

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΕ ΕΡΓΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



ΦΟΙΤΗΤΕΣ
ΕΙΡΗΝΗ ΚΟΥΡΑΚΗ (Α.Μ.: 4851)
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΜΑΡΓΑΡΗΣ (Α.Μ.: 4826)
ΦΑΙΗ ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΥ (Α.Μ.: 4903)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
κ. Α. ΣΑΡΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2013

TECHNOLOGICAL INSTITUTE OF PATRAS
FACULTY OF APPLIED TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE PROJECTS

GRADUATION THESIS
GEODETIC PROJECTS IN TUNNELING



STUDENTS

EIRINI KOURAKI (Reg.: 4851)
PANAGIOTIS MARGARIS (Reg.: 4826)
FAY GIANNAKOPOULOU (Reg.: 4903)

SUPERVISOR

Mr. A. SARANTOPOULOS

PATRAS 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πριν ξεκινήσουμε την περιγραφή της πτυχιακής εργασίας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε εγγράφως ορισμένους ανθρώπους.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλουμε να εκφράσουμε προς τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Α. Σαραντόπουλο, καθηγητή του τμήματος Πολιτικών Έργων Υποδομής του ΤΕΙ Πατρών, ο οποίος πολύ πρόθυμα μας συμπεριέλαβε στην ομάδα του. Μέσα από την καθοδήγησή του, την επίβλεψη του, και κυρίως τις προσεγγίσεις του μάθαμε να αναζητούμε την λεπτομέρεια και την αιτίαση σε κάθε επιστημονική μας ενέργεια.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ πλησιάζοντας στο κλείσιμο του πιο σημαντικού κομματιού των πτυχιακής εργασίας, οφείλουμε να πούμε στις οικογένειες μας. Χωρίς την οικονομική βοήθεια αυτών δεν θα είχαμε την δυνατότητα να σας παρουσιάσουμε το παρόν σύγγραμμα. Προφανώς βέβαια δεν είναι αυτός ο κύριος λόγος που νιώθουμε τέτοια ευγνωμοσύνη. Η απόλυτη συμπαράσταση των οικογενειών μας, αποτελούσε κινητήριο δύναμη για μας.

Φτάνοντας στο κλείσιμο των ευχαριστιών θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την Κ. Καμπιώτη η οποία μας βοήθησε στην ορθή συγγραφή της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για την εξασφάλιση της άρτιας λειτουργίας και προόδου ενός τεχνικού έργου απαιτείται η τακτική επίβλεψη του. Παλαιότερα, στα κατασκευαστικά έργα, η παρακολούθηση της πορείας του έργου και η ακέραια πρόοδος του πραγματοποιούνταν με τη χρήση γεωδαιτικών σταθμών τα οποία όμως δεν ήταν ιδιαίτερα εύχρηστα ως προς τον χειριστή καθώς απαιτούσαν και μεγάλο χρονικό διάστημα για την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων. Με την πάροδο των χρόνων και την εξέλιξη της τεχνολογίας, η εισαγωγή σύγχρονων γεωδαιτικών σταθμών και μεθόδων αποτύπωσης (σύστημα TMS Profiler) προσέφερε μία πιο άμεση και ορθή διεκπεραίωση των αποτελεσμάτων καθώς έχει τη δυνατότητα χάραξης, συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων σε υπόγειες και επίγειες εργασίες.

Η πιο πρόσφατη εισαχθείσα τεχνολογία η οποία προσφέρει συνολική και σχεδόν συνεχή αποτύπωση του εσωτερικού της σήραγγας, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο τη δυνατότητα επιλογής διατομών σε οποιασδήποτε θέση είναι η νέα τεχνολογία της τρισδιάστατης σάρωσης laser. Επιπροσθέτως, προσφέρει μεγάλη ταχύτητα και ευκολία στις εργασίες πεδίου, με την προϋπόθεση ότι ο κυρίως όγκος εργασιών αφορά στην επεξεργασία των δεδομένων.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζονται οι χρήσεις σύγχρονων γεωδαιτικών σταθμών και σαρωτών laser για την αποτύπωση διατομών σηράγγων καθώς και για την επεξεργασία των δεδομένων αυτών.

Από την επεξεργασία των χαρακτηριστικών κάθε μεθόδου προκύπτουν ουσιώδη αποτελέσματα ως προς την ακρίβεια και την αξιοπιστία αυτών, εφόσον εφαρμόστηκαν σε ένα ευρύ φάσμα εργασιών.

ABSTRACT

In order to make sure that a technical project is functional and progressive, it is necessary to follow frequent checks. In the past, construction projects used to be checked frequently to ensure projects functionality and progress through the use of geodetic stations. These stations were not useful regarding their use because it required so much time to obtain the final results. Through out the years, and with the invention of technology, the introduction of modern geodetic stations and printing methods (system TMS profile) offers a direct and realistic presentation of the final results as well as the opportunity for etching, data collection and processing for over ground and underground work activities. The most recent technology that has been introduced has served as the most competent method to the study of the inner side of a tunnel. This way it gives the opportunity to choose between many cross sections in any dimension through the use of 3D technologies and laser scanners. Additionally, it is very fast and easy to use, only when it's about data processing. This dissertation presents the use of modern geodetic stations and scanner lasers for the illustration of tunnel cross-sections as well as the data processing. Through the elaboration of the characteristics of many methods, significant results came up regarding the accuracy and importance after these methods has been applied in a wide range of tasks.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ABSTRACT.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	12
1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	13
1.1 Γενικά.....	13
1.2 Τύποι σηράγγων.....	13
1.3 Τεχνικογεωλογικές παράμετροι κατασκευής σηράγγων.....	15
1.4 Μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων.....	16
1.4.1 Μέθοδος διάνοιξης με Μηχανή Ολομέτωπου Κοπής (TunnelBoringMachine, TBM).....	17
1.4.2. Μέθοδος ανοικτού ορύγματος (Cut & Cover).....	20
1.4.3 Μέθοδος Επικάλυξης - Εκσκαφής (Cover & Cut ή Top Down).....	21
1.4.4 Νέα Αυστριακή Μέθοδος (New Austrian Tunneling Method ή NATM).....	24
1.4.4.α Γενικά.....	24
1.4.4.β Χαρακτηριστικά της μεθόδου NATM.....	25
1.4.4.γ Μέτρα άμεσης υποστήριξης.....	31
1.4.4.δ Φάσεις εκσκαφής.....	35
2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ.....	40
2.1 Τοπογραφικά στοιχεία - Προδιαγραφές.....	40
2.2 Γεωδαιτικές εργασίες σήραγγας.....	40
2.3 Εφαρμογή γεωδαιτικών μεθόδων στην παρακολούθηση μικρομετακινήσεων σηράγγων.....	56
2.3.1 Εφαρμογές στην αρχαιότητα.....	56
2.3.2 Νεότερες εφαρμογές (19ος αιώνας).....	59
2.3.3 Σύγχρονες εφαρμογές - Μέθοδος μετρήσεων.....	60
2.3.3.1 Στάσεις του οργάνου και θέσεις στόχων σκόπευσης.....	61
2.3.3.2 Γεωδαιτικά Όργανα.....	62
2.3.3.3 Συχνότητα Μετρήσεων.....	63
2.3.3.4 Συνθήκες μετρήσεων - Προβλήματα και δυσκολίες.....	64
2.3.4 Καταγραφή μετακινήσεων στις σήραγγες.....	64
2.4 Πιστοποίηση κατασκευής.....	65
3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ – ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ.....	67
3.1 Βασικές αρχές.....	67
3.2 Εργασίες πεδίου.....	70
3.3 Φάσεις αποτύπωσης διατομών σηράγγων.....	72
3.4 Υπολογισμοί Εμβαδού - Όγκων.....	76
3.4.1 Εμβαδά.....	76
3.4.2 Όγκοι.....	77
4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ.....	79
4.1 Εισαγωγικά.....	79
4.2 Γεωδαιτικά όργανα.....	80
4.2.1 Γεωδαιτικός σταθμός (Total Station).....	80
4.2.1.1 Το λογισμικό TMS (Tunnel Measuring System).....	89
4.2.1.2 Επεξεργασία των μετρήσεων.....	96
4.2.2 Σαρωτής Laser (Laser scanner).....	97
4.2.2.1 Επεξεργασία των μετρήσεων.....	98
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	101

5.1 Βασικά συμπεράσματα.....	103
5.2 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα.....	104
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	105
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	105
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	105
Διαδικτυακές Πηγές.....	106

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<i>Σχήμα 1.1:</i> Είσοδος μεταλλευτικής σήραγγας.	10
<i>Σχήμα 1.2:</i> Σήραγγα που εξυπηρετούσε ως αγωγός υδάτων κατά τον 6ο αι. π.χ. (Ευπαλίνειο Όρυγμα).	10
<i>Σχήμα 1.3:</i> α) Σήραγγα οδοποιίας / β) Σήραγγα μετρό	10
<i>Σχήμα 1.4:</i> α) Επικρατούσες συνθήκες διάνοιξης σηράγγων δίπλα σε απότομα πρανή, β) Επικρατούσες συνθήκες διάνοιξης σηράγγων σε ριζιγενείς ζώνες.	11
<i>Σχήμα 1.5:</i> α) TBM κατά την έξοδο του από τη σήραγγα σε βραχώμαζα, β) Μακέτα TBM της εταιρείας NHI που εδρεύει στην β. Κίνα.	13
<i>Σχήμα 1.6:</i> Τυπική σχηματική διάταξη μηχανήματος ολομετώπου κοπής.	14
<i>Σχήμα 1.7:</i> Φάσεις λειτουργίας TBM.	15
<i>Σχήμα 1.8:</i> Αριστερά: Μηχάνημα σημειακής κοπής. Δεξιά: Πνευματικό σφυρί.	15
<i>Σχήμα 1.9:</i> Κατασκευαστικά στάδια μεθόδου ανοικτού ορύγματος.	16
<i>Σχήμα 1.10:</i> α) Σε τμήματα της κατασκευής του Μητροπολιτικού Σιδηροδρόμου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Cut & Cover) κατασκευάστηκε από τον αγγλικό στρατό. (Λονδίνο 1862). / β) Κατασκευή υπόγειου αυτοκινητοδρόμου σε εξέλιξη με την μέθοδο (Cut & Cover). (Ζυρίχη 2002).	17
<i>Σχήμα 1.11:</i> Φάσεις κατασκευής κατά την μέθοδο Επικάλυψης-Εκσκαφής.	18
<i>Σχήμα 1.12:</i> Διάτρηση και τοποθέτηση υποστρώματος κατά την μέθοδο επικάλυψης-εκσκαφής.	19
<i>Σχήμα 1.13:</i> Μέθοδος Cover & Cut. Διακρίνονται τα πλευρικά τοιχεία, η άνω πλάκα καθώς και το επίχωμα.	19
<i>Σχήμα 1.14:</i> Εκσκαφή σήραγγας σε δύο φάσεις.	21
<i>Σχήμα 1.15:</i> Πτωχή ποιότητα βραχώμαζας – μικρό βήμα εκσκαφής.	22
<i>Σχήμα 1.16:</i> Τοποθέτηση οπλισμού ανεστραμμένου τόξου.	23
<i>Σχήμα 1.17:</i> Σήραγγα χωρίς ανεστραμμένο τόξο.	23
<i>Σχήμα 1.18:</i> Εφαρμογή δοκών προπορείας (κατασκευή ομπρέλας).	24
<i>Σχήμα 1.19:</i> Δοκοί προπορείας στο στόμιο της σήραγγας T1, Τέμπη.	25
<i>Σχήμα 1.20:</i> Μηκοτομή δοκών προπορείας.	25
<i>Σχήμα 1.21:</i> Οριζοντιογραφία δοκών προπορείας (έντονες κόκκινες γραμμές).	26
<i>Σχήμα 1.22:</i> Τρισδιάστατο προοπτικό δοκών προπορείας.	26
<i>Σχήμα 1.23:</i> Μηχάνημα τοποθέτησης αγκυριών με laser.	28
<i>Σχήμα 1.24(α-β-γ-δ):</i> Βελτίωση μετώπου σήραγγας όπου πραγματοποιείται με αγκύρια τύπου Swellex και μεταλλικά καρφιά. Στο σχήμα (α) βλέπουμε Βελτίωση μετώπου σήραγγας με χαλύβδινα πλαίσια και εκτοξεύμενο σκυρόδεμα.	29
<i>Σχήμα 1.25:</i> Αριστερά: Χαλύβδινες νευρώσεις, Δεξιά: Δικτυωτό πλαίσιο.	30
<i>Σχήμα 1.26:</i> Άποψη της τελικής επένδυσης στο τμήμα Cut & Cover. Εγνατία Οδός, Σήραγγα Δωδώνης.	30
<i>Σχήμα 1.27:</i> Διάτρηση με διατρητικό τύπου Jumbo.	31
<i>Σχήμα 1.28:</i> Γόμωση εκρηκτικών υλών.	32
<i>Σχήμα 1.29:</i> Η στιγμή της έκρηξης.	32
<i>Σχήμα 1.30:</i> Απομάκρυνση αδρανών υλικών .	33
<i>Σχήμα 1.31:</i> Ξεσκάρωμα.	33
<i>Σχήμα 1.32:</i> Τοποθέτηση χαλύβδινου πλαισίου.	34
<i>Σχήμα 1.33:</i> Ρήψη εκτοξευόμενου σκυροδέματος.	34
<i>Σχήμα 1.34:</i> Σχηματική παράσταση της Νέας Αυστριακής Μεθόδου.	35
<i>Σχήμα 2.1:</i> Οριζοντιογραφία ορίων εκσκαφής (κόκκινη γραμμή). Επίσης, φαίνονται οι κλίσεις των πρανών και η τάφρος οφρύος.	37
<i>Σχήμα 2.2:</i> Διαμόρφωση μετώπου σήραγγας σε τελικό στάδιο.	38
<i>Σχήμα 2.3:</i> Φωτογραφίες τριγωνομετρικών βάθρων.	38
<i>Σχήμα 2.4:</i> Χρήση ψηφιακού χωροβάτη κατά την διαδικασία γεωμετρικής χωροστάθμησης.	39
<i>Σχήμα 2.5:</i> Στάση με αγκυρωμένες ράβδους χάλυβα και ενεματώσεις τσιμέντου.	40
<i>Σχήμα 2.6:</i> Βάθρα από σωλήνα PVC πληρωμένου με τσιμέντο.	40
<i>Σχήμα 2.7:</i> Στάση πακτωμένη στην τελική επένδυση α) στον τοίχο και β) στη βάση.	41

Σχήμα 2.8: Σκαρίφημα δύο ανεξάρτητων οδεύσεων κατά μήκος των δύο κλάδων σήραγγας.	42
Σχήμα 2.9: Ανοικτή πλήρως εξαρτημένη όδευση.	43
Σχήμα 2.10: Πέρασ διάνοιξης σήραγγας	44
Σχήμα 2.11: Δίνοντας τη σωστή κατεύθυνση των δοκών προπορείας.	44
Σχήμα 2.12: Σωστή εφαρμογή δοκών προπορείας, οι οποίες εφάπτονται στο πλαίσιο.	45
Σχήμα 2.13: Έλεγχος γεωμετρίας πλαισίου. Φαίνεται δικτυωτό πλαίσιο Lattice/Girder.	46
Σχήμα 2.14: Έλεγχος γεωμετρίας πλαισίου από άλλες θέσεις της σύραγγας.	46
Σχήμα 2.15: Παραλαβή πλαισίου και εκσκαφής.	47
Σχήμα 2.16: Έλεγχος της διατομής εκσκαφής.	48
Σχήμα 2.17: Ενημέρωση του χειριστή της πρέσσας.	48
Σχήμα 2.18: Φάσεις χάραξης γραμμής διάτρησης. Διακρίνεται η κόκκινη γραμμή εκσκαφής .	49
Σχήμα 2.19: Έλεγχος εκσκαφής και ποδαρικών στη Β' Φάση.	50
Σχήμα 2.20: Μεταλλότυπος θόλου.	50
Σχήμα 2.21: Ταυτόχρονος γεωμετρικός έλεγχος μεταλλοτύπου και στα δύο ακρα του.	51
Σχήμα 2.22: Το καλούπι με τον φέροντα οπλισμό του.	51
Σχήμα 2.23: Γεωμετρικός έλεγχος της τελικής επένδυσης του στομίου της σήραγγας.	52
Σχήμα 2.24: Συστήματα Qanat στη Μέση Ανατολή. α) μέθοδος κατασκευής του δικτύου με τη βοήθεια κατακόρυφων πηγαδιών. β) αεροφωτογραφία πηγαδιών qanat στο Ιράν (English, 1998).	53
Σχήμα 2.25: Χάραξη του Ευπαλίνειου Ορύγματος.	54
Σχήμα 2.26: Σταθμοί σύγκλισης σε πυκνή διάταξη διατομών ελέγχου.	56
Σχήμα 2.27: Παρακολούθηση των παραμορφώσεων σήραγγας με χρήση γεωδαιτικού σταθμού.	57
Σχήμα 2.28: Σχηματική διάταξη εγκατάστασης οπτικών στόχων.	58
Σχήμα 2.29: Βασικοί τύποι ανακλαστήρων Άνω: πρισματικός / Κάτω:επίπεδος πλαστικός.	59
Σχήμα 2.30: Σχεδιάγραμμα μετακινήσεων σταθμού συγκλίσεων.	59
Σχήμα 2.31: α) Καταγραφή απολύτων μετακινήσεων των σημείων ελέγχου σήραγγας σε τρεις διαστάσεις. β) Κατακόρυφη και οριζόντια σύγκλιση της διατομής.	61
Σχήμα 3.1: Λεπτομέρεια διατομής. Διακρίνονται τα μεγέθη $d1$, $d2$, $d4$.	64
Σχήμα 3.2: Διατομή που περιλαμβάνει 2 διαφορετικές ακτίνες (ροζ και κόκκινο χρώμα) και ευθείες γραμμές (πράσινο χρώμα).	65
Σχήμα 3.3: Μετρήσεις με την χρήση κονταριού αλουμινίου.	68
Σχήμα 3.4: Εκσκαφή (κόκκινο χρώμα) σε σύγκριση με την τυπική γραμμή εκσκαφής (μαύρο χρώμα).	69
Σχήμα 3.5: Παραλαβή διατομής εκσκαφής (μπλε χρώμα).	69
Σχήμα 3.6: Πραγματική διατομή Gunite.	70
Σχήμα 3.7: Αποτύπωση διατομής Gunite.	71
Σχήμα 3.8: Διάγραμμα χωματισμών.	73
Σχήμα 4.1: Σχεδιάγραμμα αυτόματης χάραξης σημείων.	78
Σχήμα 4.2: Αριστερά: Οριοθέτηση πεζοδρομίων / Δεξιά: Τοποθέτηση αγωγών αερίου.	78
Σχήμα 4.3: Αριστερά: Σχεδιάγραμμα τοποθέτησης μεταλλοτύπου ανεστραμμένου τόξου / Δεξιά: Μεταλλότυπος ανεστραμμένου τόξου.	79
Σχήμα 4.4: Τοποθέτηση μεταλλοτύπου θόλου.	79
Σχήμα 4.5: Τοποθέτηση αποστραγγιστικής μεμβράνης.	80
Σχήμα 4.6: Αυτόματης χάραξη κανάβου διάτρησης.	81
Σχήμα 4.7: Προβολή καμπύλης εκσκαφής.	81
Σχήμα 4.8: (α) Χάραξη σημείων διάτρησης / (β) προσανατολισμός στελέχους.	82
Σχήμα 4.9: Χάραξη άξονα σήραγγας.	82
Σχήμα 4.10: Χάραξη κανάβου τοποθέτησης μέτρων υποστήριξης.	83
Σχήμα 4.11: Αριστερά: Σχεδιάγραμμα χάραξης καμπύλης εκσκαφής/Δεξιά: Διάτρηση εγκαρσίου διαδρόμου.	83
Σχήμα 4.12: Ο γεωδαιτικός σταθμός τύπου Leica TCRM 1101 Plus.	84
Σχήμα 4.13: Εισαγωγή στοιχείων οριζοντιογραφίας.	85
Σχήμα 4.14: Διατομή εκσκαφής σε σύγκριση με την θεωρητική γραμμή.	86
Σχήμα 4.15: Υπολογισμός στρώσης gunite.	86
Σχήμα 4.16: Υπολογισμός γεωλογικής υπερεκσκαφής.	87
Σχήμα 4.17: α) Διατομή κάθετη στον άξονα / β) Πλευρική παραλαβή διατομής.	87
Σχήμα 4.18: α) Διατομή κάθετη στον άξονα / β) Πλευρική παραλαβή διατομής.	88
Σχήμα 4.19: α) Διατομή κάθετη στον άξονα / β) Πλευρική παραλαβή διατομής.	88

<i>Σχήμα 4.20:</i> α) Διατομή κάθετη στον άξονα / β) Πλευρική παραλαβή διατομής.	89
<i>Σχήμα 4.21:</i> Παράμετροι αποτύπωσης.	90
<i>Σχήμα 4.22:</i> Έλεγχος ανοχής κατά την αποτύπωση και επανασκόπηση.	91
<i>Σχήμα 4.23:</i> Αποτύπωση διατομών σε συγκεκριμένες χιλιομετρικές θέσεις.	91
<i>Σχήμα 4.24:</i> Βέλτιστο εύρος αποτύπωσης.	92
Σχήμα4.25: Προσανατολισμόειουσαρωτή lase	94
Σχήμα4.26: Νέφος επίγειου σαρωτή laser.	94
<i>Σχήμα 4.27:</i> Νέφος επίγειου σαρωτή laser.	95
<i>Σχήμα 4.28:</i> Περιοχές εύρους 5cm σε κάθε διατομή.	95
<i>Σχήμα 4.29:</i> Περιοχές εύρους 5 cm σε κάθε διατομή (απομάκρυνση νέφους).	96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

- **Πίνακας 5.1:** Πλεονεκτήματα μεθόδων.
- **Πίνακας 5.2:** Μειονεκτήματα μεθόδων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εκμετάλλευση του υπόγειου ορυκτού πλούτου της γης, που αντιπροσωπεί μία από τις σημαντικότερες παραγωγικές δραστηριότητες του ανθρώπου, απαιτεί τη διάνοιξη πηγαδιών, στοών και διαβάσεων στο υπέδαφος. Επίσης, συγκοινωνιακές ανάγκες ή ανάγκες εγκατάστασης αγωγών μεταφοράς νερού, καυσίμων, αερίου κλπ. επιβάλλουν την κατασκευή σηράγγων. Τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει συνεισφέρει ουσιαστικά στην ανάπτυξη εφαρμογών οι οποίες σχετίζονται με τη μελέτη και παρακολούθηση των τεχνικών έργων, ιδιαίτερα των σηράγγων. Ακόμα και σήμερα, σε πολλά έργα ο έλεγχος των σηράγγων γενικότερα (γεωμετρία, εκσκαφή, χάραξη άξονα) διεξάγεται με πεπαλαιωμένες -για την εποχή- μεθόδους. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη γεωδαιτικών σταθμών, μεθόδων και λογισμικών, εξασφαλίζει την δυνατότητα άμεσου ελέγχου οποιασδήποτε εργασίας εντός σήραγγας.

