης προσοχής τόσο κατά τη διενέργεια των ερευνών και της εκπόνησης μελετών όσο και κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Οι μελετητές σχεδιασμού ενός συγκοινωνιακού έργου δίνουν ιδιαίτερη βαρύτητα στην μελέτη σήραγγας λόγω της δυσκολίας στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς της βραχόμαζας κατά τη διάνοιξη της σήραγγας. Οι διαφορετικού τύπου εδαφικοί σχηματισμοί που συνθέτουν την βραχόμαζα ενός ορεινού όγκου καθιστούν δύσκολο τον προσδιορισμό του τρόπου διάνοιξης και υποστήριξης της σήραγγας που επηρεάζουν άμεσα το κόστος και την οικονομία όλου του έργου. Το πλήθος των συστημάτων υποστήριξης και η εφαρμογή τους κατά τη διάνοιξη των σηράγγων σε αντίστοιχο μήκος εφαρμογής συνθέτουν το κόστος διάνοιξης της σήραγγας.

Ο μελετητής βασίζεται στο πλήθος των γεωτρήσεων που προτείνονται να γίνουν σε συγκεκριμένα σημεία της Σήραγγας. Οι γεωτρήσεις γίνονται από την επιφάνεια του εδάφους κατακόρυφα, το βάθος των οποίων εξαρτάται από το ανάγλυφο της περιοχής. Για λόγους περιορισμού του κόστους οι κατακόρυφες γεωτρήσεις γίνονται σε πλήθος μία ανά 300-500μ εξαρτώμενες από το μήκος της σήραγγας και το ύψος των υπερκειμένων γαιών από την κλείδα της σήραγγας και τους αναμενόμενους γεωλογικούς σχηματισμούς (Γ. Σαμπατακάκης, Ν, Κούκης .2007).

Με την ολοκλήρωση του σχεδιασμού μιας σήραγγας στο στάδιο των μελετών (γεωλογικές ,γεωτεχνικές ,στατικές) ο κάθε υποψήφιος ανάδοχος προκοστολογεί την κάθε επιμέρους εργασία και εκτιμά τον συνολικό προϋπολογισμό κόστους του έργου για να διαμορφώσει την προσφορά του. Η προκοστολόγηση ποικίλει από εταιρεία σε εταιρεία και εξαρτάται από την παραγωγική ικανότητα της εταιρείας, η οποία διαμορφώνει την προσφορά προς τον ΚτΕ και το τελικό κόστος του έργου.

Γενικά το κόστος μιας σήραγγας είναι συνάρτηση του μήκους και τις διαστάσεις της σήραγγας, τις υπόγειες γεωλογικές συνθήκες, τις γεωτεχνικές παράμετροι της βραχόμαζας που συναντήθηκαν, η επιλογή της μεθόδου εκσκαφής και η προσωρινή και τελική υποστήριξη. Επιπλέον μη τεχνικοί παράγοντες όπως η εμπειρία και οι δεξιότητες του αναδόχου, οι συμβατικές υποχρεώσεις, το είδος της χρηματοδότησης και το κόστος χρηματοδότησης , η διαθεσιμότητα και το μέγεθος του εργοταξίου μπορεί να επηρεάσει το κόστος κατασκευής της σήραγγας.

Το κόστος των έργων πολιτικού μηχανικού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διάρκειά τους. Οι μερικές ή ολικές υπερβάσεις χρόνου έχουν κυρώσεις καθώς η εξοικονόμηση χρόνου θα μπορούσε να είναι πολύ σημαντική ακόμη και ανταποδοτική (Πετρουσάτου ,2021)

Κρίσιμα ζητήματα για την έγκαιρη παράδοση ενός υπόγειου έργου είναι:

1. Προσοχή στις αρχές σχεδιασμού
2. Έμπειρο προσωπικό

3. Έγκαιρη ανάπτυξη του εξοπλισμού κατασκευής
4. Συνεχής παρακολούθηση , καταγραφή κάθε απαραίτητης μέτρησης και ορόσημα σε θέματα ασφάλειας, παραγωγικότητας , ποιότητας εργασιών την πρόοδο και τις απαιτήσεις άλλων εμπλεκόμενων μερών και προμηθευτών. Οποιαδήποτε μικρή απόκλιση στην παραγωγή έχει ως αποτέλεσμα μεγάλες διακυμάνσεις στο κόστος κατασκευής λόγω του ωριαίου υψηλότερου κόστους εξοπλισμού κι εργασίας, έμμεσες δαπάνες , όπως γενικά έξοδα ,ασφάλειες μπορεί να επηρεάσει το κόστος κατασκευής. Το τυπικό εύρος του έμμεσου κόστους είναι 5-15% του άμεσου κόστους κατασκευής και μελέτης. Η διαχείριση ανέρχεται στο 5-10% του άμεσου κόστους (Πετρουτσάτου 2021).

Η κοστολόγηση βασίζεται στην εμπειρία κατασκευής έργων του παρελθόντος από όπου αντλούνται καταγεγραμμένα στοιχεία που αποτελούν τον οδηγό για την όσο το δυνατόν καλύτερη κοστολόγηση. Υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την κοστολόγηση και αυτοί είναι οι εξής:

- **Τοποθεσία του έργου κατασκευής.** Συνήθως οι οδικές και οι σιδηροδρομικές σήραγγες κατασκευάζονται εκτός αστικού ιστού σε ορεινές ή ημιορεινές περιοχές. Η σύνθεση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος που χρησιμοποιείται για την άμεση υποστήριξη αποτελείται κυρίως από αδρανή υλικά (άμμο , χαλίκι, ψηφίδα) , τσιμέντο και χημικά πρόσμικτα (ρευστοποιητής, επιταχυντής). Αν δεν είναι εφικτό τα προϊόντα της εκσκαφής της σήραγγας να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή εργοταξιακού σκυροδέματος τότε θα πρέπει να ερευνηθεί στην ευρύτερη περιοχή, είτε λατομείο για την αγορά αδρανών υλικών , είτε εργοστασιακό παρασκευαστήριο για την αγορά του σκυροδέματος. Η χιλιομετρική απόσταση είναι ο ρυθμιστής του κόστους σε αυτές τις περιπτώσεις.
- **Αποθεσιοθάλαμοι.** Τα προϊόντα εκσκαφής θα πρέπει να μεταφέρονται σε εγκεκριμένους περιβαλλοντικά αποθεσιοθαλάμους που θα πρέπει να είναι σε μικρή απόσταση από τα στόμια των σηράγγων. Η μεγάλη απόσταση απαιτεί μεγαλύτερο αριθμό μηχανολογικού εξοπλισμού μεταφοράς υλικών,(Φορτηγά, Dumper).
- **Μηχανολογικός εξοπλισμός.** Το πέτρωμα ,οι διαστάσεις της διατομής εκσκαφής όπως και η μέθοδος εκσκαφής αποτελούν τις προϋποθέσεις για την επιλογή του εκάστοτε εξοπλισμού. Σε μία σήραγγα με δύο κλάδους (μία σήραγγα ανά κατεύθυνση) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ίδιος εξοπλισμός με την προϋπόθεση

να μην συμπίπτουν οι εργασίες κατασκευής των δύο κλάδων. Ο τύπος και ο αριθμός των μηχανημάτων που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτώνται από τον τύπο της βραχύμαζας (Διατρητικό μηχάνημα ,εκσκαφέας) .Επίσης η προσβολή της σήραγγας από πολλά μέτωπα απαιτεί περισσότερο εξοπλισμό.

- **Εργατικό δυναμικό.** Το εργατικό δυναμικό που θα απασχοληθεί για την εκτέλεση ενός έργου τόσο το διοικητικό όσο και το εργατικό, θα πρέπει να καθοριστεί ο χρόνος εργασίας τους. Η επιλογή του χρόνου εργασίας του εργατικού προσωπικού όλο το 24ωρο διαιρούμενο σε τρεις οκτάωρες βάρδιες είναι ένας συχνός τρόπος που συναντάμε στη λειτουργία των εργοταξίων.
- **Η απόσταση του εργοταξίου από ΟΚΩ** (Οργανισμό Κοινής Ωφέλειας) αποτελεί ένα κριτήριο για την επιλογή της ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια της κατασκευής. Αν θα χρησιμοποιηθεί δηλαδή ηλεκτρικό ρεύμα ή ηλεκτροπαραγωγικό ζεύγος που να μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του έργου.

Στην κοστολόγηση ενός έργου υπολογίζουμε το άμεσο και το έμμεσο κόστος.

4.3.2.1. Άμεσο Κόστος

Στο άμεσο κόστος περιλαμβάνονται τα εξής:

- Δεδομένα μελέτης(διαστάσεις της σήραγγας, βήμα εκσκαφής, μέτρα υποστήριξης κάθε κατηγορίας εκσκαφής).
- Ποσότητες υλικών (εκσκαφές, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αγκύρια, οπλισμός, αποστράγγιση).
- Χρόνοι εκτέλεσης των εργασιών (Διάτρηση, γόμωση, απομάκρυνση υλικών εκσκαφής).
- Απόδοση των μηχανημάτων(m/min διάτρηση,m³/h εκσκαφής,m³/h φόρτωσης και μεταφοράς προϊόντων εκσκαφής).
- Διάρκεια ενός κύκλου εργασιών.
- Κόστος εργατικού δυναμικού.
- Κόστος των υλικών (σκυροδέματα , οπλισμός , εκρηκτικές ύλες , αναλώσιμα υλικά , ΜΑΠ).
- Ηλεκτρολογική εγκατάσταση (Υποσταθμός, γεννήτρια ,καλωδιώσεις).
- Κατανάλωση καυσίμου του μηχανολογικού εξοπλισμού
- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

4.3.2.2. Έμμεσο Κόστος

Στο έμμεσο κόστος περιλαμβάνονται τα εξής:

- Εγκατάσταση -απεγκατάσταση Εργοταξίου (γραφεία, εργαστήριο, αποδυτήρια προσωπικού).
- Κόστος διοικητικού προσωπικού (Management).
- Συνεργείο επισκευής μηχανημάτων (workshop).
- Εγκατάσταση αποθήκευσης των υλικών.
- Παρασκευαστήριο παραγωγής εργοταξιακού σκυροδέματος.
- Μηχανολογικός εξοπλισμός (Μηχανήματα διατηρητικά , εκσκαφής , μεταφοράς προϊόντων εκσκαφής).
- Η κατασκευή των εισόδων της Σήραγγας (portals).

4.3.2.3. Χρονικός Προγραμματισμός

Η κοστολόγηση ενός έργου συνδέεται άμεσα με τον χρόνο εκτέλεσής του. Όταν γίνεται ανάθεση ενός έργου σε μια κατασκευαστική εταιρεία υπάρχει συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα εκτέλεσής του το οποίο πρέπει να εφαρμοστεί. Το κόστος αφορά ορισμένο χρόνο εκτέλεσης εργασιών. Κάθε εργασία εκτός από το χρόνο εκτέλεσης, υπολογίζεται και το κόστος αυτής σε συγκεκριμένο χρόνο. Η υπέρβαση του χρόνου κατασκευής επιφέρει και αύξηση του κόστους.

Στη διάρκεια εκτέλεσης των εργασιών υπάρχουν συχνά αποκλίσεις στο χρόνο εκτέλεσής τους που οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, (έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού, αλλαγή μελέτης λόγω απρόβλεπτων συνθηκών κατασκευής , καθυστέρηση προμήθειας των υλικών λόγω έλλειψης στην αγορά, έλλειψη χρηματοδότησης του έργου απο την κατασκευάστρια εταιρεία κ.τ.λ.

4.3.2.4. Υπέρβαση Κόστους

Όλες οι υποδομές κατά την κατασκευή τους ενέχουν τον κίνδυνο υπέρβασης κόστους. Υπέρβαση κόστους σημαίνει ένα απροσδόκητο κόστος ,που υπερβαίνει ένα προϋπολογισμένο ποσό, λόγω υποεκτίμησης του πραγματικού κόστους κατά την κατασκευή ενός έργου. Αυτό το είδος κινδύνου συναντάται στην κατασκευή μιας σήραγγας καθώς σχετίζεται με απρόβλεπτες γεωλογικές συνθήκες συμπεριλαμβανομένων και των υπόγειων υδάτων ,που παρατείνουν την χρονική διάρκεια ενός έργου. Μια μελέτη έδειξε ότι εννέα στα δέκα μεγάλα κατασκευαστικά

έργα είχαν υποεκτίμηση κόστους. Μελέτες για διάφορα έργα ανά τον κόσμο έδειξαν ότι η υπέρβαση κόστους στην κατασκευή των σήραγγων είναι περίπου 30%.

Η συμπεριφορά του εδάφους επηρεάζεται σημαντικά από τις διαστάσεις της σήραγγας, το σχήμα της διατομής, τον χρόνο τοποθέτησης της υποστήριξης και της συμπεριφοράς του συστήματος τοποθέτησης. Η ασφάλεια της σήραγγας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σταθερότητα του εδάφους και των υδρογεωλογικών του συνθηκών. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους και οι συμπεριφορές τους κατά την κατασκευή θα πρέπει να υπολογιστούν από τον μελετητή κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού μιας σήραγγας καθώς ο μελετητής θα πρέπει να υπολογίσει τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Οι μηχανικοί πρέπει να αναπτύξουν ένα γεωτεχνικό μοντέλο για να προσεγγίσουν τις συμπεριφορές των γεωτεχνικών υλικών γύρω από την περιοχή εκσκαφής. Από τεχνικής άποψης η υπέρβαση κόστους κατά την κατασκευή μιας σήραγγας οφείλεται στην αβεβαιότητα του σχεδιασμού. Η αβεβαιότητα οφείλεται στο ότι είναι δύσκολο να προσδιοριστούν οι πραγματικές συνθήκες του εδάφους κατά την εκσκαφή, είτε λόγω έλλειψης πληροφοριών είτε λάθος εκτίμησης. Επομένως θεωρούμε ότι η υπέρβαση κόστους οφείλεται στην αξιολόγηση των γεωλογικών συνθηκών, την συμπεριφορά του εδάφους και την αλληλεπίδραση εδάφους, κατασκευής, ανθρώπου τόσο στο στάδιο του σχεδιασμού όσο και της κατασκευής. Η υπέρβαση κόστους οφείλεται εν μέρη στο σχεδιασμό.

Γενικά η κύρια πηγή υπέρβασης του κόστους σε ένα έργο σήραγγας μπορεί να αποδοθεί στις διαφορετικές τοπικές συνθήκες π.χ. οι πραγματικές συνθήκες του εδάφους είναι πολύ διαφορετικές από αυτές που έχουν προβλεφθεί σε ένα μοντέλο σχεδίασης.

Στην Ελλάδα από την εμπειρία μου στις κατασκευές μπορώ να αναφέρω τις απρόβλεπτες συνθήκες που συναντήθηκαν σε ορισμένα έργα.

Στους Θρακομακεδόνες στην Αττική κατασκευάστηκε μια υδραυλική σήραγγα μήκους 300μ κυκλικής διατομής, εσωτερικής διαμέτρου 2,5μ σε βάθος 5μ από τη επιφάνεια του εδάφους. Το έργο κατασκευάστηκε για την εκτροπή ενός ρέματος. Η διάνοιξη έγινε με τη μέθοδο microTBM. Στην διάρκεια της κατασκευής παρατηρήθηκε απότομη αύξηση των υδάτων με αποτέλεσμα να σταματήσει η εκσκαφή για να μπορέσει να γίνει διαχείριση των υδάτων. Μετά από οχλήσεις κατοίκων της περιοχής ότι από ένα αρδευτικό κανάλι σταμάτησε η διοχέτευση νερού για την άρδευση της περιοχής του Μεριδίου, διαπιστώθηκε ότι το μηχάνημα εκσκαφής είχε διακόψει την παροχή του καναλιού (Αδριάνειο Υδραγωγείο). Στη μελέτη δεν υπήρχαν αναφορές για τυχόν υπόγεια κανάλια στη χάραξη της υδραυλικής σήραγγας.

Στο Στρατώνι Χαλκιδικής έγινε διάνοιξη σήραγγας διατομής 7μΧ6μ με κλίση 12% που θα συνέδεε το Στρατώνι(περιοχή Μαντέμ λάκκο)με το μεταλλείο της Ολυμπιάδας στην μεταλλευτικές δραστηριότητες του μεταλλίου Κασσάνδρας. Το μήκος της ήταν 8900μ. Στα πρώτα 1300μ περίπου συναντήθηκαν ποσότητες νερού της τάξης των 210m³/h τα οποία δεν ήταν διαχειρίσιμα διότι δεν είχαν προβλεφθεί.

Στην κατασκευή του Μετρό στην Αθήνα κατά την διάρκεια κατασκευής σήραγγας με τη μέθοδο NATM που θα λειτουργούσε το Μετρό από την Εθνική άμυνα στο Αεροδρόμιο ,στο τμήμα μεταξύ Χαλάνδρι και Δουκίσσης Πλακεντίας σημειώθηκε καθίζηση. Οι διαστάσεις της καθίζησης ήταν 10μ στην επιφάνεια του εδάφους και 15μ βάθος.

5. ΣΗΡΑΓΓΑ ΤΕΜΠΩΝ Τ2

5.1. Περιγραφή Έργου

Στην παρούσα Εργασία θα αναφερθούμε στην Σήραγγα Τεμπών μήκους 6000μ τη μεγαλύτερη οδική Σήραγγα των Βαλκανίων που κατασκευάστηκε από δύο Τεχνικές Εταιρείες Την Κ/Ξ Ολύμπια (ΑΚΤΩΡ -HOCHTIF) και την ΑΕΓΕΚ . Η Κ/Ξ Ολύμπια ανέλαβε την κατασκευή του Βόρειου Τμήματος μήκους 3000μ και η ΑΕΓΕΚ του Νότιου Τμήματος επίσης 3000μ. Το έργο κατασκευάστηκε με ιδιωτικά κεφάλαια, του Ευρωπαϊκού Ταμείου Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) και του Ταμείου Συνοχής.

Η Σήραγγα Τ2 Τεμπών διαθέτει δύο κλάδους, έναν για κάθε κατεύθυνση, μήκους 6 χιλιομέτρων ο καθένας.

Ο κάθε κλάδος έχει διάμετρο 14,8 μ , διαθέτει δυο λωρίδες κυκλοφορίας 3,6μ και μία ΛΕΑ με συνολικό πλάτος οδοστρώματος 10,5 μέτρα. Επίσης διαθέτει δυο κατακόρυφα φρεάτια και μια οριζόντια σήραγγα αερισμού/εκκαπνισμού.

Κάθε κλάδος διαθέτει ανά 300μ έξοδο διαφυγής/διασυνδετήρια σήραγγα με τον διπλανό κλάδο, ενώ κάθε 900μ η διασυνδετήρια σήραγγα είναι κατάλληλη για τη διέλευση οχημάτων των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης.

Για την κατασκευή της σήραγγας εργάστηκαν περίπου 400 άτομα, διαφόρων ειδικοτήτων , όπως χειριστές μηχανημάτων , σιδεράδες , καλουπατζήδες , εργάτες , οδηγοί , γομωτές , μηχανικοί , εργοδηγοί κ.α.

Η εκσκαφή της σήραγγας έγινε στο μεγαλύτερο τμήμα με ελεγχόμενες εκρήξεις και σε μικρότερο με μηχανικά μέσα .Οι εργασίες εκσκαφής έχουν συνολικό όγκο πάνω από 1.620.000 κυβικά.

Για την προσωρινή υποστήριξη χρησιμοποιήθηκαν πάνω από 80.000 κυβικά σκυροδέματος.

Για την τελική επένδυση χρησιμοποιήθηκαν πάνω από 350.000 κυβικά σκυροδέματος (όσο περίπου απαιτείται για την κατασκευή 1.600 μονοκατοικιών.

Τα Η/Μ της σήραγγας τελευταίας τεχνολογίας περιλαμβάνουν

- Κάμερες διαχείρισης κυκλοφορίας.
- Σύστημα ανίχνευσης συμβάντος εντός 15”.
- Σύστημα ανίχνευσης ύψους , καυσαερίων και ορατότητας.
- Σύστημα εξαερισμού και φωτισμού.
- Σύστημα πυρανίχνευσης/πυρόσβεσης.

- Σύστημα ακουστικής ενημέρωσης και ραδιοεπικοινωνίας.
- Σύστημα ηλεκτρονικής διαχείρισης των εγκαταστάσεων (SCADA).
- Τηλέφωνα εκτάκτου ανάγκης.
- Φωτεινή σηματοδότηση και πίνακες πληροφόρησης μεταβλητών μηνυμάτων.

5.2. Γενικά Γεωμορφολογικά και Γεωλογικά Δεδομένα

5.2.1. Θέση του Έργου

Η σήραγγα T2 έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και βρίσκεται στα γεωγραφικά και διοικητικά όρια του ν. Λάρισας. Συγκεκριμένα βρίσκεται στο Β-ΒΑ άκρο του νομού σε οδική απόσταση 35 χλμ. ΒΑ της Λάρισας μέσα στην κοιλάδα των Τεμπών. Η κοιλάδα των Τεμπών αποτελεί το φυσικό πέρασμα του Πηνειού ποταμού ανάμεσα στον Όλυμπο στα ΒΔ και της Όσσας (Κίσσαβος) στα ΝΑ. Ειδικότερα η χάραξη της σήραγγας διέρχεται από το νότιο τμήμα της κοιλάδας των Τεμπών και βρίσκεται στους ΒΔ πρόποδες του όρους Όσσα.

Οι είσοδοι της σήραγγας βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της κοιλάδας του Πηνειού ποταμού, ανατολικά της υφιστάμενης Εθνικής οδού Λάρισας -Θεσσαλονίκης.

5.2.2. Γεωλογικό Προφίλ της Ευρύτερης Περιοχής του Έργου

Από γεωλογικής άποψης η σήραγγα T2 του αυτοκινητοδρόμου ΠΑΘΕ του τμήματος Μαλιακός-Κλειδί περνάει μέσα από τους Γεωλογικούς σχηματισμούς της ενότητας Όσσας. Οι σχηματισμοί εμφανίζονται ελαφρώς μεταμορφωμένοι ενώ οι σύγχρονες αποθέσεις του τεταρτογενούς βρίσκονται πάνω στους σχηματισμούς του Αλπικού υποστρώματος.

Αναλυτικά η λιθοστρωματογραφική στήλη από τους νεότερους στους παλαιότερους σχηματισμούς έχουν ως εξής:

Τεταρτογενές

Περιλαμβάνει πρόσφατες αποθέσεις εδαφικού υλικού που είναι προϊόντα αποσάθρωσης και τεκτονισμού και εμφανίζονται με τη μορφή πλευρικών κορημμάτων, ασβεστολιθικών ογκόλιθων, κατολισθητικού υλικού, σύγχρονες αποθέσεις κ.α.

Ενότητα Όσσας

Εμφανίζεται με τη μορφή τεκτονικού παραθύρου κάτω από το στρώμα των Αμπελακίων και περιλαμβάνει πετρώματα χαμηλής μεταμόρφωσης. Στην περιοχή του έργου εμφανίζεται ο φυλλίτης που θεωρείται ως Ηωκαινικός μεταφλύσχος και ο κρυσταλλικός ασβεστόλιθος. Επιφανειακά ο φυλλίτης καλύπτεται από έναν μανδύα αποσάθρωσης με αργιλώδη και αργιλοαμμώδη υλικά σημαντικού πάχους ενώ συναντώνται πλευρικά στρώσεις από φυλλίτη και κρυσταλλικό ασβεστόλιθο.

Λιθολογία -Στρωματογραφία

Οι λιθολογικές και τεχνικογεωλογικές ιδιότητες των σχηματισμών που συναντώνται κατά μήκος της Σήραγγας T2, παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια, δίνοντας έμφαση στην υδρολογική και τεχνική γεωλογική συμπεριφορά τους, κατά την κατασκευή και λειτουργία του έργου. Αναλυτικά οι λιθολογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή της σήραγγας είναι οι παρακάτω (από τα νεότερα στα παλαιότερα):

Τεταρτογενείς αποθέσεις

Υλικά Κατολισθήσεων.

Τα υλικά κατολισθήσεων αποτελούνται κυρίως από κόκκινο -καφέ έως κίτρινο καφέ άργιλο με άμμο και χαλίκια περιεκτικότητας ασβεστίτη και φυλλίτη.

Σύγχρονες αποθέσεις κοίτης.

Συναντώνται A-BA και σε σημαντική απόσταση από τις εισόδους της σήραγγας και αποτελούνται από άργιλο, άμμο και ογκόλιθους και εξαπλώνονται (κατά μήκος του παρακείμενου ρέματος) σε μια μικρή επιφάνεια ορατού πάχους 0,50μ.

Πλευρικά κορήματα

Αποτελείται από κόκκινο- καφέ άργιλο με άμμο και χαλίκια ασβεστιτικής σύστασης ή ακόμη με καφέ αμμώδη άργιλο με χαλίκια περιεκτικότητας σε φυλλίτη.

Αλλουβιακές αποθέσεις

Χαρακτηρίζονται από σημαντική εξάπλωση σε ομαλές κλίσεις, δυτικά των εισόδων και αποτελούνται κυρίως από ανοικτό καφέ αμμώδη άργιλο πολύ μικρού ορατού πάχους.

Γεωλογικά Στρώματα Ενότητας Όσσας

Κρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι

Έχει σημαντική επιφανειακή εξάπλωση και μεγάλο πάχος στο μεγαλύτερο μέρος της σήραγγας, ενώ τοπικά τοποθετείται πάνω από το σχηματισμό του φυλλίτη. Το μεγαλύτερο μέρος της σήραγγας T2 πρόκειται να εκσκαφθεί στο σχηματισμό του κρυσταλλικού ασβεστόλιθου. Είναι ασβεστόλιθος με λεπτούς κρυστάλλους ασβεστίτη με σταχτή έως άσπρο

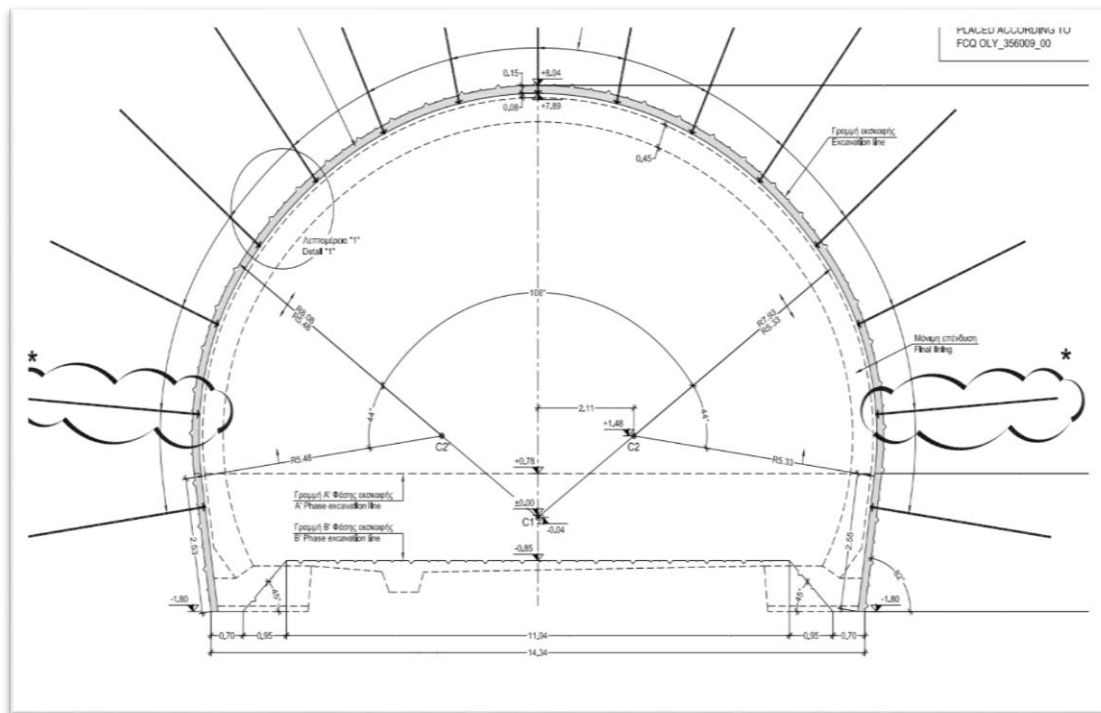
χρώμα συμπαγής με καλή γεωμηχανική συμπεριφορά. Σε ζώνες διάρρηξης ο κρυσταλλικός ασβεστόλιθος εμφανίζεται κερματισμένος ως αποτέλεσμα δυναμικής μεταμόρφωσης και προκαλεί προβλήματα κατά τη διάρκεια της εκσκαφής.

Φυλλίτης

Εμφανίζεται στην επιφάνεια στο πρώτο και στο τελευταίο χιλιόμετρο της σήραγγας. Είναι κυρίως ανοικτό καφέ τοπικά αποσαθρωμένος και πτυχωμένος.

5.3. Κατηγορίες Εκσκαφής

Η εκσκαφή της σήραγγας έγινε σε δύο φάσεις. Πρώτα εκτελέστηκαν εργασίες της Α' φάσης (Άνω διατομή) διαστάσεων 7,30m x 15m τοξοειδούς σχήματος και στη συνέχεια της Β' φάσης (Κάτω διατομή) διαστάσεων 15m x 2,60m τραπεζοειδούς σχήματος, Εικόνα 5.3.1.



Εικόνα 5.3.1 Διατομή Σήραγγας T2.

Οι κατηγορίες εκσκαφής που εφαρμόστηκαν για τον βόρειο(Δεξιό) και νότιο (αριστερό) κλάδο κατά την χιλιόμετρηση εμφανίζονται στους παρακάτω πίνακες(Πίνακας 5.3-1 και Πίνακας 5.3-2). Η κατηγορία 3A εφαρμόστηκε στο μεγαλύτερο τμήμα της Σήραγγας, είναι η πιο <<ελαφριά>>έχοντας τα λιγότερα μέτρα υποστήριξης και αντιστοιχεί στο 46% του συνόλου των

κατηγοριών στον Βόρειο κλάδο. Η κατηγορία 6A είναι η δεύτερη κατηγορία σε μέτρα μήκους που εφαρμόστηκε και αντιστοιχεί στο 32%, η κατηγορία 5A στο 9,8%, η κατηγορία 7AM που είναι μια από τις κατηγορίες με τα μεγαλύτερα μέτρα υποστήριξης αντιστοιχεί στο 5,4%, η 7A 2,7%.

Πίνακας 5.3-1 Μήκη Εφαρμογής Κατηγοριών Βόρειου Κλάδου

Tunnel T2 North Bound	
Excavation & Support Class	Length (m)
3A	1.369,00
4A	41,10
5A	291,80
5P	58,63
6A	953,10
7A	82,30
7AM	162,00
7AR	17,20
Total Length:	2.975,13

Πίνακας 5.3-2 Μήκη Εφαρμογής Κατηγοριών Νότιου Κλάδου

Tunnel T2 South Bound	
Excavation & Support Class	Length (m)
3A	1.015,90
4A	84,90
5A	432,38
5P	102,82
6A	969,30
7A	113,30
7AM	211,10
7AR	32,30
Total Length:	2.962,00

Αν συγκρίνουμε τα ποσοστά των κατηγοριών που εφαρμόστηκαν στο νότιο κλάδο θα δούμε ότι διαφέρουν. Η κατηγορία 3Α αντιστοιχεί στο 34% επι του συνόλου των κατηγοριών, η κατηγορία 6Α στο 32,7%, η κατηγορία 5Α στο 14,5%, η κατηγορία 7ΑΜ στο 7,1%, η 7Α 3,8%. Συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται οι διαφορές, Πίνακας 5.3-3.

Πίνακας 5.3-3 Ποσοστά Κατηγοριών ανά Κλάδο

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ		
	Βόρειος κλάδος	Νότιος κλάδος
Κατηγορία	Ποσοστό %	
3Α	46,01%	34,30%
4Α	1,38%	2,87%
5Α	9,81%	14,60%
5Ρ	1,97%	3,47%
6Α	32,04%	32,72%
7Α	2,77%	3,83%
7ΑΜ	5,45%	7,13%
7ΑΡ	0,58%	1,09%

Τα μέτρα υποστήριξης που εφαρμόστηκαν ανά κατηγορία εκσκαφής περιγράφονται ως εξής :

Κατηγορία Εκσκαφής 3Α

Άνω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 2,5-3μ.

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 10cm (5cm με ίνες).
- Αγκύρια Super Swellex Φ.Ι 200KN ,μήκους 4m με κάνναβο 1,75μ(περίμετρο)Χ2μ.

Κάτω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 5-6μ.

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 10cm (5cm με ίνες).
- Αγκύρια Super Swellex Φ.Ι 200KN ,μήκους 4m με κάνναβο 1,75μ(περίμετρο)Χ2μ.

Στατικό πάχος μόνιμης επένδυσης 0,45μ.

Σύγκλιση και κατασκευαστικές ανοχές 5cm.

Κατηγορία Εκσκαφής 4A

Άνω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 2-2,5μ

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 15cm (10cm με ίνες).
- Αγκύρια Super Swellex Φ.Ι 200KN ,μήκους 4m με κάνναβο 1,75μ (περίμετρο)X1,5μ.

Κάτω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 4-5μ.

- Αγκύρια Super Swellex Φ.Ι 200KN ,μήκους 4m με κάνναβο 1,75μ (περίμετρο)X1,5μ.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 15cm (10cm με ίνες).

Στατικό πάχος μόνιμης επένδυσης 0,45μ.

Σύγκλιση και κατασκευαστικές ανοχές 8cm.

Κατηγορία Εκσκαφής 5A

Άνω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 1,5-2,0μ.

- Αγκύρια Ολόσωμης Πάκτωσης Φ25 Φ.Ι 200KN ,μήκους 4μ με κάνναβο 1,5μX1,5-2μ.
- Ράβδοι προπορείας Φ28,μήκους 6μ αξονική απόσταση 0,30-0,35μ ανα 2 βήματα εκσκαφής
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm στο μέτωπο εκσκαφής.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 20cm (15cm με ίνες).
- Δικτυωτό πλαίσιο 70/20/30.
- ζεύγος αγκυρίων Ο.Π με τσιμεντένεμα μήκους 4μ και σύνδεση με μεταλλική πλάκα.

Κάτω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 3-4μ.

- Αγκύρια Ολόσωμης Πάκτωσης Φ25 Φ.Ι 200KN ,μήκους 4μ με κάνναβο 1,5μX1,5-2μ.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm στο μέτωπο εκσκαφής.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 20cm (15cm με ίνες).
- Δικτυωτό πλαίσιο 70/20/30.
- Ζεύγος αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα μήκους 4μ και σύνδεση με μεταλλική πλάκα.

Στατικό πάχος μόνιμης επένδυσης 0,45μ.

Σύγκλιση και κατασκευαστικές ανοχές 10cm.

Κατηγορία Εκσκαφής 5P

Άνω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 1,0-1,5μ.

- Ράβδοι προπορείας Φ51/41, μήκους 6μ αξονική απόσταση 0,30-0,35μ ανα 2-3 βήματα.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm στο μέτωπο εκσκαφής.
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 140 ανά βήμα προχώρησης.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 25cm (20cm με ίνες).
- Αγκύρια Ολόσωμης Πάκτωσης Φ25 Φ.Ι 200KN ,μήκους 6μ.
- ζεύγος αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα μήκους 4μ και σύνδεση με μεταλλική πλάκα
- Αγκύρια μετώπου fiber glass εφόσον απαιτείται μήκους 12μ ,ΦΙ 250 KN ,ολόσωμης πάκτωσης ανά 6μ προχώρησης
- Αποστραγγιστικές οπές 3" μήκους 4μ ανά 3 βήματα προχώρησης ή πυκνότερα εάν απαιτείται.

Κάτω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 2,0-3,0μ.

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm στο μέτωπο εκσκαφής.
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 140 ανά βήμα προχώρησης.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 25cm,(20cm με ίνες).
- Αγκύρια Ολόσωμης Πάκτωσης Φ25 Φ.Ι 200KN ,μήκους 6μ.
- ζεύγος αγκυρίων Ολόσωμης Πάκτωσης με τσιμεντένεμα μήκους 4μ και σύνδεση με μεταλλική πλάκα.

Κατηγορία Εκσκαφής 6A

Άνω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 1,0-1,25μ.

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm στο μέτωπο εκσκαφής.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 25cm (20cm με ίνες).
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 140 ανά βήμα προχώρησης.
- Αγκύρια τύπου self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 6μ,σε κάνναβο 1,5μ ανά βήμα εκσκαφής.
- ζεύγος αγκυρίων Ο.Π self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 6μμ και σύνδεση με μεταλλική πλάκα.
- Δομικό πλέγμα T188.

- Ράβδοι προπορείας Φ51/41, μήκους 6μ αξονική απόσταση 0,30-0,35μ ανά 2-3 βήματα.
- Ανεστραμμένο τόξο με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 20cm και δύο πλέγματα T188 στην άνω ημιδιατομή
- Θυσιαζόμενα αγκύρια τύπου Fiber-glass μήκους 12μ στο μέτωπο ανα 6 βήματα προχώρησης εάν απαιτείται.
- Αποστραγγιστικές οπές 3" μήκους 4μ ανά 3 βήματα προχώρησης ή πυκνότερα εάν απαιτείται.

Στατικό πάχος μόνιμης επένδυσης 0,45μ, 0,60μ ανάστροφο τόξο.

Σύγκλιση και κατασκευαστικές ανοχές 10cm, 3cm στο ανάστροφο τόξο.

Κάτω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 2,0-2,5μ.

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm στο μέτωπο εκσκαφής.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 25cm (20cm με ίνες).
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 140 ανα βήμα προχώρησης
- Αγκύρια τύπου self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 6μ, σε κάνναβο 1,5μ ανά βήμα εκσκαφής
- ζεύγος αγκυρίων Ο.Π self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 6μ και σύνδεση με μεταλλική πλάκα
- Δομικό πλέγμα T188
- Ανεστραμμένο τόξο με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 20cm και δύο πλέγματα T188 στην άνω ημιδιατομή ανά 4-5μ.

Κατηγορία Εκσκαφής 7Α

Άνω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 1,0μ.

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5-10cm στο μέτωπο εκσκαφής
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 30cm (20cm με ίνες)
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 160 ανά βήμα προχώρησης
- Αγκύρια τύπου self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 9μ, σε κάνναβο 1,5μ ανά βήμα ζεύγος αγκυρίων Ο.Π self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 9μ και σύνδεση με μεταλλική πλάκα
- 2 στρώσεις Δομικού πλέγματος T188.
- 37 τεμ δοκοί προπορείας Φ114, μήκους 12μ αξονική απόσταση 0,40μ ανα 8μ προχώρησης.

- Ανεστραμμένο τόξο με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 30cm και δύο πλέγματα T188 στην άνω ημιδιατομή.
- Θυσαζόμενα αγκύρια τύπου Fiber-glass μήκους 12μ στο μέτωπο ανά 6 βήματα.
- Αποστραγγιστικές οπές 3" μήκους 12-15μ ανά 6 βήματα προχώρησης στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής.

Κάτω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 2,0μ.

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5-10cm στο μέτωπο εκσκαφής.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 30cm (20cm με ίνες).
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 160 ανα βήμα προχώρησης.
- Αγκύρια τύπου self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 9μ,σε κάνναβο 1,5μ ανά βήμα.
- ζεύγος αγκυρίων Ο.Π self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 9μ και σύνδεση με μεταλλική πλάκα.
- 2 στρώσεις Δομικού πλέγματος T188.
- Ανεστραμμένο τόξο με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 30cm και
- δύο πλέγματα T188 στην κάτω ημιδιατομή ανά 4μ.

Στατικό πάχος μόνιμης επένδυσης 0,45μ, 0,70μ ανάστροφο τόξο.

Σύγκλιση και κατασκευαστικές ανοχές 20cm, 5cm στο ανάστροφο τόξο.

Κατηγορία Εκσκαφής 7A-M

Άνω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 1,0μ.

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5-10cm στο μέτωπο εκσκαφής.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 30cm (25cm με ίνες.)
- 49 τεμ δοκοί προπορείας Φ114, μήκους 12μ αξονική απόσταση 0,35μ ανα 6μ προχώρησης.
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 160 ανα βήμα προχώρησης.
- Αγκύρια τύπου self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 9μ, σε κάνναβο 1,5μ ανά βήμα.
- ζεύγος αγκυρίων Ο.Π self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 9μ και σύνδεση με μία στρώση Δομικού πλέγματος T188.
- 1 στρώση εσχάρας Φ12/15.
- Ανεστραμμένο τόξο με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 30cm και δύο εσχάρες Φ12/15 ανά 4μ.
- Αποστραγγιστικές οπές 3" μήκους 12-15μ ανά 6 βήματα προχώρησης στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής.

- Αποστραγγιστικές οπές 3" μήκους 4μ ανά 3 βήματα προχώρησης ή πυκνότερα. Στατικό πάχος μόνιμης επένδυσης 0,50μ, 0,70μ ανάστροφο τόξο.

Σύγκλιση και κατασκευαστικές ανοχές 15cm,5cm στο ανάστροφο τόξο.

Κάτω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 2,0μ

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5-10cm στο μέτωπο εκσκαφής.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 30cm (25cm με ίνες).
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 160 ανά βήμα προχώρησης.
- Αγκύρια τύπου self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 9μ, σε κάνναβο 1,5μ ανά βήμα.
- ζεύγος αγκυρίων Ο.Π self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 9μ και σύνδεση με μία στρώση Δομικού πλέγματος T188.
- Μία στρώση εσχάρας Φ12/15.
- Ανεστραμμένο τόξο με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 30cm και δύο εσχάρες Φ12/15 ανά 4μ.

Κατηγορία Εκσκαφής 7A-R

Άνω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 1,0μ.

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 35cm (23cm με ίνες).
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 180 ανά βήμα προχώρησης.
- Αγκύρια τύπου self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 9μ, σε κάνναβο 1,5μ ανά βήμα ζεύγος αγκυρίων Ο.Π self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 9μ και σύνδεση με μία στρώση Δομικού πλέγματος T188.
- Μία στρώση εσχάρας Φ12/15.
- Αποστραγγιστικές οπές 3" μήκους 4μ ανά 3 βήματα προχώρησης ή πυκνότερα.

Στατικό πάχος μόνιμης επένδυσης 0,50μ, 0,70μ ανάστροφο τόξο.

Σύγκλιση και κατασκευαστικές ανοχές 25cm.

Κάτω ημιδιατομή / βήμα προχώρησης 1,0μ.







- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm στο μέτωπο εκσκαφής.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 35cm (23cm με ίνες).
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 180 ανά βήμα προχώρησης.
- Αγκύρια τύπου self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 9μ, σε κάνναβο 1,5μ ανά βήμα ζεύγος αγκυρίων Ο.Π self-drilling Φ.Ι 200KN μήκους 9μ και σύνδεση με μία στρώση Δομικού πλέγματος T188.
- Μία στρώση εσχάρας Φ12/15.

- Ανεστραμμένο τόξο με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 35cm (23cm με ίνες) ανά 2μ.
- Μία εσχάρα Φ12/15,1 δομικό πλέγμα T188.

Η Κατηγορία εκσκαφής 7A-R εφαρμόστηκε στο τμήμα εκσκαφής που παρουσίασε τις μεγαλύτερες συγκλίσεις της βραχώμαζας και έγινε ανακατασκευή του είδη κατασκευασμένου κελύφους.

5.3.1. Γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI

Για να γίνει αξιολόγηση των γεωτεχνικών συνθηκών εκσκαφής χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης GSI. Ο δείκτης GSI, Εικόνα 5.3.1.1, αποτελεί στην πραγματικότητα ένα σύστημα ταξινόμησης για την εκτίμηση της απομείωσης της αντοχής της βραχώμαζας για διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες και βασίζεται καθαρά σε παρατηρήσεις στην ύπαιθρο. Συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά της βραχώμαζας εκτιμώνται μακροσκοπικά με βάση την υφή του πετρώματος (αλληλοκλείδωμα βραχωδών τεμαχίων) και την επιφάνεια των ασυνεχειών (τραχύτητα και αποσάθρωση τοιχωμάτων). Ο συνδυασμός των δύο αυτών παραγόντων αποτελεί την βάση για την εκτίμηση του τύπου της βραχώμαζας και του υπολογισμού της τιμής του GSI όπως δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

<p>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζονται στην εμφάνιση της βραχόμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφάνειας 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.</p> <p>ΔΟΜΗ</p>	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, μη αποσαθρωμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσαθρωμένες και οξείδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσαθρωμένες και εξοξειδωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολισθητές, πολύ αποσαθρωμένες με σημαντική επιφθορία ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη βράχια	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολισθητές πολύ αποσαθρωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης
		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →				
 <p>INTACT OR MASSIVE - Άρρηκτα βραχίδια τεμάχια ή άσπρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση</p>	ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΝΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ	90			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>		80	70			
 <p>VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών</p>			60			
 <p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτωχόμενη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας</p>				50		
 <p>DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων</p>				40	30	
 <p>LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχόμαζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων</p>					20	10
		N/A	N/A			

Εικόνα 5.3.1.1 Διάγραμμα GSI

Στις σήραγγες πρέπει να εκτιμάται η βραχόμαζα που θα φέρει τα φορτία, έστω μια ζώνη όσο περίπου μια διάμετρο. Η συνεκτίμηση μικρών ή μεγάλων αλλαγών στην βραχόμαζα έξω από το ορατό μέτωπο είναι θέμα κρίσεως. Αν εκτιμάται ότι πιο πτωχή ποιότητας βραχόμαζα είναι σημαντικά παρούσα ή βρίσκεται σε καίριες θέσεις συγκέντρωσης τάσεων, συνίσταται οι τιμές του GSI να αντιστοιχούν στην ποιότητα αυτή.

Για την εν λόγω σήραγγα για να επιλεγεί μια κατηγορία εκσκαφής π.χ. 3Α λαμβάνονταν υπόψη τα παρακάτω:

Η περιγραφή του πετρώματος ,οι εκτιμώμενες πιέσεις παραμορφώσεις ,η μεθοδολογία και τα στάδια κατασκευής, το βήμα προχώρησης ,τα στάδια κατασκευής και το ύψος των υπερκειμένων, Πίνακας 5.3.1-1.

Πίνακας 5.3.1-1 Γεωτεχνικά Χαρακτηριστικά Εφαρμογής Κατηγοριών Εκσκαφής (Olympria JV)

Λιθολογία		Μέγιστα ύψη υπερκειμένων	Κατηγορία εκσκαφής και άμμεσης υποστήριξης							
RMT/ST	GSI		3A	4A	5A	5B	6A	7A	7B	
RMT2	70-55	300μ	H<300μ							
RMT3	55-40	300μ		H<300μ						
RMT4	40-25	260μ(σχετίζεται μόνο με ζώνες ρηγματών	μη εφαρμοσμένη	μη εφαρμοσμένη	H<100μ	100<H<150μ 150<H<200μ(1)				
RMT4	25-15	δεν προβλέπεται			μη εφαρμοσμένη	μη εφαρμοσμένη	H<300μ w<=30m3	200μ<H<300μ(1)	150μ<H<190μ(2)	
RMT12	40-25	145m						<120m	150<H<120m	
RMT13	25-15	145m					μη εφαρμοσμένη		<50m	
ST1	<15	10m					μη εφαρμοσμένη		<20m	
ST2	<15	80m						μη εφαρμοσμένη	<20m	20<H<40m
ST3	<15	45m							<20m	20<H<60m
Σημειώσεις		1) Για ζώνη ρήγματος σε ασβεστολίθους με έκταση <15μ								
		2) Για ζώνη ρήγματος σε ασβεστολίθους με έκταση >15μ								
		3) RMT4 weak zone in contact with phyllite with an extension (w)along the tunnel stretch								

Γεωλογική Χαρτογράφηση

Για κάθε μέτωπο εκσκαφής τα γεωλογικά στοιχεία καταγράφονται σε έντυπο ονομαζόμενο ως Δελτίο Γεωλογικής Χαρτογράφησης .Γίνεται αξιολόγηση της βραχώμαζας με το σύστημα ταξινόμησης GSI και εμπειρικά αποφασίζονται τα μέτρα υποστήριξης, Εικόνα 5.3.1.2, Εικόνα 5.3.1.3, Εικόνα 5.3.1.4, Εικόνα 5.3.1.5 και Εικόνα 5.3.1.6. Στο Δελτίο γεωλογικής χαρτογράφησης συμπληρώνουμε τα στοιχεία που αναφέρονται στα εξής:

- Χιλιομετρική θέση του μετώπου εκσκαφής.
- Μέθοδος εκσκαφής(Εκρηκτικές ύλες, μηχανική εκσκαφή).
- Φάση εκσκαφής(Ολομέτωπη 'Α φάση, 'Β φάση).
- Βήμα εκσκαφής.
- Συνθήκες νερού.

Σύμφωνα με την μελέτη ανάλογα με τον δείκτη GSI αντιστοιχεί και μια Τεχνικογεωλογική Ενότητα(Rockmass type) που περιγράφει για κάθε κατηγορία εφαρμογής τα ακόλουθα.

- 1) Περιγραφή της βραχώμαζας.
- 2) Εκτιμώμενες πιέσεις παραμορφώσεις.
- 3) Μεθοδολογία, στάδια κατασκευής.
- 4) Βήμα προχώρησης.
- 5) Κριτήρια εφαρμογής.