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και η καθοδήγηση των εργασιών κατασκευής των παραπάνω τεχνικών έργων με τις υπηρεσίες της Τοπογραφίας. επομένως κρίθηκε απαραίτητη η παράθεση πλούσιου φωτογραφικού υλικού ώστε να γίνει όσο το δυνατόν πιο κατανοητό.

Στο πρώτο κεφάλαιο παραθέτονται οι βασικοί τύποι σηράγγων και οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι διάνοιξης αυτών. Επιπλέον αναφέρονται και οι τεχνικογεωλογικές παράμετροι της κατασκευής σηράγγων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι εργασίες του Τοπογράφου Μηχανικού εντός της σήραγγας, για παράδειγμα η εγκατάσταση πολυγωνικού και υψομετρικού δικτύου, με τη χρήση διαφόρων τύπων γαιωδαιτικών οργάνων, ο γεωμετρικός έλεγχος της σήραγγας, η παρακολούθηση των παραμορφώσεων και η καταγραφή της πορείας της κατασκευής.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται βασικές αρχές που αφορούν τη λήψη διατομών, τη διαχείριση χωματισμών όπως επίσης και τη περιγραφή των φάσεων διάνοιξης και εκσκαφής διατομών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται σε γενικές γραμμές οι λειτουργίες των μηχανημάτων και τα χαρακτηριστικά των τριών μεθόδων αποτύπωσης Total Station, TMS Profiler και Laser Scanner.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα ως αποτέλεσμα της μελέτης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων με γνώμονα την ακρίβεια των μεθόδων αποτύπωσης.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

1.1 Γενικά

Τι είναι σήραγγα;

Ο ορισμός του τι αποτελεί σήραγγα δεν έχει γίνει καθολικά αποδεκτός δεδομένης της πληθώρας ορισμών που δίδονται, αν αναζητήσει κανείς σχετική βιβλιογραφία. Γενικώς, ως σήραγγα καλείται μία οριζόντια, υπόγεια εκσκαφή. Εν τούτοις, για να θεωρηθεί ένα υπόγειο έργο ως σήραγγα, πρέπει να έχει μήκος τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερο από τη διατομή του. Επιπροσθέτως, πρέπει να είναι κλειστό από όλες τις πλευρές, εξαιρουμένων της εισόδου και της εξόδου. Μερικοί σχεδιαστές ορίζουν ως σήραγγα ένα τεχνικό μήκους 0.08 μιλίων (0.13 χιλιόμετρα) ή μεγαλύτερο, ενώ οτιδήποτε μικρότερου μήκους θεωρείται ως υπόγεια διάβαση.

Μία σήραγγα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ποικίλους σκοπούς: να εξυπηρετεί πεζούς ή ποδηλάτες, για οδική κυκλοφορία σε γενικότερα πλαίσια ή για τη μεταφορά υδάτων για υδρευτικούς, αρδευτικούς ή υδροηλεκτρικούς σκοπούς. Άλλες σήραγγες χρησιμοποιούνται για την αποχέτευση όμβριων υδάτων ή λυμάτων, καθώς και για την εγκατάσταση καλωδίων επικοινωνίας.

Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεταλλευτικούς σκοπούς.

1.2 Τύποι σηράγγων

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι βασικοί τύποι σηράγγων μπορούν να διακριθούν σε τρεις γενικές κατηγορίες:

- **Μεταλλευτικές σήραγγες**

Χρησιμοποιούνται για την εξόρυξη μεταλλευμάτων, μετάλλων, διαμαντιών κλπ. Οι τεχνικές κατασκευής τους είναι παρόμοιες με αυτές των περισσότερων σηράγγων, ωστόσο είναι λιγότερο ασφαλείς (σχήμα 1.1).

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ



Σχήμα 1.1: Είσοδος μεταλλευτικής σήραγγας.

- **Σήραγγες κοινής ωφελείας**

Χρησιμοποιούνται για άρδευση, ύδρευση, μεταφορά φυσικού αερίου και εγκατάσταση καλωδίων επικοινωνίας (σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2: Σήραγγα που εξυπηρετούσε ως αγωγός υδάτων κατά τον 6ο αι. π.χ.(Ευπαλίνειο Όρυγμα).

- **Συγκοινωνιακές σήραγγες**

Περιλαμβάνουν οδικές, σιδηροδρομικές, καθώς και σήραγγες για πεζούς και ποδηλάτες (σχήμα 1.3).



(α)



(β)

Σχήμα 1.3: α) Σήραγγα οδοποιίας / β) Σήραγγα μετρό

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

1.3 Τεχνικογεωλογικές παράμετροι κατασκευής σήραγγων

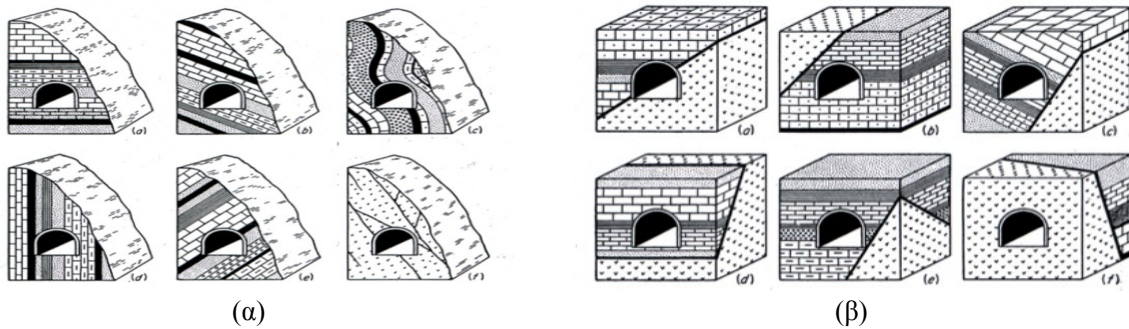
Η σήραγγα ως τεχνικό έργο είναι συνδεδεμένη με το γεωλογικό υλικό περισσότερο από κάθε άλλο τεχνικό έργο. Η συμβολή της γεωλογίας δεν αρκείται μόνο στην αναγνώριση μεμονωμένων γεωλογικών κινδύνων, αλλά πρέπει να έχει συνεχή παρουσία στο σχεδιασμό και στην κατασκευή μιας σήραγγας.

Η τεχνικογεωλογική έρευνα αφορά τις επικρατούσες γεωλογικές, λιθολογικές, τεκτονικές μορφές και τα χαρακτηριστικά (προσανατολισμός, πυκνότητα, τραχύτητα, υλικά πλήρωσης κλπ) των ασυνεχειών, με σκοπό τη σύνταξη της γεωλογικής τομής πρόβλεψης, τις γεωτεχνικές ιδιότητες (αντοχή, παραμορφωσιμότητα, διογκωσιμότητα) των πετρωμάτων που θα διατηρηθούν, την υδρευολογία της ζώνης χάραξης της σήραγγας και του περιβάλλοντος χώρου και την ευστάθεια των περιοχών εισόδου-εξόδου.

Η γεωλογική τομή πρόβλεψης συνήθως γίνεται πάνω στον άξονα της σήραγγας και πρέπει να περιέχει τους διαφορετικούς βραχώδεις και εδαφικούς λιθολογικούς τύπους, τα όρια (επαφές) των γεωλογικών στρωμάτων καθώς και τα πιθανά ρήγματα, ενώ αν υπάρχουν αξιόπιστα διαθέσιμα δεδομένα από εγκατεστημένα πιεζόμετρα, σε κάποιες από τις γεωτρήσεις, μπορεί να αποτυπωθεί και η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Επιπλέον, θα πρέπει να σχεδιασθεί λεπτομερής γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής όπου και θα σημειώνεται η χάραξη της σήραγγας. Η ακρίβεια με την οποία τα γεωλογικά στρώματα μεταφέρονται από ένα οριζόντιο σύστημα προβολής (γεωλογικός χάρτης) σε μία γεωλογική τομή εναπόκειται στην κρίση του γεωλόγου. Στην περίπτωση των ιζηματογενών πετρωμάτων είναι δυνατό να γίνει, καθώς δεν υπάρχει μεγάλη διαταραχή των στρωμάτων από πτυχώσεις και ρήγματα. Αντιθέτως, στην περίπτωση των πυριγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων η ακρίβεια δεν είναι μεγάλη κυρίως λόγω των ακανόνιστων επαφών μεταξύ των γεωλογικών σχηματισμών.

Όλες οι παραπάνω πληροφορίες σε μεγάλο βαθμό λαμβάνονται από διάνοιξη ερευνητικών στοών και γεωτρήσεων. Οι γεωτρήσεις θα πρέπει να φθάνουν τουλάχιστον στο επίπεδο του κάτω τμήματος της σήραγγας με εξαίρεση τα τμήματα εισόδων της σήραγγας όπου θα φθάνουν σε ικανοποιητικό βάθος προκειμένου να μελετηθεί σωστά η θεμελίωση των εισόδων.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ



Σχήμα 1.4: α) Επικρατούσες συνθήκες διάνοιξης σηράγγων δίπλα σε απότομα πρανή, β) Επικρατούσες συνθήκες διάνοιξης σηράγγων σε ριζιγενείς ζώνες.

1.4 Μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων

Η επιλογή της μεθόδου γίνεται ανάλογα με τις διαστάσεις και το μήκος της σήραγγας, ανάλογα με τη διάτρηση σε εδαφικούς ή σε βραχώδεις σχηματισμούς, ενώ η ύπαρξη υπογείου υδροφόρου ορίζοντα είναι καθοριστικής σημασίας στην επιλογή λόγω υδραυλικού φορτίου αλλά και λόγω της εμφάνισης υδάτων κατά τη διάτρηση.

Οι μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στις συμβατικές μεθόδους, όπου ανήκει η μέθοδος Drill & Blast και, στις μηχανικές μεθόδους, όπου ανήκουν οι μέθοδοι ολομέτωπης και τμηματικής εκσκαφής. Σε βραχώδεις σχηματισμούς επιλέγονται τα εκρηκτικά, τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής και τα μηχανήματα σημειακής κοπής. Σε μαλακούς (εδαφικούς) σχηματισμούς ή σε ημίβραχους επιλέγονται ασπίδες με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής ή ασπίδες "πολτού". Σε ετερογενείς βραχομάζες επιλέγεται κυρίως η νέα Αυστριακή μέθοδος διάνοιξης σηράγγων.

Στη συνέχεια παρατίθενται εν σύννοψει οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι διάνοιξης. Επίσης, γίνεται μία αναφορά στα μηχανήματα κοπής που χρησιμοποιούνται στις μηχανικές μεθόδους, ενώ περιγράφονται και οι μέθοδοι διάνοιξης «Ανοικτού Ορύγματος» (Cut and Cover) και «Επικάλυψης-Εκσκαφής» (Cover and Cut). Τέλος, γίνεται μία πιο εκτεταμένη αναφορά στην Νέα Αυστριακή μέθοδο (NATM), εφόσον αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους διάνοιξης σηράγγων.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

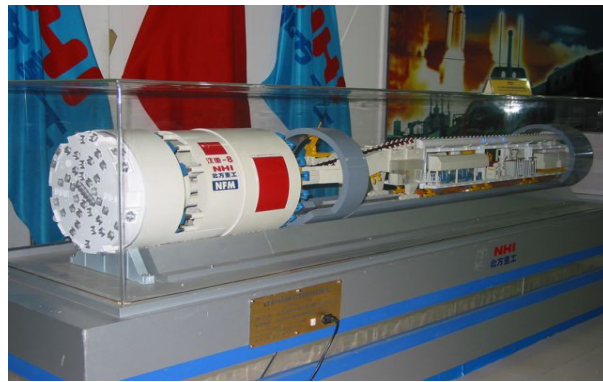
1.4.1 Μέθοδος διάνοιξης με Μηχανή Ολομέτωπου Κοπής (Tunnel Boring Machine, TBM)

Οι κυριότεροι λόγοι οι οποίοι οδήγησαν στην ανάπτυξη της μηχανικής όρυξης σήραγγων, είναι το γεγονός ότι η χρησιμοποίηση εκρηκτικών υλών για την θραύση του πετρώματος έχει ως αποτέλεσμα τον επηρεασμό της περιοχής γύρω από την εκσκαφή. Επιπλέον, ο κύκλος εκσκαφής με τη χρήση εκρηκτικών είναι ασυνεχής υπό την έννοια ότι μεσολαβούν «νεκρά» χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαφόρων φάσεων. Η μηχανική όρυξη σήραγγων πραγματοποιείται με τις Μηχανές Ολομέτωπης Κοπής (TBM-Tunnel Boring Machine).

Τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (Tunnel boring machines, TBM και οι ασπίδες, shields) χρησιμοποιούνται για την διάνοιξη σήραγγων μέσα σε διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς (σχήμα 1.5). Μπορεί να χρησιμοποιηθούν το ίδιο αποτελεσματικά για τη διάνοιξη μέσα από σκληρά ή χαλαρά πετρώματα ή εδάφη. Οι διάμετροι διάνοιξης κυμαίνονται από 1m έως και 15m (με τάση να φθάσουν τα 19 m) και οι ταχύτητες προχώρησης ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες από μερικά εκατοστά/εβδομάδα έως και 130 μέτρα/εβδομάδα.



(α)



(β)

Σχήμα 1.5: α) TBM κατά την έξοδο του από τη σήραγγα σε βραχώμαζα,
β) Μακέτα TBM της εταιρείας NHI που εδρεύει στην β. Κίνα.

Ένα TBM (σχήμα 1.6) συνήθως αποτελείται από ένα ή δύο ασπίδες, μεταλλικούς κυλίνδρους και από συστήματα υποστήριξης. Στο ένα άκρο της ασπίδας τοποθετείται η κοπτική κεφαλή. Η επιλογή της κοπτικής κεφαλής εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους. Πίσω από τον θάλαμο βρίσκονται μια σειρά υδραυλικών γρύλων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την προώθηση του μηχανήματος. Οι γρύλοι τοποθετούνται στην επένδυση της σήραγγας που βρίσκεται πίσω από το μηχάνημα και εν συνεχεία το ωθούν προς την αντίθετη κατεύθυνση.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Η επιλογή μονής ή διπλής ασπίδας εξαρτάται κυρίως από τη γεωλογία της περιοχής καθώς και από την ταχύτητα προχώρησης. Διπλές ασπίδες χρησιμοποιούνται σε χαλαρά εδάφη ή ρηγματογόνες ζώνες όπου απαιτείται μεγάλη ταχύτητα προχώρησης. Αντίστοιχα η μονή ασπίδα χρησιμοποιείται σε σκληρά, συμπαγή πετρώματα.

- **Μηχανές χωρίς ασπίδα (Gripper TBM)**

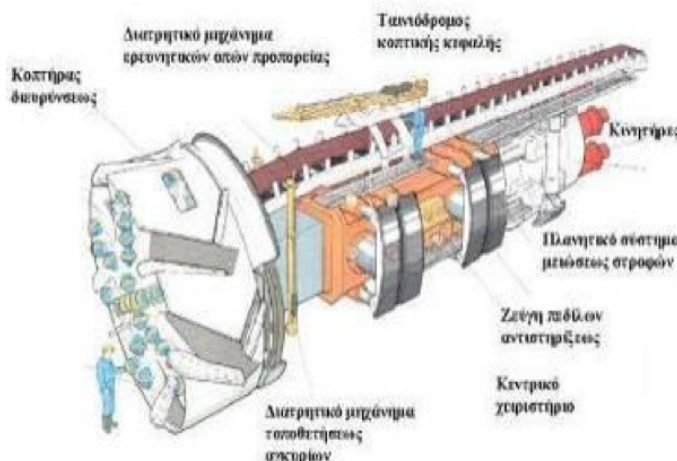
Ένα Gripper TBM είναι κατάλληλο για εξόρυξη βραχομαζών που η ευστάθεια του μετώπου και του ανυποστύλωτου τμήματος της σήραγγας μπορεί να επιτευχθεί με προσωρινά μέσα υποστύλωσης όπως κοχλίες, μεταλλικά πλαίσια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

- **TBM με ασπίδα**

Τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής με ασπίδα χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που η βραχώμαζα λόγω της μικρής της αντοχής δεν μπορεί να παραλάβει τις δυνάμεις στήριξης της μηχανής TBM, που είναι απαραίτητες για την μετάδοση των δυνάμεων πρόωσης.

- **Μηχάνημα με ισορροπία πίεσης γαιών (Earth Pressure Balance, EPB)**

Τα μηχανήματα EPB χρησιμοποιούνται σε τμήματα σήραγγας που βρίσκονται σε έδαφος και πέτρωμα μαζί. Εφαρμόζονται επίσης σε μεταβαλλόμενες γεωλογικές συνθήκες ή σε μικτές γεωλογίες μετώπων και σε πολύ αποσαθρωμένα πετρώματα.

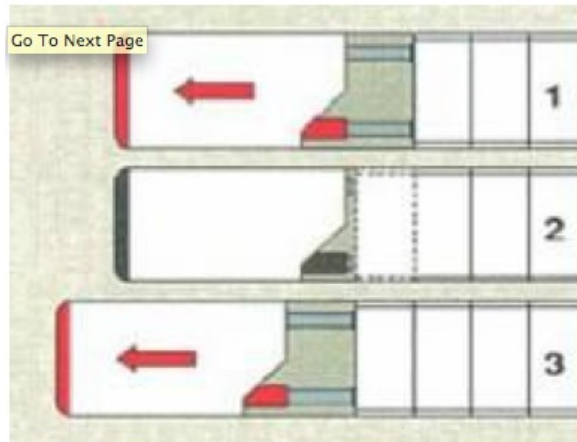


Σχήμα 1.6: Τυπική σχηματική διάταξη μηχανήματος ολομέτωπης κοπής.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Συνοπτικά, ο κύκλος λειτουργίας των μηχανημάτων αυτής της κατηγορίας, είναι ο εξής (σχήμα 1.7):

1. Διάνοιξη μετώπου
2. Τοποθέτηση τελικής επένδυσης/ στερέωση με την βοήθεια των πέδινων αντιστήριξης
3. Συνέχιση διάνοιξης μετώπου



Σχήμα 1.7: Φάσεις λειτουργίας TBM.

Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, στην κατηγορία αυτή των μηχανικών μεθόδων κατατάσσεται και η μέθοδος τμηματικής εκσκαφής, στην οποία χρησιμοποιούνται μηχανήματα σημειακής κοπής ή αλλιώς roadheaders (σχήμα 1.8.1) και υδραυλικά ή πνευματικά σφυριά (σχήμα 1.8.2).



Σχήμα 1.8: Αριστερά: Μηχάνημα σημειακής κοπής. Δεξιά: Πνευματικό σφυρί.

Η χρήση αυτής της μεθόδου ενδείκνυται σε ιδιαίτερα χαλαρά εδάφη, όπου ο κίνδυνος αστοχίας είναι μεγάλος. Ωστόσο, ο ρυθμός των εργασιών εκσκαφής με αυτή την μέθοδο είναι ιδιαίτερα αργός.

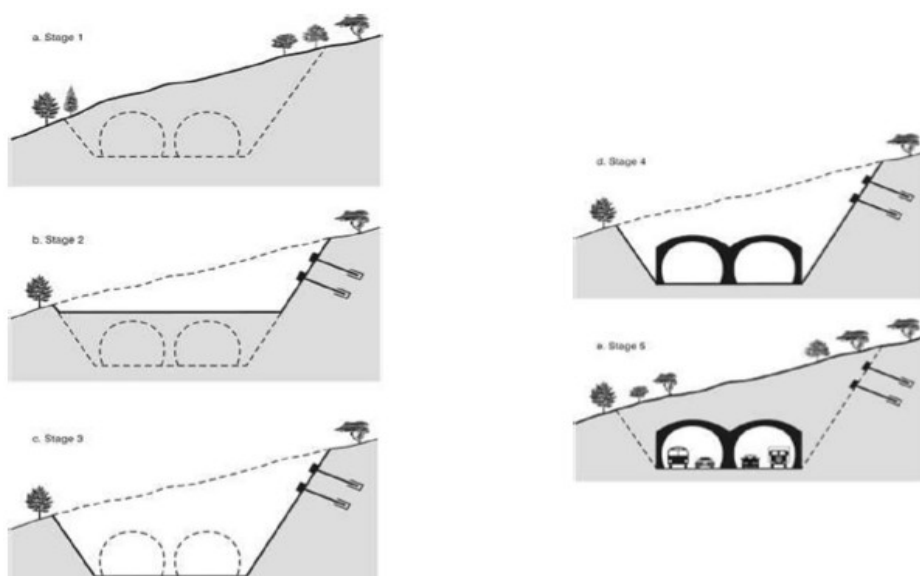
1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

1.4.2. Μέθοδος ανοικτού ορύγματος (Cut & Cover)

Η μέθοδος ανοικτού ορύγματος χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια στην κατασκευή αστικών υπογείων σιδηροδρόμων καθώς επίσης και σε υπεραστικά προγράμματα όπως στην κατασκευή ρηχών σχετικά μικρού μήκους σιδηροδρόμων οδοποιίας και σιδηροδρόμων. Τελευταία, η μέθοδος έχει υιοθετηθεί καταλλήλως, ώστε να διευκολύνει την κατασκευή των στομίων εισόδων κι εξόδων σιδηροδρόμων.

Η βασική ιδέα είναι η εκσκαφή μίας τάφρου η οποία πρέπει να σκεπαστεί και η επί τόπου σκυροδέτηση της σήραγγας η οποία, εν τέλει, θα καλυφθεί με υλικά επιχωμάτωσης (σχήμα 1.9).

Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει σταδιακή εκσκαφή κι εφαρμογή της υποστήριξης των παρειών των εκσκαφών με προσωρινούς τοίχους και συστήματα σύσφιξης. Σε περιπτώσεις εξαιρετικά δυσμενών γεωτεχνικών όρων, η προενίσχυση κρίνεται απαραίτητη προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν ή να αποφευχθούν τα προβλήματα σταθερότητας κατά τη διάρκεια της φάσης ανασκαφής. Μόλις επιτευχθεί το επίπεδο θεμελίωσης, ξεκινούν οι διαδικασίες σκυροδέτησης της σήραγγας, ακολουθούμενες από τη στεγανοποίηση και την τοποθέτηση της τελικής επιχωμάτωσης.



Σχήμα 1.9: Κατασκευαστικά στάδια μεθόδου ανοικτού ορύγματος.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ



(α)



(β)

Σχήμα 1.10: α) Σε τμήματα της κατασκευής του Μητροπολιτικού Σιδηροδρόμου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος (Cut & Cover) κατασκευάστηκε από τον αγγλικό στρατό. (Λονδίνο 1862).

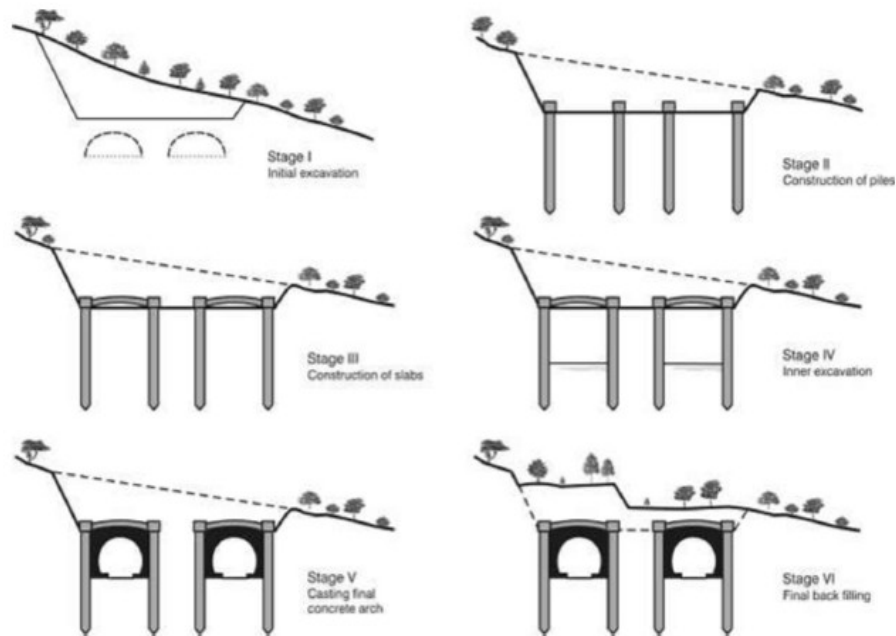
β) Κατασκευή υπόγειου αυτοκινητοδρόμου σε εξέλιξη με την μέθοδο (Cut & Cover). (Ζυρίχη 2002).

1.4.3 Μέθοδος Επικάλυψης - Εκσκαφής (Cover & Cut ή Top Down)

Παραλλαγή της μεθόδου ανοικτής εκσκαφής αποτελεί και η μέθοδος επικάλυψης και εκσκαφής (στην ξένη ορολογία cover & cut ή αλλιώς top-down).

Η διαδικασία κατασκευής περιλαμβάνει έξι ευδιάκριτα στάδια, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών χωματουργικών έργων, διάτρηση και ρήψη των υποστυλωμάτων, κατασκευή πλακών, απομάκρυνση γαιών και επιχωμάτωση (Σχήμα 1.11).

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ



Σχήμα 1.11: Φάσεις κατασκευής κατά την μέθοδο Επικάλυψης-Εκσκαφής.

- **Στάδιο I:** Εκτελείται η αρχική ανασκαφή και βαθμονόμηση. Το επίπεδο ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει την πρόσβαση και τη μετακίνηση του εξοπλισμού για τη διάτρηση υποστυλώσεων και την κατασκευή πλακών.
- **Στάδιο II:** Κατασκευάζεται μία σειρά υποστυλωμάτων από κάθε πλευρά του τμήματος σήραγγων (σχήμα 1.12).
- **Στάδιο III:** Τοποθετούνται οι αντηρίδες που ενώνουν τα υποστυλώματα και κατασκευάζεται η άνω πλάκα.
- **Στάδιο IV:** Εκτελείται η «κάτω» εκσκαφή, απολύτως προστατευμένη από τα υποστυλώματα/άνω πλάκα. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ίνες εφαρμόζεται στην επιφάνεια βράχου, στα διαστήματα μεταξύ των υποστυλωμάτων.
- **Στάδιο V:** Κατασκευάζεται η εσωτερική επένδυση της σήραγγας.
- **Στάδιο VI:** Πραγματοποιούνται οι διαδικασίες επιχωμάτωσης για περιβαλλοντικούς, γεωτεχνικούς ή για λόγους αποκατάστασης δικτύων.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ο μειωμένος χρόνος εκτεταμένων εργοταξιακών καταλήψεων και η ταχύτητα αποκατάστασης και απόδοσης σε χρήση της περιοχής (οδική κυκλοφορία, πλατείες, κλπ), και τελικώς η αποφυγή μακρόχρονης ενόχλησης των λειτουργιών της πόλης. Τα μειονεκτήματα της είναι, κυρίως, το αυξημένο κόστος και η πολυπλοκότερη κατασκευαστική διαδικασία.



Σχήμα 1.12: Διάτρηση και τοποθέτηση υποστυλώματος κατά την μέθοδο επικάλυψης-εκσκαφής.

Στο επόμενο σχήμα (1.13), παρουσιάζεται η είσοδος της σήραγγας Σ2 της Εγνατίας Οδού, στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος “Cover & Cut” λόγω κατάρρευσης του μετώπου της σήραγγας.



Σχήμα 1.13: Μέθοδος Cover & Cut. Διακρίνονται τα πλευρικά τοιχεία, η άνω πλάκα καθώς και το επίχωμα.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

1.4.4 Νέα Αυστριακή Μέθοδος (New Austrian Tunneling Method ή NATM)

1.4.4.α Γενικά

Η λεγόμενη "Νέα Αυστριακή Μέθοδος Διάνοιξης Σηράγγων" (New Austrian Tunneling Method-NATM) ουσιαστικώς δεν αποτελεί μια "μέθοδο" αλλά περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών διάνοιξης και υποστήριξης σηράγγων οι οποίες εφαρμόστηκαν συστηματικά κατά τη διάνοιξη σηράγγων στις Αυστριακές Άλπεις στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Οι τεχνικές αυτές είχαν εφαρμοσθεί και πριν το 1960 τόσο στην Αυστρία όσο και σε άλλα μέρη του κόσμου αλλά η συστηματοποίηση και ονομασία τους (NATM) έγινε από Αυστριακούς Μηχανικούς (Rabcewicz, Mueller, Brunner και Pacher) περί το 1960.

Η ονομασία "New Austrian Tunnelling Method - NATM" εμφανίσθηκε για πρώτη φορά το 1964 σε μια σειρά τριών άρθρων του L. von Rabcewicz στο περιοδικό Water Power. Στα άρθρα αυτά αναφέρεται η κατασκευή μιας σήραγγας στη Βενεζουέλα κατά την περίοδο 1957-58 όπου εφαρμόστηκε υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και αγκύρια. Έτσι, αν και η "Μέθοδος NATM" όταν προτάθηκε δεν ήταν ούτε "Νέα" ούτε "Αυστριακή" (αφού είχε εφαρμοσθεί και στο παρελθόν σε άλλες χώρες) αλλά ούτε και "Μέθοδος" (αφού ουσιαστικά αποτελείται από ένα σύνολο τεχνικών οι οποίες μάλιστα αλλάζουν με την πρόοδο της τεχνολογίας), διατήρησε διεθνώς μέχρι σήμερα το όνομά της.

Αν και δεν υπάρχει γενικώς αποδεκτός ορισμός της "Μεθόδου NATM", ο όρος συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διάνοιξη σηράγγων με εκτεθειμένο το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή χωρίς την εφαρμογή πίεσης με μηχανικά μέσα) και υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (απλό ή οπλισμένο) ή/και αγκύρια βράχου.

Η συνήθης εφαρμογή της μεθόδου NATM είναι η διάνοιξη της διατομής της σήραγγας σε μια ή περισσότερες φάσεις και η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (απλό, ινοπλισμένο, οπλισμένο με χαλύβδινο πλέγμα ή ενισχυμένο με χαλύβδινες νευρώσεις από ράβδους ή διατομές I) και αγκύρια (παθητικά ή προεντεταμένα). Σημειώνεται ότι η υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας μόνον με αγκύρια χωρίς εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υπάγεται επίσης στην κατηγορία της μεθόδου NATM.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

1.4.4.β Χαρακτηριστικά της μεθόδου NATM

Η βασική αρχή της μεθόδου NATM είναι ότι η διάνοιξη της σήραγγας και η κατασκευή της άμεσης υποστήριξης γίνονται κατά 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 επί της άμεσης υποστήριξης αλλά όχι τόσο ώστε να προκληθεί αποδιοργάνωση της βραχώμαζας με συνέπεια την αύξηση των πιέσεων στην άμεση υποστήριξη και τελικώς την κατάρρευση της διατομής της σήραγγας. Δεδομένου ότι ένα σημαντικό ποσοστό της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας συμβαίνει εμπρός από το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή πριν η εκσκαφή φθάσει στη συγκεκριμένη θέση) και επιπλέον ότι η σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας αυξάνει με ταχείς ρυθμούς στην περιοχή του μετώπου εκσκαφής, 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 κατασκευασθεί κατά το δυνατόν πλησιέστερα στο μέτωπο εκσκαφής.

Η παραπάνω αρχή της μεθόδου NATM εξειδικεύεται ως εξής:

1. Η εκσκαφή της διατομής της σήραγγας συνήθως γίνεται σε περισσότερες απο μιας φάσεις όπως φαίνεται στο σχήμα 1.14. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η επιφάνεια του μετώπου της εκσκαφής κάθε φάσης και συνεπώς μειώνεται η συνολική σύγκλιση του τοιχώματος (σε σχέση με την εκσκαφή της διατομής σε μια φάση) καθώς βελτιώνεται και η ευστάθεια της διατομής αποφεύγοντας την αποδιοργάνωση της περιβάλλουσας βραχώμαζας.



Σχήμα 1.14: Εκσκαφή σήραγγας σε δύο φάσεις.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

2. Η κατασκευή της άμεσης υποστήριξης της διατομής σε μικρή απόσταση από το μέτωπο της εκσκαφής ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και να αποφευχθεί η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας. Αυτό επιτυγχάνεται με την προώθηση της κάθε φάσης εκσκαφής σε μικρά βήματα της τάξεως των 1-2 μέτρων αναλόγα την ποιότητας της βραχώμαζας. Το μήκος του βήματος εκσκαφής μειώνεται όσο μικρότερη είναι η ποιότητα της βραχώμαζας (επειδή στις περιπτώσεις αυτές η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας είναι ταχύτερη) (σχήμα 1.15).



Σχήμα 1.15: Πτωχή ποιότητα βραχώμαζας – μικρό βήμα εκσκαφής.

3. Η άμεση υποστήριξη της διατομής θα πρέπει να αναλάβει φορτία κατά το δυνατόν ταχύτερα ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και συνεπώς η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πλεονεκτεί ως προς την άποψη αυτή επειδή βρίσκεται σε απόλυτη επαφή με την περιβάλλουσα βραχώμαζα (και συνεπώς η παραμικρή σύγκλιση του τοιχώματος προκαλεί τη φόρτισή του) και επιπλέον έχει μικρό χρόνο πήξεως (μερικές ώρες). Η χρήση αγκυρίων βράχου σε κανονικό κানাβο σπλίζει την περιβάλλουσα βραχώμαζα και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της λειτουργίας τόξου στη βραχώμαζα.

4. Η ολοκλήρωση του δακτυλίου του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο σύνολο της διατομής (δηλαδή και στο δάπεδο). Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας κλειστός δακτύλιος με πολύ μικρή παραμορφωσιμότητα ώστε να περιορίζονται οι περαιτέρω συγκλίσεις του τοιχώματος. Η δημιουργία κλειστού δακτυλίου με την ταχεία σκυροδέτηση του δαπέδου (early invert closure) συντελεί τα μέγιστα στη μείωση της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας και στην ευστάθεια της διατομής (σχήμα 1.16).

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Σχήμα 1.16: Τοποθέτηση οπλισμού ανεστραμμένου τόξου.

Σημειώνεται ότι στην περίπτωση βραχώμαζας με καλά μηχανικά χαρακτηριστικά, συχνά δεν είναι απαραίτητο να ολοκληρώνεται ο δακτύλιος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, δηλαδή δεν επενδύεται με σκυρόδεμα το δάπεδο της σήραγγας (σχήμα 1.17).



Σχήμα 1.17: Σήραγγα χωρίς ανεστραμμένο τόξο.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

5. Στην περίπτωση διάνοιξης σηράγγων σε βραχώμαζα με πολύ πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά ή σε εδαφικούς σχηματισμούς, είναι συνήθης η εμφάνιση φαινομένων αστάθειας του μετώπου της εκσκαφής. Τα φαινόμενα αυτά προκαλούν αύξηση της σύγκλισης και αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας με πιθανή κατάληξη την κατάρρευση της σήραγγας. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορούν να ληφθούν μέτρα βελτίωσης της ευστάθειας του μετώπου, όπως αύξηση του αριθμού των φάσεων εκσκαφής (ώστε να μειωθούν οι διαστάσεις του μετώπου), διαμόρφωση του μετώπου με κλίση ως προς την κατακόρυφο, ενίσχυση της οροφής με αγκύρια, ενίσχυση του μετώπου με ράβδους ή δοκούς προπορείας (forepoling), τσιμεντενέσεις, επένδυση του μετώπου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κλπ.

Δοκοί προπορείας (Forepoling)

Η τοποθέτηση δοκών προπορείας αποτελεί μία πολλή σημαντική διαδικασία για την ενίσχυση του μετώπου σε περιπτώσεις εδάφων με πτωχές μηχανικές ιδιότητες. Η τοποθέτησή τους μπορεί να λάβει χώρα είτε εντός της σήραγγας (σχήμα 1.18) σε περίπτωση που συναντηθεί ασθενές πέτρωμα, είτε στο στόμιο της σήραγγας (σχήμα 1.19), όπου η εφαρμογή τους κρίνεται απαραίτητη.



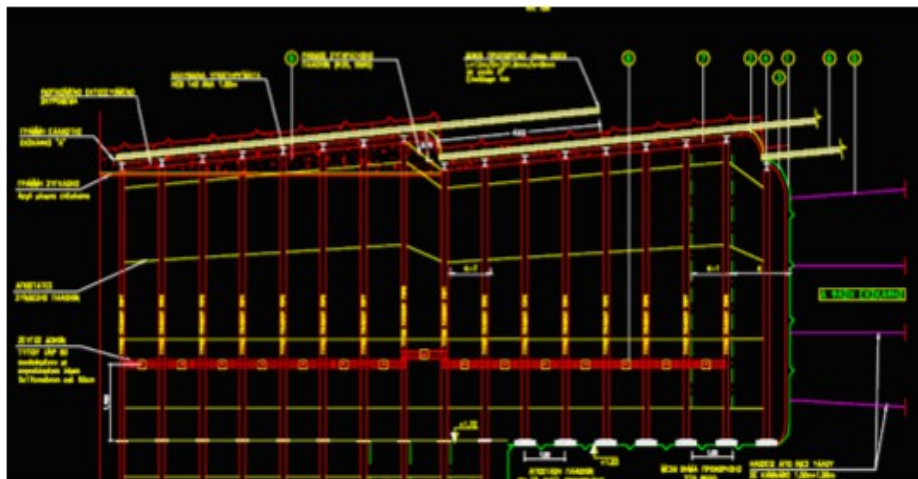
Σχήμα 1.18: Εφαρμογή δοκών προπορείας (κατασκευή ομπρέλας).