GEOLOGICAL FACE AND TEMPORARY SUPPORT DECISION LOG / ΔΕΛΤΙΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣ ΜΕΤΩΠΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

SECTION A / ΜΕΡΟΣ A: To be filled by Contractor's Geologist / Συμπληρώνεται από το Γεωλόγο του Κατασκευαστή

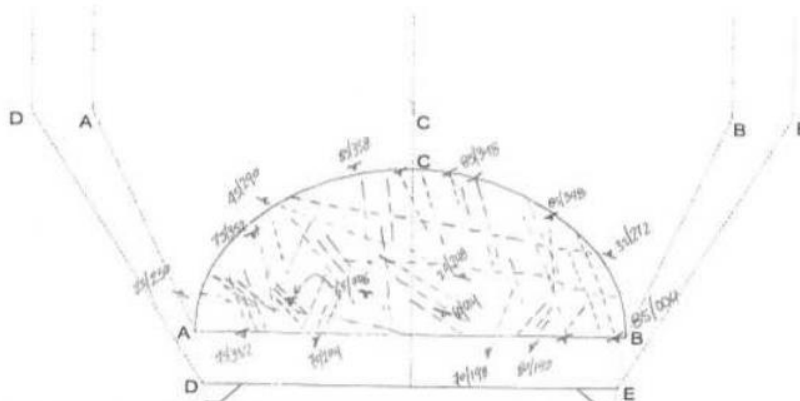
TUNNEL / ΣΗΡΑΓΓΑ	BOUND / ΚΑΛΩΣ	A/A	CH / Χ.Θ.	DATE / ΗΜΕΡΙΑ: 01/04/2011
T 2	<input checked="" type="checkbox"/> NB (North/Βόρειος) <input type="checkbox"/> SB (South/Νότιος)	3 2 4	8+026,30	Steel Set / Αρ. Πλαίσιου: PD-1885

EXCAVATION METHOD / ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ: EXPLOSIVES / ΕΚΡΗΚΤΙΚΑ MECHANICAL MEANS / ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΣΑ HAND MADE / ΧΕΙΡΩΝΑΚΤΙΚΑ

EXCAVATION PHASE / ΦΑΣΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ: FULLFACE / ΟΛΟΜΕΤΩΠΗ A' PHASE / Α' ΦΑΣΗ B' PHASE / Β' ΦΑΣΗ

EXCAVATION STEP / ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ (m): 2,0m

WATER CONDITIONS / ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΕΡΟΥ (ΑΗΨΡ):



ΚΛΙΣΗ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ / DIP Οριζόντια / Horizontal Κλίση αντίθετη από την κατεύθυνση της σήραγγας / Driving against dip Κλίση προς την κατεύθυνση της σήραγγας / Driving with dip	ΝΕΡΟ / WATER FLOW W Υγρασία / Moisture O Στάγονες / Dripping Ροή υπό χαμηλή πίεση / Low pressure Ροή υπό μέτρια πίεση / Medium pressure Ροή υπό υψηλή πίεση / High pressure	ΟΡΙΑ ΣΧΗΜΑΤ. / FORM BOUNDARY Γεωλογικό όριο / Geological boundary Ρήγμα / Fault Ζώνη κρηματισμού / Fracture zone
---	---	--

GEOLOGICAL DESCRIPTION / ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	
	Ηρωστιακή άμμοπηλινή αμμοβόλβη τεταμένου κράματος μετρία προς άσπρα κρηματισμένα, μετρία σπασθιμότητα με ανοικτές διασπαστικές επιφάνειες προς άσπρα κρηματισμένα. Ο βαθμός σπασθιμότητας του θραυσμένου είναι ΜΜ (καμψία θραυστά 11 έως 14)

DISCONTINUITIES CHARACTERISTICS / ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΣΥΝΕΧΙΣΩΝ									
No A/A	TYPE ΤΥΠΟΣ	DIP ANGLE ΚΛΙΣΗ	DIRECTION OF DIP ΔΙΣΥΝΕΧΙΣΗ ΚΛΙΣΗΣ	DIPPE / ΜΕΡΟΣ (DIP)		ROUGHNESS ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ (JRC 0-20)	CONTINUITY ΣΥΝΕΧΕΙΑ	SPACING OF JOINTS ΕΛΑΤΕΡΑΤΑΝ (cm)	OPENING, TYPE & THICKNESS OF FILLING MATERIAL / ΑΝΟΙΓΜΑ ΤΥΠΟΥ ΠΛΕΚΤΕΥΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΗΣ
				I - 0% GRADUAL BARRIERS IV - VL UNDULATING ΚΥΜΑΤΟΕΠΙΣΗ	VII - IX, PLANNAR ΕΠΙΣΗ				
1	J1	85	348·(004)	VII		6	Σπασθιμ.	15-20	Ανοίγματα έως 2,07
2	J2	70	148·204	VII		7	-	15-20	- - - 2,2
3	J3	60	014	VII		7	-	-	- - - 2,5

COMMENTS/ΣΧΟΛΙΑ	Geologist/Γεωλόγος
	DATE/ΗΜΕΡΙΑ 1/04/2011
	NAME/ΟΝΟΜΑ ΝΤΑΝΙΛΑΚΟΣ Φ
	SIGN/ΥΠΟΓΡΑΦΗ

Εικόνα 5.3.1.2 Δελτίο Γεωλογικής Χαρτογράφησης Μετώπου (Olympria JV 2011).

Geological data sheet Δελτίο καταγραφής γεωλογικών στοιχείων

(Συνοδεύει το έντυπο MKC-QCO-FRM-30006)

Α. ΓΕΝΙΚΑ			
ΕΡΓΟ: T-2 (ΝΟΔΤΗ)	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ ΟΜΟΛΟΓ	ΗΜ/ΝΙΑ: 1/4/2011	ΜΗΧ/ΚΟΣ ΒΑΡΔΙΑΣ: ΡΟΥΣΙΟΣ Κ.
ΧΙΛ. ΘΕΣΗ: 8 + 0'26,30	ΥΨΟΜ. ΣΤΑΘΜΗ:	ΒΑΡΔΙΑ: Α'	ΓΕΩΛΟΓΟΣ: ΜΠΑΜΠΑΚΙΣ Β
ΕΙΔΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ:	ΕΜΒΑΔΟΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ:	ΣΥΝΗΜΜΕΝΑ:	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:
<input type="checkbox"/> ΦΥΣΙΚΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗ <input type="checkbox"/> ΠΡΑΝΕΣ <input type="checkbox"/> ΠΑΡ. ΣΚΑΜΜΑΤΟΣ <input type="checkbox"/> ΠΑΡ. ΔΙΕΡ. ΤΑΦΡΩΝ <input type="checkbox"/> ΔΑΠΕΔΟ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ <input checked="" type="checkbox"/> ΣΗΡΑΓΓΑ	<input type="checkbox"/> > 100 τ.μ <input type="checkbox"/> 50-100 τ.μ <input checked="" type="checkbox"/> 25-50 τ.μ <input type="checkbox"/> 5-25 τ.μ <input type="checkbox"/> < 5 τ.μ	<input type="checkbox"/> ΧΑΡΤΗΣ <input type="checkbox"/> ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ <input type="checkbox"/> ΤΟΜΗ <input checked="" type="checkbox"/> ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ <input type="checkbox"/> ΣΥΝΤ. ΕΚΘΕΣΗ	

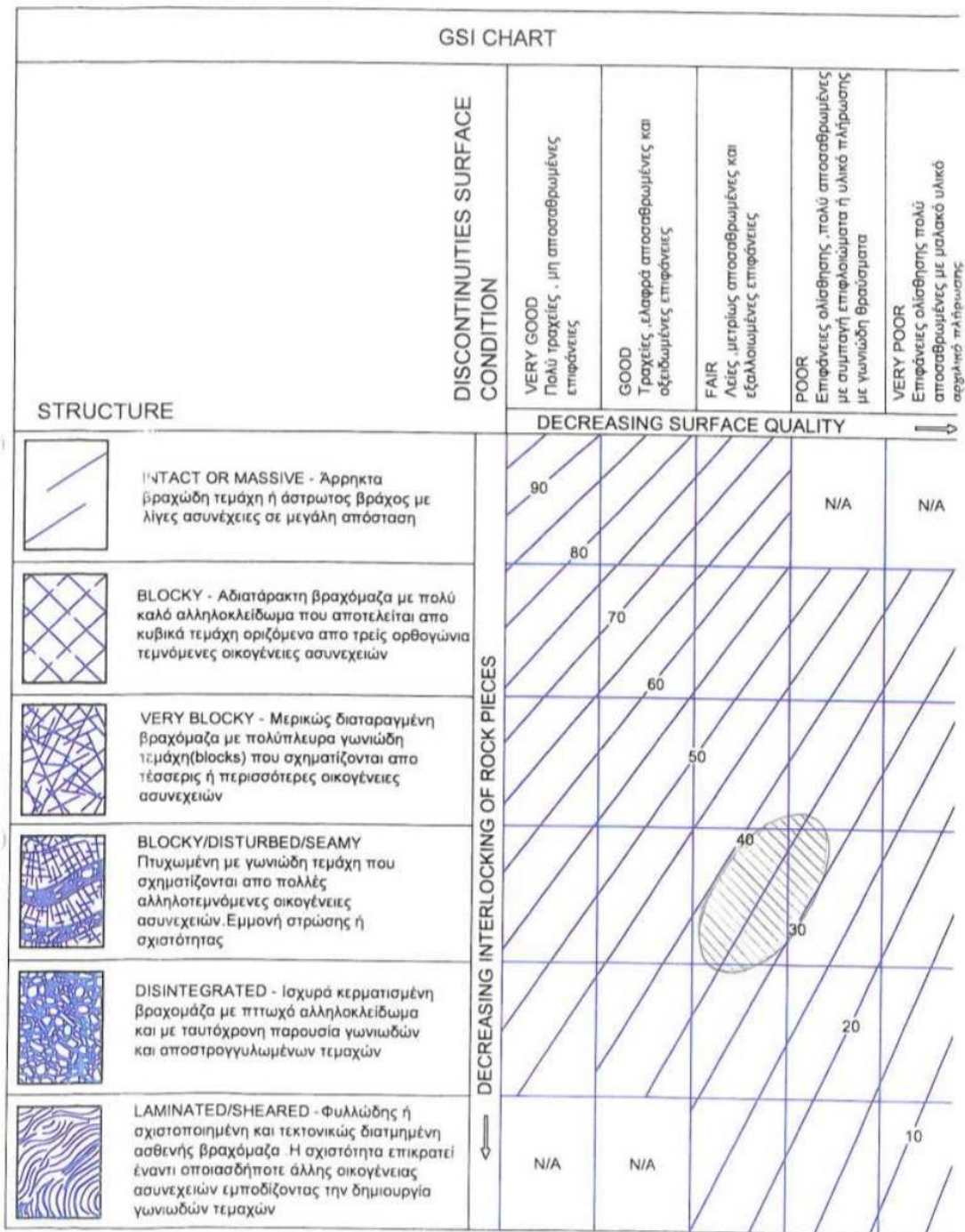
Β. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ					
Β.1 <input type="checkbox"/> ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ <input type="checkbox"/> ΠΡΟΣΦΑΤΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ <input type="checkbox"/> ΜΥΛΟΝΙΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ					
ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑ USCS ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	ΧΡΩΜΑ <input type="checkbox"/> ΑΝΟΙΚΤΟ <input type="checkbox"/> ΒΑΘΥ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ(%)	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (μόνο για συνεκτικά εδάφη)	ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ (μόνο για συνεκτικά εδάφη)	ΓΩΝΙΟΤΗΤΑ ΚΟΚΚΩΝ
<input type="checkbox"/> GW <input type="checkbox"/> SW <input type="checkbox"/> GP <input type="checkbox"/> SP <input type="checkbox"/> GM <input type="checkbox"/> SM <input type="checkbox"/> GC <input type="checkbox"/> SC <input type="checkbox"/> ML <input type="checkbox"/> MH <input type="checkbox"/> CL <input type="checkbox"/> CH <input type="checkbox"/> OL <input type="checkbox"/> OH <input type="checkbox"/> ΔΙΠΛΑ ΣΥΜΒΟΛΑ	<input type="checkbox"/> ΕΡΥΘΡΟ <input type="checkbox"/> ΚΑΣΤΑΝΟ <input type="checkbox"/> ΤΕΦΡΟ <input type="checkbox"/> ΛΕΥΚΟ <input type="checkbox"/> ΜΑΥΡΟ <input type="checkbox"/> ΚΙΤΡΙΝΟ <input type="checkbox"/> ΦΑΙΟ <input type="checkbox"/> ΠΡΑΣΙΝΟ	ΚΡΟΚΑΛΕΣ: ΛΑΤΥΠΕΣ: ΧΑΛΙΚΕΣ: ΑΜΜΟΣ: ΛΕΠΤΟ- ΜΕΡΗ: ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΥΛΗ <input type="checkbox"/> ΝΑΙ <input type="checkbox"/> ΟΧΙ	<input type="checkbox"/> ΜΑΛΑΚΗ <input type="checkbox"/> ΜΕΤΡΙΑ ΣΤΙΦΡΗ <input type="checkbox"/> ΣΤΙΦΡΗ <input type="checkbox"/> ΠΟΛΥ ΣΤΙΦΡΗ <input type="checkbox"/> ΣΚΛΗΡΗ	<input type="checkbox"/> ΧΑΜΗΛΗ Ip ≤ 20% <input type="checkbox"/> ΜΕΤΡΙΑ 20% ≤ Ip ≤ 50% <input type="checkbox"/> ΥΨΗΛΗ Ip ≥ 50%	<input type="checkbox"/> ΓΩΝΙΩΔΗΣ <input type="checkbox"/> ΥΠΟΓΩΝΙΩΔΗΣ <input type="checkbox"/> ΥΠΟΣΤΡΟΓΓΥΛΗ <input type="checkbox"/> ΣΤΡΟΓΓΥΛΗ

Β.2 <input type="checkbox"/> ΒΡΑΧΩΔΕΙΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ				
Β.2.1 ΑΝΕΠΑΦΟΣ ΒΡΑΧΟΣ (ΠΕΤΡΩΜΑ)				
ΤΥΠΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	ΧΡΩΜΑ <input type="checkbox"/> ΑΝΟΙΚΤΟ <input checked="" type="checkbox"/> ΒΑΘΥ	ΙΣΤΟΣ	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ	ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΜΟΝΑΞΟΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (Μpa)
<input type="checkbox"/> ΚΡΓ <input type="checkbox"/> ΓΥΨ <input type="checkbox"/> ΛΠΓ <input type="checkbox"/> ΗΦΣ <input type="checkbox"/> ΧΠΓ <input type="checkbox"/> ΠΛΤ <input type="checkbox"/> ΨΑΜ <input type="checkbox"/> ΣΧΣ <input type="checkbox"/> ΣΧΘ <input type="checkbox"/> ΓΝΣ <input type="checkbox"/> ΙΛΘ <input type="checkbox"/> ΦΣΧ <input checked="" type="checkbox"/> ΑΒΘ <input type="checkbox"/> ΚΡΘ <input type="checkbox"/> ΔΟΛ <input type="checkbox"/> ΜΡΓ	<input type="checkbox"/> ΕΡΥΘΡΟ <input type="checkbox"/> ΚΑΣΤΑΝΟ <input checked="" type="checkbox"/> ΤΕΦΡΟ <input type="checkbox"/> ΜΑΥΡΟ <input type="checkbox"/> ΚΙΤΡΙΝΟ <input type="checkbox"/> ΦΑΙΟ <input type="checkbox"/> ΛΕΥΚΟ <input type="checkbox"/> ΠΡΑΣΙΝΟ <input type="checkbox"/> ΚΥΑΝΟΥΝ	<input type="checkbox"/> ΑΦΑΝΙΤΙΚΟΣ <input type="checkbox"/> ΚΟΚΚΩΔΗΣ <input type="checkbox"/> ΠΟΡΦΥΡΙΤΙΚΟΣ <input type="checkbox"/> ΟΦΕΙΤΙΚΟΣ <input type="checkbox"/> ΓΡΑΝΟΒΛΑΣΤΙΚΟΣ	<input checked="" type="checkbox"/> ΑΣΒΕΙΤΙΤΗΣ <input type="checkbox"/> ΑΣΤΡΙΟΙ <input type="checkbox"/> ΒΙΟΤΙΤΗΣ <input type="checkbox"/> ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ <input type="checkbox"/> ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΣ <input checked="" type="checkbox"/> ΧΑΛΛΑΖΙΑΣ <input type="checkbox"/> ΆΛΛΑ ΟΡΥΚΤΑ.	<input type="checkbox"/> > 250 <input type="checkbox"/> > 100-250 <input type="checkbox"/> 50-100 <input type="checkbox"/> 25-50 <input checked="" type="checkbox"/> 5-25 <input type="checkbox"/> 1-5 <input type="checkbox"/> < 1

Β.2.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ					
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΣΔΦΡΩΣΗΣ	ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡΙΣΜΑΤΩΝ	ΣΤΡΩΣΗ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΕΡΟΥ	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ
<input type="checkbox"/> ΥΓΙΗΣ (F) <input type="checkbox"/> ΕΛΑΦΡΟΣ (SW) <input checked="" type="checkbox"/> ΜΕΤΡΙΟΣ (MW) <input type="checkbox"/> ΥΨΗΛΟΣ (HW) <input type="checkbox"/> ΚΑΘΟΛΙΚΟΣ (CW) <input type="checkbox"/> ΕΝΑΠΟΜΕΙΝΑΝ ΕΔΑΦΟΣ (RS)	<input type="checkbox"/> ΣΥΜΠΑΓΗΣ <input checked="" type="checkbox"/> ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΗ <input type="checkbox"/> ΠΛΑΚΩΔΗΣ <input type="checkbox"/> ΣΤΗΛΟΕΙΔΗΣ <input type="checkbox"/> ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΗ <input type="checkbox"/> ΚΑΤΑΚΕΡΜΑ- ΤΙΣΜΕΝΗ	<input type="checkbox"/> > 8 m ³ <input type="checkbox"/> 1-8 m ³ <input type="checkbox"/> 0.008-1 m ³ <input type="checkbox"/> < 0.001 m ³	<input type="checkbox"/> ΑΣΤΡΩΤΗ <input checked="" type="checkbox"/> ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ <input type="checkbox"/> ΒΑΘΜΟΝΟΜΗ- ΜΕΝΗ <input type="checkbox"/> ΣΤΑΥΡΩΤΗ <input type="checkbox"/> ΡΕΥΜΑΤΟΕΙΔΗΣ	<input type="checkbox"/> ΑΝΥΔΡΕΣ <input checked="" type="checkbox"/> ΥΦΥΓΡΕΣ <input type="checkbox"/> ΥΓΡΕΣ <input type="checkbox"/> ΣΤΑΓΑΝΗ <input type="checkbox"/> ΡΟΗ	<input type="checkbox"/> ΕΥΣΤΑΘΗΣ <input checked="" type="checkbox"/> ΑΣΤΟΧΙΑ ΣΦΗΝΑΣ <input type="checkbox"/> ΚΑΤΑΡΡΕΟΥΣΑ <input type="checkbox"/> ΡΕΟΥΣΑ <input type="checkbox"/> ΚΑΤΑΠΙΠΤΟΥΣΑ <input type="checkbox"/> ΕΡΠΟΥΣΑ <input type="checkbox"/> ΔΙΟΓΚΟΥΜΕΝΗ

Β.3 ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ								
Α/Α	ΤΥΠΟΣ	ΚΛΙΣΗ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ	ΜΟΡΦΗ	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ (JRC 0-20)	ΣΥΝΕΧΕΙΑ	ΙΣΑΠΟΣΤΑΣΗ (CM)	ΑΝΟΙΓΜΑ-ΦΥΣΗ ΚΑΙ ΠΑΧΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΠΛΗΡΩΣΗΣ
1	J1	8 0'	3 4 8	VII	6	ΣΥΝΕΧΗΣ	25-30	Αργιλικά σπ. 0.07
2	J2	3 0'	2 0 4	VII	7	-	15-20	- - 0.02
3	J3	6 0'	0 1 4	VII	7	-	-	- - 0.05
4	J4(B)	3 5'	2 4 8	VI	8	ΣΥΝΕΧΗΣ	?	- - 0.01

GEOLOGIST (Contractor)	
NAME	ΜΠΑΜΠΑΚΙΣ Β
DATE	1/04/2011



Εικόνα 5.3.1.4 Πίνακας GSI (Olympia JV 2011).

**GEOLOGICAL FACE AND TEMPORARY SUPPORT DECISION LOG /
ΔΕΛΤΙΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΜΕΤΩΠΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΦΑΣΗΣ
ΠΡΟΣΩΡΙΝΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ**

SECTION B / ΜΕΡΟΣ Β: To be filled by Contractor's Tunnel Manager / Συμπληρώνεται από τον Υπεύθυνο Ιθρογγογ του Κατασκευαστή

ROCKMASS CLASSIFICATION / ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ		
GSI	OVERBURDEN / ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΑ	RMC RMT
30-40	89,80 m	d (50 < W < 100 m)
COMMENTS ON ROCK MASS CLASSIFICATION / ΣΧΟΛΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ		
Μίτρα ως έτοιγα κερματισμένος αεθροτοζιθός με ελιηθός, ομαθός και εθροθός τραχίες επιθροθές ρυθροθών ηθροθός στο κρηθροθό ρυθροθό		

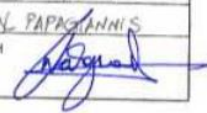
SECTION C / ΜΕΡΟΣ Γ: To be filled by Tunnel Designer / Συμπληρώνεται από το Μελετητή Ιθρογγογ

DESIGNER REVIEW AND APPROVAL / ΕΕΤΑΞΗ ΚΑΙ ΕΓΚΡΙΞΗ ΜΕΛΕΤΗΤΗ	Designer/Μελετητής
	DATE/ΗΜΕΡΙΑ
	NAME/ΟΝΟΜΑ
	SIGN/ΥΠΟΓΡΑΦΗ

SECTION D / ΜΕΡΟΣ Δ: To be filled by Independent Engineer / Συμπληρώνεται από τον Ανεξάρτητο Μηχονικό

IE COMMENTS / ΣΧΟΛΙΑ ΑΝΕΞ. ΜΗΧ.	IE/Ανεξ. Μηχ.
	DATE/ΗΜΕΡΙΑ
	NAME/ΟΝΟΜΑ
	SIGN/ΥΠΟΓΡΑΦΗ

SECTION E / ΜΕΡΟΣ Ε: To be filled by Contractor's Tunnel Manager / Συμπληρώνεται από τον Υπεύθυνο Ιθρογγογ του Κατασκευαστή

CONTRACTOR FINAL DECISION / ΤΕΛΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	Contractor/Κατασκευαστής
	DATE/ΗΜΕΡΙΑ 1/04/2011
	NAME/ΟΝΟΜΑ Ν. ΠΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ
	SIGN/ΥΠΟΓΡΑΦΗ 

Εικόνα 5.3.1.5 Έντυπο επιλογής Προσωρινών Μέτρων Αντιστήριξης (Olympria JV 2011).



ΧΘ : 8 + 026,30

3/04/2011 (09:28')

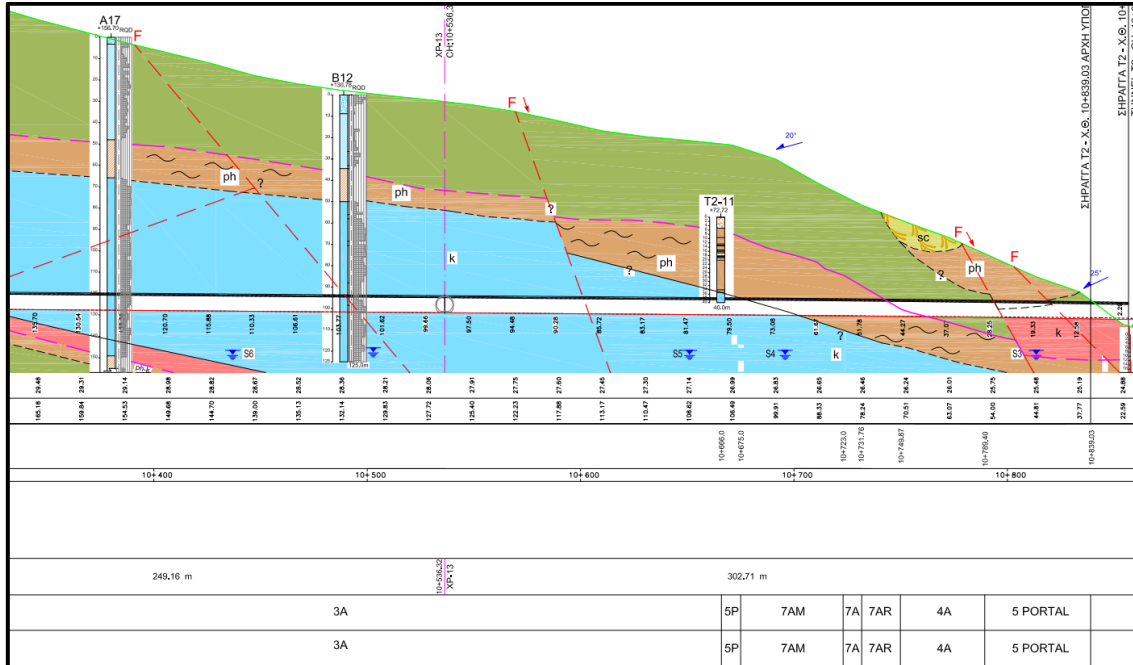
Εικόνα 5.3.1.6 Φωτογραφία Μετώπου (Olympria JV 2011)

5.3.2. Γεωλογικές συνθήκες της Σήραγγας Τεμπών

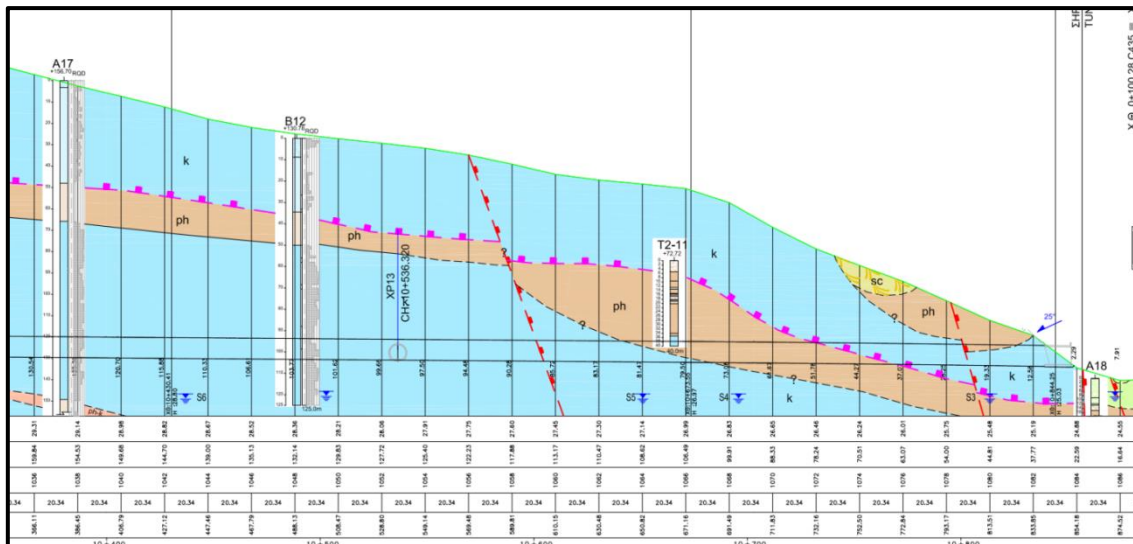
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η αρχική εκτίμηση των συνθηκών που θα συναντήσουμε σε μια σήραγγα μπορεί να μην είναι ακριβής. Στην συγκεκριμένη σήραγγα δεν επαληθεύτηκαν οι προβλέψεις της γεωτεχνικής έρευνας. Κατά την εκσκαφή της σήραγγας ο σχηματισμός του φυλλίτη που συναντήθηκε στα πρώτα μέτρα εκσκαφής είχε φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν προβλήματα καταπτώσεων και συγκλίσεων κατά την εκσκαφή και καθυστέρηση των εργασιών.

Λόγω αστάθειας του μετώπου εκσκαφής ήταν δύσκολο για λόγους ασφάλειας να γίνουν οι εκσκαφές. Οι κατηγορίες εκσκαφής που είχαν προβλεφθεί για να εφαρμοστούν δεν μπορούσαν να ανταποκριθούν στις υπάρχουσες συνθήκες και εφαρμόστηκε συμπληρωματική μελέτη με επιπρόσθετα μέτρα υποστήριξης. Συγκλίσεις και αστοχίες είχαν εμφανιστεί σε ορισμένες θέσεις του κελύφους της προσωρινής επένδυσης και οι παραγωγές σε μέτρα εκσκαφής ήταν πολύ χαμηλές.

Όπως φαίνεται από τη γεωλογική μηκοτομή της μελέτης από την έναρξη του βόρειου υπογείου τμήματος χλιομέτρηση 10+856 έως 10+320 είχαν εκτελεστεί τρεις ερευνητικές γεωτρήσεις T2-11, B12, A17, (Πίνακας 5.3.1-1 και Πίνακας 5.3.2-1).



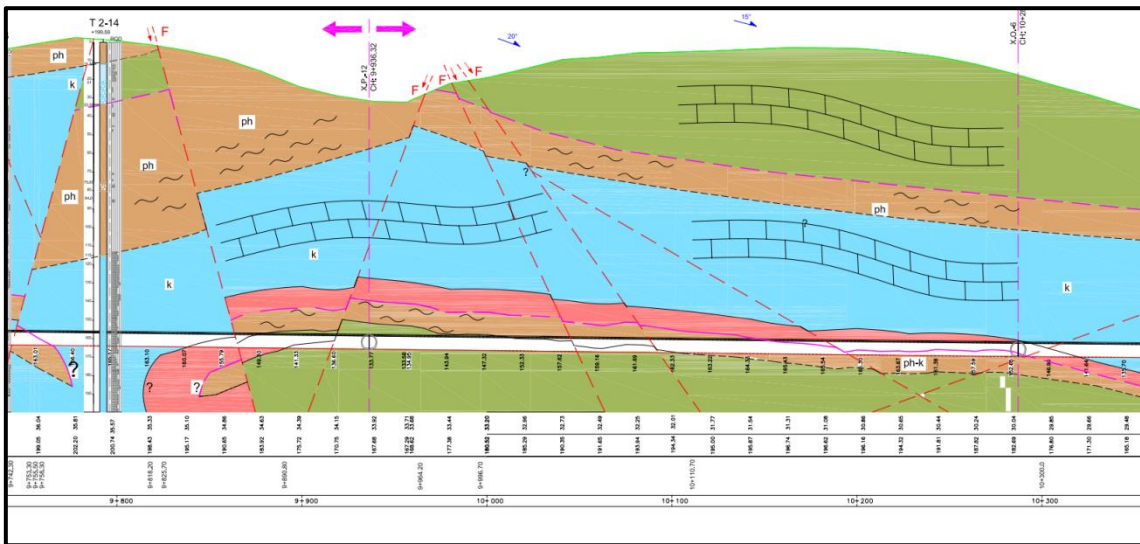
Εικόνα 5.3.2.1 Γεωλογική μηκοτομή όπως κατασκευάστηκε (Olympria JV 2011)



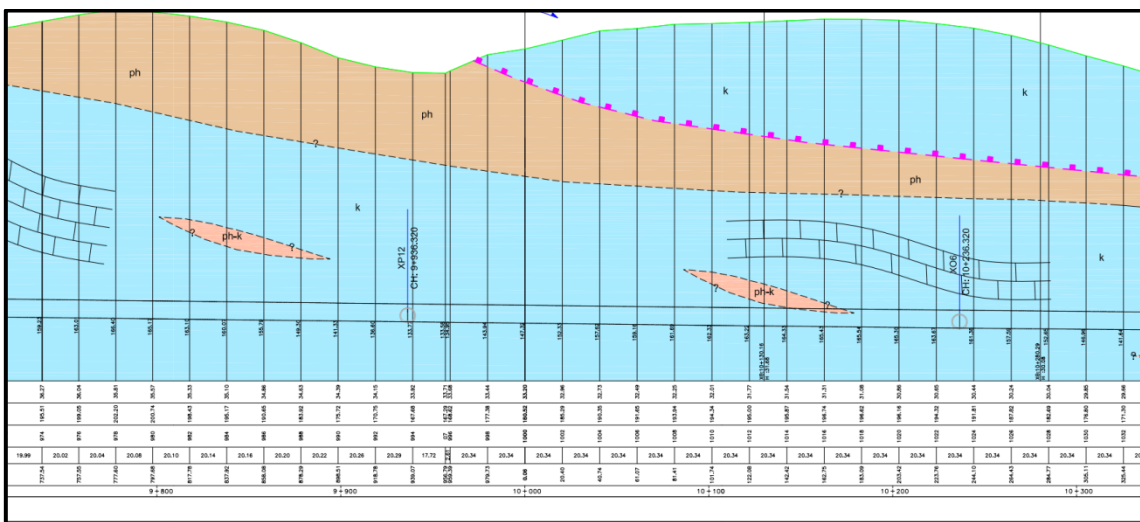
Εικόνα 5.3.2.2 Γεωλογική μηκοτομή σύμφωνα με τη μελέτη (Olympria JV 2011)

Στη συνέχεια από την χλιομέτρηση 10+320 έως τη χλιομέτρηση 9+742 (Εικόνα 5.3.2.3 και Εικόνα 5.3.2.4) δεν είχε εκτελεστεί ερευνητική γεώτρηση και το πέτρωμα που θα εμφανιζόταν ήταν στο μεγαλύτερο ποσοστό 65% ασβεστόλιθος καλής ποιότητας με RMT

(Rockmass Type) 2,3. Στην πραγματικότητα όμως το 20% ήταν ασβεστόλιθος καλής ποιότητας. Εφαρμόστηκαν πιο << βαριές>> κατηγορίες εκσκαφής με παρουσία δύο πετρωμάτων στο μέτωπο εκσκαφής (mixed face) ασβεστόλιθου και φυλλίτηⁱ όπου για τον ασβεστόλιθο η εκσκαφή έγινε με διάτρηση και ανατίναξη ενώ για τον φυλλίτη μόνο εκσκαφή με μηχανικά μέσα.



Εικόνα 5.3.2.3 Γεωλογική Μηκτομή όπως κατασκευάστηκε(Ολυμπία JV 2011)



Εικόνα 5.3.2.4 Γεωλογική Μηκτομή όπως κατασκευάστηκε(Ολυμπία JV 2011)

Αυτό όπως καταλαβαίνουμε απαιτεί χρόνο και ενέχει τον κίνδυνο να διαταραχτεί η πιο ασθενή βραχώμαζα από τις ανατινάξεις και να σημειωθούν υπερεκσκαφές (εκσκαφή πέραν της επιτρεπόμενης γεωμετρίας της Σήραγγας). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκύπτει μεγαλύτερος

όγκος προϊόντων εκσκαφής ,μεγαλύτερες ποσότητες εκτοξευόμενου σκυροδέματος, αύξηση του χρόνου εκτέλεσης των εργασιών και συνέπεια όλων επιβάρυνση του κόστους του έργου.

Λόγω των προβλημάτων που εμφανίστηκαν κρίθηκε αναγκαίο να γίνει συμπληρωματική έρευνα για τις γεωτεχνικές συνθήκες της Σήραγγας με την εκτέλεση νέων ερευνητικών γεωτρήσεων. Από τη χιλιομέτρηση 9+818,20 έως 9+580 εκτελέστηκαν τρεις νέες γεωτρήσεις T2-13,T2-14,T2-15.

Από τη χιλιομέτρηση(9+742)έως (9+250)οι γεωτεχνικές συνθήκες εκσκαφής με RMT 2,3 αντιστοιχούσανε στο 75% σύμφωνα με τη μελέτη, ενώ σε πραγματικές συνθήκες ο τύπος της Βραχόμαζας με RMT2,3 αντιστοιχούσε στο 100%.

Από τη χιλιομέτρηση (9+120) έως (7+863)ο τύπος της βραχόμαζας με RMT 2,3 αντιστοιχούσε στο 80% σύμφωνα με τη μελέτη , ενώ σε πραγματικές συνθήκες το RMT ήταν στο 65%.

Στον Πίνακα 5.3.2-1 αναλύεται για κάθε χιλιομέτρηση της σήραγγας ο τύπος της Βραχόμαζας που παρατηρήθηκε κατά την εκσκαφή και ο τύπος που είχε προβλεφθεί από την μελέτη.

Πίνακας 5.3.2-1 Τύπος Βραχόμαζας μελέτης και εκσκαφής ανά χιλιομέτρηση

Χιλιομετρική θέση	Τύπος βραχόμαζας(Μελέτη)					Τύπος βραχόμαζας(Εκσκαφή)				
	RMT2	RMT3	RMT4	RMT12	RMT13	RMT2	RMT3	RMT4	RMT12	RMT13
10+839 -10+800	0%	0%	60%	0%	40%	0%	0%	50%	50%	0%
10+800-10+742	30%	40%	50%	0%	0%	0%	80%	10%	10%	0%
10+742-10+630	0%	0%	0%	0%	100%	5%	32%	0%	0%	68%
10+630-9+249	41%	36%	23%	0%	0%	64%	5,50%	21,50%	4,50%	4,50%
9+249-9+130	0%	0%	100%	0%	0%	44%	0%	56%	0%	0%
9+130-7+868,30	36%	46%	18%	0%	0%	33,20%	27%	29,82%	9,98%	0%

6. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

6.1. Μεθοδολογία Εκσκαφής Σήραγγας Τεμπών

6.1.1. Στόμια Σηράγγων

Πριν την έναρξη των υπόγειων εκσκαφών έγινε διαμόρφωση των μετώπων στα στόμια (είσοδος-έξοδος) με διάτρηση και ανατίναξη. Για τους δύο κλάδους τα μήκη των Cut & Cover (εκσκαφή και επανεπίκωση) ανέρχονται σε 17μ. Οι κλίσεις των πρανών κυμαίνονται απο 3:1 έως 3:2. Τοποθετήθηκαν προπλαίσια καθώς και μέτρα προστασίας για τυχόν καταπτώσεις βραχωδών τεμαχίων στα πρανή των στομιών (Φράκτης συγκράτησης).

6.1.2. Υπόγεια Τμήμα

Η εκσκαφή του υπόγειου τμήματος έγινε με τη μέθοδο NATM. Οι εκσκαφές στο μεγαλύτερο τμήμα τους έγιναν με ανατινάξεις. Οι ανατινάξεις έγιναν με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η διατάραξη και η χαλάρωση της βραχώμαζας ,πέρα από το επίπεδο που προβλέπουν οι γραμμές εκσκαφής και η βραχώμαζα που απομένει μετά την ανατίναξη, να μπορεί να αυτουποστηρίζεται όσο το δυνατό καλύτερα. Χρησιμοποιήθηκαν διατρητικά μηχανήματα (Jumbo) τελευταίας τεχνολογίας της εταιρείας TAMROCK. Τα διατρητικά μηχανήματα διέθεταν τρεις βραχίονες διάτρησης και υπολογιστή μέσω του οποίου έδινε ο μηχανικός τα γεωμετρικά στοιχεία της διάτρησης του μετώπου (Θέση και κλίση κάθε οπής) και το μηχάνημα μπορούσε να κάνει διάτρηση αυτόματα μόνο με την επίβλεψη του χειριστή.

Μετά την απομάκρυνση των προϊόντων εκσκαφής και την απόθεση τους σε απόσταση 500 μ έξω από τη σήραγγα έγινε εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων άμεσης υποστήριξης ανάλογα με την κατηγορία εκσκαφής :

- 1) εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος (Εργοταξιακό).
- 2) Τοποθέτηση πλέγματος.
- 3) Τοποθέτηση πλαισίων(HEB ,lattice girder).
- 4) Διάτρηση και τοποθέτηση παθητικών αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης ή αυτοδιατρώμενα ή διογκούμενα (Swelllex).

Οι παραγόμενες ποσότητες των υλικών εκσκαφής μεταφέρθηκαν στο σπαστήρα και χρησιμοποιήθηκαν ως υλικά οδοστρωσίας και επιχωμάτων.

6.1.3. Γεωμετρία Εκσκαφής

Η εκσκαφή των διατομών της Σήραγγας έγινε σύμφωνα με την επένδυση, τις κλίσεις και τις διαστάσεις που αναφέρονται στη μελέτη. Οι διατομές των εκσκαφών της Σήραγγας είναι διαφορετικές για κάθε τύπο εκσκαφής. Η εκσκαφή της Σήραγγας ανάλογα με την κατηγορία εκσκαφής έγινε σε μια , δύο και τρεις φάσεις εκσκαφής με εκρηκτικά που χρησιμοποιήθηκαν άλλοτε σε ολόκληρη τη διατομή αλλά και άλλοτε σε τμήμα αυτής. Μετά τον καθαρισμό του μετώπου απο τα προϊόντα εκσκαφής ακολουθεί τοπογραφικός έλεγχος της διατομής εκσκαφών, για να απομακρυνθούν τμήματα της βραχώμαζας που βρίσκονται μέσα απο τη γραμμή Α της εκσκαφής και εμποδίζουν την κατασκευή του στατικού πάχους της υποστήριξης της Σήραγγας. Η γραμμή Α όπως έχουμε αναφέρει είναι η ελάχιστη γραμμή εκσκαφής.

6.1.4. Μηχανολογικός εξοπλισμός

Ο Μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι ο εξής:

- 1) Υδραυλικός εκσκαφέας LIEBHERR 944.
- 2) Φορτωτής CAT 980 H.
- 3) Διατρητικό μηχάνημα TAMROCK T11 με τρεις Βραχίονες και T08 με δύο.
- 4) Φορητά TORO 050.
- 5) Πρέσα εκτοξευόμενου σκυροδέματος PUTZMEISTER PM500.
- 6) Αντλίες ενεμάτωσης PFT και HANY.
- 7) Ανεμιστήρες.

6.1.5. Εργατικό Προσωπικό

Το εργατικό προσωπικό δούλεψε σε τρεις οκτάωρες βάρδιες έτσι ώστε οι εργασίες να εκτελούνται συνεχόμενα όλο το 24ωρο.

Οι ειδικότητες που υπήρχαν ήταν οι εξής:

- 1) Χειριστές Μηχανημάτων
- 2) Οδηγοί
- 3) Γομωτές
- 4) Ηλεκτρολόγοι
- 5) Πιστολαδόροι
- 6) Τεχνίτες μηχανημάτων

6.1.6. Όργανα Παρακολούθησης Σήραγγας

Κατά την διάρκεια της εκσκαφής υπήρχε ένα συνεχόμενο πρόγραμμα παρακολούθησης συγκλίσεων της βραχώμαζας για να διασφαλιστεί η ασφάλεια της δομής και του προσωπικού και να γίνει συλλογή στοιχείων για να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη της Τελικής Επένδυσης.

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής :

- 1) Τοπογραφικοί στόχοι.
- 2) Κυψέλες φορτίου αγκυρίων βράχου.
- 3) Κυψέλες πίεσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος.
- 4) Παραμορφωσίμετρα πλαισίων.

5) Μηκυνσιόμετρα.

Οι θέσεις τοποθέτησης είχαν οριστεί απο την μελέτη και νέες θέσεις προέκυψαν κατά την διάρκεια της εκσκαφής ανάλογα με τον τύπο της βραχόμαζας.

6.1.7. Ηλεκτρομηχανολογικές Εγκαταστάσεις Ηλεκτροφωτισμός

Ηλεκτροφωτισμός

Οι χώροι εργασίας ήταν επαρκώς φωτισμένοι κατά τη διάρκεια της νύχτας με ηλεκτρικά γραμμικά φωτιστικά τα οποία θα συνδέονταν με ηλεκτρικά καλώδια και τοποθετούνταν σε καθορισμένο ύψος στην παρειά , για να μην υπάρχει κίνδυνος πρόσκρουσης με κάποιο μηχάνημα. Η τροφοδοσία γινόταν απο ηλεκτροπαραγωγικό ζεύγος μέσω μετασχηματιστή και σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος υπήρχαν φώτα ασφαλείας.

Τηλεπικοινωνίες

Τηλεπικοινωνίες εγκαταστάθηκαν για να συνδέουν το μέτωπο εκσκαφής με τα στόμια των Σηράγγων. Δυο γραμμές τηλεφώνου εγκαταστάθηκαν, μία σε κάθε κλάδο, με τηλέφωνο σε μικρή απόσταση απο το μέτωπο που διαθέτει και σειρήνα. Οι μηχανικοί και οι εργοδηγοί είχαν στην κατοχή τους κινητά τηλέφωνα καθώς είχε εγκατασταθεί κεραία κινητής τηλεφωνίας.

6.1.8. Αερισμός Σήραγγας

Για τον αερισμό της σήραγγας χρησιμοποιήθηκε ένας πλαστικός αεραγωγός διαμέτρου 2,20μ με την εγκατάσταση ανεμιστήρων σε κάθε στόμιο. Ο εισερχόμενος αέρας είναι ελεύθερος απο σκόνη, καπνό καθώς τοποθετείται σε απόσταση απο το στόμιο της σήραγγας. Η ποιότητα του αέρα ελέγχεται σύμφωνα με τους κανονισμούς στο μέτωπο των σηράγγων κάθε 100μ ή πιο συχνά αν κριθεί αναγκαίο. Γίνεται συνεχής έλεγχος του οξυγόνου ώστε να μην μειωθεί κάτω απο 20%. Γίνεται επαρκής αερισμός των μετώπων για διάρκεια τουλάχιστον 30 λεπτών μετά την ανάφλεξη των εκρηκτικών προκειμένου να αραιωθούν τα παραγόμενα αέρια σε συγκεντρώσεις κάτω απο το υψηλότερο επιτρεπόμενο επίπεδο. Η είσοδος του προσωπικού στη σήραγγα μετά την ανάφλεξη των εκρηκτικών γίνεται μετά τον έλεγχο απο τον υπεύθυνο γομωτή της ανατίναξης. Η απαιτούμενη ποσότητα αέρα υπολογίζεται με βάση του μέγιστου αριθμού εργαζομένων μέσα στη σήραγγα και την μέγιστη απαιτούμενη ιπποδύναμη του

μηχανολογικού εξοπλισμού που θα λειτουργεί μέσα στη σήραγγα. Ο αεραγωγός θα τοποθετείται στο θόλο και σε απόσταση τουλάχιστον 50cm από διερχόμενο όχημα.

6.2. Χρονικός Προγραμματισμός

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες παραγράφους οι γεωλογικές συνθήκες αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλουν στο χρόνο και στο κόστος εκσκαφής μιας σήραγγας. Η διάνοιξη της σήραγγας ξεκίνησε τον Αύγουστο του 2008 και ολοκληρώθηκαν οι εκσκαφές τον Μάιο του 2011, Εικόνα 6.2.1 και Εικόνα 6.2.2. Διάγραμμα Gantt Βόρειος Κλάδος.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ GANT

ΣΗΡΑΓΓΑ ΤΕΜΠΩΝ Τ2 ΒΟΡΕΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΝΕΣ	ΕΤΟΣ 2008												ΕΤΟΣ 2009												ΕΤΟΣ 2010												ΕΤΟΣ 2011												
		Ι	Β	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	
Εγκατάσταση Εργοταξίου						■																																												
Εισκόμηση Μηχανημάτων						■																																												
Στόμιο Σήραγγας						■																																												
Εκσκαφή και Προσωρινή Υποστήριξη Α' Φάσης	10+839-9+700												■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																										
Εκσκαφή και Προσωρινή Υποστήριξη Β' Φάσης	10+839-9+700																								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Εκσκαφή και Προσωρινή Υποστήριξη Α' Φάσης	9+700-8+700																																						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Εκσκαφή και Προσωρινή Υποστήριξη Β' Φάσης	9+700-8+700																																						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Εκσκαφή και Προσωρινή Υποστήριξη Α' Φάσης	8+700-7+783																																																	
Εκσκαφή και Προσωρινή Υποστήριξη Β' Φάσης	8+700-7+783																																																	

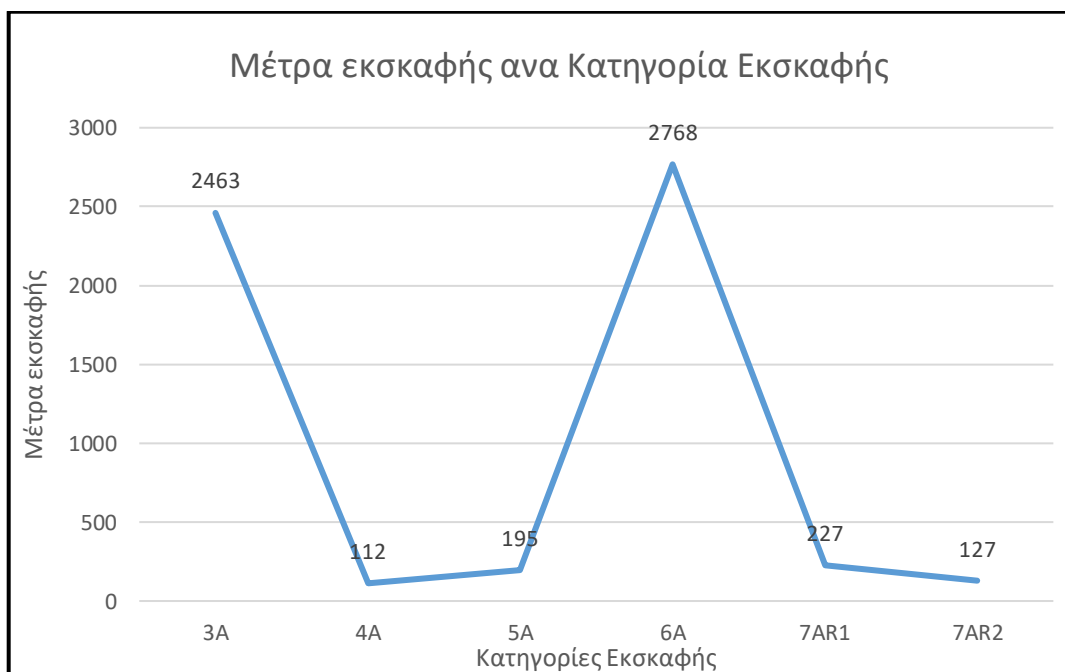
Εικόνα 6.2.2.Διάγραμμα Gantt Βόρειος Κλάδος

Η διάρκεια των εργασιών εκσκαφής ήταν 34 μήνες. Η καλύτερη μηνιαία παραγωγή και στους δυο κλάδους ήταν 361μ και η ελάχιστη 23μ. Εικόνα 6.2.4. Οι κατηγορίες που εφαρμόστηκαν στο μεγαλύτερο μέρος της εκσκαφής είναι η 6A σε ποσοστό 47% και η 3A σε ποσοστό 42% και στο μικρότερο η pilot 0,29% και η 4A 1,9%, .