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ



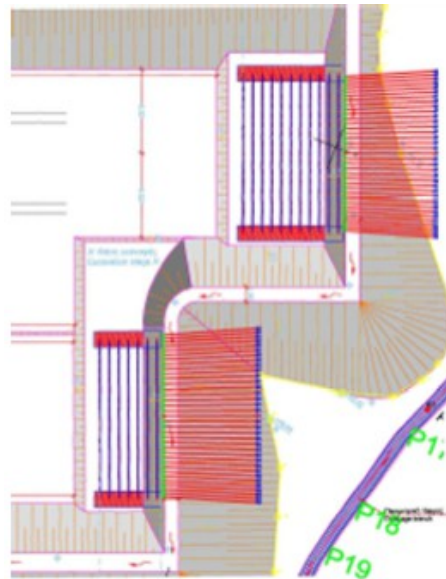
Σχήμα 1.19: Δοκοί προπορείας στο στόμιο της σήραγγας T1, Τέμπη.

Η γεωμετρία των δοκών μηκοτομικά είναι ανοδική, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.20, ενώ οριζοντιογραφικά, οι δοκοί αναπτύσσονται σαν «βεντάλια», δηλαδή παρεκκλίνουν σταδιακά από τον άξονα (σχήμα 1.21).



Σχήμα 1.20: Μηκοτομή δοκών προπορείας.

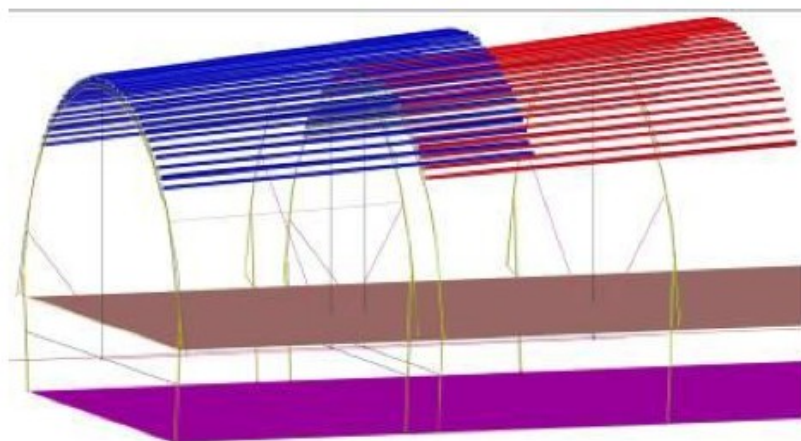
1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ



Σχήμα 1.21: Οριζοντιογραφία δοκών προπορείας (έντονες κόκκινες γραμμές).

Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η μορφή των δοκών προπορείας, στο επόμενο σχήμα (σχήμα 1.22) παρουσιάζεται ένα τρισδιάστατο προοπτικό στο οποίο είναι ορατές δύο ομάδες δοκών προπορείας. Η δεύτερη ομάδα πάντοτε ξεκινά μερικά μέτρα πριν το τέλος αυτής που προηγείται.

Λόγω της μορφής αυτής των δοκών προπορείας, ονομάζονται επίσης και «ομπρέλα» (umbrella).



Σχήμα 1.22: Τρισδιάστατο προοπτικό δοκών προπορείας.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Η πυκνότητα των μέτρων άμεσης υποστήριξης προσαρμόζεται στις επιτόπου συνθήκες. Ειδικότερα, η μέθοδος NATM βασίζεται σε μετρήσεις της συμπεριφοράς του τμήματος της σήραγγας που έχει ήδη διανοιχθεί (όπως μετρήσεις της σύγκλισης του τοιχώματος). 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.

1.4.4.γ Μέτρα άμεσης υποστήριξης

A. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (shotcrete/ gunitite)

Ο όρος χρησιμοποιείται για σκυροδέματα που συνίστανται από τσιμέντο, νερό και λεπτόκοκκα αδρανή (συνήθως έως 10 mm) τα οποία εφαρμόζονται με εκτόξευση (με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα). Η αντοχή και η πλαστιμότητα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος μπορούν να αυξηθούν με την προσθήκη μεταλλικών ινών οι οποίες δρουν ως οπλισμός. Η προσθήκη μεταλλικών ινών ως οπλισμού του εκτοξευόμενου σκυροδέματος τείνει να αντικαταστήσει την όπλιση με μεταλλικά πλέγματα.

B. Αγκύρια βράχου

Τα αγκύρια βράχου διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

- **Προεντεταμένα αγκύρια (tensioned cables)** που αποτελούνται από χαλύβδινους τένοντες (strands) και βασίζονται στην ενεργητική φόρτιση της βραχόμαζας λόγω της προέντασης (σχήμα 1.23).
- **Παθητικά αγκύρια (rock-bolts)** των οποίων η λειτουργία βασίζεται στη φόρτισή τους λόγω της παραμόρφωσης της βραχόμαζας. Διακρίνονται σε αγκύρια συνεχούς πρόσφυσης (fully bonded) και πρόσφυσης άκρου (end anchored) στα οποία ανήκουν οι ηλώσεις βράχου (grouted nails) και οι ηλώσεις χωρίς ενεμάτωση τύπου Swellex ή τύπου Split-Set. Οι ηλώσεις αυτές αποτελούνται από κοίλη μεταλλική διατομή και αποκτούν συνεχή πρόσφυση με τη βραχόμαζα με εισπίεση νερού στο εσωτερικό της διατομής που προκαλεί τη διόγκωσή της. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι ότι αναλαμβάνουν φορτία πολύ γρήγορα επειδή δεν απαιτούν την πήξη του ενέματος για την επίτευξη πρόσφυσης με την περιβάλλουσα βραχόμαζα.

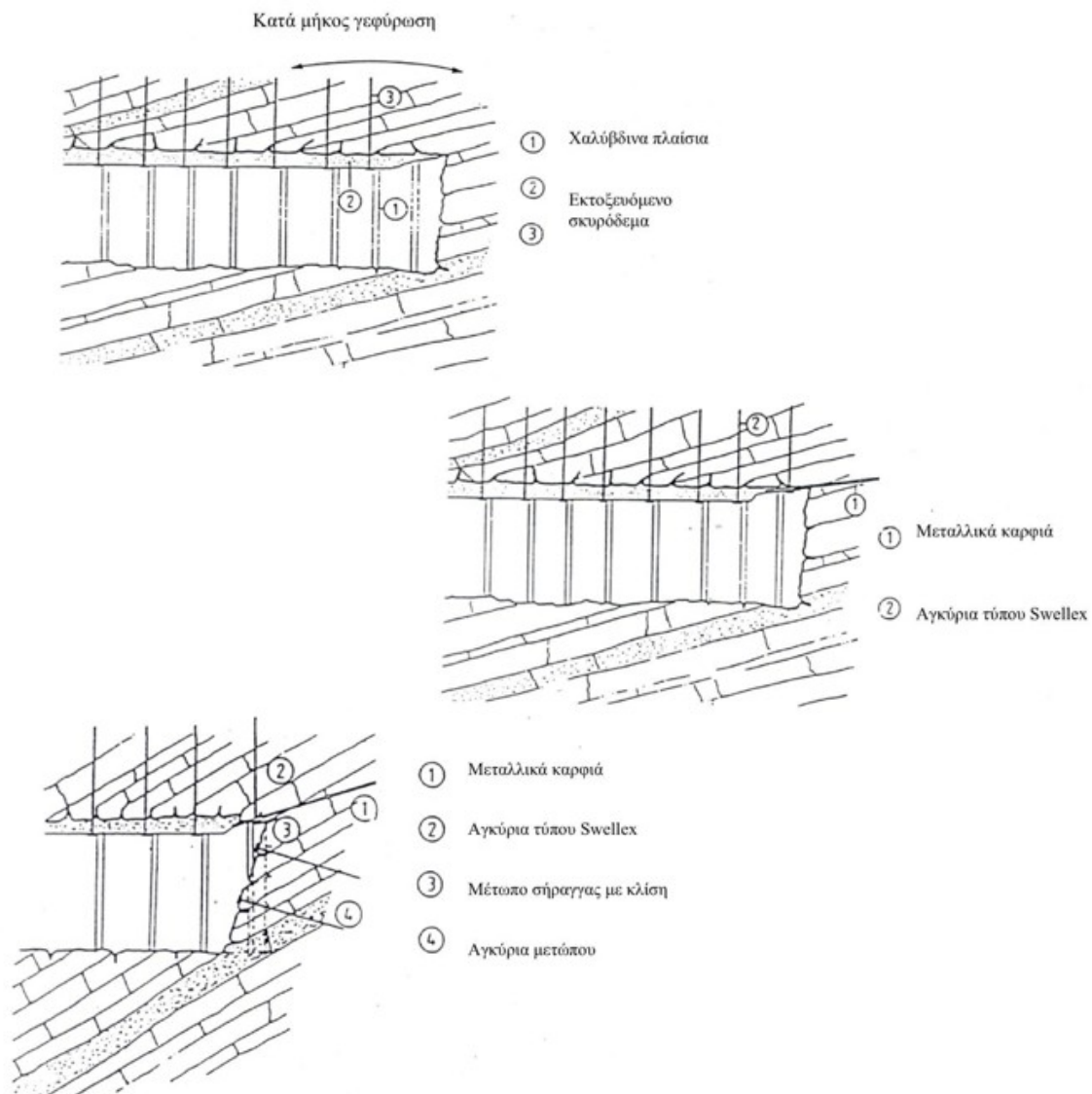
1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

- **Γ. Οι χαλύβδινες νευρώσεις** λειτουργούν κυρίως ως οπλισμός του εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την αύξηση της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητάς του αλλά και για τη βελτίωση της δυνατότητας ανάληψης φορτίων. Οι χαλύβδινες νευρώσεις τοποθετούνται κατά τη διατομή της σήραγγας και είναι των εξής τύπων:
 1. Τυποποιημένες διατομές, συνήθως πλατύπελμες HEB100-160 (σχήμα 1.25).
 2. Δικτυωτά πλαίσια (lattice girders) που αποτελούνται από ράβδους οπλισμού και συνδετήρες με τη μορφή χωροδικτυώματος (σχήμα 1.25).
 3. Συστοιχίες χαλύβδινων ράβδων οπλισμού (π.χ. 4-6 ράβδοι Φ28 σε παράλληλη διάταξη συνδεδεμένες με εγκάρσιους συνδετήρες σε αποστάσεις της τάξεως του μέτρου).



Σχήμα 1.23: Μηχάνημα τοποθέτησης αγκυρίων με laser.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ



Σχήμα 1.24(α-β-γ-δ): Βελτίωση μετώπου σήραγγας όπου πραγματοποιείται με αγκύρια τύπου Swellex και μεταλλικά καρφιά. Στο σχήμα (α) βλέπουμε Βελτίωση μετώπου σήραγγας με χαλύβδινα πλαίσια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ



Σχήμα 1.25: Αριστερά: Χαλύβδινες νευρώσεις, Δεξιά: Δικτυωτό πλαίσιο.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η άμεση υποστήριξη της σήραγγας ακολουθείται από την κατασκευή της τελικής επένδυσης η οποία αναλαμβάνει μέρος (ή το σύνολο) των φορτίων της περιβάλλουσας βραχώμαζας. Η τελική επένδυση (σχήμα 1.26) συνήθως κατασκευάζεται μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης του συνόλου του μήκους της σήραγγας αλλά οπωσδήποτε αφού η σήραγγα σταθεροποιηθεί με την άμεση υποστήριξη, δηλαδή αφού πρακτικώς μηδενισθούν οι ρυθμοί εξέλιξης των συγκλίσεων, εντάσεων κλπ.



Σχήμα 1.26: Άποψη της τελικής επένδυσης στο τμήμα Cut & Cover. Εγνατία Οδός, Σήραγγα Δωδώνης.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου NATM σε σχέση με τις εναλλακτικές μεθόδους (διάνοιξη με TBM ή ασπίδα) είναι τα εξής:

1. Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβαλλόμενες γεωτεχνικές συνθήκες.
2. Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβολές της γεωμετρίας της διατομής και στη διάνοιξη μη-κυκλικών διατομών.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

3. Περιλαμβάνει μηχανικό εξοπλισμό σχετικώς μικρού κόστους και συνεπώς πλεονεκτεί οικονομικά σε σήραγγες μικρού μήκους.
4. Επιτρέπει ευκολότερη στεγάνωση της σήραγγας με συνθετική μεμβράνη (η οποία συνήθως τοποθετείται μεταξύ της άμεσης και της τελικής επένδυσης).

1.4.4.δ Φάσεις εκσκαφής

Η εκσκαφή σηράγγων με τη μέθοδο NATM συνήθως γίνεται σε περισσότερες της μιας φάσεις. Τα κυριότερα στάδια εκσκαφής είναι:

1. Εκσκαφή μετώπου-βαθμίδας (top heading and bench)

Η εκσκαφή της σήραγγας γίνεται από πάνω προς τα κάτω. Η πρώτη φάση (top heading) μπορεί να εκσκαφεί και σε περισσότερες υποφάσεις κατά το πλάτος της σήραγγας. Κατά την πρώτη φάση, η εκσκαφή είναι δυνατό να διεξαχθεί είτε με την μέθοδο “Διάτρησης και Έκρηξης” (Drill & Blast) είτε με μηχανικά μέσα (σχήμα 1.27).



Σχήμα 1.27: Διάτρηση με διατρητικό τύπου Jumbo.

2. Γόμωση των εκρηκτικών

Η διαδικασία αυτή διεξάγεται από εξουσιοδοτημένο προσωπικό και πάντοτε υπό την επίβλεψη έμπειρου πυροτεχνουργού. Η ποσότητα εκρηκτικών που χρησιμοποιείται στη γόμωση εξαρτάται από την κατηγορία και την ποιότητα του πετρώματος.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Σε χαλαρή βραχώμαζα για παράδειγμα, εφαρμόζεται μικρή ποσότητα εκρηκτικών (σχήμα 1.28).



Σχήμα 1.28: Γόμωση εκρηκτικών υλών.

3. Ανατίναξη

Κατά την ανατίναξη απαγορεύεται η παρουσία οποιουδήποτε εντός της σήραγγας, λόγω κινδύνου καταπτώσεων εξαιτίας των δονήσεων που προκαλούνται από την έκρηξη (σχήμα 1.29).



Σχήμα 1.29: Η στιγμή της έκρηξης.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

4. Όρυξη προϊόντων εκσκαφής

Για την απομάκρυνση των αδρανών (ξεμπάζωμα) χρησιμοποιείται συνήθως φορτωτής και φορτηγά (σχήμα 1.30).



Σχήμα 1.30: Απομάκρυνση αδρανών υλικών .

5. Ξεσκάρωμα

Σε αυτή τη φάση γίνεται απομάκρυνση υλικών (βράχια, πέτρες) τα οποία βρίσκονται προσκολλημένα στο μέτωπο ή στις παρειές αλλά με μικρή συνοχή, έχοντας πολλές πιθανότητες να καταρρεύσουν. Η απομάκρυνση γίνεται με σκαπτικό μηχάνημα τύπου «Δρακουμέλ» το οποίο φέρει ειδικό νύχι (σχήμα 1.31).



Σχήμα 1.31: Ξεσκάρωμα.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

6. Τοποθέτηση πλαισίου κι έλεγχος εκσκαφής

Η διαδικασία αυτή, η οποία απαιτεί την παρουσία τοπογράφου, θα αναφερθεί σε επόμενο κεφάλαιο (σχήμα 1.32).



Σχήμα 1.32: Τοποθέτηση χαλύβδινου πλαισίου.

7. Ρίψη εκτοξευόμενου σκυροδέματος

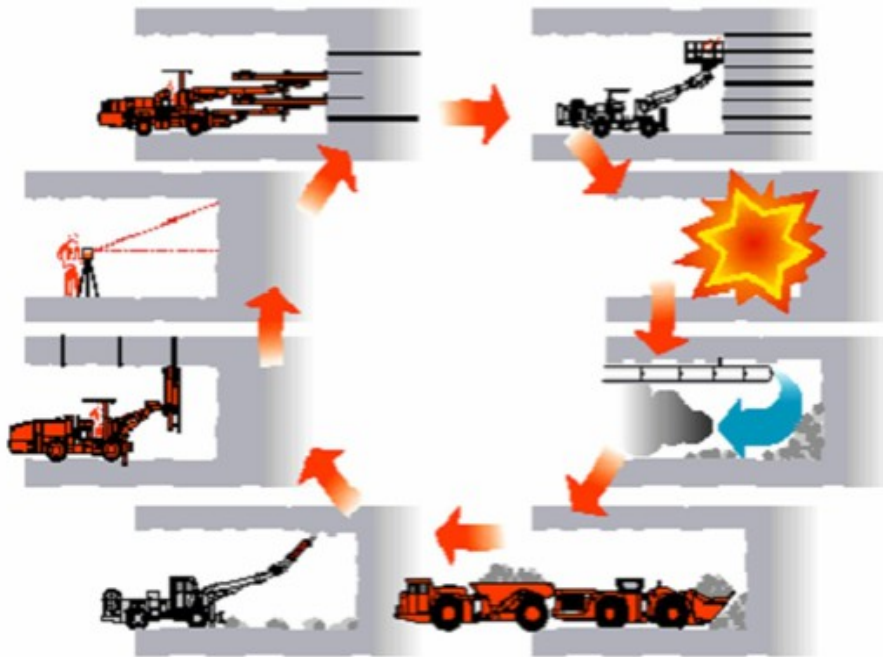
Με το πέρας των παραπάνω εργασιών, έπεται η ρίψη του εκτοξευόμενου σκυροδέματος (gunite) με χρήση ειδικής πρέσσας (σχήμα 1.33).



Σχήμα 1.33: Ρίψη εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Η παραπάνω διαδικασία αποτελεί ουσιαστικά την μέθοδο διάνοιξης Drill & Blast σε συνδυασμό με τις τεχνικές υποστήριξης της Νέας Αυστριακής Μεθόδου και μπορεί να συνοψιστεί στο ακόλουθο σχήμα 1.34.



Σχήμα 1.34: Σχηματική παράσταση της Νέας Αυστριακής Μεθόδου.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

2.1 Τοπογραφικά στοιχεία - Προδιαγραφές

Πριν από την έναρξη κατασκευής ενός έργου, ο Τοπογράφος Μηχανικός πρέπει να έχει διαθέσιμες τις μελέτες που αφορούν στην κατασκευή του έργου. Αυτό είναι ευνόητο διότι είναι απολύτως απαραίτητο να εξαχθούν εγκαίρως οποιαδήποτε στοιχεία είναι απαραίτητα για την κατασκευαστική πρόοδο ενός έργου, όπως μηκοτομές και οριζοντιογραφίες, τυπικές διατομές της σήραγγας ώστε να διασφαλίζεται κάθε στιγμή η ορθότητα της κατασκευής και της γεωμετρίας. Επίσης, πληροφορίες οι οποίες είναι χρήσιμες στον Τοπογράφο Μηχανικό αποτελούν τα στοιχεία Τριγωνομετρικού και Υψομετρικού δικτύου που υπάρχει στην περιοχή πλησίον του έργου.

Είναι ευνόητο λοιπόν ότι η καθοδήγηση των σύνθετων αυτών υπογείων εργοταξιών επιβάλλει τη μόνιμη παρουσία του τοπογράφου μηχανικού, ο οποίος επιφορτίζεται με τεράστιες ευθύνες. Εδώ τα λάθη δεν επιτρέπονται. Ένα οριζοντιογραφικό ή υψομετρικό λάθος που γίνεται κατά τη μεταφορά και την εγκατάσταση της μηχανής εκσκαφής έχει βαρύτερες οικονομικές συνέπειες. Από τεχνική άποψη το λάθος είναι πολλές φορές αδύνατο να επανορθωθεί. Για τους λόγους αυτούς είναι απαραίτητο να εφαρμόζεται με σχολαστικότητα ο γνωστός κανόνας ότι σε κάθε βήμα πρέπει να εξασφαλίζονται πολλαπλοί έλεγχοι των αποτελεσμάτων.

Προδιαγραφές

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η σωστή κατασκευή της σήραγγας τόσο η διεύθυνσή της, όσο και στατικά, λαμβάνονται υπόψη κάποιες προδιαγραφές, οι οποίες είτε δημοσιεύονται σε έντυπα (για παράδειγμα στην Τεχνική Συγγραφή Υποχρεώσεων), είτε εμπεριέχονται ως σχόλια στις αντίστοιχες μελέτες στις οποίες αφορούν. Για παράδειγμα, συγκεκριμένες προδιαγραφές αφορούν στην ακρίβεια των πολυγωνομετρικών δικτύων εντός της σήραγγας ή στις μέγιστες αποκλίσεις του άξονα κατά μήκος της σήραγγας.