Οι χαμηλότερες μηνιαίες παραγωγές (23μ- 80μ)σημειώθηκαν για διάστημα ενός εξαμήνου (Εικόνα 6.2.4).

Οι εργασίες εκτελούνταν σε 3 οκτώωρες Βάρδιες (7:00-14:00,14:00-22:00,22:00-06:00) 26 ημέρες τον μήνα .Ο αριθμός των εργαζομένων σε κάθε βάρδια ανέρχεται σε 20 άτομα.

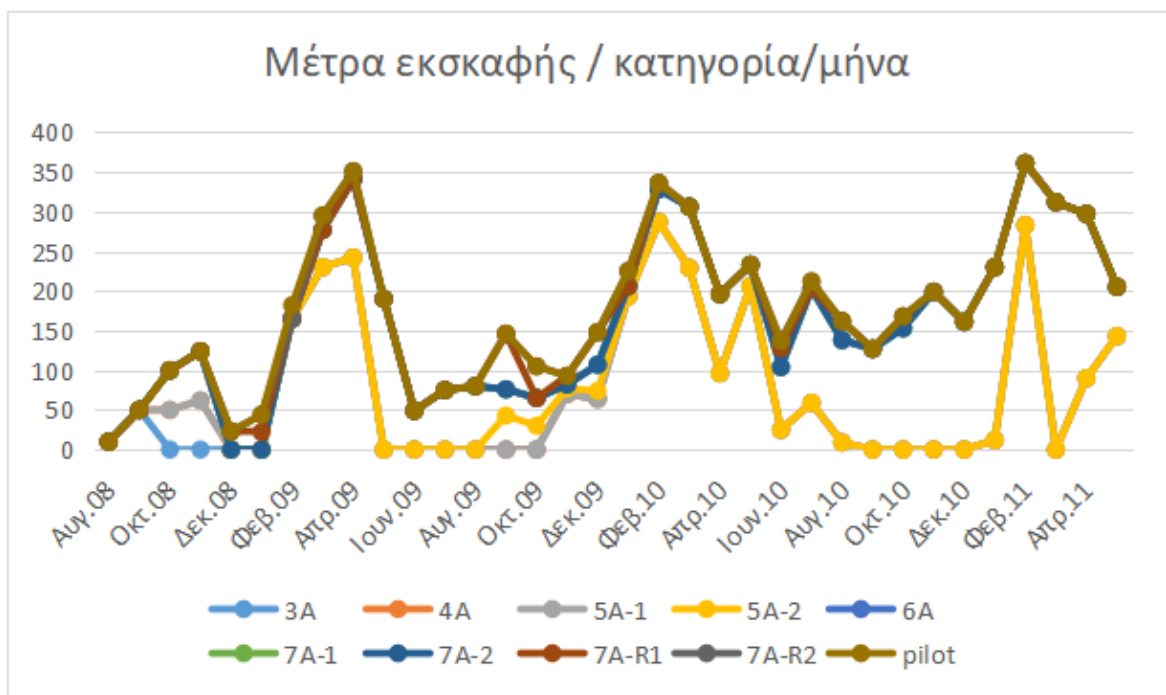
Την περίοδο μεταξύ Δεκ 08 και Φεβ 09 που αριθμούνται και τα λιγότερα μέτρα εκσκαφής(23μ) υπήρξαν προβλήματα ευστάθειας του μετώπου της σήραγγας που για να αντιμετωπισθεί συντάχθηκε εκ νέου μελέτη (pilot), Εικόνα 6.2.5. Η εν λόγω περιοχή που διανοιγόταν σε εδαφοποιημένο φυλλίτη επέφερε και συγκλίσεις στο προσωρινό κέλυφος με κατά θέσεις θραύση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος που έπρεπε στη συνέχεια να αποκατασταθεί.



Εικόνα 6.2.3 Διάγραμμα Μέτρων εκσκαφής ανά κατηγορία εκσκαφής

Πίνακας 6.2-1 Μηνιαία Καταγραφή Κατηγορίας Εκσκαφή και Υποστήριξης

	Κατηγορίες εκσκαφής		3A	4A	5A-1	5A-2	6A	7A-1	7A-2	7A-R1	7A-R2	pilot	Μέτρα
	Μήνες		m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	
1	Αυγ.08		10										10
2	Σεπτ.08		50										50
3	Οκτ.08			50		50							100
4	Νοε.08			62		62							124
5	Δεκ.08									23			23
6	Ιαν.09									22	22		44
7	Φεβ.09		165									17	182
8	Μαρ.09		230				47				18		295
9	Απρ.09		242				99				10		351
10	Μαιος. 09						190						190
11	Ιουν.09						49						49
12	Ιουλ.09						75						75
13	Αυγ.09						80						80
14	Σεπτ.09					43	33			70			146
15	Οκτ.09					30	35				40		105
16	Νοε.09		70										70
17	Δεκ.09		64			10	33			41			148
18	Ιαν.10		193				13				19		225
19	Φεβ.10		287				41			8			336
20	Μαρ.10		229				77						306
21	Απρ.10		96				100						196
22	Μαιος. 10		206				27						233
23	Ιουν.10		25				79			24	9		137
24	Ιουλ.10		59				144				9		212
25	Αυγ.10		9				129			24			162
26	Σεπτ.10						127						127
27	Οκτ.10						153			15			168
28	Νοε.10						199						199
29	Δεκ.10						161						161
30	Ιαν.11		12				218						230
31	Φεβ.11		283				78						361
32	Μαρ.11						312						312
33	Απρ.11		90				207						297
34	Μαιος 11		143				62						205
	Σύνολο		2463	112	0	195	2768	0	0	227	127	17	5909



Εικόνα 6.2.4 Διάγραμμα -Μηνιαία μέτρα εκσκαφής ανά κατηγορία



Εικόνα 6.2.5 Διάγραμμα Μέτρα εκσκαφής ανά μήνα

6.3. Κόστος Εκσκαφής της Σήραγγας T2

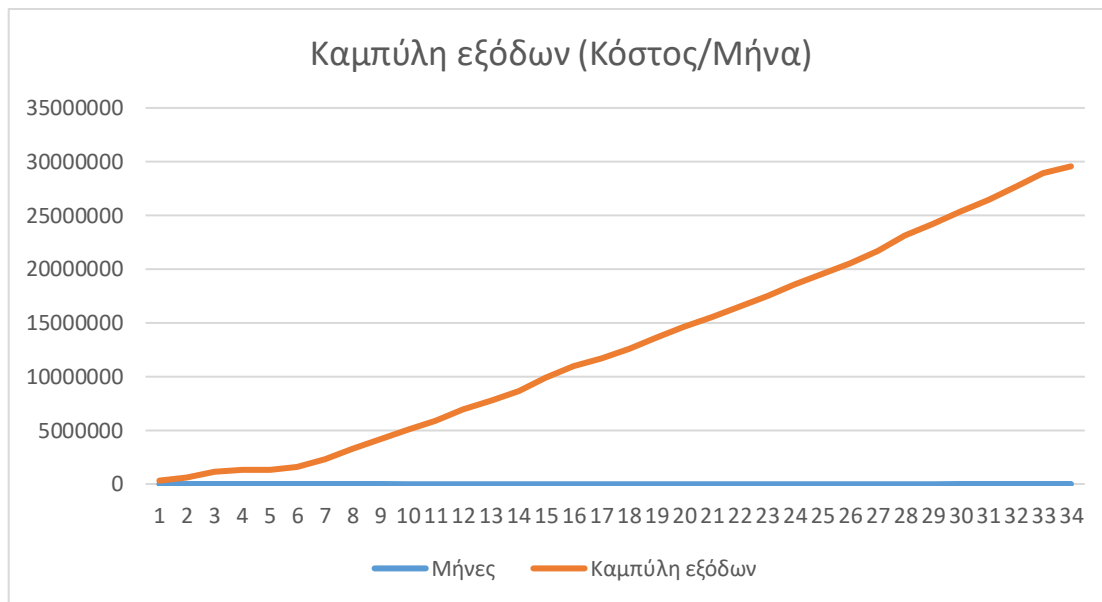
Η έγκαιρη τροφοδότηση πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση ενός έργου επιτρέπει στους διαχειριστές του να εντοπίζουν έγκαιρα τα προβλήματα και να κάνουν τις κατάλληλες προσαρμογές που μπορούν να διατηρήσουν ένα έργο στην ώρα του και εντός προϋπολογισμού έλεγχος κόστους και χρονοδιαγράμματος έχουν θεωρηθεί ως δυο κύριοι παράγοντες διαχείρισης για την επιτυχία εκτέλεσης των κατασκευαστικών έργων.

Για την κατασκευή της σήραγγας μια ομάδα μηχανικών συμμετείχε στην συλλογή των στοιχείων από την κατασκευή της σήραγγας. Τα στοιχεία αυτά αφορούν τα εξής:

- Εργατικό προσωπικό. Ώρες και ημέρες εργασίες ανά μήνα.
- Μηχανολογικός εξοπλισμός.
- Ενσωματούμενα υλικά. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, Μεταλλικά πλαίσια(HEB, Lattice Girder),αγκύρια(ολόσωμης πάκτωσης ,Swellex),πλέγματα.
- Μη ενσωματούμενα υλικά.(Εκρηκτικές ύλες, διατρητικά στελέχη, κοπτικά).
- Ποσότητες εκσκαφής ανά βήμα εκσκαφής μετά απο τοπογραφική αποτύπωση.
- Άλλα υλικά (εργαλεία, ηλεκτρολογικό υλικό).

Όλα τα παραπάνω στοιχεία συλλέγονται καθημερινά και ανά βάρδια εργασιών. Στη συνέχεια προστίθεται τα αριθμητικά στοιχεία των εργασιών (τιμές μονάδος υλικών,

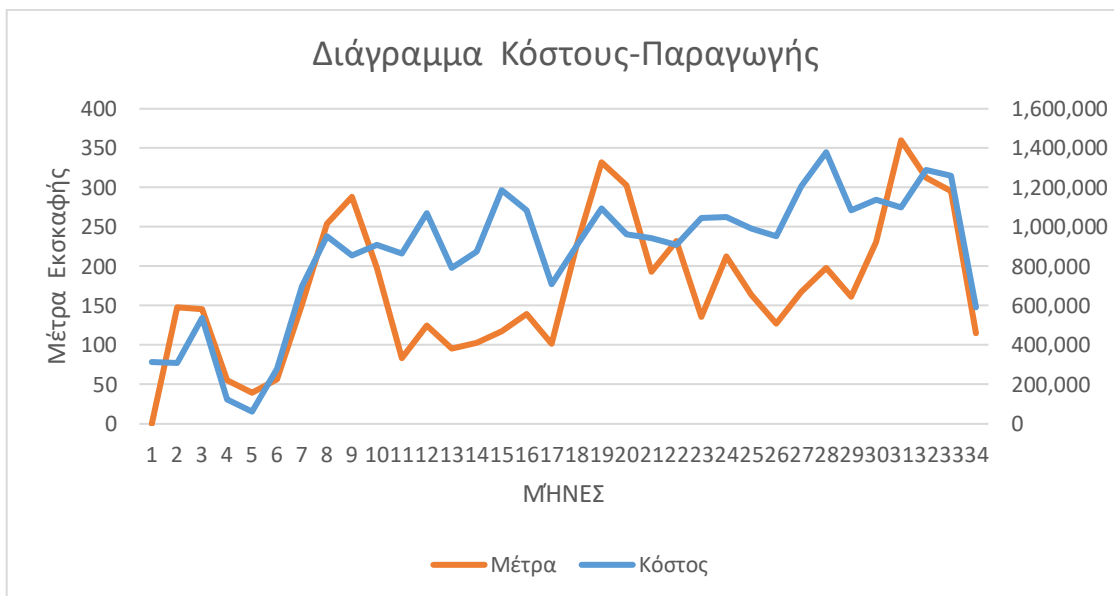
οικονομικές απολαβές εργατικού προσωπικού, εκσκαφή ανά m³ και προκύπτει το κόστος εκσκαφής ανά μήνα ,Εικόνα 6.3.1.



Εικόνα 6.3.1 Καμπύλη εξόδων (κόστος/μήνα)

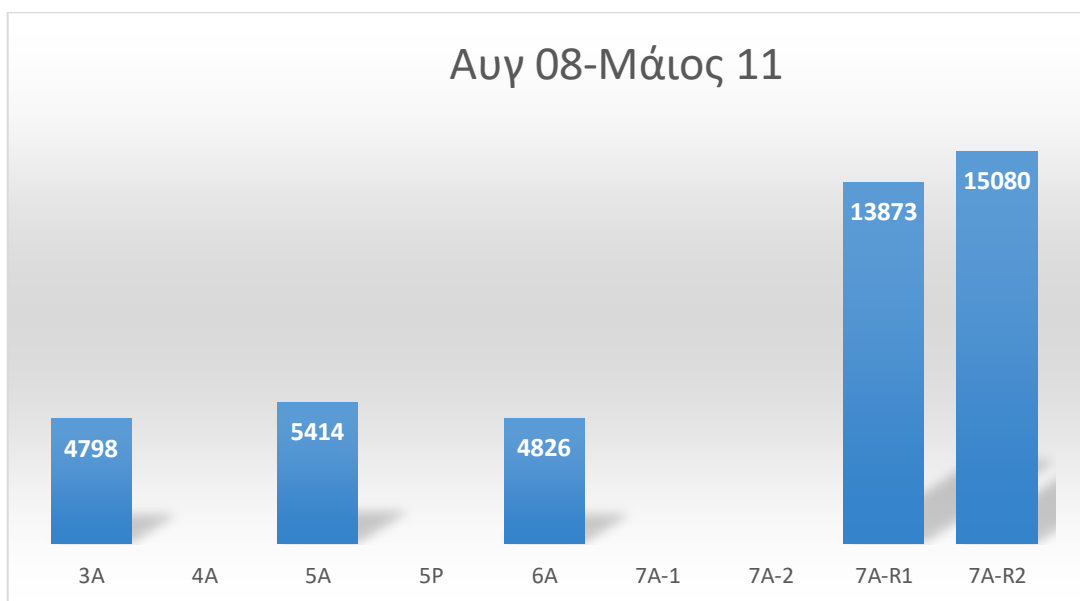
Απο την καμπύλη εξόδων μπορούμε να υπολογίσουμε ένα μέσο κόστος κοντά στις 900.000 ευρώ το μήνα.

Παρουσιάζει διακύμανση το κόστος απο μήνα σε μήνα και συνδέεται με την παραγωγή που επιτυγχάνεται το μήνα σε μέτρα εκσκαφής Εικόνα 6.3.2.Απο το διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι αυξάνεται το κόστος εκσκαφής όταν οι μηνιαίες παραγωγές είναι χαμηλές. Ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν οι μηνιαίες παραγωγές είναι υψηλές.



Εικόνα 6.3.2 Διάγραμμα Κόστους-Παραγωγής

Η εκσκαφή έγινε σε δυο στάδια 'Άνω ημιδιατομή (Α' φάση) + Κάτω ημιδιατομή (Β' φάση) αλλά και σε ολομέτωπη εκσκαφή(Full Face) Άνω και κάτω διατομή. Η παρακολούθηση του κόστους έγινε για κάθε φάση ξεχωριστά ,για την Α φάση, για την Β' φάση και για την ολομέτωπη. Συλλέγοντας όλα τα στοιχεία για όλους τους μήνες και για όλες τις φάσεις εκσκαφής προέκυψε το τελικό κόστος για κάθε κατηγορία εκσκαφής (Αυγ2008-Μαιο2011), Εικόνα 6.3.3.



Εικόνα 6.3.3 Κόστος ανά κατηγορία εκσκαφής

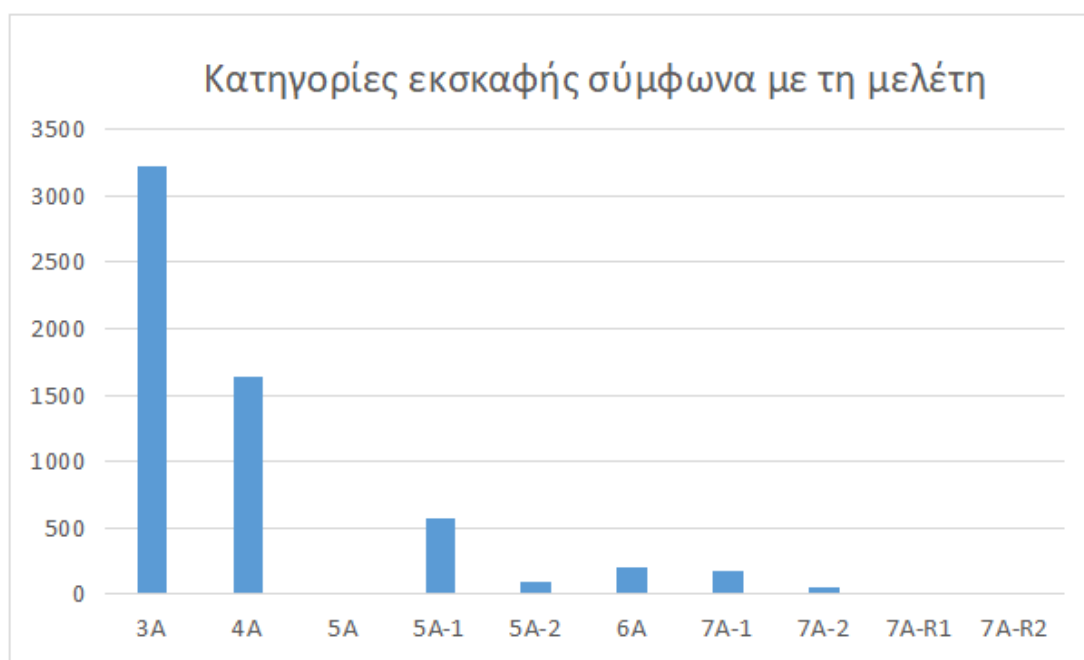
Το κόστος κάθε κατηγορίας αλλάζει από μήνα σε μήνα και για κάθε φάση εκσκαφής. Οι κατηγορίες με τα περισσότερα μέτρα υποστήριξης οι λεγόμενες <<βαριές>>κατηγορίες εμφανίζουν και το μεγαλύτερο κόστος.

6.4. Κατηγορίες εκσκαφής σύμφωνα με τη μελέτη

Η κοστολόγηση της Σήραγγας πριν την έναρξη των εργασιών έγινε με βάση τις κατηγορίες εκσκαφής που προέκυψαν από την Γεωτεχνική έρευνα. Αυτές απεικονίζονται στον παρακάτω Πίνακας 6.4-1 και στην Εικόνα 6.4.1.

Πίνακας 6.4-1 Κατηγορίες εκσκαφής σύμφωνα με τη μελέτη

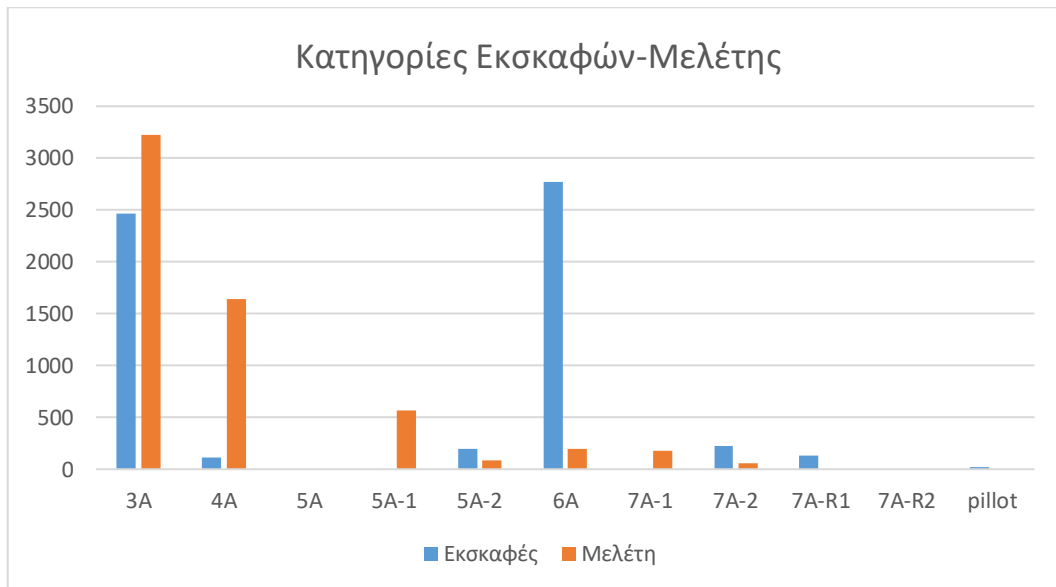
Tunnel T2									
Κατηγορίες εκσκαφής σύμφωνα με τη Μελέτη									
3A	4A	5A	5A-1	5A-2	6A	7A-1	7A-2	7A-R1	7A-R2
3224,8	1644	0	570,7	86,7	199,2	175,4	53,2	0	0



Εικόνα 6.4.1 Διάγραμμα μέτρων εκσκαφής ανά Κατηγορίας Εκσκαφής σύμφωνα με τη μελέτη

Η αρχική εκτίμηση σύμφωνα με τη Γεωτεχνική έρευνα ήταν ότι η εκσκαφή στο μεγαλύτερο τμήμα της Σήραγγας θα γινόταν σε υγιής βραχώμαζα και σε ποσοστό 80% θα υπήρξε εφαρμογή κατηγοριών με λίγα μέτρα υποστήριξης. Έχοντας τα πραγματικά στοιχεία

μπορούμε να τα συγκρίνουμε με τις κατηγορίες εκσκαφής της μελέτης και παρατηρούμε μεγάλες αποκλίσεις Εικόνα 6.4.2.



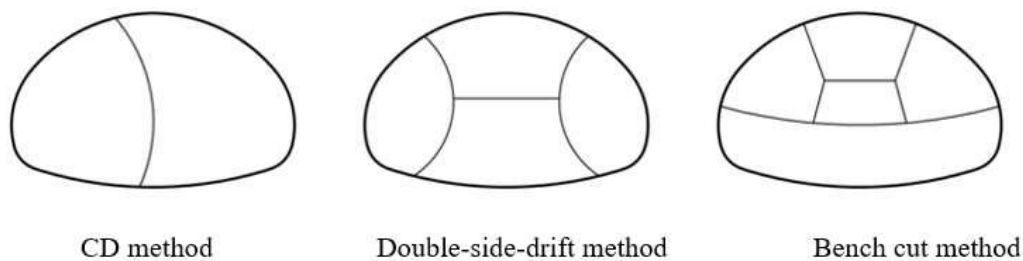
Εικόνα 6.4.2.Διάγραμμα Κατηγορίες Εκσκαφών - Μελέτης (Olympria JV 2011)

7. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

7.1. Μέθοδος Εκσκαφής CD & VCD

Η μέθοδος εκσκαφής σε μια σήραγγα που η βραχώμαζα παρουσιάζει φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά μπορεί να αποτρέψει καθιζήσεις στην περιβάλλουσα βραχώμαζα και να βελτιώσει τη διάρκεια ολοκλήρωσης της κατασκευής. Τρεις από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες περιπτώσεις είναι οι ακόλουθες Εικόνα 7.1.1 Μέθοδοι εκσκαφής:

- 1) CD(Central Diaphragm) Method
- 2) Double side drift method
- 3) Bench cut method

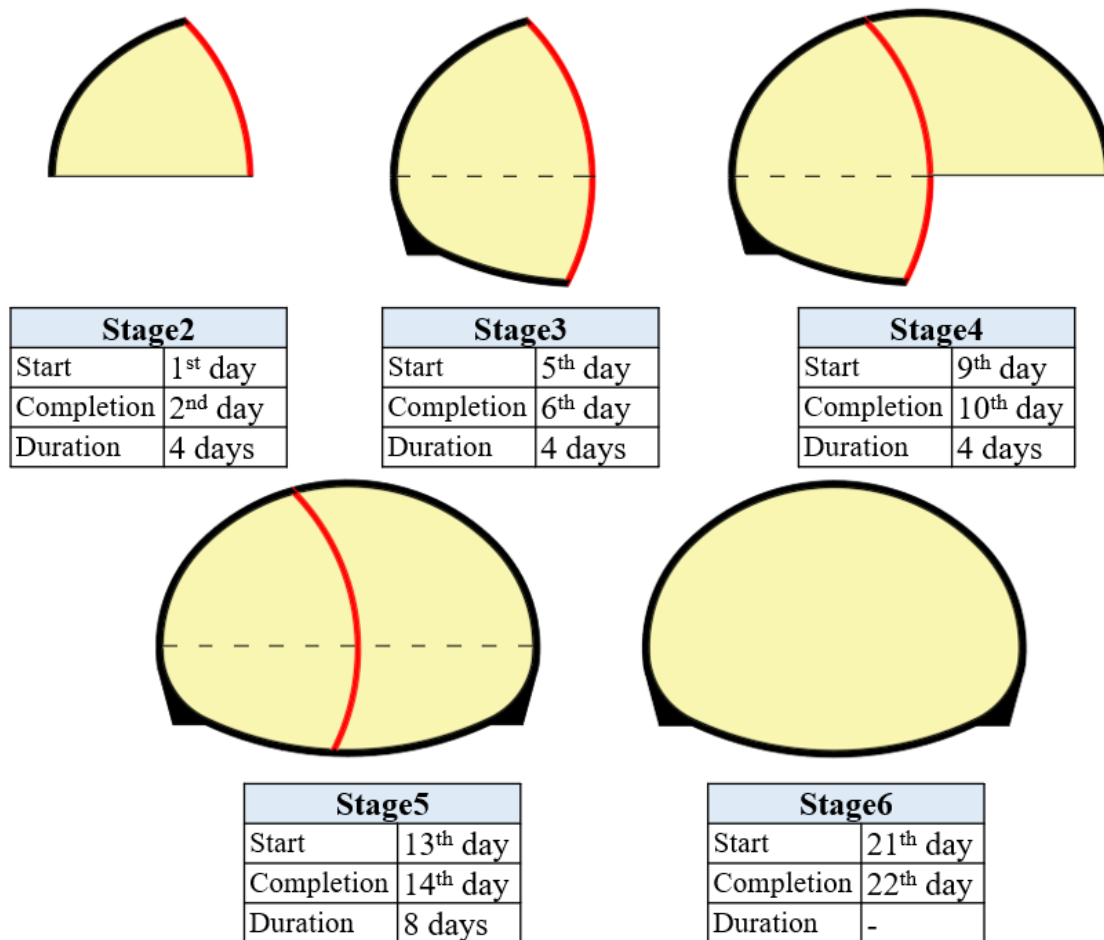


Εικόνα 7.1.1 Μέθοδοι εκσκαφής

Η βέλτιστη απόδοση κάθε μιας μεθόδου οφείλεται στα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της βραχώμαζας. Μελέτη που έγινε σε μια σήραγγα στην Κίνα χρησιμοποιήθηκε η αριθμητική προσομοίωση για την αξιολόγηση της αλλαγής τάσης -παραμόρφωσης. Με βάση την παρακολούθηση των πιέσεων χρησιμοποιήθηκε λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων για την προσομοίωση της τάσης που αναπτύσσεται στην επένδυση της Σήραγγας κάτω από διαφορετικές ποιότητες της περιβάλλουσας βραχώμαζας.