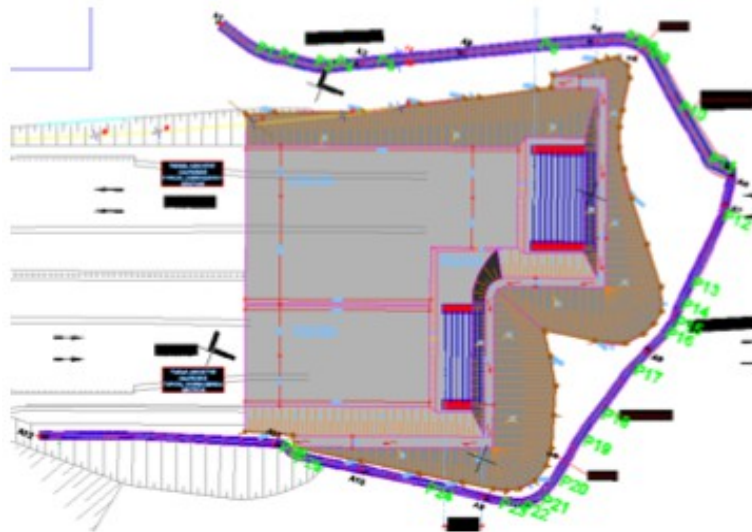
2.2 Γεωδαιτικές εργασίες σήραγγας

Ο Τοπογράφος Μηχανικός είναι ο κύριος υπεύθυνος για την άρτια γεωμετρία ενός υπόγειου έργου καθώς επίσης και για την πιστοποίηση αυτής. Η παρουσία του κρίνεται απαραίτητη από την αρχή του έργου έως το πέρας αυτού.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Στη συνέχεια, παρατίθενται οι εργασίες πεδίου στις οποίες απαιτούνται οι υπηρεσίες του Τοπογράφου Μηχανικού. Η σειρά με την οποία παρατίθενται αντικατοπτρίζει και τη σειρά με την οποία αυτές διεξάγονται στο εργοτάξιο, αν και πολλές εργασίες ενδέχεται να επαναληφθούν περισσότερες από δύο φορές.

A. Οριοθέτηση του μετώπου της σήραγγας



*Σχήμα 2.1: Οριζοντιογραφία ορίων εκσκαφής (κόκκινη γραμμή).
Επίσης, φαίνονται οι κλίσεις των πρανών και η τάφρος οφρύος.*

Επίσης, προκειμένου να προστατευτεί η σήραγγα από τα νερά των βροχοπτώσεων, κατασκευάζεται περιμετρικά του μετώπου μία τάφρος, η οποία χρησιμοποιείται για την διοχέτευση των νερών εκατέρωθεν της σήραγγας. Ονομάζεται αποστραγγιστική τάφρος οφρύος και φαίνεται στο σχήμα 2.2. Η τάφρος οφρύος κατασκευάζεται παράλληλα με την πρόοδο των εργασιών εκσκαφής με ευθύνη του Τοπογράφου εφαρμόζοντας τα οριζοντιογραφικά, μηκοτομικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



Σχήμα 2.2: Διαμόρφωση μετώπου σήραγγας σε τελικό στάδιο.

B. Εγκατάσταση τριγωνομετρικού δικτύου

Με την περάτωση των εργασιών διαμόρφωσης των μετώπων και του περιβάλλοντα χώρου, η επόμενη και αρκετά σημαντική εργασία είναι η ίδρυση τριγωνομετρικού δικτύου. Έτσι λοιπόν, αρχικά ιδρύονται τουλάχιστον δύο τριγωνομετρικά βάθρα (σχήμα 2.3α-2.3β) στην περιοχή μετώπων της σήραγγας, από τα οποία εξασφαλίζονται αμοιβαίες σκοπεύσεις .



(α)



(β)

Σχήμα 2.3: Φωτογραφίες τριγωνομετρικών βάθρων.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Επίσης, εκτός από οριζοντιογραφικό δίκτυο, πρέπει να ιδρυθεί και υψομετρικό δίκτυο, το οποίο αποτελείται είτε από τις ίδιες στάσεις του οριζοντιογραφικού δικτύου, είτε από επιπλέον υψομετρικά βάθρα, είτε και από τα δύο συνδυασμένα. Επιπλέον, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε όλα τα τριγωνομετρικά να μπορούν να χωροσταθμηθούν. Αν και σε τέτοιες περιπτώσεις είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί τριγωνομετρική υψομετρία, ωστόσο, προτιμάται η χωροστάθμιση (σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4: Χρήση ψηφιακού χωροβάτη κατά την διαδικασία γεωμετρικής χωροστάθμισης.

Γ. Ίδρυση πολυγωνομετρικού δικτύου εντός της σήραγγας

Στάσεις

Όσο η διάνοιξη μιας σήραγγας προχωρά, τόσο το μέτωπο της απομακρύνεται από τα αρχικώς εγκατεστημένα στους εξωτερικούς χώρους τριγωνομετρικά. Έτσι, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη ίδρυσης ενός πολυγωνομετρικού δικτύου μέσα στη σήραग्γα, ώστε να καθίσταται δυνατή η γρήγορη και ασφαλής περαίωση των εργασιών του Τοπογράφου.

Κι εδώ, χρειάζεται αρχικά η εγκατάσταση στάσεων οι οποίες θα μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν με άνεση και ασφάλεια, αλλά επίσης να εξασφαλιστεί η αρτιότητά τους. Οι τρόποι που χρησιμοποιούνται συνήθως για την τοποθέτηση των στάσεων είναι οι ακόλουθοι:

α) Με πάκτωση στα τοιχώματα της σήραγγας (σχήμα 2.5).

Ο τρόπος αυτός είναι αρκετά σίγουρος διότι επιτρέπει την ίδρυση στάσεων όσο το δυνατόν μακριά από την κυκλοφορία των οχημάτων που κινούνται κατά μήκος της σήραγγας. Η διάτρηση για την τοποθέτηση των ράβδων διεξάγεται με το διατρητικό τύπου Jumbo, επομένως η αγκύρωσή τους μπορεί να γίνει σε μεγάλο μήκος (συνήθως 2 m).

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Παρ' όλα αυτά, οι στάσεις αυτές δεν είναι απολύτως ασφαλείς, αφού ενδέχεται να χτυπηθούν από μηχανήματα ή φορητά τα οποία πραγματοποιούν τοπικούς ελιγμούς.



Σχήμα 2.5: Στάση με αγκυρωμένες ράβδους χάλυβα και ενεματώσεις τσιμέντου.

β) Με βάθρα από τσιμέντο (σχήμα 2.6)

Η κατασκευή τσιμεντένιων βάθρων στον πυθμένα της σήραγγας εξασφαλίζει μεγαλύτερες ορατότητες και μεγαλύτερη διάρκεια χρήσης, έχοντας όμως το μειονέκτημα να είναι πιο ευάλωτες σε καταστροφή από πρόσκρουση κάποιου μηχανήματος ή οχήματος.

Μία μέθοδος που εφαρμόζεται για την αποφυγή δύσκολων καταστάσεων, είναι η κατασκευή βάθρων μικρού ύψους (σχήμα 2.6β). Με αυτόν τον τρόπο, τα εργοταξιακά μηχανήματα (τα οποία, σημειωτέον, έχουν αρκετά μεγάλο ύψος) μπορούν να περάσουν ακόμη και από πάνω τους –αν και δεν ενδείκνυται- χωρίς να προκαλέσουν ζημιές.



(α)



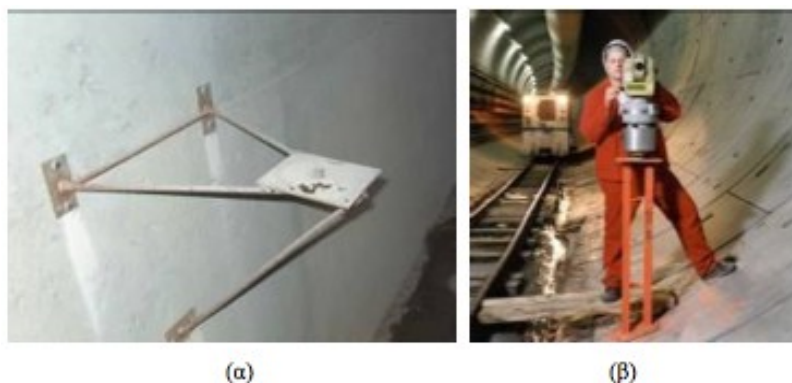
(β)

Σχήμα 2.6: Βάθρα από σωλήνα PVC πληρωμένου με τσιμέντο.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

γ) Στην τελική επένδυση της σήραγγας (σχήμα 2.7α-2.7β).

Η τελική επένδυση αποτελεί και το τελικό στάδιο στις φάσεις διάνοιξης μίας σήραγγας. Επομένως, οι στάσεις στην τελική επένδυση θα είναι και οι τελευταίες που εγκαθίστανται, από όλες τις φάσεις ίδρυσης πολυγωνομετρικού δικτύου.



Σχήμα 2.7: Στάση πακτωμένη στην τελική επένδυση α) στον τοίχο και β) στη βάση.

Οδεύσεις

Οι πολυγωνικές οδεύσεις συνδέονται και εξαρτώνται από το τριγωνομετρικό δίκτυο. Αποτελούνται από μία σειρά διαδοχικών στάσεων που σχηματίζουν στην προβολή τους μία τεθλασμένη γραμμή.

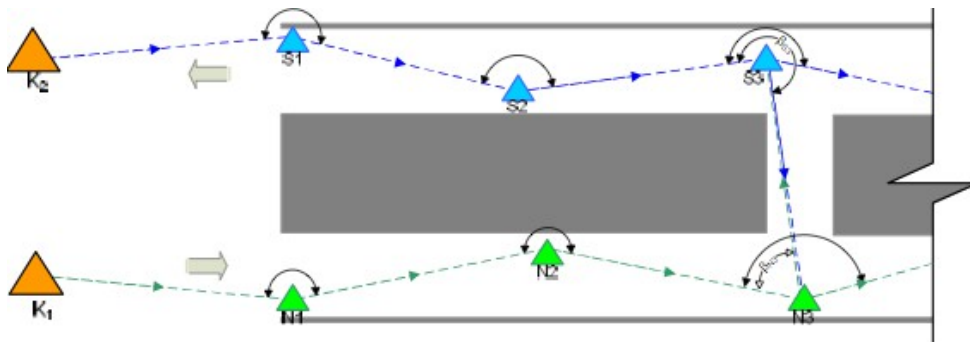
Υπολογισμός της όδευσης είναι η επίλυση κι ένταξη των συντεταγμένων όλων των σημείων (κορυφών) της όδευσης στο σύστημα αναφοράς της χώρας (λ.χ. ΕΓΣΑ '87), ή σε ένα ανεξάρτητο σύστημα συντεταγμένων. Μετά τον υπολογισμό της, η όδευση αποτελεί τον βασικό άξονα πάνω στον οποίο πραγματοποιούνται οι μετρήσεις των σημείων λεπτομερειών του εδάφους και της σήραγγας, για τον προσδιορισμό τους ως προς το σύστημα αναφοράς. Η εγκατάσταση και ο υπολογισμός της όδευσης αποτελεί επομένως κύριο μέλημα του Τοπογράφου Μηχανικού.

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες οδεύσεων από τις οποίες όμως δύο είναι αυτές οι οποίες βρίσκουν πλήρη εφαρμογή στα υπόγεια έργα. Οι δύο αυτές οδεύσεις είναι:

α) Ανοικτή εξαρτημένη όδευση με προσανατολισμό στο ένα άκρο (σχήμα 2.8)

Στο είδος αυτό των οδεύσεων δεν είναι δυνατόν να διεξαχθεί έλεγχος των σφαλμάτων των μετρήσεων. Επειδή κάθε σήραγγα είναι ανοικτή μόνο από το ένα άκρο της, είναι αναμενόμενο να εφαρμοστεί η ανωτέρω όδευση. Επίσης, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα ελέγχου, συνηθίζεται να εξασφαλίζονται τα παρακάτω:

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



Σχήμα 2.8: Σκαρίφημα δύο ανεξάρτητων οδεύσεων κατά μήκος των δύο κλάδων σήραγγας.

1. Η οδευση έχει όσο το δυνατό λιγότερες πλευρές καθώς αυτό μειώνει τον αριθμό των γωνιών θλάσης και κατά συνέπεια το γωνιακό σφάλμα.
2. Τα μήκη των πλευρών και οι γωνίες θλάσης μετρώνται σε ικανοποιητικό αριθμό περιόδων.
3. Η επίλυση διεξάγεται δύο φορές, ξεκινώντας τη δεύτερη από την τελευταία στάση της οδεύσης.

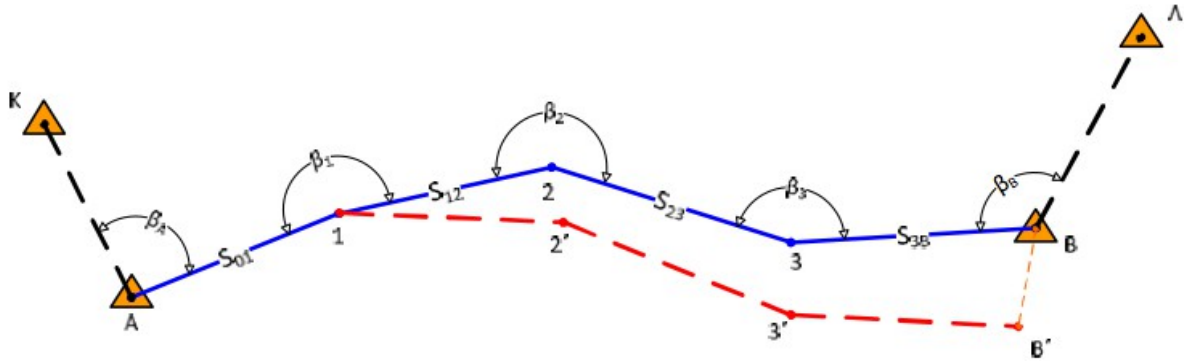
Ο μοναδικός έλεγχος που είναι δυνατό να διεξαχθεί, και μάλιστα όχι σε κάθε σήραγγα (μόνο σε δίδυμες σήραγγες οι οποίες διαθέτουν εγκάρσιους διάδρομους), αφορά στην αμοιβαία σκόπευση πολυγωνομετρικών σημείων τα οποία βρίσκονται εκατέρωθεν εγκάρσιων διαδρόμων (σχήμα 2.8).

β) Ανοικτή εξαρτημένη οδευση με προσανατολισμό στα δύο άκρα (σχήμα 2.9)

Είναι η κυριότερη κατηγορία οδεύσεων που εφαρμόζεται στην πράξη. Οι οδεύσεις αυτής της κατηγορίας ξεκινούν και καταλήγουν σε στάσεις γνωστών συντεταγμένων (Α,Β), από τα οποία έχουν μετρηθεί οι γωνίες προς δύο άλλες γνωστές στάσεις (Κ,Λ). Η επίλυση των οδεύσεων αυτών επιτρέπει:

- α) Τον έλεγχο των γωνιομετρήσεων.
- β) Τον υπολογισμό της γραμμικής μετατόπισης του τελευταίου σημείου της οδεύσης (ολικό σφάλμα ΒΒ').

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



Σχήμα 2.9: Ανοικτή πλήρως εξαρτημένη όδευση.

Επειδή όμως εξαρτάται και από τα δύο της άκρα, η πραγματοποίησή της είναι δυνατή μόνο όταν τελειώσει η διάνοιξη της σήραγγας ή ξετρύπημα (σχήμα 2.10), όπως συνηθίζεται να λέγεται.



Σχήμα 2.10: Πέρασ διάνοιξης σήραγγας.

Η επίλυση μίας τέτοιας όδευσης γίνεται κυρίως για δύο λόγους:

- Ο πρώτος λόγος αφορά στη διαπίστωση της ορθότητας των δικτύων των δύο κατασκευαστικών μετώπων της σήραγγας, για τα οποία δεν υπήρχε δυνατότητα ελέγχου.
- Ο δεύτερος λόγος, αφορά στην ένταξη όλης της σήραγγας σε ένα ενιαίο οριζοντιογραφικό και υψομετρικό δίκτυο, προκειμένου να διασφαλιστεί η ομοιογένεια της κατασκευής.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Δ. Χάραξη πορείας των δοκών προπορείας (Forepoling)

Όπως έχει προαναφερθεί, οι δοκοί προπορείας χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση του μετώπου σε μη συνεκτικά εδάφη, τα οποία έχουν κακές μηχανικές ιδιότητες. Η τοποθέτησή τους γίνεται συνήθως στις εισόδους της σήραγγας αλλά, αναλόγως με τις γεωλογικές συνθήκες και εντός της σήραγγας (βλ. σχήματα 1.18, 1.19).

Κατά την εφαρμογή δοκών προπορείας, ο τοπογράφος έχει την ευθύνη ώστε να κατευθύνει το διατρητικό μηχάνημα (cazagrande), προκειμένου οι δοκοί προπορείας να έχουν την καθορισμένη κατεύθυνση (σχήμα 2.11).



Σχήμα 2.11: Δίνοντας τη σωστή κατεύθυνση των δοκών προπορείας.

Η σωστή εφαρμογή της ομπρέλας είναι απαραίτητη, τόσο από γεωλογικής και μελετητικής πλευράς, αλλά και κατασκευαστικά, αφού κατά την τοποθέτηση των πλαισίων θα πρέπει να μπορεί να επιτευχθεί η γεωμετρία τους (σχήμα 2.12).

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



Σχήμα 2.12: Σωστή εφαρμογή δοκών προπορείας, οι οποίες εφάπτονται στο πλαίσιο.

Ε. Έλεγχος γεωμετρίας πλαισίων και ταυτόχρονη χάραξη άξονα

Όλες οι διατομές ανεξαρτήτου κατηγορίας, έχουν μία συγκεκριμένη γεωμετρία. Έτσι λοιπόν, αφού ο τοπογράφος έχει εξάγει στοιχεία για την γεωμετρία κάθε διατομής, είναι σε θέση να ορίσει που ακριβώς θα τοποθετηθεί το πλαίσιο.

Κατά τις εργασίες τοποθέτησης ενός πλαισίου, ο τοπογράφος ελέγχει την απόκλιση του πλαισίου σε σχέση με την θεωρητική του θέση από την μελέτη εφαρμογής (σχήμα 2.13).

Σήμερα, με τη βοήθεια σύγχρονων γεωδαιτικών οργάνων τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα εισαγωγής και επεξεργασίας δεδομένων σε λογισμικά, μειώνεται σημαντικά ο χρόνος και ο βαθμός δυσκολίας της διαδικασίας, η οποία πλέον είναι αρκετά απλουστευμένη στην πράξη.

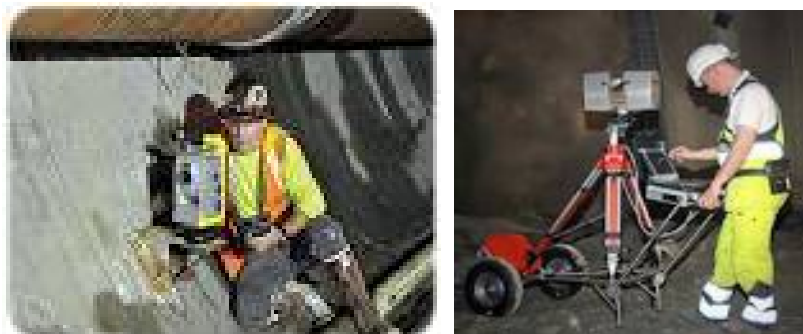
2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



Σχήμα 2.13: Έλεγχος γεωμετρίας πλαισίου. Φαίνεται δικτυωτό πλαίσιο Lattice/Girder.

Έπειτα από την τοποθέτηση του πλαισίου, η τελευταία εργασία που απομένει είναι η παραλαβή του πλαισίου και της εκσκαφής. Στην ουσία η διαδικασία της παραλαβής αποτελεί την αποτύπωση του πλαισίου και της εκσκαφής σε σχέση με την θεωρητική θέση του πλαισίου (σχήμα 2.15).

Τα εξαγόμενα στοιχεία χρησιμοποιούνται αργότερα για πιστοποίηση της κατασκευής κι επιμετρητικούς σκοπούς.



Σχήμα 2.14: Έλεγχος γεωμετρίας πλαισίου από άλλες θέσεις της σήραγγας.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



Σχήμα 2.15: Παραλαβή πλαισίου και εκσκαφής.

ΣΤ. Έλεγχος γεωμετρίας εκσκαφής, χωρίς πλαίσιο.

Σε αντίθεση με τα πλαίσια, τα οποία χρησιμοποιούνται σε πετρώματα κακής ποιότητας, σε πετρώματα καλής ποιότητας η προχώρηση γίνεται μόνο με εκσκαφή και χωρίς μέτρα υποστήριξης, παρά μόνο τα αγκύρια στα τοιχώματα της σήραγγας.

Αυτό όμως δημιουργεί πρόβλημα, τόσο στους χειριστές των διατρητικών, όσο και στους χειριστές της πρέσας Gunitite και στους χειριστές του εκσκαφέα κατά το ξεσκάρωμα. Αυτό συμβαίνει διότι δεν έχουν κάποιο σημείο αναφοράς ούτε για το τρύπημα, ούτε για τις ποσότητες κατά την εκτόξευση Gunitite, ή για το αν κάποιο τμήμα της εκσκαφής εισέρχεται μέσα από την θεωρητική γραμμή εκσκαφής.

Έτσι λοιπόν, κρίνεται αναγκαία η παρουσία του τοπογράφου (σχήμα 2.16), κατά το τελευταίο στάδιο της φάσης του ξεσκαρώματος αφού τότε είναι δυνατή η αποτύπωση της εκσκαφής (η έντονη παρουσία σκόνης κατά τη μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής καθιστά αδύνατο τον έλεγχο).

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



Σχήμα 2.16: Έλεγχος της διατομής εκσκαφής.

Κατά τον έλεγχο της διατομής ο χειριστής του σκαπτικού μηχανήματος «δράκου» ενημερώνεται και κινείται αναλόγως, απομακρύνοντας τα χαλαρά τμήματα της βραχώμαζας όπου κρίνεται απαραίτητο. Επίσης, ο χειριστής της πρέσσας (σχήμα 2.17) ενημερώνεται για την εκσκαφή, ώστε να επιτευχθεί το απαιτούμενο στατικό πάχος σύμφωνα με τη μελέτη. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η εισχώρηση της εκσκαφής μέσα στην γραμμή του Gunite και, κατά συνέπεια, η εισχώρηση του gunite στην τελική επένδυση. Αποφεύγονται έτσι προβλήματα που θα μπορούσαν να εμφανιστούν αρκετά αργότερα και να προκαλέσουν έντονες επιπλοκές.



Σχήμα 2.17: Ενημέρωση του χειριστή της πρέσσας.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Z. Χάραξη γραμμής διάτρησης

Μετά τη διάστρωση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, το μέτωπο εκσκαφής (καθρέπτης) είναι έτοιμο για την επόμενη διάτρηση. Όπως αναφέρθηκε όμως, σε αντίθεση με τα πλαίσια, εδώ ο χειριστής δεν γνωρίζει ποια τα όρια της, έτσι, χαράσσονται τα όρια της διατομής της ανάλογης κατηγορίας εκσκαφής ώστε να είναι δυνατή η πρόοδος των επιμέρους εργασιών (σχήμα 2.18).



Σχήμα 2.18: Φάσεις χάραξης γραμμής διάτρησης. Διακρίνεται η κόκκινη γραμμή εκσκαφής.

H. Γεωμετρικός έλεγχος της εκσκαφής Β΄ φάσης

Όλες οι εργασίες που αναφέρθηκαν μέχρι στιγμής, αφορούν εργασίες στην Α΄ φάση εκσκαφής. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η διάνοιξη διεξάγεται σε δύο ή περισσότερες φάσεις, στις οποίες επίσης, είναι απαραίτητη η παρουσία Τοπογράφου Μηχανικού. Το αντικείμενο δεν διαφέρει ιδιαίτερα από αυτό της Α΄ φάσης, δηλαδή ελέγχεται η εκσκαφή των παρειών, η σωστή τοποθέτηση των απολήξεων των πλαισίων “ποδαρικά” (σχήμα 2.19) καθώς και αν επιτυγχάνεται η επιθυμητή στάθμη του πυθμένα (ταμπάνι).

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



Σχήμα 2.19: Έλεγχος εκσκαφής και ποδαρικών στη Β' Φάση.

Θ. Γεωμετρικός έλεγχος μεταλλότυπου θόλου

Ο μεταλλότυπος θόλου (σχήμα 2.20) είναι ουσιαστικά το καλούπι το οποίο χρησιμοποιείται για τη σκυροδέτηση της τελικής επένδυσης. Είναι λοιπόν αυτονόητο ότι η γεωμετρία του καλουπιού πρέπει να ταιριάζει με αυτή της θεωρητικής τελικής επένδυσης. Κι εδώ πάλι, ο τοπογράφος μηχανικός καλείται – ελέγχοντας τις αποκλίσεις από τις θεωρητικές τιμές – να υλοποιήσει τη βέλτιστη θέση τοποθέτησής του (στήσιμο).



Σχήμα 2.20: Μεταλλότυπος θόλου.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Επίσης, κατά την αρχική τοποθέτηση του μεταλλότυπου διεξάγεται ταυτόχρονα έλεγχος και στα δύο άκρα του, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η συνολική ταύτιση του με τη γεωμετρία της τυπικής διατομής (σχήμα 2.21).

Μετά και τον τελικό γεωμετρικό έλεγχο, ο μεταλλότυπος μετακινείται στην κατάλληλη θέση και μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία σκυροδέτησης (σχήμα 2.22).



Σχήμα 2.21: Ταυτόχρονος γεωμετρικός έλεγχος μεταλλοτύπου και στα δύο άκρα του.



Σχήμα 2.22: Το καλούπι με τον φέροντα οπλισμό του.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

I. Γεωμετρικός έλεγχος τελικής επένδυσης

Μετά τη φάση της σκυροδέτησης της τελικής επένδυσης, κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχος της (σχήμα 2.23). Ο έλεγχος αυτός θα υποδείξει κατά πόσο η γεωμετρία κατασκευής (as built) ταυτίζεται με τη θεωρητική γραμμή ή αν υπάρχουν αποκλίσεις για να παρθούν μέτρα για την εξάλειψη ή βελτίωση αυτών.



Σχήμα 2.23: Γεωμετρικός έλεγχος της τελικής επένδυσης του στομίου της σήραγγας.

2.3 Εφαρμογή γεωδαιτικών μεθόδων στην παρακολούθηση μικρομετακινήσεων σηράγγων

2.3.1 Εφαρμογές στην αρχαιότητα

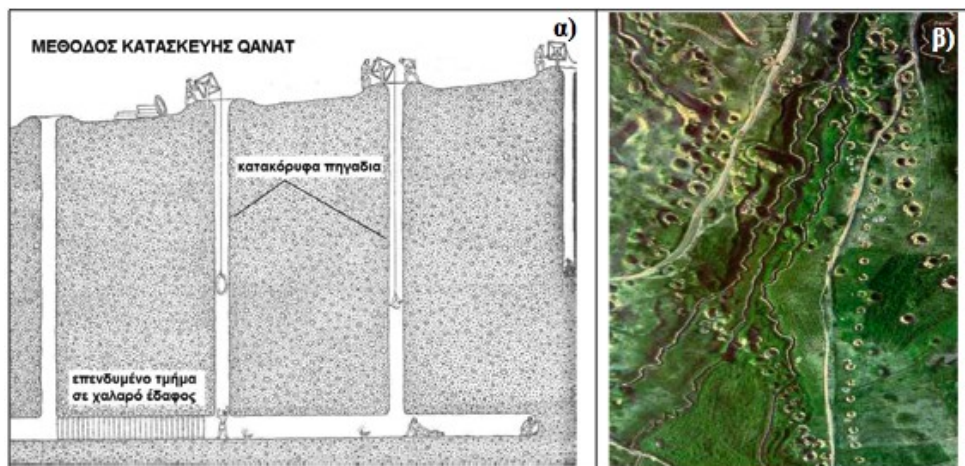
Από τις κατασκευές των σηράγγων στην αρχαιότητα, η καθοδήγηση των μετώπων αποτελούσε βασικό μέλημα για την κατασκευή του έργου. Στο παρελθόν η μέθοδος που ακολουθούνταν για την καθοδήγηση των μετώπων βασιζόταν σε απλές τεχνικές χωροστάθμησης και μέτρησης γωνιών και μηκών. Δύο τύποι σηράγγων αναπτύχθηκαν στην αρχαιότητα: τα Qanat και οι τυπικές σήραγγες.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Qanat

Τα Qanat αποτελούσαν ένα είδος υδραυλικών σηράγγων μικρών διαστάσεων που διανοίγονταν ανάμεσα σε κατακόρυφα πηγάδια που απείχαν μεταξύ τους απόσταση συνήθως 50 m κατά μήκος του έργου που συγχρόνως με τον εξαερισμό και την εξόρυξη των υλικών εκσκαφής χρησίμευαν για τον έλεγχο της χάραξης.

Οι πρώτες και οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές ήταν τα υπόγεια δίκτυα ύδρευσης που αναπτύχθηκαν στο Ιράν και διαδόθηκαν κυρίως σε χώρες της Μέσης Ανατολής αλλά και στην Ελλάδα. Στις περιπτώσεις αυτές, παραδοσιακές γεωδαιτικές μέθοδοι χρησιμοποιούνταν κυρίως για τον υπολογισμό επιφανειακών υψομέτρων, βαθών και κλίσεων για τη χάραξη του έργου (σχήμα 2.24α). Η χάραξη του δικτύου βασιζόταν μόνο σε σχοινιά ενώ οι εργάτες (γνωστοί ως muqanni) υπολόγιζαν με σχετικά μεγάλη ακρίβεια τη θέση, το βάθος και την πορεία της σήραγγας ακόμα και σε μεγάλα βάθη (έως και 100 m). Έχουν κατασκευαστεί χιλιάδες χιλιόμετρα υπογείων δικτύων qanat, κυρίως στο Ιράν (σχήμα 2.24β), πολλά από τα οποία μήκους 1 ως 80 km χρησιμοποιούνται ως σήμερα.



Σχήμα 2.24: Συστήματα Qanat στη Μέση Ανατολή.

- α) μέθοδος κατασκευής του δικτύου με τη βοήθεια κατακόρυφων πηγαδιών.
β) αεροφωτογραφία πηγαδιών qanat στο Ιράν (English, 1998).

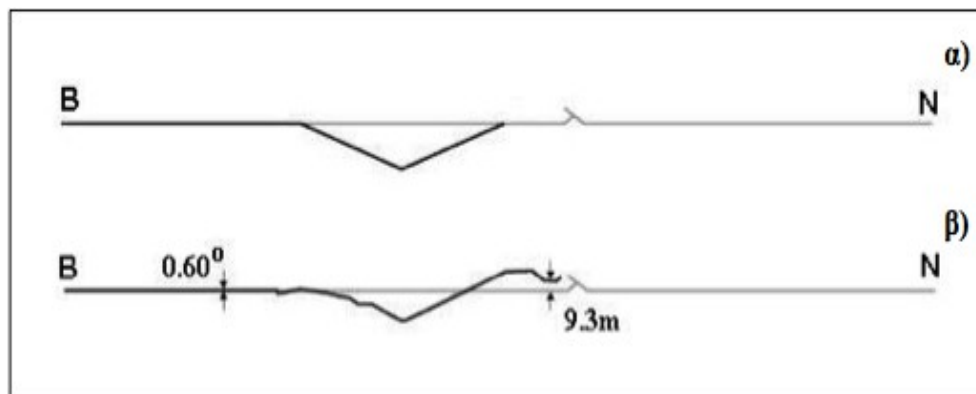
Όσο αφορά το σχήμα 2.24 α), σε περιοχές εδάφους χαμηλής ποιότητας, η διατομή επενδυόταν με κεραμικούς δακτυλίους και η μέθοδος κατασκευής του δικτύου γινόταν με τη βοήθεια κατακόρυφων πηγαδιών. Στο σχήμα 2.24 β) απεικονίζεται η αεροφωτογραφία πηγαδιών qanat στο Ιράν (English, 1998). Οι κρατήρες στην επιφάνεια δημιουργούνταν από τα πηγάδια και την εναπόθεση των υλικών εκσκαφής γύρω από αυτά. Κάθε σήραγγα συνέδεε δύο διαδοχικά πηγάδια που απείχαν συνήθως 50 m.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Τυπικές σήραγγες

Υπήρχαν επίσης και πιο μικρές σε μήκος σήραγγες που διανοίγονταν και από τα δύο άκρα. Η πιο γνωστή είναι το Ευπαλίνειο όρυγμα, στη Σάμο, από τις αρχαιότερες υπόγειες κατασκευές, που χαράχτηκαν με τη βοήθεια των γεωδαιτικών μεθόδων της εποχής. Στο σχήμα 2.25 φαίνεται η πορεία διάνοιξης της σήραγγας που αποκλίνει από την ευθεία γραμμή κατά κύριο λόγο στην προσπάθεια αποφυγής περιοχών ασταθών σχηματισμών.

Οι αποκλίσεις συνήθως αποδίδονται σε σφάλματα επίγειας ή υπόγειας χάραξης. Νεότερες έρευνες πάντως δείχνουν ότι τα σφάλματα αυτά ήταν κατά πολύ μικρότερα και πως ο Ευπαλίνος είχε τον έλεγχο τους (αδημοσίευτα στοιχεία).



Σχήμα 2.25: Χάραξη του Ευπαλίνειου Ορύγματος.

Όπως παρατηρείται στο σχήμα 2.25, η αρχική πορεία (γκρι γραμμή) προέβλεπε στροφή του νότιου μετώπου ώστε η βόρεια σήραγγα να ξετρυπήσει πάνω στη νότια. Κατά την προώθηση του βόρειου μετώπου όμως, πιθανόν λόγω ύπαρξης ασθενών σχηματισμών ο Ευπαλίνος πραγματοποίησε έναν ισοσκελή ελιγμό. Έτσι, με βάση τους υπολογισμούς ακολουθήθηκε θεωρητικά η πορεία που φαίνεται στο σκαρίφημα α). Στην πραγματικότητα όμως, λόγω απόκλισης του βόρειου μετώπου κατά 0.60° και λόγω σφαλμάτων στις γωνίες των πλευρών του ελιγμού η απόκλιση του βόρειου μετώπου από την θεωρητική ευθυγραμμία όταν πλησίαζε το νότιο μέτωπο ήταν περίπου 9.3 m (σκαρίφημα β)). Στη συνέχεια, το βόρειο μέτωπο ακολούθησε, κατά πολλούς, διορθωτική τυχαία πορεία ώσπου τελικά να συναντήσει το νότιο μέτωπο.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Μια σήραγγα με εξίσου μεγάλο ιστορικό αλλά και τεχνικό ενδιαφέρον είναι η σήραγγα Hezekiah's μήκους 530 m κάτω από τα τείχη της πόλης της Ιερουσαλήμ. Κατασκευάστηκε περί το 730 π.Χ. με σκοπό τη μεταφορά νερού από τη μια άκρη της πόλης, όπου βρισκόταν πηγή υπόγειου νερού, στην άλλη άκρη της πόλης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι ο άξονας της σήραγγας είχε σχήμα S. Μια πιθανή ερμηνεία γι' αυτό είναι ότι οι μηχανικοί της εποχής ακολούθησαν μια φυσική καρστική κοιλότητα του βράχου διανοίγοντας έτσι μήκος περίπου 40% μεγαλύτερο από το μήκος της ευθυγραμμίας των δύο άκρων της σήραγγας.

2.3.2 Νεότερες εφαρμογές (19ος αιώνας)

Στα μέσα του 19ου αιώνα συντελέστηκε μία ραγδαία αύξηση στην κατασκευή σιηράγγων στην Ευρώπη αλλά και στις Η.Π.Α., παράλληλα με την ανάπτυξη του σιδηρόδρομου. Η εμπειρία που αποκτούσαν από τις δεκάδες σήραγγες που κατασκευάζονταν οδήγησε στην ταχύτατη βελτίωση των μεθόδων διάνοιξης αλλά και των γεωδαιτικών μεθόδων χάραξης των έργων. Σταθμό στην τεχνολογία των υπογείων έργων αποτέλεσαν οι σήραγγες των Άλπεων Gotthard και Simplon (στα σύνορα της Ιταλίας και Ελβετίας), μήκους 14.900 m και 19.400 m, αντίστοιχα, που για δεκαετίες μετά αποτελούσαν έργα-πρότυπα ως προς την οργάνωση, την τεχνολογία και την απόδοσή τους.

Το χαρακτηριστικό των σιηράγγων αυτών ήταν το μεγάλο μήκος τους σε σχέση με τις σήραγγες που κατασκευάζονταν ως τότε και αυτό καθιστούσε την καθοδήγηση των μετώπων μία εργασία εξαιρετικής σημασίας. Η τεχνική της χάραξης βασιζόταν σε μετρήσεις αποστάσεων και γωνιών και αποδεικνύοταν εξαιρετικά ακριβής για τη συνάντηση των μετώπων. Η ακρίβεια αυτή οφείλονταν κυρίως στην ακρίβεια μέτρησης γωνιών. Δεν ήταν όμως εξίσου ακριβής η χάραξη στην εκτίμηση του μήκους της σήραγγας, που σχετίζονταν με την αδυναμία των οργάνων της εποχής στη μέτρηση αποστάσεων και τις αποκλίσεις της κατακορύφου. Έτσι, λ.χ. το συνολικό μήκος της σήραγγας Gotthard ήταν 7.6 m μικρότερο από εκείνο που είχε αρχικά εκτιμηθεί.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

2.3.3 Σύγχρονες εφαρμογές - Μέθοδος μετρήσεων

Η γεωδαιτική μέθοδος παρακολούθησης των εδαφικών παραμορφώσεων στα τοιχώματα μιας σήραγγας βασίζεται στις αρχές της ταχυμετρίας. Αρχικά ορίζονται οι στάσεις σκόπευσης (οι οποίες συχνά επιλέγονται μεταξύ των στάσεων στον άξονα της σήραγγας που ορίζονται για τη χάραξη της σήραγγας). Οι συντεταγμένες των σημείων στάσεων λαμβάνονται ως προς ένα τοπικό σύστημα αναφοράς που συνήθως ορίζεται για τις ανάγκες του έργου, εξαρτώμενο από γειτονικά σημεία του τριγωνομετρικού δικτύου ή από τοπικό δίκτυο. Η μέτρηση γίνεται διαδοχικά σε κάθε έναν από τους στόχους μιας διατομής και καταγράφονται οι συντεταγμένες τους. Διατομές ελέγχου ορίζονται σε αποστάσεις που κυμαίνονται από 5 ως 100 m ανάλογα με τις συνθήκες και απαιτήσεις του έργου (σχήμα 2.26).



Σχήμα 2.26: Σταθμοί σύγκλισης σε πυκνή διάταξη διατομών ελέγχου.

Η παρακολούθηση των εδαφικών παραμορφώσεων της σήραγγας είναι πιθανότατα η πιο σημαντική εργασία του τοπογραφικού συνεργείου, καθ' ό,τι αποτελεί τον μοναδικό τρόπο πρόληψης πιθανής κατάρρευσης της σήραγγας. Έτσι, κρίθηκε σκόπιμη η περαιτέρω αναφορά σε αυτή την διαδικασία.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

2.3.3.1 Στάσεις του οργάνου και θέσεις στόχων σκόπευσης

Στάσεις

Οι δύο μέθοδοι μετρήσεων που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις μικρομετακινήσεων είναι:

- α) Το στήσιμο σε στάση, μηδενισμός σε προηγούμενη στάση και σκόπευση των σταθμών.
- β) Η μέτρηση των σταθμών συγκλίσεων από ελεύθερη στάση (σχήμα 2.27).



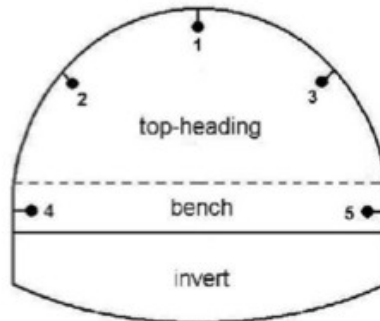
Σχήμα 2.27: Παρακολούθηση των παραμορφώσεων σήραγγας με χρήση γεωδαιτικού σταθμού.

Θέσεις στόχων σκόπευσης

Αμέσως μετά την τοποθέτηση της προσωρινής αντιστήριξης και σε μικρό χρονικό διάστημα από τη διάνοιξη σε κάθε διατομή ελέγχου, εγκαθίστανται τρεις οπτικοί στόχοι (ανακλαστήρες), ένας στην κλείδα και δύο εκατέρωθεν αυτής στις παρειές της.