Σε εδαφικό υλικό οι μέθοδοι 1 και 2 είχαν τις λιγότερες καθιζήσεις και με τη CD μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται για άνοιγμα σήραγγας κάτω από 18μ, επιτυγχάνεται καλύτερη παραγωγή, Bao *et al* (2021). Τα αποτελέσματα των ερευνών έδειξαν ότι η CD μέθοδος είναι κυρίως κατάλληλη για υπόγειες κατασκευές με φτωχές γεωτεχνικές συνθήκες και αυστηρές απαιτήσεις καθιζήσεων. Με βάση σχετικά με την τρισδιάστατη μέθοδο ελαστικών ,πλαστικών πεπερασμένων στοιχείων η ακολουθία εκσκαφής ,το μέγεθος και άλλες παράμετροι θα επηρεάσουν την παραμόρφωση και την καταπόνηση της στήριξης της σήραγγας.

Με τη CD μέθοδο η σήραγγα χωρίζεται σε δυο δεξιά και δυο αριστερά τμήματα από ένα καμπύλο κεντρικό διάφραγμα, Εικόνα 7.1.2 Σε βαθιές σήραγγες το καμπύλο κεντρικό διάφραγμα μπορεί να σχηματίσει μια δακτυλιοειδή δομή, με το πρωτεύον στήριγμα του πρώτου τμήματος εκσκαφής ,το οποίο δεν μπορεί μόνο να μεταφέρει την κατακόρυφη πίεση γείωσης από την κορώνα του τόξου αλλά και να αντισταθεί στην πλευρική πίεση, από τα πλευρικά τοιχώματα. Ωστόσο λόγω της μικρής πίεσης στις αβαθείς σήραγγες, το καμπύλο κεντρικό διάφραγμα θα έχει μια ασταθή κατάσταση καταπόνησης και δεν μπορεί να παρέχει επαρκής στήριξη στην κορώνα του τόξου. Προς το παρόν δεν υπάρχει κάποια μέθοδος που να παρέχει αποτελεσματικά μέτρα για την κάλυψη των αναφερόμενων μειονεκτημάτων.

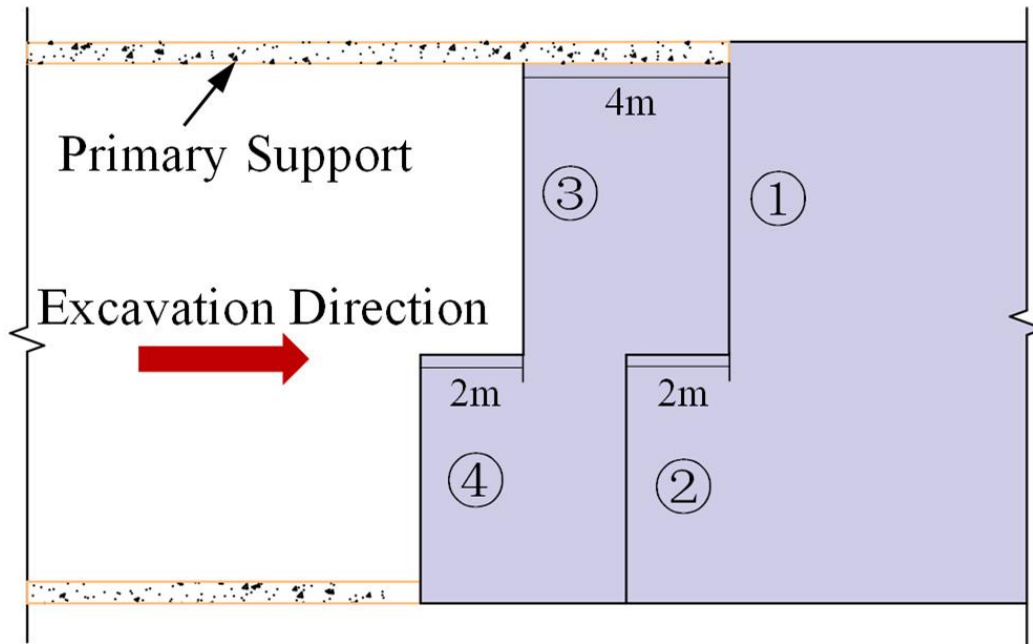


Εικόνα 7.1.2 Στάδια εκσκαφής με τη CD μέθοδο (Zhenliang Zhou et al 2020)

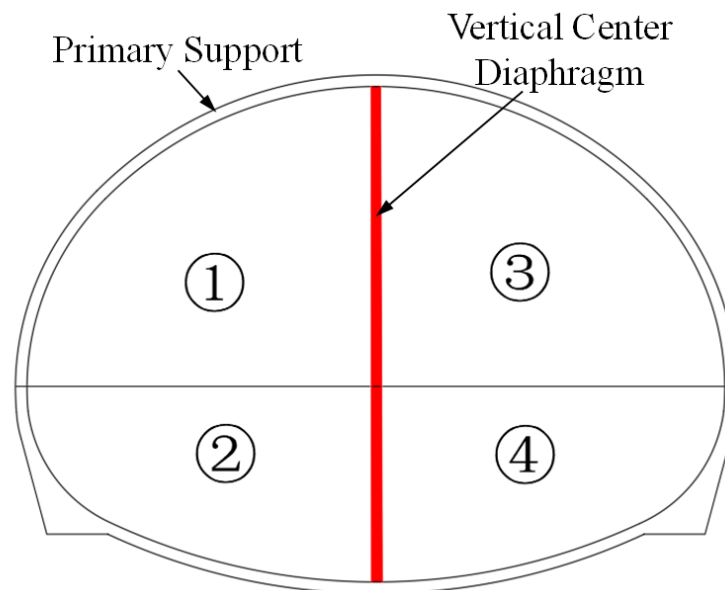
Μια μελέτη παρουσιάζει μια νέα μέθοδο που εφαρμόζεται σε αβαθείς σήραγγες και ονομάζεται κατακόρυφη μέθοδος κεντρικού διαφράγματος η οποία αλλάζει το σχήμα του κεντρικού διαφράγματος με βάση τη CD μέθοδο. Βασισμένο στο Shenzhen Eastern Transit Expressway Connection Line Tunnel στην Κίνα η VCD μέθοδος ερευνήθηκε με αριθμητικούς υπολογισμούς και δοκιμές πεδίου και συγκρίνεται με τη παραδοσιακή CD μέθοδο. Η οδική σήραγγα που κατασκευάστηκε ήταν διαστάσεων 16,18μ X 11,66μ (πλάτος-ύψος). Οι σχηματισμοί που συναντήθηκαν ήταν μεταμορφωμένος χαλαζιακός ψαμμίτης με διακλάσεις και άφθονα υπόγεια νερά ενώ ο βράχος ταξινομήθηκε ως κατηγορία IV. Λαμβάνοντας υπόψη την κατάσταση της περιβάλλουσας βραχώμαζας (βαθμός IV) και το ύψος των υπερκειμένων στα 20μ η σήραγγα έχει σχεδιαστεί με τη μέθοδο CD και βήμα εκσκαφής 1μ. Η διαδικασία της μεθόδου κατασκευής CD αποτελείται από έξι βασικά στάδια:

Το στάδιο πριν την εκσκαφή stage 1, η εκσκαφή και υποστήριξη στην αριστερή άνω διατομή stage 2, η εκσκαφή και υποστήριξη στην κάτω αριστερή διατομή stage 3, η εκσκαφή

και υποστήριξη στην κάτω δεξιά διατομή stage 4 και η καταστροφή του κεντρικού διαφράγματος, Zhenliang Zhou et.al (2020). Παίρνοντας υπόψη τα τέσσερα στάδια της CD μεθόδου ως παράδειγμα φαίνεται στην Εικόνα 7.1.3, η μηκοτομή κατασκευής σήραγγας με την μέθοδο CD. Για τη μείωση των καθιζήσεων που προκαλούνται από την κατασκευή η VCD μέθοδο προτάθηκε όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.1.4.



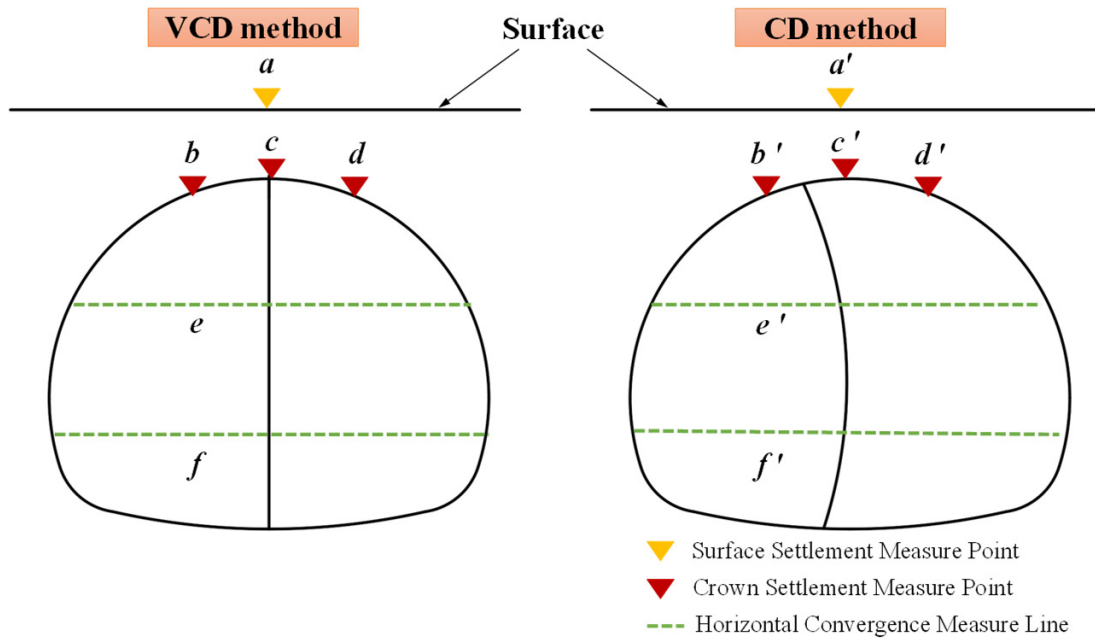
Εικόνα 7.1.3 Μηκοτομή κατασκευής της CD μεθόδου, Zhenliang Zhou et.al (2020)



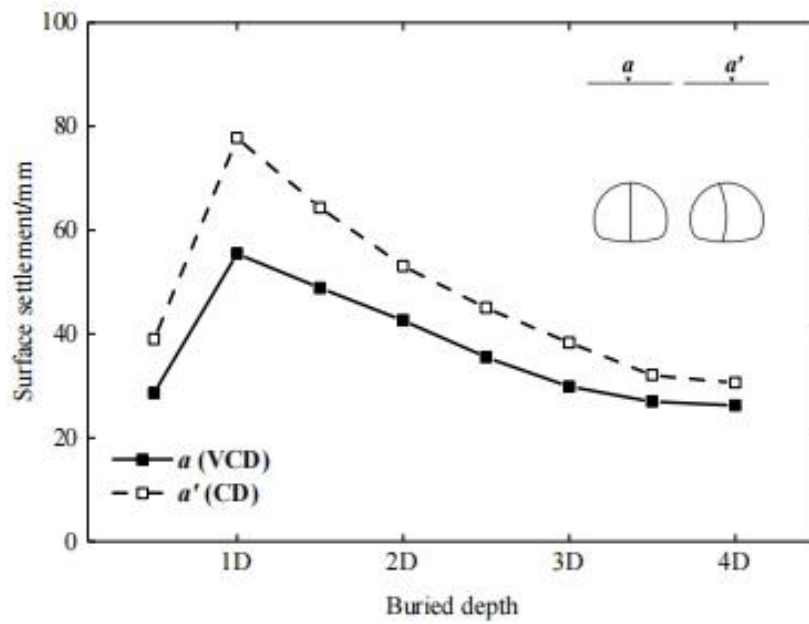
Εικόνα 7.1.4 Εκσκαφή με τη Vertical Center Method VCD, Zhenliang Zhou et.al (2020)

Με την αριθμητική προσομοίωση της διαδικασίας εκσκαφής και αντιστήριξης της μεθόδου CD και της μεθόδου VCD , η επιφανειακή καθίζηση , η καθίζηση οροφής , η οριζόντια σύγκλιση και η εσωτερική αντίσταση του κεντρικού διαφράγματος διερευνήθηκαν με τις δυο μεθόδους εκσκαφής.

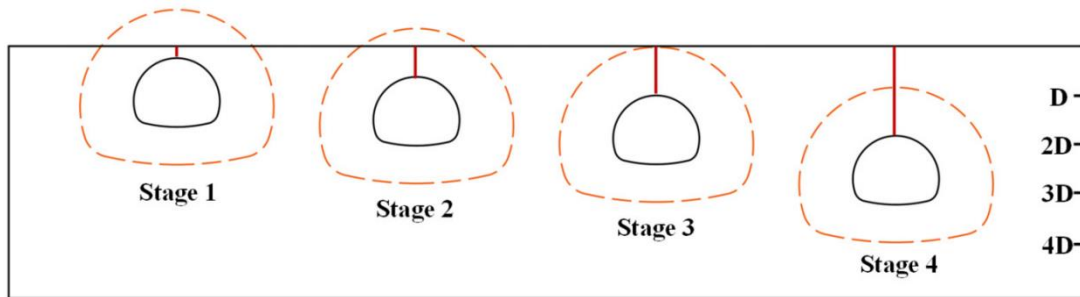
Στη παρακάτω Εικόνα 7.1.5 απεικονίζονται οι θέσεις των σημείων μέτρησης. Σημείο μέτρησης για την επιφάνεια ήταν ακριβώς πάνω από την σήραγγα. Τρία σημεία μέτρησης για τον θόλο της σήραγγας και δυο γραμμές μέτρησης για την οριζόντια σύγκλιση ήταν τοποθετημένα στο τόξο της σήραγγας και στο πλευρικό τοίχωμα. Έγινε συγκριτική ανάλυση της παραμόρφωσης σε διαφορετικό ύψος υπερκειμένων. Με την αύξηση των υπερκειμένων, αυξάνεται η επιφανειακή καθίζηση και παρατηρείται το μέγιστο σε ύψος υπερκειμένων μήκους D (διάμετρος της σήραγγας) και στη συνέχεια εμφανίζει πτωτική τάση,. Αυτό συμβαίνει γιατί η περιοχή επίδρασης που προκαλείται από την κατασκευή της σήραγγας έχει φτάσει στην επιφάνεια όταν το βάθος των υπερκειμένων είναι μικρό και η επιφανειακή καθίζηση είναι η συσσωρευμένη τιμή της παραμόρφωσης του στρώματος πάνω από τη σήραγγα, το οποίο αυξάνεται με την αύξηση των υπερκειμένων στάδιο 1 και 2 στην Εικόνα 7.1.6. Αντίθετα όταν το ύψος των υπερκειμένων δεν είναι μικρότερο από το ύψος της περιοχής διαταραχής η μάζα του βράχου πάνω από τη σήραγγα μπορεί να επιτύχει αυτοσταθεροποίηση. Η επιφανειακή καθίζηση επηρεάζεται από την απώλεια εδάφους και τις γεωτεχνικές ιδιότητες και η κατασκευαστική επίδραση στην επιφάνεια μειώνεται με την αύξηση των υπερκειμένων, στάδιο 3 και 4 στην Εικόνα 7.1.7.



Εικόνα 7.1.5 Τοποθέτηση των σημείων μέτρησης Zhenliang Zhou et.al (2020)



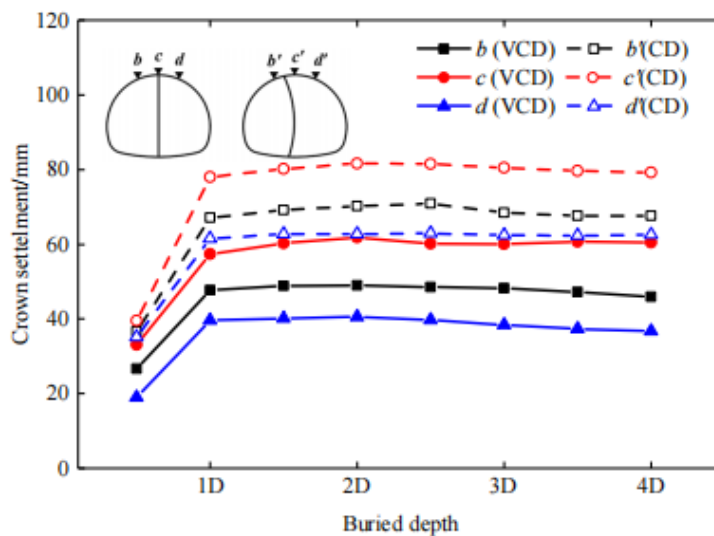
Εικόνα 7.1.6 Επιφανειακή καθίζηση σε σχέση με τα υπερκείμενα Zhenliang Zhou et.al (2020)



Εικόνα 7.1.7 Σήραγγα με διαφορετικό βάθος υπερκειμένων Zhenliang Zhou et.al (2020)

Σε σύγκριση με τη CD μέθοδο, η επιφανειακή καθίζηση με τη VCD μέθοδο ελαττώνεται από 14,4% έως 28,7%. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η επιφανειακή καθίζηση μπορεί να μειωθεί περισσότερο από 20% με την VCD μέθοδο όταν τα υπερκείμενα είναι 0,5D έως 3D .

Η σχέση μεταξύ της καθίζησης του θόλου της σήραγγας και των υπερκειμένων φαίνεται στην Εικόνα 7.1.8.



Εικόνα 7.1.8 Καθίζηση οροφής σε σχέση με τα υπερκείμενα

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι καθιζήσεις μπορούν να μειωθούν περισσότερο από 20% με τη VCD μέθοδο όταν τα υπερκείμενα είναι D έως 4D.

Τα συμπεράσματα που μπορούμε να αποκομίσουμε για να χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος και σε άλλες σήραγγες είναι τα εξής:

- 1) Η VCD μέθοδο μπορεί να είναι κατάλληλη επιλογή για κατασκευή σήραγγας με υπερκείμενα μικρότερα από 4D και η κατηγορία βραχώμαζας IV-V. Τα αποτελέσματα των αριθμητικών υπολογισμών έδειξαν ότι εάν η μέθοδος VCD εφαρμοστεί αντί για τη CD μέθοδο οι επιφανειακές καθιζήσεις θα μειωθούν κατά 14 έως 29%, οι καθιζήσεις της

οροφής θα μειωθούν κατά 16,2 έως 46% και οι οριζόντιες συγκλίσεις δεν θα έχουν σημαντική μεταβολή.

2) Η εφαρμογή της VCD μεθόδου αντί της CD μεθόδου θα μειώσει κατά 10% το χρόνο κατασκευής και κατά 5% το κόστος των υλικών. Η διαδικασία κατασκευής του κατακόρυφου κεντρικού διαφράγματος είναι πιο απλή, η ποιότητα σύνδεσης είναι καλύτερη και η κατεδάφιση είναι πιο βολική και παρουσιάζει σημαντικά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη.

Στην Σήραγγα Τεμπών μπορούσε να εφαρμοστεί η VCD μέθοδος στην περιοχή που παρουσιάστηκαν οι μεγαλύτερες παραμορφώσεις του κελύφους από τον εδαφοποιημένο φυλλίτη.

7.2. Σύστημα Αυτόματης Επεξεργασίας Δεδομένων

Η έγκαιρη ανατροφοδότηση στοιχείων σχετικά με την κατάσταση ενός έργου επιτρέπει στους διαχειριστές του να εντοπίζουν έγκαιρα προβλήματα και να κάνουν τις κατάλληλες προσαρμογές ώστε να μπορούν να διατηρήσουν ένα έργο στην ώρα του και εντός προϋπολογισμού. Ο έλεγχος κόστους και χρονοδιαγράμματος έχουν θεωρηθεί ως δυο κύριοι παράγοντες διαχείρισης για την επιτυχία εκτέλεσης των κατασκευαστικών έργων. Επειδή το κόστος και ο έλεγχος του χρονοδιαγράμματος είναι στενά αλληλένδετα όσον αφορά την ανταλλαγή δεδομένων και τη διαδικασία διαχείρισης η ολοκληρωμένη προσέγγιση μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας πληροφοριακά συστήματα. Με την έναρξη της κατασκευής ενός έργου δημιουργείται μεγάλος όγκος δεδομένων που οι διαχειριστές ενός έργου θα πρέπει να τα αξιοποιήσουν .

Οι εργασίες εκσκαφής σε Σήραγγα με τη μέθοδο NATM ξεπερνούν το 50% του προϋπολογισμού του έργου και καταναλώνουν το 60% από τη συνολική διάρκεια του έργου. Οι σήραγγες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το βήμα εκσκαφής, από τα μέτρα υποστήριξης, από τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της βραχώμαζας και τα υπόγεια ύδατα. Οι μέθοδοι εκσκαφής και τα μέτρα υποστήριξης δημιουργούν τον τύπο εκσκαφής κατά τη φάση σχεδιασμού. Κάθε τύπος εκσκαφής έχει συγκεκριμένες εργασίες οι οποίες εκτελούνται με μηχανολογικό εξοπλισμό και σε καθορισμένο χρόνο. Όλες οι εργασίες και οι χρόνοι εκτέλεσης αυτών καταγράφονται από τους επιτόπου μηχανικούς και εργοδηγούς και δημιουργούν το WBS (work breakdown structure) το CBS (cost breakdown structure) και το OBS organization breakdown structure).

Οι διαχειριστές των έργων θα πρέπει να παρακολουθούν μεμονωμένες επιδόσεις σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους για να ελέγχουν την παραγωγικότητα ενός πληρώματος. Η μετάβαση μιας εργασίας σε μια άλλη έχει <<νεκρούς>> χρόνους οι οποίοι θα πρέπει να καταγράφονται με μεγάλη λεπτομέρεια ώστε οι διαχειριστές των έργων να βελτιώσουν την ομαλή μετάβαση μιας εργασίας σε μία άλλη. Τα στοιχεία που αντλούνται θα πρέπει να είναι στοχευμένα και να αναφέρονται στην αποδοτικότητα του μηχανολογικού εξοπλισμού στους αποτελεσματικούς χρόνους των πληρωμάτων και των εργολάβων που ενδέχεται να χρησιμοποιούνται σε ένα έργο.

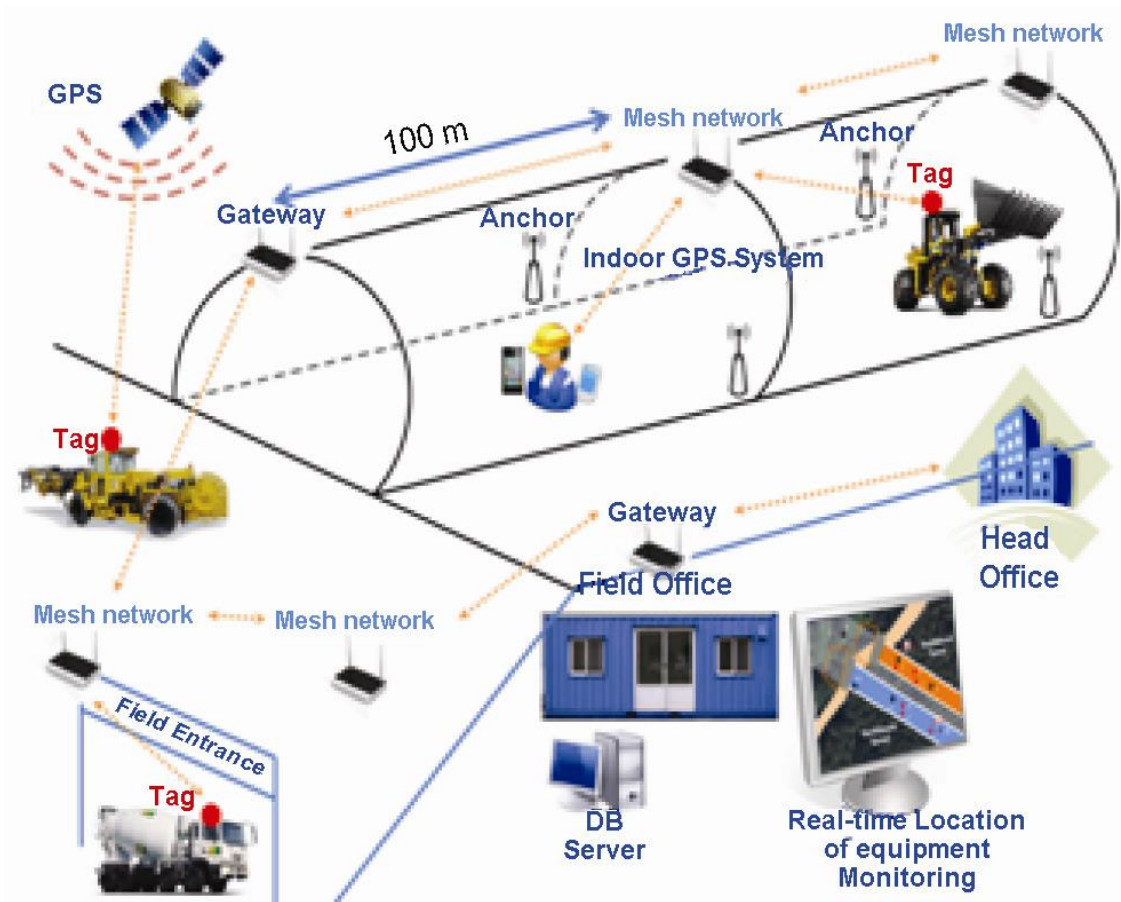
Για την καλύτερη καταγραφή πληροφοριών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οι τεχνολογίες πληροφορικής για ένα ολοκληρωμένο έλεγχο κόστους και χρονοδιαγράμματος.

Ένα πληροφοριακό σύστημα μπορεί να υπολογίσει π.χ. την εργασία διάτρησης γόμωσης και ανατίναξης δίνοντας πληροφορίες για την έναρξη και το τέλος της εργασίας. Αυτό μπορεί να γίνει με ένα σύστημα εντοπισμού της θέσης του εξοπλισμού σε πραγματικό χρόνο, ένα δίκτυο για την λήψη του σήματος από το μέτωπο της σήραγγας σε ένα γραφείο και ένα σύστημα μετασχηματισμού των πληροφοριών που λαμβάνονται από τη λήψη του σήματος σε δεδομένα κόστους και προγραμματισμού, Cho .D et.al (2013).

Χρησιμοποιείται ένα σύστημα εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (RTLS) για τον εντοπισμό της θέσης του εξοπλισμού με την ώρα άφιξης και ένα δίκτυο WiFi για την παράδοση του σήματος σε ένα γραφείο.

Η τεχνολογία αναγνώρισης τοποθεσίας περιλαμβάνει το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης GPS με χρήση δορυφόρου και το RTLS που μεταδίδει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας ραδιοσυχνότητες. Τα δεδομένα τοποθετούνται σε πραγματικό χρόνο δείχνουν τη διαδρομή του εξοπλισμού που μεταδίδεται σε ένα σύστημα δικτύου. Χρησιμοποιείται η ώρα άφιξης.

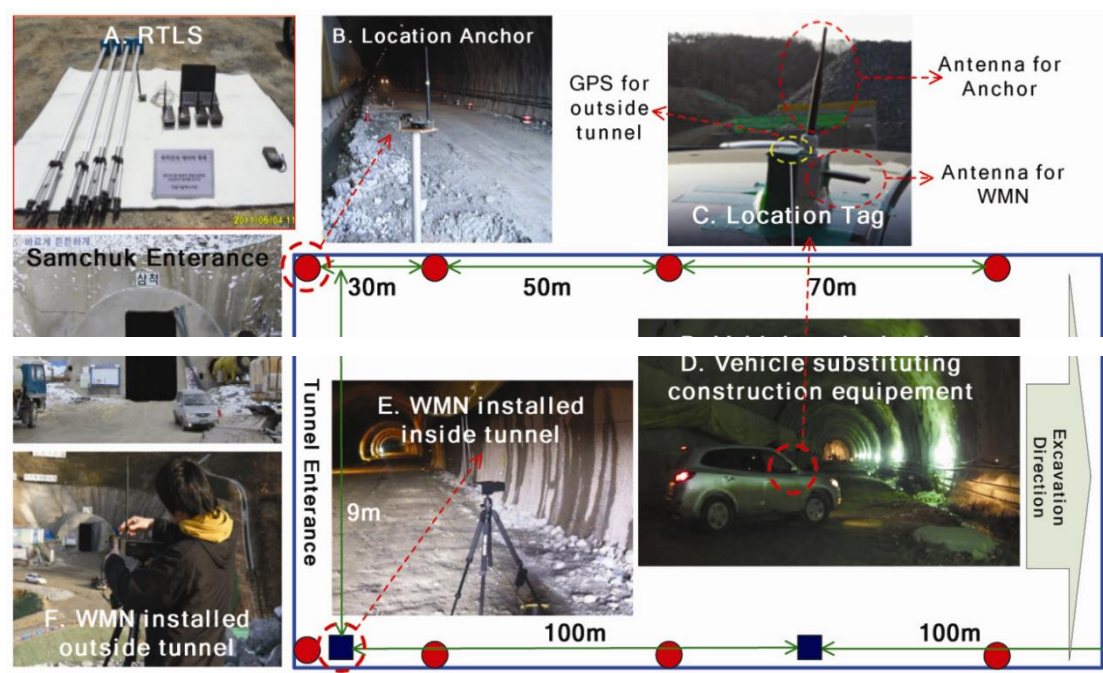
Ένα ασύρματο Δίκτυο είναι απαραίτητο για την μετάδοση του σήματος από ένα RTLS σε ένα γραφείο. Παράδειγμα ασύρματου δικτύου είναι το bluetooth, Zigbee and ultra wide band), Εικόνα 7.2.1.



Εικόνα 7.2.1 Ασύρματο δίκτυο (Wireless network System) Cho. D et.al (2013)

Για την μετατροπή σημάτων τοποθεσίας σε δεδομένα κόστους και χρονοδιαγράμματος σε λειτουργικό επίπεδο θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι. Ένα πρωτότυπο μοντέλο έχει ως εξής: Το RTLS εντοπίζει την τοποθεσία μιας μηχανής διάτρησης (Jumbo) και μεταδίδει τα σήματα από το RTLS στο γραφείο πεδίου. Το πρωτότυπο μοντέλο αντιλαμβάνεται ότι η διαδικασία διάτρησης- γόμωσης και ανατίναξης έχει ολοκληρωθεί από το σήμα συναγερμού που δίνεται όταν πρόκειται να γίνει ανατίναξη. Το μοναδιαίο κόστος ενός κύκλου της εργασίας υπολογίζεται βάσει των ποσοτήτων (κατανάλωση εκρηκτικών, χρόνος διάτρησης και κατανάλωσης ενέργειας, χρόνος εργασίας πληρώματος). Στη συνέχεια το συσσωρευμένο μοναδιαίο κόστος περιλαμβάνει το κόστος του κύκλου μιας κατηγορίας που εφαρμόζεται και προστίθεται στο κόστος του προϋπολογισμού του έργου.

Αυτού του είδους πιλοτικό πρόγραμμα εφαρμόστηκε σε μια Σήραγγα στη Νότια Κορέα με δυο στόμα Εικόνα 7.2.2.



Εικόνα 7.2.2 Εφαρμογή του συστήματος σε πιλοτικό πρόγραμμα. (Cho. D et.al 2013)

7.3. Τεχνολογία Ομαλής Ανατίναξης

Όπως έχουμε αναφέρει μια από τις μεθόδους διάνοιξης μιας σήραγγας είναι η χρήση εκρηκτικών υλών. Γίνεται διάτρηση του μετώπου εκσκαφής σε διατρήματα διαμέτρου 45μμ, μήκους 2,5 έως 5μ και η απόσταση μεταξύ των διατρημάτων κυμαίνεται από 0,80μ έως και 1,20μ ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πετρώματος. Η διάτρηση γίνεται με το διατρητικό μηχάνημα τύπου Jumbo που διαθέτει δύο ή και τρεις βραχίονες οι οποίοι μπορούν να διατρήσουν ταυτόχρονα το μέτωπο και να μειώσουν το χρόνο της διάτρησης. Μια ανατίναξη για να έχει επιτυχία εξαρτάται από κάποιους παράγοντες και αυτοί είναι οι εξής:

- Βάθος διατρημάτων.
- Απόσταση μεταξύ των διατρημάτων τόσο στο σώμα της ανατίναξης όσο και περιμετρικά.
- Κλίσεις των διατρημάτων για να σχηματίσουν το τελικό προφίλ της σήραγγας.
- Η ποσότητα των εκρηκτικών υλών που χρησιμοποιούμε (Kg/m³).
- Οι χρόνοι έναυσης των καψυλίων.

Οι παραπάνω παράγοντες εξαρτώνται από τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του πετρώματος τα οποία μπορεί να αλλάζουν και στο ίδιο το μέτωπο που κάνει πολύ δύσκολη την ομαλή εκσκαφή μια σήραγγας.

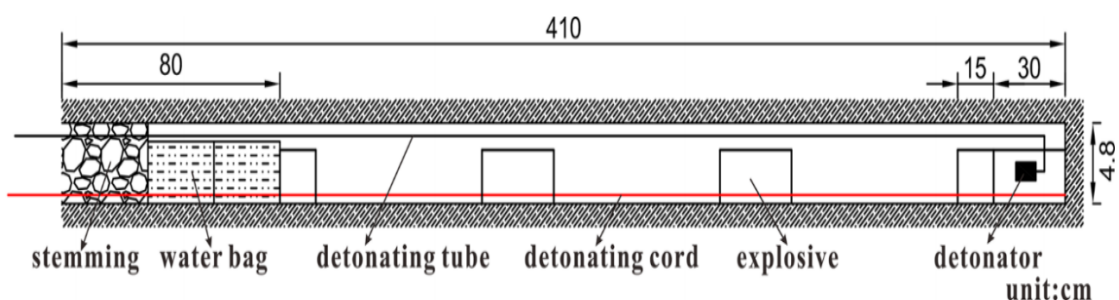
Μία ανατίναξη όταν γίνεται θα πρέπει να εξορύξει όλο το μήκος του διατηρηθέντος υλικού και σε προφίλ που να μην δημιουργεί υπερεκσκαφές αλλά υποεκσκαφές. Και φυσικά να μην υπάρξει αφλογιστία σε ένα τμήμα αυτής που σε αυτή την περίπτωση δημιουργούνται θέματα ασφάλειας του εργατικού προσωπικού.

Μια σωστή ανατίναξη μπορεί να μειώσει το κόστος παραγωγής, απλοποιώντας και βελτιστοποιώντας την αποδοτικότητά της, μειώνοντας το χρόνο του κύκλου εργασιών και το κόστος χρήσης των υλικών.

Οι υπερεκσκαφές αποφέρουν μεγαλύτερο όγκο υλικών που επιβαρύνουν το χρόνο της εκσκαφής και της αποκομιδής των προϊόντων αυτής. Οι υποεκσκαφές απαιτούν χρόνο για την απόξεση του όγκου που εμφανίζεται εντός του προφίλ της σήραγγας και σε περίπτωση βραχύδους υλικού είναι ακόμη ποιο χρονοβόρο.

Περιμετρικά της σήραγγας θα πρέπει να γίνεται σωστή εκτίμηση τόσο της απόστασης των διατηρημάτων όσο και της ποσότητας της εκρηκτικής ύλης που πρέπει να χρησιμοποιηθεί περιμετρικά.

Ένα τυπικό σχήμα μιας οπής περιμετρικά της σήραγγας φαίνεται παρακάτω, Εικόνα 7.3.1. Συνήθως περιμετρικά χρησιμοποιείται η ακαριαία θρυαλλίδα για να ελαχιστοποιήσει τις δονήσεις της περιβάλλουσας βραχώμαζας και να μειωθούν οι υπερεκσκαφές χρησιμοποιώντας εκρηκτική ύλη μικρότερης πυκνότητας. Θα πρέπει οι εκρηκτικές ύλες να βρίσκονται σε μία απόσταση μεταξύ τους έτσι ώστε να μειωθεί κατά την ανατίναξη η πίεση των αερίων που προκύπτουν κατά την ανάφλεξη των εκρηκτικών υλών.



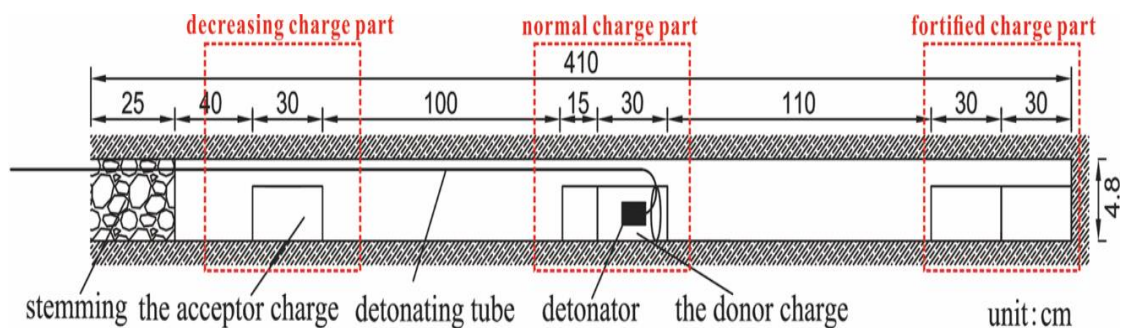
Εικόνα 7.3.1 Τυπικό σχήμα οπής περιμετρικά της σήραγγας (Chunde Ma et al 2020)

Υπάρχει ένας εμπειρικός τύπος που προέκυψε από συνεχείς ανατινάξεις σε μία σήραγγα στην Κίνα σε πέτρωμα που ήταν κυρίως ψαμμίτης γκρίζου χρώματος με φλέβες από διάβαση και χαλαζιακό διορίτη. Ο βραχύδους όγκος ήταν σκληρός και πυκνός και είχε καλή σταθερότητα (Chunde Ma et al 2020).

$$M = \kappa / 2 ((2m + d)^2 \times (2m + L) / D^2 - L)$$

- M: η μέγιστη απόσταση του εκρηκτικού γαλακτώματος
 m : η κρίσιμη απόσταση για ανατίναξη σε εξωτερικό χώρο 5cm
 d: διάμετρος του εκρηκτικού γαλακτώματος
 D: η διάμετρος της οπής
 L: το μήκος του εκρηκτικού γαλακτώματος
 K: είναι ένας συντελεστής εξασθένησης(0,8-0,9)

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών προέκυψε ότι η κρίσιμη απόσταση του εκρηκτικού γαλακτώματος είναι 1,0 με 1,1 μ και η δομή της φόρτισης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, Εικόνα 7.3.2 .



Εικόνα 7.3.2 Οπή διατρήματος, (Chunde Ma et al 2020)

Η νέα δομή φόρτισης είναι πιο συμφέρουσα επειδή αφαιρεί την ανάγκη χρησιμοποίησης ακαριαίας θρυαλλίδας και απλοποιεί τη διαδικασία ανατίναξης.

7.4. Εκτίμηση Κόστους σε Σχέση με τις Γεωτεχνικές Συνθήκες.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω η ακριβής εκτίμηση του κόστους κατασκευής βασίζεται σε επιστημονικές μεθόδους και σε μηχανική εμπειρία. Το κόστος κατασκευής είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας για την επιτυχή ολοκλήρωση ενός έργου και θα πρέπει να εξετάζεται και να επανεξετάζεται σε κάθε φάση ή στάδιο κατασκευαστικής διαδικασίας. Το κόστος κατασκευής συνδέεται άμεσα με τις συνθήκες της βραχόμαζας που συναντήθηκαν κατά τη διάνοξη της σήραγγας οι οποίες εκφράζονται σε κάποιες κατηγορίες ανάλογα με τους γεωτεχνικούς δείκτες GSI και RMR. (C. Paraskevouroulou & A. Benardos 2021)

Μετά την ανάλυση που έγινε του κόστους κατασκευής πέντε ελληνικών Σηράγγων για 5 κατηγορίες εκσκαφής για GSI<15, 15-35 ,35-55, 55-100 και για εδαφικό σχηματισμό, προέκυψαν δύο τύποι που συνδέουν τους Γεωλογικούς δείκτες με το κόστος κατασκευής.

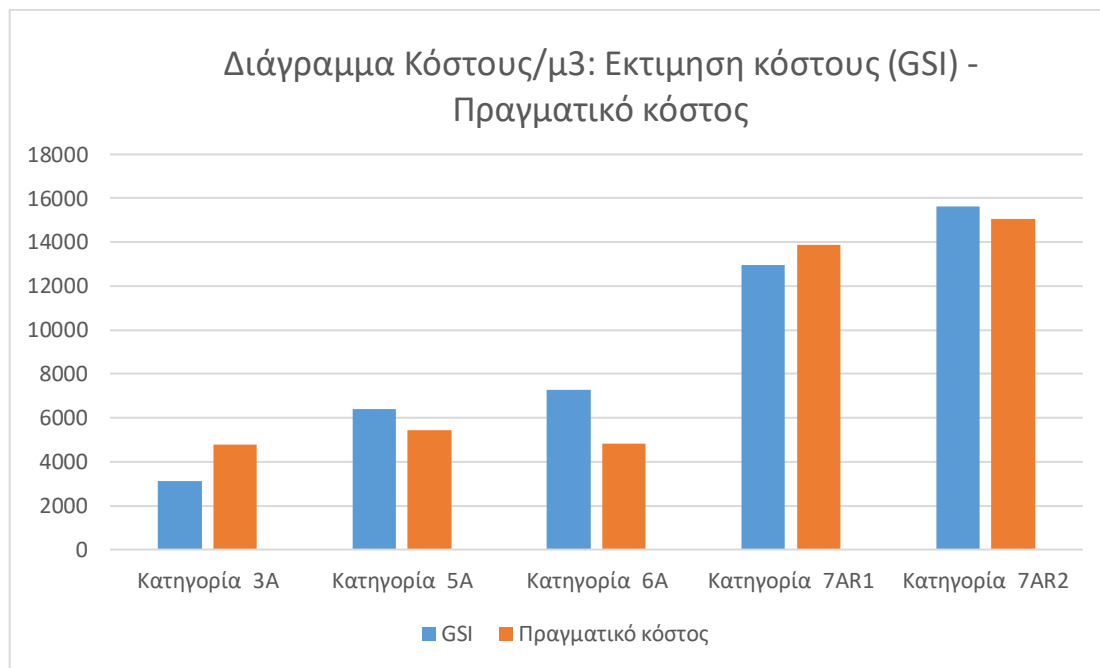
- Κόστος ευρώ/μ³ = -55.91 x ln(GSI) + 259,1 .
- Κόστος ευρώ/μ³ = -63.41 x ln(RMR) + 295,2.

Αυτοί οι τύποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προκαταρκτική εκτίμηση κόστους σε υπόγεια έργα στην Ελλάδα.

Αν χρησιμοποιήσουμε τον τύπο για την κοστολόγηση των κατηγοριών της Σήραγγας Τεμπών θα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:.

- Κατηγορία 3A = -55,91X ln65 + 259,1 = 25,95x120μ³=3114ευρώ.
- Κατηγορία 5A = -55,91x ln40+259,1=53,35X120m³=6402 ευρώ.
- Κατηγορία 6A = -55,91X ln35 + 259,1 = 60,52 x120m³=7262ευρώ.
- Κατηγορία 7AR1 = -55,91 x ln 15 + 259,1=108x120=12965 ευρώ
- Κατηγορία 7AR2 = -55,91 x ln 10 + 259,1=99,59x120=15643ευρώ

Κάνοντας τη σύγκριση με τα στοιχεία του πραγματικού κόστους της Σήραγγας Τεμπών παρατηρούμε στην παρακάτω Εικόνα 7.4.1 τις αποκλίσεις. Στην κατηγορία 6A ο γεωλογικός δείκτης GSI είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με ένα αριθμό καθώς το μέτωπο της χαρτογράφησης σε αρκετές περιπτώσεις αποτελείται από δυο ειδών πετρώματα ασβεστόλιθο και φυλλίτη που για τον ασβεστόλιθο το GSI=35 και για τον φυλλίτη GSI=25. Για τις << Βαριές >> κατηγορίες 7AR1 και 7AR2 υπάρχει μεγαλύτερη σύγκλιση κόστους καθώς ο δείκτης GSI μπορεί να προσδιοριστεί πιο εύκολα. Αυτοί οι τύποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προκαταρκτική εκτίμηση κόστους σε υπόγεια έργα στην Ελλάδα.



Εικόνα 7.4.1 .Σύγκριση κόστους GSI -Πραγματικό κόστος ανά κατηγορία.

7.5. Σεισμική Μέθοδος Πρόβλεψης Γεωλογικών Συνθηκών

Όπως έχουμε αναφέρει η κατασκευή μιας σήραγγας ενέχει πολλούς κινδύνους εξαιτίας των αβέβαιων συνθηκών του εδάφους που μπορεί να συναντηθούν μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής. Η εμπειρία στην κατασκευή των σηράγγων έδειξε ότι αρκετές σήραγγες που κατασκευάστηκαν σε δύσκολες γεωλογικές συνθήκες εδάφους, σημείωσαν καταπτώσεις κατά τη διάρκεια της εκσκαφής και ορισμένες οδηγήθηκαν και στην κατάρρευσή τους. Ένα τέτοιο συμβάν σε ένα έργο μπορεί να είναι καταστροφικό για το χρόνο ολοκλήρωσης του έργου ,το κόστος του έργου και φυσικά για την ασφάλεια των εργαζομένων.

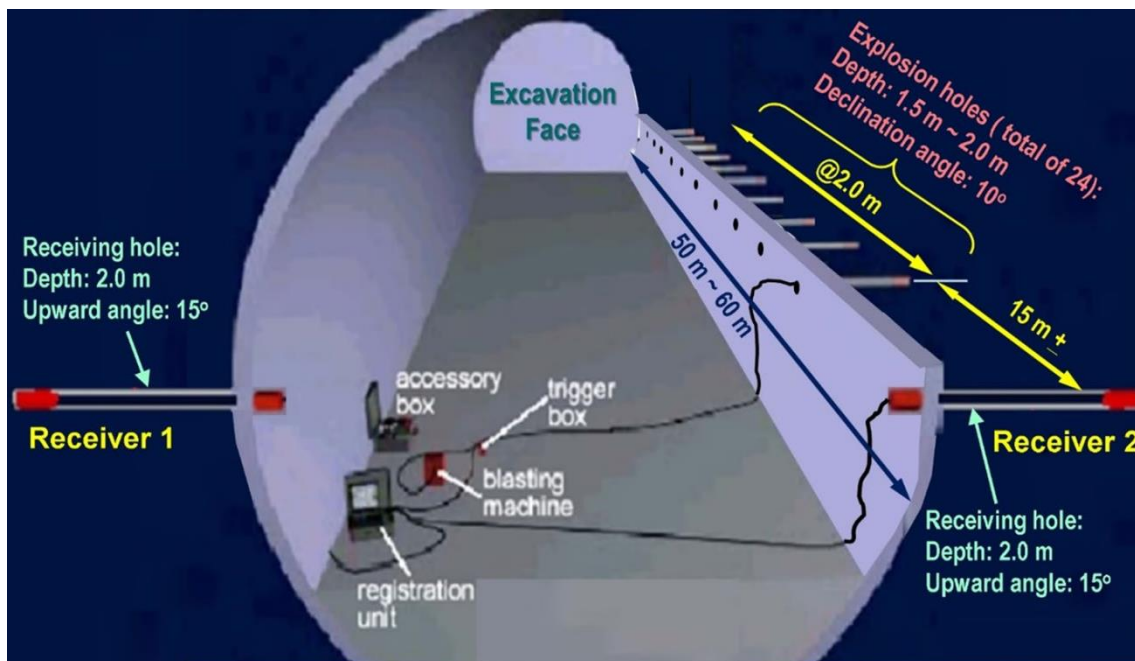
Η γεωτεχνική έρευνα που γίνεται στο στάδιο της μελέτης δεν είναι πάντα αξιόπιστη λόγω και της μορφολογίας του εδάφους που αδυνατεί να προσφέρει πρόσβαση για περαιτέρω διερεύνηση. Μία μέθοδος που μπορεί να αποτρέψει αυτό το συμβάν είναι η σεισμική μέθοδος που χρησιμοποιεί τα σεισμικά κύματα που συλλέγονται από πολλές εκρήξεις .Η TSP(Tunnel Seismic Prediction) μέθοδος μπορεί να παράγει εικόνες προσομοίωσης υψηλής ανάλυσης που με προσεκτική ερμηνεία θα αποκαλύψουν τις μελλοντικές συνθήκες του εδάφους.