Κατά την εκσκαφή της β' φάσης τοποθετούνται δύο ακόμη ανακλαστήρες χαμηλότερα στις παρειές και κοντά στον πυθμένα για την παρακολούθηση ολόκληρης της διατομής (σχήμα 2.28).

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



Σχήμα 2.28: Σχηματική διάταξη εγκατάστασης οπτικών στόχων.

2.3.3.2 Γεωδαιτικά Όργανα

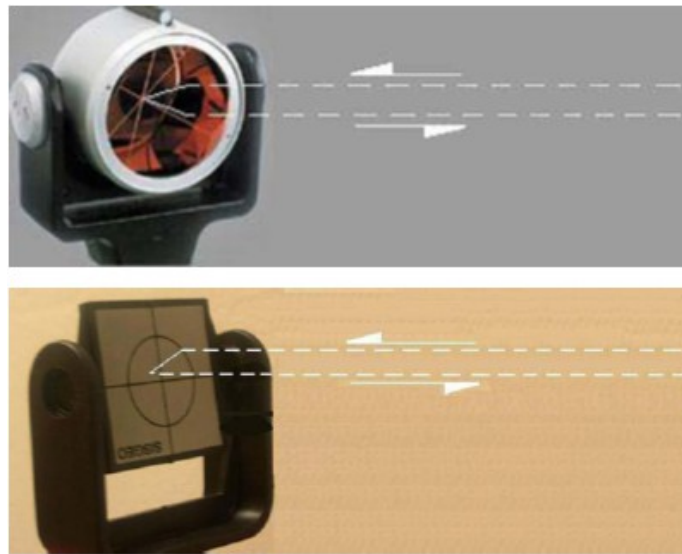
i. Total Stations

Για τη διάνοιξη σήραγγων χρησιμοποιούνται συνήθως ηλεκτρονικοί θεοδόλιχοι (total station) ακρίβειας. Τα τελευταία χρόνια δε, τα γεωδαιτικά όργανα νέας γενιάς (Ρομποτικά – Robotic Total Station, RTS) βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε σήραγγες, κυρίως για την παρακολούθηση των παραμορφώσεων της επιφάνειας του εδάφους πάνω από σήραγγες Μετρό σε αστικό περιβάλλον. Επίσης, σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί που δεν απαιτούν τη χρήση ανακλαστήρων (reflectorless; non prism total stations) έχουν κάνει την εμφάνισή τους σε υπόγεια έργα.

ii. Ανακλαστήρες

Οι διάφοροι ανακλαστήρες που είναι διαθέσιμοι διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με την οπτική τους λειτουργία: i) τους πρισματικούς και ii) τους επίπεδους πλαστικούς (σχήμα 2.29). Στις περισσότερες περιπτώσεις μετρήσεων σε σήραγγες κυρίως μη-πρισματικοί αυτοκόλλητοι ή πλαστικοί στόχοι διαστάσεων 3-4 cm.

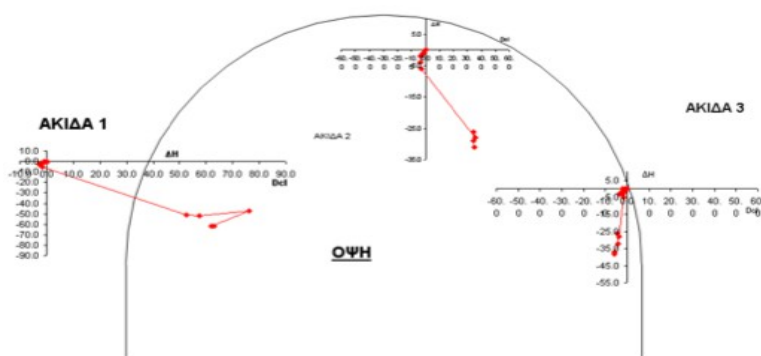
2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



Σχήμα 2.29: Βασικοί τύποι ανακλαστήρων
 Άνω: πρισματικός / Κάτω: επίπεδος πλαστικός.

2.3.3.3 Συχνότητα Μετρήσεων

Οι μετρήσεις ξεκινούν λίγο μετά τη διάνοιξη μιας διατομής και επαναλαμβάνονται καθημερινά μέχρι τη χρονική στιγμή που δεν παρατηρείται επιπλέον μεταβολή των συντεταγμένων των στόχων. Μετά από το παραπάνω διάστημα συνήθως εξακολουθούν οι μετρήσεις αλλά με πολύ χαμηλότερη συχνότητα ώστε να καταγράφονται πιθανές (μικρές) μετακινήσεις από φαινόμενα ερπυσμού κλπ. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται περίπου με εβδομαδιαία ως μηνιαία συχνότητα. Στο σχήμα 2.30 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα μετρήσεων μικρομετακινήσεων. Ωστόσο, οι μετακινήσεις που σημειώνονται από τη στιγμή της διάνοιξης μέχρι την εγκατάσταση στόχων παρατήρησης δεν μπορούν να εκτιμηθούν με γεωδαιτικές μεθόδους.



Σχήμα 2.30: Σχεδιάγραμμα μετακινήσεων σταθμού συγκλίσεων.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

2.3.3.4 Συνθήκες μετρήσεων - Προβλήματα και δυσκολίες

Συνθήκες μετρήσεων στο εσωτερικό σιράγγων

Η δυσκολία των μετρήσεων στις σιράγγες οφείλεται στις συνθήκες του περιβάλλοντος στο εσωτερικό τους (καπνός, μειωμένη ορατότητα, κακός φωτισμός, σκόνη, υγρασία, λάσπη, θόρυβος) και στη συνεχή κίνηση οχημάτων και προσωπικού.

Συχνά προκαλείται καθυστέρηση στις μετρήσεις από τις δονήσεις των σκαπτικών μηχανημάτων που δουλεύουν σε αποστάσεις λίγων μέτρων. Τέλος, σε πολλές περιπτώσεις, διαρροές νερού, λάσπη ή αστάθεια του πυθμένα δημιουργούν προβλήματα στη σήμανση των στάσεων και στη διεξαγωγή των μετρήσεων. Για παράδειγμα, στην οδική σιράγγα της Μεσοχώρας, στο νομό Τρικάλων, πριν τη διάνοιξη ολόκληρης της σιράγγας ήταν αδύνατη η προσπέλαση.

Για παράδειγμα, στην οδική σιράγγα της Μεσοχώρας, στο νομό Τρικάλων, πριν τη διάνοιξη ολόκληρης της σιράγγας ήταν αδύνατη η προσπέλαση στη σιράγγα από τη μια είσοδο (και για μήκος ~50 m) λόγω κατάκλυσης από νερό σε ύψος >1m (Ι. Θανόπουλος, 2003).

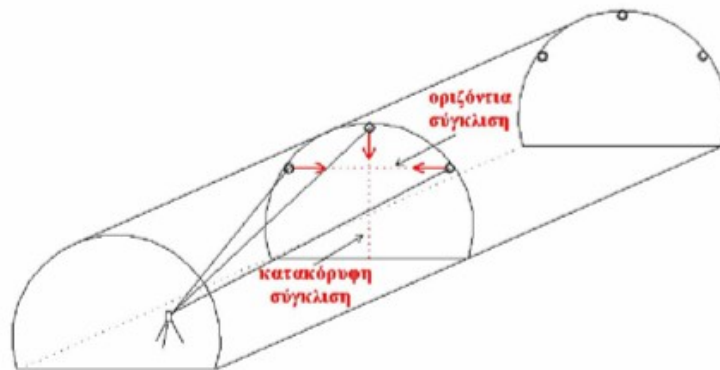
Τέλος, προβλήματα εμφανίζονται από την καταστροφή των στόχων (από το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, την πρόσκρουση μηχανημάτων κλπ.).

2.3.4 Καταγραφή μετακινήσεων στις σιράγγες

Στο παρελθόν, η μέτρηση των παραμορφώσεων της διατομής σιράγγας βασίζονταν στη χρήση μηκυσιόμετρων ακριβείας, μία μέθοδος χρονοβόρα και δύσχρηστη, που παρέχει μόνο σχετικές μεταβολές των μετρούμενων αποστάσεων. Σήμερα, η παρακολούθηση των παραμορφώσεων βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στη χρήση γεωδαιτικών οργάνων και μεθοδολογιών, που παρέχουν απόλυτες μεταβολές των θέσεων των σημείων ελέγχου σε τρεις διαστάσεις x,y,z και γενικά είναι πιο οικονομικές και εύχρηστες. Από τις μετρήσεις των συντεταγμένων υπολογίζονται οι παραμορφώσεις της διατομής κάθετα στον άξονα, ως οριζόντια και κατακόρυφη σύγκλιση.

Η κατακόρυφη σύγκλιση ορίζεται ως η (απόλυτη) κατακόρυφη μετακίνηση του κεντρικού κατόπτρου δεδομένου ότι στις συνήθεις σιράγγες η κατασκευή άκαμπτης πλάκας σκυροδέματος στο κάτω μέρος της διατομής “invert” δεν επιτρέπει ανύψωση του πυθμένα. Η οριζόντια σύγκλιση ορίζεται ως η σχετική μεταβολή της απόστασης των πλευρικών ανακλαστήρων (σχήμα 2.31).

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



Σχήμα 2.31: α) Καταγραφή απολύτων μετακινήσεων των σημείων ελέγχου σήραγγας σε τρεις διαστάσεις.
β) Κατακόρυφη και οριζόντια σύγκλιση της διατομής.

Η ορολογία που χρησιμοποιείται για τη γεωδαιτική μέθοδο παρακολούθησης των παραμορφώσεων σήραγγας από διάφορους ερευνητές ή προμηθευτές των οργάνων ποικίλει. Για παράδειγμα, αναφέρεται γενικά ως “Convergence Measurements”, που όμως σε άλλες περιπτώσεις με τον ίδιο όρο προσδιορίζεται η μέθοδος με μηκυσιόμετρα, ως “Surveying Method” ή “Optical 3-D Monitoring”. Επίσης, αναφέρεται ως ‘Γεωδαιτική Μέθοδος Παρακολούθησης των Παραμορφώσεων’ (‘Geodetic Monitoring’).

2.4 Πιστοποίηση κατασκευής

Εσωτερικός έλεγχος

Η χάραξη του άξονα της σήραγγας, ο έλεγχος των διατομών εκσκαφής, εκτοξευόμενου σκυροδέματος, τελικής επένδυσης είναι σημαντικά στοιχεία πιστοποίησης της ποιότητας και της προόδου ενός υπογείου έργου. Για παράδειγμα, ο έλεγχος των διατομών εκσκαφής καθώς και του βήματος προχώρησης, είναι πολύ σημαντικός για τον μεταλλειολόγο του έργου, ο οποίος μπορεί να κρίνει εάν τηρείται το ενδεδειγμένο σχέδιο ανατίναξης.

Επίσης, ο έλεγχος του βήματος προχώρησης και των συνολικών μέτρων προχώρησης, ημερησίως, εβδομαδιαίως ή μηνιαίως, είναι μία πληροφορία απολύτως αναγκαία για το εάν και κατά πόσο τηρείται το χρονοδιάγραμμα κατασκευής του έργου.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Εξωτερικός έλεγχος

Επιπροσθέτως, τα στοιχεία που συλλέγονται συνήθως κατατίθενται και σε εξωτερικούς ελεγκτικούς φορείς, όπως για παράδειγμα:

- Στην Επιβλέπουσα Αρχή (Ανεξάρτητος Μηχανικός, Εγνατία Οδός κλπ), την υπηρεσία δηλαδή που επιβλέπει την κατασκευή.
- Στην Κοινοπραξία κατασκευής, εάν υπάρχει.

Οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους οι υπηρεσίες απαιτούν τα στοιχεία κατασκευής, είναι οι εξής:

- Για την βεβαίωση της σωστής και σύμφωνα με τις προδιαγραφές κατασκευής του έργου.
- Για την εξέταση και αξιολόγηση των στοιχείων και την εν συνεχεία παροχή προτάσεων ή λύσεων σε τυχόν προκύπτοντα προβλήματα.
- Για την χρηματική αποζημίωση του κατασκευαστή στο ποσοστό που του αναλογεί.
- Για τον έλεγχο ψευδούς κατάθεσης της κατασκευαστικής προόδου.

3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ – ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ

3.1 Βασικές αρχές

Η επιλογή της μεθόδου διάνοιξης σήραγγων, δηλαδή εκσκαφή με ανατινάξεις ή με μηχανικά μέσα, εκσκαφή ολομετώπου προσβολής σε μία ή περισσότερες φάσεις, καθώς και η επιλογή του εξοπλισμού, είναι αποφάσεις οι οποίες λαμβάνονται με βάση τα γεωλογικά και γεωτεχνικά στοιχεία από έρευνες που διεξάγονται ή έχουν διεξαχθεί στην περιοχή των σήραγγων. Η σήραγγα κατασκευάζεται με ένα καθορισμένο γεωμετρικό σχήμα το οποίο επίσης επιλέγεται ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες που συναντώνται κατά τις ανωτέρω μελέτες, τον σκοπό που εξυπηρετεί η σήραγγα και άλλους παράγοντες.

Ωστόσο, κατά τη φάση των εργασιών διάνοιξης και ιδιαίτερα στις συμβατικές μεθόδους, ενδέχεται να προκύψουν αρκετά δυσμενείς καταστάσεις (υπερεκσκαφές, υποεκσκαφές) οι οποίες προκαλούνται είτε λόγω της φύσης του εδάφους είτε λόγω της διαταραχής των πετρωμάτων λόγω εργασιών, και επίσης, δεν είναι πάντοτε προβλέψιμες ή ελεγχόμενες. Συνεπώς, κρίνεται αναγκαία η δυνατότητα ελέγχου της γεωμετρίας και της διεύθυνσης της σήραγγας ανά πάσα στιγμή και σε κάθε φάση κατασκευής της. Συμπερασματικά, γίνεται αμέσως κατανοητό ότι πρέπει να υιοθετηθεί ένα σύστημα αναφοράς μέσω του οποίου θα είναι δυνατό να ελέγχεται κάθε παρέκκλιση από τα προβλεπόμενα στοιχεία της μελέτης.

Διαστάσεις εκσκαφής – Ανοχές ασφαλείας

Η εκσκαφή των διατομών της σήραγγας πρέπει να γίνεται με ελάχιστη υπερεκσκαφή στις γραμμές, και διαστάσεις που ορίζονται στα σχέδια της εγκεκριμένης **οριστικής μελέτης εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης**, με τις τυχόν αναγκαίες τροποποιήσεις της μελέτης εφαρμογής, η οποία συντάσσεται κατά τη φάση των εργασιών εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης.

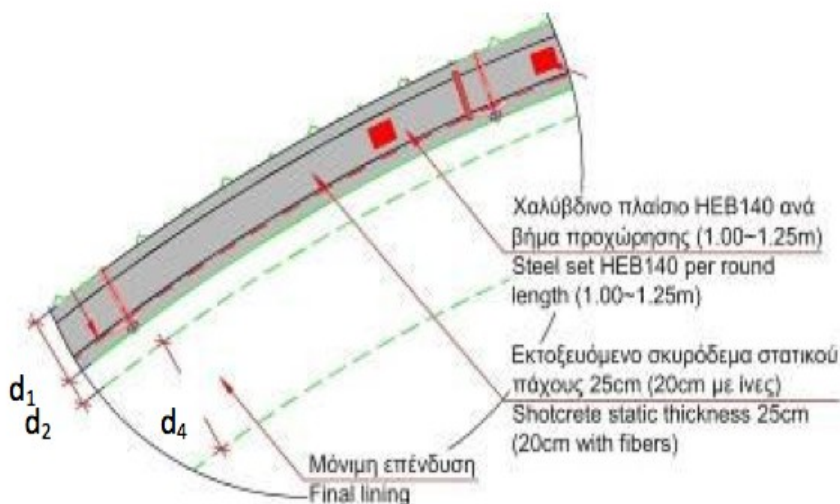
Κατά τη διαστασιολόγηση κατηγορίας εκσκαφής της σήραγγας έχουν ορισθεί λεπτομερώς τα στοιχεία εκείνα τα οποία καθορίζουν τη γεωμετρία των χαρακτηριστικών γραμμών της διατομής της σήραγγας, τα οποία είναι τα παρακάτω και διαφέρουν για κάθε κατηγορία πετρώματος.

3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ - ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ

Γραμμή ελάχιστης εκσκαφής

Είναι η γραμμή εκείνη μέσα από την οποία δεν επιτρέπεται παραμονή μη εκσκαφθέντος τμήματος της βραχώμαζας, οποιουδήποτε είδους και διαστάσεων. Οι θεωρητικές ακτίνες που καθορίζουν σε κάθε θέση των διατομών της σήραγγας τη γραμμή εκσκαφής (σχήμα 3.1), πρέπει να περιλαμβάνουν:

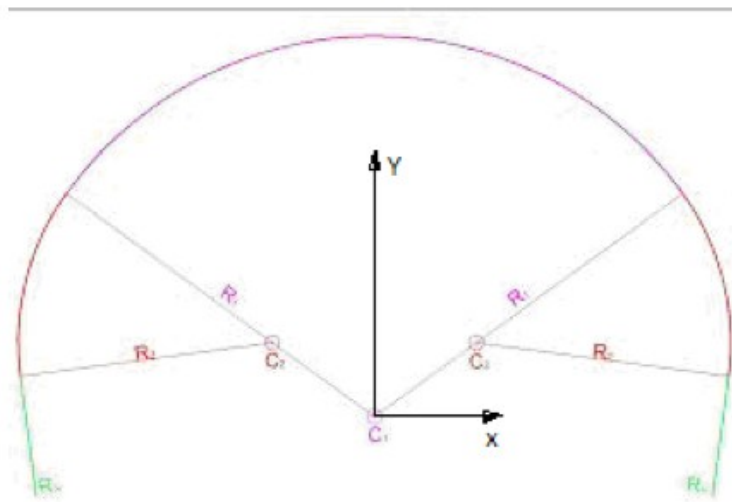
- R: Ακτίνα διατομής χρήσης.
- d1: Το στατικώς απαιτούμενο πάχος της άμεσης υποστήριξης (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και σιδηρά πλαίσια).
- d2: Την πρόβλεψη για σύγκλιση.
- d3: Το συνολικό πάχος την στρώσης εξομάλυνσης (μη οπλισμένο με ίνες εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, στεγανωτική μεμβράνη).
- d4: Το στατικώς απαιτούμενο πάχος της τελικής (μόνιμης) επένδυσης.



Σχήμα 3.1: Λεπτομέρεια διατομής. Διακρίνονται τα μεγέθη d1, d2, d4.

Πολλές φορές, σε μία διατομή ενδέχεται να χρησιμοποιούνται παραπάνω από μία ακτίνες ή ακόμη και ευθείες γραμμές για το σχεδιασμό και τη διαστασιολόγησή της (σχήμα 3.2). Αυτό συνεπάγεται και τα παραπάνω στοιχεία d1,2,4, να διαφοροποιούνται αναλόγως. Επίσης, το μέγεθος d3 συνήθως ταυτίζεται με τα μεγέθη d1 και d2, δηλαδή ισχύει $d3=d1+d2$. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι το πάχος της στρώσης εξομάλυνσης δεν υπερβαίνει το όριο της σύγκλισης.

3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ - ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ



Σχήμα 3.2: Διατομή που περιλαμβάνει 2 διαφορετικές ακτίνες (ροζ και κόκκινο χρώμα) και ευθείες γραμμές (πράσινο χρώμα).