Για την ανίχνευση των συνθηκών του εδάφους μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής υπάρχει η μέθοδος οριζόντιων οπών ανίχνευσης . Μήκους 12-24μ οπές , πέντε στον αριθμό μπορούν να κατασκευαστούν για να ανιχνεύσουν ασθενής μηχανικά σχηματισμούς. Οι οπές θα πρέπει να είναι σε κάρναβο ώστε να καλύπτουν περιμετρικά το προφίλ της σήραγγας και να διαπερνούν το προφίλ της στο όριο εφαρμογής των μέτρων προστασίας.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να συνδυαστεί με την TSP μέθοδο και να επιφέρει αξιόπιστα αποτελέσματα, (Hong-Kee Tzou et al 2020). Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στη μέθοδο αυτή περιλαμβάνει 24 οπές ανατίναξης, δύο οπές με αισθητήρα λήψης σεισμικών κυμάτων και ένα κεντρικό υπολογιστή, Εικόνα 7.5.1Error! Reference source not found.. Οι οπές ανατίναξης διανοίγονται σε κάθε πλευρά του τοιχώματος με 10 μοίρες κλίση κάθε 2μ και σε βάθος 2μ.

Συμπληρώνονται με εκρηκτικά για να παράγουν σεισμικά κύματα, πίσω από το μέτωπο εκσκαφής. Η πρώτη οπή ανατίναξης διατηρείται σε απόσταση 15-20μ από το μέτωπο εκσκαφής. Γίνεται διάτρηση οπής βάθους 2μ σε κάθε πλευρά με ανηφορική κλίση 15μοίρες . Οι δυο οπές είναι σε απόσταση 15μ από την τελευταία οπή ανατίναξης. Οι αισθητήρες ανίχνευσης είναι εγκατεστημένοι σε αυτές τις δυο οπές λήψης, για τη λήψη των σεισμικών κυμάτων. Ο κεντρικός υπολογιστής συνδέεται με ένα καλώδιο στους αισθητήρες ανίχνευσης για να αναλύσει τα κύματα που λαμβάνονται μετά την ανάκλασή τους από τις γεωλογικές ασυνέχειες στα μέτωπα εκσκαφής. Όταν τα σεισμικά κύματα συναντούν γεωλογικές ασυνέχειες, φτωχές γεωλογικές συνθήκες ή περιοχές υπόγειων υδάτων θα αναρριχηθεί και θα παραληφθεί από τους αισθητήρες λήψης. Ο κεντρικός υπολογιστής αναλύει τα σεισμικά κύματα που ανακλώνται σε όλες τις κατευθύνσεις στον άξονα προσανατολισμού μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής συγκρίνοντας τους διαφορετικούς χρόνους των εκρήξεων.

Ο υπολογιστής αναλύει αυτές τις εικόνες συγκρίνοντας διάφορους παραμέτρους που προκύπτουν , όπως η ταχύτητα του κύματος πίεσης V_p η ταχύτητα του διατμητικού κύματος V_s και της πυκνότητας του εδάφους ρ . Οι κρίσιμοι παράγοντες για την αξιολόγηση των συνθηκών του εδάφους περιλαμβάνει το μέτρο ελαστικότητας E , το συντελεστή poisson σ , το μέτρο διάτμησης μ . Από τα στοιχεία του υπολογιστή υπολογίζεται το RMR(A) (Rock mass rating) το οποίο συγκρίνεται μετά την εκσκαφή RMR (B) από το σχηματισμό που συναντήθηκε. Όταν η διαφορά τους είναι κάτω από 5 πόντους θεωρείται ότι η μέθοδος έχει επιτυχή αποτελέσματα. Η ανάγνωση αυτών των αποτελεσμάτων δίνει το χρόνο στους μηχανικούς του έργου να αντιμετωπίσουν τις αναμενόμενες συνθήκες με ταχύτητα , ασφάλεια και με το μικρότερο δυνατό κόστος. Αυτή η μέθοδος εφαρμόστηκε στο Chungren Tunnel στον αυτοκινητόδρομο Suhua στην TAIWAN.



Εικόνα 7.5.1 Εξοπλισμός της TSP μεθόδου, (Hong -Kee Tzou et al 2020)

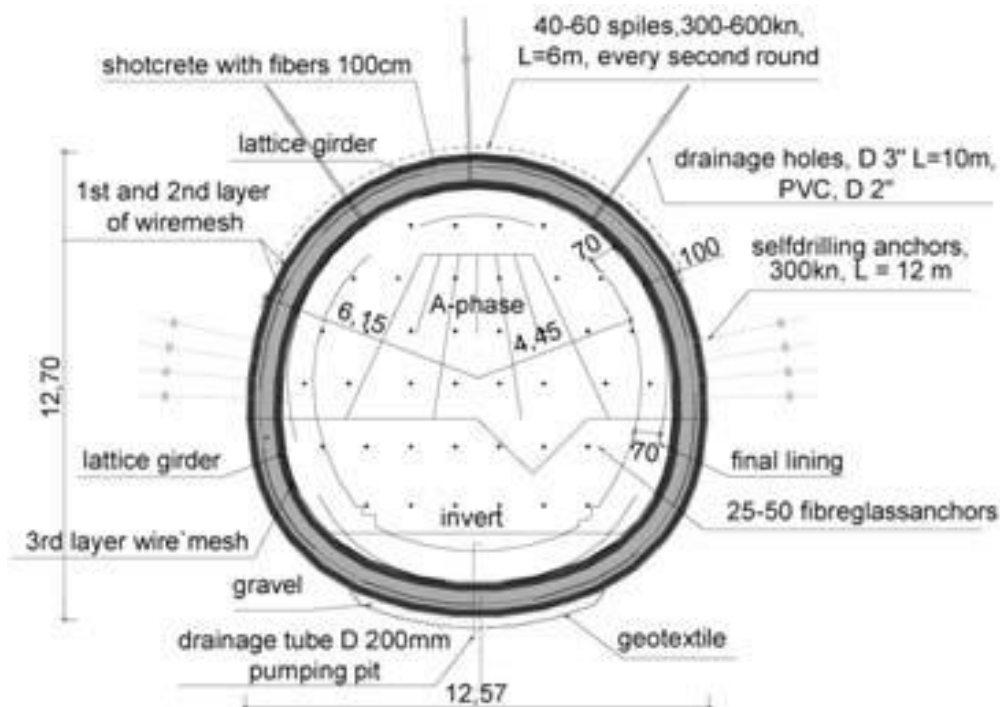
7.6. Μέθοδος διπλού δακτυλίου (Double Ring Method)

Χρησιμοποιώντας την εμπειρία από την κατασκευή σιδηροδρομικών σιδηροδρομικών σε δύσκολες γεωλογικές συνθήκες και εφαρμόζοντας την μεθοδολογία εκσκαφής, μπορούν να μελετηθούν και να κατασκευαστούν μελλοντικά έργα με την καλύτερη αντιμετώπιση κάθε είδους δυσκολίας που θα προκύψει κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Η μέθοδος εκσκαφής και υποστήριξης του διπλού δακτυλίου εφαρμόστηκε στη σιδηροδρομική Σήραγγα Καλλίδρομου. Η εκσκαφή της έγινε σε δύσκολους γεωλογικούς σχηματισμούς αργίλου και μάρμας και η αρχική υποστήριξη που εφαρμόστηκε αστόχησε καθώς ένα τμήμα της Σήραγγας 40μ κατέρρευσε. Η περιγραφή της μεθόδου που εφαρμόστηκε είναι η εξής.

Η εκσκαφή της σήραγγας γίνεται σε δύο φάσεις. Η απόσταση μεταξύ τους γίνεται περισσότερο από 6,00μ. Κατά την εκσκαφή της Α' φάσης (Top heading) το βήμα εκσκαφής είναι 0,70μ -1,00μ, η κατηγορία του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι C30/37 πάχους 35cm και εφαρμόζεται τριών ράβδων πλαίσια Lattice girder τύπου Pantex 100/20/m, δύο στρώσεις πλέγματος και 8 τεμ 12 μέτρα μήκους, αγκύρια self drilling με φορτίο λειτουργίας 300kN. Το μέτωπο της Σήραγγας σπλίζεται με fiberglass αγκύρια φορτίου 200kN κάθε 5μ ή πέντε μέτρα προπορείας και η οροφή σπλίζεται με ράβδους προπορείας self drilling 6m μήκους με φορτίο 300kN ή 600kN κάθε δεύτερο βήμα προχώρησης. Η συμπεριφορά της υποστήριξης παρατηρείται στενά με στόχους σύγκλισης κάθε 5 έως 15μ, κυψέλες φορτίου αγκυρίων

,κυψέλες εκτοξευόμενου σκυροδέματος (20-30μ) και μηκυνσιόμετρα κάθε 100μ. Η εκσκαφή της Β' φάσης(bench) θα ακολουθήσει την Α' φάση σε απόσταση 18μ ή σαν χρόνο πέντε ημέρες για να επιτρέψει τη μερική εκφόρτηση της εδαφικής μάζας με μετατόπιση έως 15cm περίπου.

Σημειώνεται ότι τα αγκύρια τοποθετούνται μόνο στα πλευρικά τμήματα της σήραγγας (4 τεμ σε κάθε πλευρά) για να ελαχιστοποιηθούν οι συγκλίσεις και να διευκολυνθούν οι καθιζήσεις καθώς δεν υπολογίστηκαν elephant foot, μικροπάσσαλοι ,προσωρινό invert. Αφού ολοκληρωθούν οι επιτρεπόμενες καθιζήσεις και συγκλίσεις προχωρούμε στην εκσκαφή της Β' φάσης με βήμα 3μ, κατά την οποία, ο ίδιος τύπος των μέτρων υποστήριξης όπως και στο Top-heading, εκτός από την τοποθέτηση αγκυρίων. Τότε ένα δεύτερο δακτύλιο υποστήριξης κατασκευάζεται ,αποτελούμενο από πλέγμα ,ένα πλαίσιο lattice girder τύπου Pantex (100/20/m)κάθε βήμα εκσκαφής και 65cm πάχους εκτοξευόμενου σκυροδέματος αντοχής C30/37,ολοκληρώνοντας την προσωρινή υποστήριξη της σήραγγας, Εικόνα 7.6.1.Επιπλέον μετά την ολοκλήρωση του εσωτερικού δακτυλίου μια επιτρεπόμενη σύγκλιση 0,20μ λαμβάνεται υπόψη σε περίπτωση που μπορεί να ληφθούν πρόσθετα μέτρα υποστήριξης. Στην προκειμένη περίπτωση δεν χρειάστηκε. Με αυτή τη μέθοδο η παραγωγή που επιτυγχάνεται σε κάθε κλάδο είναι 30-35μ το μήνα δουλεύοντας 24 ώρες τη ημέρα ,7 ημέρες την εβδομάδα. (Ελληνική Γεωλογική Εταιρεία 2010).Τελικά το κατασκευαστικό κόστος ήταν υψηλό από τις τεράστιες ποσότητες του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, ωστόσο σημειώνεται ότι αυτό το κόστος είναι χαμηλότερο από το κόστος των τμημάτων της σήραγγας που χρειάστηκαν ανακατασκευή.



8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως έχει αναφερθεί η διάνοιξη μιας σήραγγας περιλαμβάνει ορισμένες βασικές διαδικασίες όπως είναι η έρευνα, η εκσκαφή, η μεταφορά υλικών, η υποστήριξη του εδάφους και ο περιβαλλοντικός έλεγχος. Επίσης σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό μιας σήραγγας αποτελεί η έρευνα και στην φάση της κατασκευής η εμπειρία. Η γεωλογική έρευνα είναι απαραίτητη για να εξεταστούν οι συνθήκες του εδάφους και η υδροφορία των υπόγειων στρωμάτων για να σχεδιαστούν τα μέτρα υποστήριξης κάθε σήραγγας. Λόγω της μορφολογίας του εδάφους κάθε περιοχής αυτή η έρευνα δεν μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια, εξαιτίας της δυσκολίας στην πρόσβαση στο χώρο έρευνας αλλά και το ύψος των υπερκειμένων που καθιστούν την έρευνα δύσκολη και κοστοβόρα. Η μορφολογία της κοιλάδας των Τεμπών που αποτελείται από πρηνή μεγάλης κλίσης καθιστά δύσκολη την πρόσβαση στον απαραίτητο γεωτεχνικό εξοπλισμό. Σε όλο το μήκος της Σήραγγας συμπεριλαμβανομένου και της δεύτερης εργολαβίας που πραγματοποιήθηκε από την κατασκευαστική εταιρεία ΑΕΓΕΚ από τη χ.θ. 4+886 έως τη χιλιόμετρηση 10+839 συνολικού μήκους 5953μ εκτελέστηκαν 25 γεωτρήσεις οι θέσεις και τα βάθη των οποίων φαίνονται στον παρακάτω Πίνακας 8-1 *Θέσεις Ερευνητικών Γεωτρήσεων*.

Πίνακας 8-1 *Θέσεις Ερευνητικών Γεωτρήσεων*

Δεδομένα Γεωτεχνικής Έρευνας		
Γεώτρηση	Χιλιομέτρηση	βάθος(μ)
A7	4+820	45
A8	4+900	45
T2-2	5+161	160,4
A9	5+370	145
T2-3	5+646	160,4
A10	5+739	80
T2-17	5+952,89	179,3
T2-6	5+747	204,7
T2-7	6+257,11	310,5
T2-8	6+898	94,6
T2-8A	6+893	270,1
A12	7+060	65
T2-9	7+174,63	225,1
T2-16	8+525	227,2
T2-5	8+882	175
B24	9+120	110
T2-10	9+180	90
T2-15	9+595,07	225
T2-14	9+793,26	204
A17	10+386	158
B12	10+448	125
T2-11	10+671	40μ
T2-12	10+800	34
T2-13		187,9
A18	10+874	45μ

Απο τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ δυο Γεωτρήσεων ήταν 1351μ (8+525 με 7+174), η αμέσως επόμενη 593μ (10+386 με 9+793) και η πιο κοντινή τα 60μ (9+180 με 9+120) . Όπως διαπιστώνεται απο τη Γεωλογική μηκοτομή απο τη χ.Θ. 10+386 έως 9+840 η Σήραγγα διερχόταν μέσα απο ρηξιγενή ζώνη με γεωλογικό σχηματισμό τον φυλλίτη και η θέση εμφάνισής του να είναι στο θόλο της Σήραγγας που καθιστά δύσκολή την εκσκαφή και υποστήριξη αυτής. Απο τη χιλιομέτρηση 8+525 έως 8+372 για μήκος 153μ η εκσκαφή της Σήραγγας έγινε και πάλι στο γεωλογικό σχηματισμό του φυλλίτη με πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά.

Η αξονική απόσταση μεταξύ των δυο κλάδων της Σήραγγας Βόρειου και Νότιου είναι 27μ. Η << βραχοκολόνα >> μεταξύ των δυο κλάδων είναι στα 12μ. Η μικρή αυτή απόσταση σε συνδυασμό με την κακής ποιότητας βραχώμαζα προκάλεσε προβλήματα ευστάθειας της Σήραγγας και στους δυο κλάδους και ιδιαίτερα στα τμήματα που ήταν σχεδιασμένες οι συνδετήριες Σήραγγες,(Σήραγγες επιβατών και οχημάτων).

Σύμφωνα με τις έρευνες στις Σήραγγες της Εγνατίας οδού (Petroutsatou, Maravas 2011), το κόστος εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης αποτελεί τη μεγαλύτερη συνιστώσα κόστους που αποδίδει το 65% του συνολικού κόστους όπου σε μερικές περιπτώσεις αν σχετίζεται με πολύ πτωχής ποιότητας βραχώμαζας το ποσοστό του μπορεί να φτάσει το 75%. Η κατηγορία 6Α εφαρμόστηκε σε μήκος 1922μ και αποτελεί το 32% του συνόλου των κατηγοριών. Το μήκος εφαρμογής σύμφωνα με την μελέτη προσέγγιζε μόλις τα 200μ. Έχουμε μια διαφορά με τη μελέτη στην εφαρμογή των μέτρων υποστήριξης που αγγίζει τα 1700μ. Το κόστος της όπως αναγράφεται σε παραπάνω πίνακα ήταν 4826 ευρώ. Είναι ένας σημαντικός παράγοντας που οδήγησε στην υπέρβαση του κόστους. Η κατηγορία 7AR (Rehabilitation-ανακατασκευή) δεν υπήρχε στην αρχική μελέτη αλλά σχεδιάστηκε αργότερα μετά τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στα πρώτα μέτρα εκσκαφής. Το μήκος που εφαρμόστηκε η κατηγορία 7AR είναι 50μ, κοστολογήθηκε κοντά στις 15000 ευρώ αλλά ήτανε χρονοβόρα στο χρόνο κατασκευής, καθώς θα έπρεπε να καθαιρεθεί το προσωρινό κέλυφος εκσκαφής με νέο. Απο τα οικονομικά αποτελέσματα προέκυψε ότι η υπέρβαση του κόστους της Σήραγγας στο στάδιο της εκσκαφής και υποστήριξης ήταν 10% και ο χρόνος καθυστέρησης περίπου 11 μήνες. Αν λάβουμε υπόψη ότι σε έρευνα που έγινε στον ελλαδικό χώρο οι τιμές ανά μέτρο εκσκαφής σήραγγας κυμαίνονται απο 8000ευρώ/μ μέχρι 30000ευρώ/μ ενώ το κόστος των κατηγοριών που εφαρμόστηκαν στα Τέμπη κυμαινόταν απο τις 4800 ευρώ/μ μέχρι της 15000 ευρώ/μ. Το κόστος του μεγαλύτερου ποσοστού των κατηγοριών ήτανε κάτω απο τις 8000 ευρώ που αποτελεί το κατώτερο όριο της έρευνας.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι σήραγγες οποιαδήποτε λειτουργίας, είτε οδικές , είτε σιδηροδρομικές αποτελούν ένα δύσκολο κατασκευαστικά τμήμα των Τεχνικών έργων. Πολλά απο τα προβλήματα οφείλονται στον αρχικό σχεδιασμό των σήραγγων στο στάδιο της μελέτης , που αφορούν την έρευνα του υπεδάφους. Η μεθοδολογία εκσκαφής αποτελεί επίσης ένα σημαντικό

παράγοντα στην διάνοιξη της σήραγγας και ειδικότερα σε δύσκολες γεωλογικές συνθήκες μπορούν να εφαρμοστούν οι εξής μέθοδοι

- 1) CD Method
- 2) Double-side-drift-method
- 3) Bench cut method

Η καλύτερη παρακολούθηση της εκσκαφής μιας σήραγγας μπορεί να γίνει με την εφαρμογή της τεχνολογίας προκειμένου να συλλέγονται ηλεκτρονικά τα στοιχεία που αφορούν τους χρόνους εκτέλεσης των εργασιών εκσκαφής, τις ποσότητες των υλικών που καταναλώνονται και να καταγράφονται σε μια βάση δεδομένων για να αξιοποιούνται άμεσα από τους μηχανικούς του έργου, ώστε να δίνεται ο απαραίτητος χρόνος στους υπεύθυνους του έργου να κάνουν τις απαραίτητες επεμβάσεις στην μεθοδολογία εκτέλεσης του έργου προκειμένου να αποφευχθούν το συντομότερο δυνατό οι υπερβάσεις στο χρόνο και στο κόστος εκτέλεσης του έργου. Η τεχνολογία βοηθάει αρκετά και σε θέματα ασφάλειας ενός έργου καθώς ο έγκαιρος εντοπισμός ενός εργαζομένου σε ένα υπόγειο έργο σε περίπτωση ατυχήματος μπορεί να οδηγήσει στη διάσωσή του.

Η μεθοδολογία εκσκαφής μιας σήραγγας σε αρκετές περιπτώσεις αναφέρεται στη μέθοδο εξόρυξης με εκρηκτικές ύλες. Η τεχνολογία της ομαλής ανατίναξης είναι μια μέθοδος που μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του κόστους διάνοιξης μιας σήραγγας, όπως επίσης και στην εξοικονόμηση του χρόνου ολοκλήρωσης αυτής.

Εμπειρικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να γίνει εκτίμηση του κόστους μιας σήραγγας σε σχέση με τις γεωτεχνικές συνθήκες. Αυτό μπορεί να γίνει με τους γεωλογικούς δείκτες GSI και RMR. Έχουν εφαρμοστεί στον ελληνικό χώρο και σε μη πολύπλοκες γεωλογικές συνθήκες (ύπαρξη δυο ή τριών πετρωμάτων στο ίδιο μέτωπο εκσκαφής) μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε έργο.

Μπορούμε επίσης να έχουμε μια παρακολούθηση των συνθηκών του περιβάλλοντος εκσκαφής μιας σήραγγας χρησιμοποιώντας σεισμικές μεθόδους εκσκαφής, με τη βοήθεια της τεχνολογίας. Μπορούμε να έχουμε μια συνεχή παρακολούθηση και επαλήθευση και επαλήθευση των συνθηκών που θα συναντήσουμε σε σχέση με αυτές που έχουν ερευνηθεί στον αρχικό σχεδιασμό του έργου.

Βιβλιογραφία

Αντωνίου Φ., 2021. Διαχείριση Τεχνικών Έργων. ΔΙΠΑΕ. Θεσσαλονίκη

ΑΚΤΩΡ ΑΤΕ 2019. Μεθοδολογία εκσκαφής με TBM

Διασάκος Ν. κ.α 2010. Tunnel excavation in clayey -marly formations: the case of kallidromo tunnel. Δελτίο ελληνικής γεωλογικής εταιρείας, Πρακτικά 12ου Διεθνούς Συνεδρίου, Πάτρα.

Ευρωτέχνικα www.eurotech-ltd.gr. Όργανα Μετρήσεων-ειδικός εξοπλισμός τεχνικών έργων. Διαθέσιμο σε www.eurotech-ltd.gr

Καββαδάς Μ., 2004. Σημειώσεις Σχεδιασμού Υπογείων Έργων. Καββαδάς Μ. Διάνοιξη Σηράγγων με τη μέθοδο NATM. Ε.Μ Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2005.

Κούκης Γ. & Σαμπατακάκης Ν (2007). Γεωλογία Τεχνικών Έργων, Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Παπαλιάγκας 2021. Υπόγεια έργα. ΔΙΠΑΕ Θεσσαλονίκη

Κοινοπραξία Ολύμπια 2011. Μεθοδολογία εκσκαφής σήραγγας T2 Τεμπών

Paraskevopoulou C& Benardos A 2013, Assessing and benchmarking the construction cost of tunnels. Διαθέσιμο σε <https://www.researchgate.net/publication/314096492>

ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/314096695>. Πρόσβαση 21-3-2022
Chrysothemis Paraskevopoulou, Andreas Benardos. 2012. Construction cost estimation for greek tunnels in relation to the geotechnical conditions. Διαθέσιμο σε
file:///C:/Users/Support/Downloads/Paraskevopoulou_ConstructionCostEstimationofTunnles
in Relation to the Geotechnical Conditions-1.pdf

<https://elsevier.com> . Πρόσβαση 22-3-2022. Petroutsatou et al 2021. Tunneling and underground space technology incorporating Trenchless technology research. Διαθέσιμο σε <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.103858>.

Daegu Cho, Hunhee CHOa, Daewon KIM., 2013. Automatic data processing system for integrated cost and schedule control of excavation works in NATM TUNNELS. *Journal of Civil Engineering and management*. 20(1):132-141. Διαθέσιμο σε <http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2013.801907>

Hong-Kee Tzou Tai-Sheng Chu, Tai-Yi Liu., 2020. Enhancing the safety management of NATM using the tunnel seismic prediction method: a case study, 2020. *Innovate in infrastructure solutions*. 5:106. Διαθέσιμο σε <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00357-0>.

Chunde Ma, Weibin Xie, Zelin Liu, Qiyue Li, Jiaqing Xu and Guanshuang Tan., 2020. A new Technology for smooth blasting without denotating cord for Rock tunnelexcavation. *Appliedsciences*, 10:6764. Διαθέσιμο σε www.mdpi.com/journal/applsci.

Zhenliang Zhou,*, Zhongsheng Tan, Jinpeng Zhao 1 and Han Liang, 2020). Development and research on the vertical center Diaphragm method applied in shallow tunnel Construction. *Symmetry* 2020, 12, 855; doi:10.3390/sym12050855. Διαθέσιμο σε www.mdpi.com/journal/symmetry