Εκτός από τις ανοχές σε κάθε διατομή της σήραγγας, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι τυχόν αποκλίσεις του άξονα της πραγματικής εκσκαφής της σήραγγας σε σχέση με το θεωρητικό άξονα, ώστε να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη, σύμφωνα με τη μελέτη, γεωμετρία του θεωρητικού άξονα της σήραγγας (οριζοντιογραφικά και υψομετρικά). Έτσι λοιπόν, αναφέρεται ότι ισχύουν (εάν δεν ορίζεται διαφορετικά) σαν μέγιστες δυνατές αποκλίσεις, οι ακόλουθες:

Για σήραγγες μήκους $L < 500\text{m}$

- Μέγιστη οριζοντιογραφική απόκλιση άξονα $\pm 0.05\text{ m}$
- Μέγιστη μηκοτομική απόκλιση άξονα $\pm 0.03\text{ m}$

Για σήραγγες μήκους $L > 500\text{m}$

- Μέγιστη οριζοντιογραφική απόκλιση άξονα $\pm 0.10\text{ m}$
- Μέγιστη μηκοτομική απόκλιση άξονα $\pm 0.05\text{ m}$

3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ - ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ

3.2 Εργασίες πεδίου

Το αντικείμενο που πιθανότητα φέρει τη μεγαλύτερη βαρύτητα κατά τη διάρκεια της διάνοιξης και κατασκευής μίας σήραγγας, είναι η ορθότητα της γεωμετρίας της και η σωστή πορεία της. Επιπλέον, από τα δύο αυτά ζητούμενα προκύπτουν και άλλα χρήσιμα δεδομένα, όπως για παράδειγμα η δομική αστοχία των μέτρων υποστήριξης ή της μόνιμης επένδυσης, ο εντοπισμός συγκλίσεων και καθιζήσεων, καθώς επίσης και οι όγκοι των εκσκαφών αλλά και των επενδύσεων (gunite, τελική επένδυση) του έργου. Για να εξαχθούν όμως όλα τα παραπάνω, κρίνεται απαραίτητη η δυνατότητα λήψης διατομών σε διάφορες θέσεις της σήραγγας.

Για να γίνει εφικτή η αποτύπωση διατομών εντός σηράγγων, απαραίτητη προϋπόθεση είναι να υπάρχουν α) τα στοιχεία μελέτης της σήραγγας (οριζοντιογραφία, μηκοτομή, τυπικές διατομές) και β) η ύπαρξη πολυγωνομετρικού δικτύου εντός της σήραγγας, εξαρτημένου με το σύστημα αναφοράς της μελέτης.

Οι παράγοντες που θα καθορίσουν τις εργασίες, τον εξοπλισμό και τον χρόνο που θα απαιτηθούν για την αποτύπωση διατομών, είναι οι εξής:

α) Η μέθοδος με την οποία θα γίνει η λήψη των στοιχείων, δηλαδή η επιλογή οργάνου (π.χ. Γεωδαιτικός σταθμός, Laser scanner).

β) Ο τρόπος με τον οποίο θα διεξαχθεί η αποτύπωση, για παράδειγμα με την χρήση πρίσματος, δεσμίδας laser, αυτοματοποιημένη (profiler).

Η διαδικασία που ακολουθείται για την αποτύπωση, εξαρτάται από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν προηγουμένως, και είναι ξεχωριστή για κάθε μία. Βέβαια, οι διαδικασίες αυτές παρουσιάζουν και μερικά κοινά μεταξύ τους.

3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ - ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ

1. Έτσι λοιπόν, βασική προϋπόθεση της διαδικασίας που θα επιλεγεί αποτελεί το πεδίο συλλογής πληροφοριών που πρόκειται να αποτυπωθεί, το οποίο δεν είναι άλλο από τη σήραγγα που κατασκευάζεται. Άρα, το πρώτο θέμα που πρέπει να διευθετηθεί, είναι η επιφάνεια προς αποτύπωση, δηλαδή εάν πρόκειται για μεγάλο μήκος σήραγγας ή για μεμονωμένες διατομές. Αυτό θα κρίνει σε μεγάλο βαθμό και τη μέθοδο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί αφού μεγάλο πεδίο συλλογής δεδομένων συνεπάγεται και μεγαλύτερο όγκο δεδομένων, άρα και ανάγκη για ταχύτερη μέθοδο αποτύπωσης.
2. Στη συνέχεια και ανεξάρτητα από τη μέθοδο (γεωδαιτικός σταθμός, Laser scanner) που επιλέγεται, το επόμενο βήμα είναι ο προσανατολισμός του οργάνου σε σχέση με τη σήραγγα και, κυρίως με τον άξονα της σήραγγας (εάν αυτό είναι δυνατό, διότι μερικά όργανα δεν παρέχουν τέτοια δυνατότητα). Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια στάσεων οι οποίες ανήκουν σε πολυγωνομετρικό δίκτυο της σήραγγας.
3. Το τελευταίο βήμα αφορά εξ' ολοκλήρου στην μέθοδο αποτύπωσης που επιλέγεται.
 - α) Κατά την αποτύπωση με γεωδαιτικό σταθμό, το πλήθος των σημείων που θα αποτυπωθούν, καθώς και ποια σημεία της επιφάνειας της διατομής θα είναι αυτά, υπόκειται στην κρίση του Τοπογράφου. Τα σημεία που λαμβάνονται είναι αυτά τα οποία φαινομενικά έστω, τείνουν να πλησιάζουν προς την θεωρητική γραμμή αναφοράς που λαμβάνεται κάθε φορά.
 - β) Κατά την αυτόματη αποτύπωση με TMS profiler, είναι δυνατή η εισαγωγή του πεδίου συλλογής δεδομένων με την μορφή χιλιομετρικών θέσεων, αφού τα σύγχρονα όργανα παρέχουν λογισμικά με ανάλογες λειτουργίες. Επιπλέον, είναι δυνατή η επιλογή του βήματος λήψης μεταξύ των διατομών (π.χ. ανά 1 μέτρο), καθώς και η απόσταση από σημείο σε σημείο σε κάθε διατομή (π.χ. ανά 10 cm).
 - γ) Με την μέθοδο Laser scanner, η έκταση της αποτύπωσης των διατομών (ή νέφος) δύναται να είναι αρκετά μεγάλη, δεδομένης της μεγάλης εμβέλειας της κεφαλής laser του οργάνου. Το κυριότερο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι i) προκύπτει τεράστιος όγκος δεδομένων και ii) τα στοιχεία που προκύπτουν δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα με τα στοιχεία των μελετών για εξαγωγή συμπερασμάτων.

3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ - ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ

Να σημειωθεί ότι, πριν την χρήση γεωδαιτικών σταθμών με δυνατότητα μέτρησης χωρίς πρίσμα, οι εργασίες παραλαβής διατομών (τοποθέτησης πλαισίου και χάραξης γραμμής εκσκαφής που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο), διεξάγονταν αποκλειστικά με τη χρήση EDM, με κοντάρι το οποίο έφερε προσαρτημένο πρίσμα στην άκρη του (σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Μετρήσεις με την χρήση κονταριού αλουμινίου.

3.3 Φάσεις αποτύπωσης διατομών σηράγγων

Στη σήραγγα, οι φάσεις αποτύπωσης διατομών, ακολουθούν την παρακάτω σειρά:

Φάση 1η: Αποτύπωση διατομής εκσκαφής.

Φάση 2η: Αποτύπωση διατομής πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος (Gunitite).

Φάση 3η: Αποτύπωση διατομής εκτοξευόμενου σκυροδέματος μετά την εξομάλυνση (δεύτερη στρώση).

Φάση 4η: Αποτύπωση της τελικής επένδυσης.

Αποτύπωση διατομής εκσκαφής

Ο έλεγχος της εκσκαφής αποτελεί το πρώτο και πιο σημαντικό βήμα για την σωστή εξέλιξη των εργασιών (υποστήριξη, επένδυση) που έπονται.

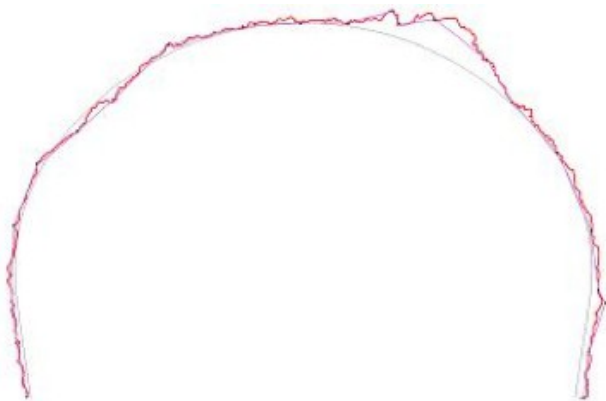
Σε αυτή τη φάση διαπιστώνεται ο βαθμός στον οποίο η πραγματική εκσκαφή ικανοποιεί τις συνθήκες εκείνες που απαιτεί η θεωρητική, εάν η γεωμετρία της είναι σωστή (σχήμα 3.4). Επίσης, η αποτύπωση της εκσκαφής αποτελεί μία διαδικασία αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των εφαρμοσμένων μεθόδων διάνοιξης.

3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ - ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ



Σχήμα 3.4: Εκσκαφή (κόκκινο χρώμα) σε σύγκριση με την τυπική γραμμή εκσκαφής (μαύρο χρώμα).

Αφού ελεγχθεί και διαπιστωθεί ότι η εκσκαφή δεν επιδέχεται διορθώσεις, το επόμενο βήμα είναι η αποτύπωσή της. Εδώ να σημειωθεί πως, όπως φαίνεται και στο ανωτέρω σχήμα, η εκσκαφή είναι μία ακανόνιστη γραμμή που αλλάζει συνεχώς, πόσο μάλλον εάν την φανταστούμε ως μία επιφάνεια. Είναι κατανοητό λοιπόν ότι η λεπτομερής αποτύπωση της εκσκαφής – ειδικά αν γίνει με τη χρήση συμβατικών μεθόδων, όπως συμβαίνει στην πλειοψηφία των περιπτώσεων – θα είναι μία αρκετά επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία, εάν αναλογιστούμε την πληθώρα σημείων που πρέπει να αποτυπωθούν. Έτσι λοιπόν, από την πραγματική εκσκαφή όπως αυτή φαίνεται στο ανωτέρω σχήμα, προκύπτει το ακόλουθο σχήμα το οποίο είναι αποτέλεσμα χειροκίνητης διαδικασίας, κύριος σκοπός της οποίας είναι η κατά το βέλτιστο πιστή απεικόνιση με λήψη των λιγότερων δυνατών σημείων (σχήμα 3.5). Οι μαύρες κουκίδες είναι τα σημεία τα οποία αποτυπώθηκαν, ενώ η μπλε τεθλασμένη γραμμή η οποία ενώνει τις κουκίδες αποτελεί την γραμμή εκσκαφής.



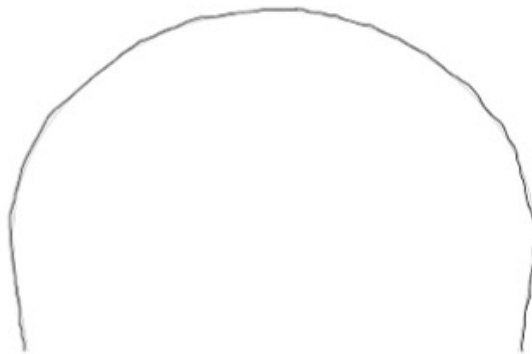
Σχήμα 3.5: Παραλαβή διατομής εκσκαφής (μπλε χρώμα).

3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ - ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ

Αποτύπωση διατομής εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Το επόμενο βήμα είναι η παραλαβή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος ή Gunite. Κι εδώ επίσης, όπως και στην εκσκαφή και όπως και σε κάθε διατομή, υπάρχει μία τυπική διατομή με την οποία ελέγχεται η σωστή εφαρμογή του Gunite.

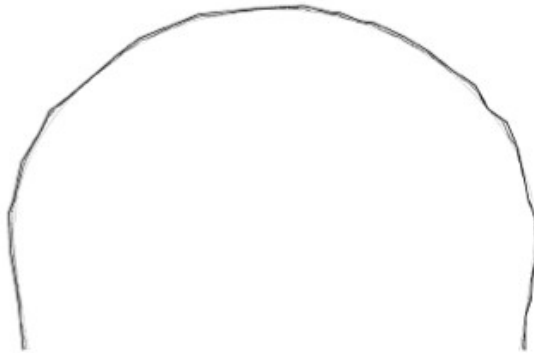
Σε αυτή τη φάση και, εάν όλοι οι άλλοι παράγοντες (εγκατεστημένες κοντινές στάσεις, απουσία σκόνης, ελάχιστη κυκλοφορία οχημάτων ή προσωπικού) είναι ικανοποιητικοί, η παραλαβή διεξάγεται αρκετά πιο γρήγορα. Ο κύριος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι η επιφάνεια του Gunite είναι εκ των πραγμάτων αρκετά πιο ομαλή (σχήμα 3.6) από αυτή της εκσκαφής και, κατά συνέπεια, δεν υπάρχει τόση ανησυχία για το ποιο σημείο χρειάζεται αποτύπωση και ποιο όχι. Βέβαια, αυτό δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχουν περιπτώσεις όπου για διάφορους λόγους (απροσεξία του χειριστή, αδυναμία να ανιληφθεί τις ποσότητες που εκτοξεύονται, μικρή εκσκαφή) ακόμη και το Gunite να εισχωρήσει στην θεωρητική γραμμή εφαρμογής του, προκαλώντας έτσι προβλήματα μεγάλης ή μικρής βαρύτητας.



Σχήμα 3.6: Πραγματική διατομή Gunite.

Κι εδώ επίσης βέβαια ισχύει η ίδια θεώρηση όσον αφορά στην αποτύπωση της διατομής, οπότε αμέσως προκύπτει μία διατομή του τύπου που φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα 3.7.

3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ - ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ



Σχήμα 3.7: Αποτύπωση διατομής Gunite.

Αποτύπωση εξομάλυνσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος και σκυροδέματος τελικής επένδυσης

Και σε αυτές τις φάσεις δεν αλλάζει τίποτα στη διαδικασία αποτύπωσης, παρά μόνο η τυπική διατομή (γραμμή εξομάλυνσης gunite, εσωράχιο τελικής επένδυσης για την τελική επένδυση.

Τόσο κατά την παραλαβή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος μετά την εξομάλυνση, όσο και κατά την παραλαβή της τελικής επένδυσης, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί αυτόματη μέθοδος αποτύπωσης της διατομής, λόγω της ομαλής κι ενιαίας καμπύλης επιφάνειας που δημιουργείται.

3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ - ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ

3.4 Υπολογισμοί Εμβαδού - Όγκων

3.4.1 Εμβαδά

Ένας από τους κύριους σκοπούς αποτύπωσης των διατομών εντός σηράγγων, είναι ο υπολογισμός της επιφάνειας της διατομής, έχοντας σαν αποτέλεσμα και τον υπολογισμό των όγκων κατά μήκος της σήραγγας. Οι μέθοδοι υπολογισμού μιας επιφάνειας που αποτυπώθηκε, συνδέονται συνήθως με τη μέθοδο αποτύπωσης που εφαρμόστηκε αλλά εξαρτώνται επίσης και από την μορφή των οριακών γραμμών καθώς και από την απαιτούμενη ακρίβεια.

Όπως προαναφέρθηκε, η ακρίβεια των εμβαδών και κατά συνέπεια των όγκων που προκύπτουν, εξαρτάται άμεσα από τη μέθοδο αποτύπωσης που χρησιμοποιείται. Έτσι λοιπόν, αναλόγως την ακρίβεια που απαιτείται υπάρχουν διάφορες μέθοδοι υπολογισμού εμβαδού. Αυτές κατατάσσονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

1. **Αναλυτικές μέθοδοι**, οι οποίες στηρίζονται σε μαθηματικές πράξεις μεταξύ μεγεθών που μετρήθηκαν άμεσα στο πεδίο, στις οποίες εντάσσεται ο υπολογισμός εμβαδού με διαίρεση σε γεωμετρικά σχήματα και ο υπολογισμός εμβαδού με τη μέθοδο ορθογωνίων συντεταγμένων.
2. **Ημιγραφικές μέθοδοι**, είναι μέθοδοι που εκφράζουν το εμβαδό μιας επιφάνειας σαν συνάρτηση συνδυασμού μεγεθών που μετρήθηκαν άμεσα στο έδαφος και μεγεθών που μετρήθηκαν στο χαρτί σχεδίασης.
3. **Γραφικές μέθοδοι**, οι οποίες είναι μέθοδοι στηριζόμενες αποκλειστικά σε μαθηματικούς υπολογισμούς μεγεθών μετρημένων στο χαρτί σχεδίασης. Βασικό τους πλεονέκτημα είναι α) ο ταχύτερος υπολογισμός εμβαδού, β) δυνατότητα υπολογισμού εμβαδού όταν υπάρχει τοπογραφικό διάγραμμα υπό κατάλληλη κλίμακα και, γ) δυνατότητα μέτρησης εμβαδού όταν οι οριογραμμές είναι μη γεωμετρικές καμπύλες. Οι πιο διαδεδομένοι τρόποι γραφικού υπολογισμού είναι η μέθοδος των τετραγωνιδίων και η μέθοδος των λωρίδων.
4. **Μηχανική μέθοδος**, η οποία αποτελεί μία μέθοδο παρόμοιας ακρίβειας με αυτή των γραφικών και στηρίζεται στη χρήση εμβαδομέτρου για τη μέτρηση του εμβαδού πάνω στο χαρτί σχεδίασης.
5. **Υπολογιστικές μέθοδοι**, οι οποίοι πραγματοποιούνται με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και κατάλληλων σχεδιαστικών λογισμικών (π.χ. AutoCAD).

3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ - ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ

3.4.2 Όγκοι

Γενικά

Περιπτώσεις υπολογισμού όγκων σε τοπογραφικές εφαρμογές έχουμε κυρίως σε χωματουργικές εργασίες. Οι χωματουργικές εργασίες καλύπτουν μία μεγάλη ποικιλία τεχνικών έργων στην οποία επιβάλλεται ο υπολογισμός του όγκου των υλικών τα οποία πρόκειται να αφαιρεθούν (εκσκαφές) ή να προστεθούν (επιχώσεις). Τέτοια έργα είναι η εκσκαφή θεμελίων, κατασκευή οδοποιίας, εκσκαφή υπογείων έργων κ.α.

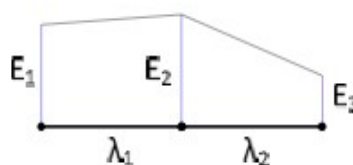
Στην προκειμένη περίπτωση, δηλαδή στην εκσκαφή της σήραγγας η οποία αποτελεί υπόγειο έργο, ο υπολογισμός όγκου αφορά στην επιμέτρηση του όγκου των υλικών που εξορύσσονται κατά τη φάση διάνοιξης της σήραγγας αλλά κυρίως:

- Στην επιμέτρηση του συνολικού όγκου του εκτοξευόμενου σκυροδέματος το οποίο εκτοξεύεται κατά την πρώτη φάση υποστήριξης της σήραγγας και κατά τη φάση εξομάλυνσης.
- Στην επιμέτρηση του συνολικού όγκου του σκυροδέματος που χρησιμοποιείται κατά την φάση σκυροδέτησης της τελικής επένδυσης της σήραγγας.

Η δαπάνη για την εφαρμογή χωματουργικών έργων είναι μερικές φορές πολύ μεγάλη, ώστε να απαιτείται ο προϋπολογισμός και η προμέτρηση της πριν την έναρξη των εργασιών.

Μέθοδοι υπολογισμού όγκων

Για τον υπολογισμό των χωματισμών επιμήκων έργων, όπως είναι μία σήραγγα, χρησιμοποιούνται κυρίως δύο μέθοδοι. Για την κατανόηση των μεθόδων αυτών θα ληφθεί ένα παράδειγμα με βάση το ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 3.8).



Σχήμα 3.8: Διάγραμμα χωματισμών.

3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ - ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ

- Η μέθοδος μέσων επιφανειών στην οποία ο ένας παράγοντας των διαδοχικών γινομένων είναι η απόσταση μεταξύ των διατομών, η οποία κάθε φορά πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή, ο οποίος ονομάζεται μέση επιφάνεια και ισούται με το ημίθροισμα των εμβαδών δύο διαδοχικών διατομών.

$$V = \lambda_1 \cdot \left(\frac{E_1 + E_2}{2} \right) + \lambda_2 \cdot \left(\frac{E_2 + E_3}{2} \right)$$

- Η μέθοδος εφαρμοστέων μηκών, αν και δε διαφέρει ιδιαίτερα στο τυπολόγιο από την ανωτέρω, διαφέρει στον τρόπο σύνταξης των γινομένων και των παραγόντων τους. Έτσι, ο ένας παράγοντας των διαδοχικών γινομένων είναι σε όλους τους όρους οι επιφάνειες των διαδοχικών διατομών. Οι επιφάνειες πολλαπλασιάζονται επί το εφαρμοστέο μήκος, το οποίο είναι άθροισμα δύο συντελεστών, επίσης συναρτήσεων της μεταξύ απόστασης αριστερά και δεξιά της υπό εξέταση διατομής και είναι ίσοι με:
- $\lambda/2$ (αριστερά ή δεξιά) όταν υπάρχουν διαδοχικές διατομές ίδιου είδους.

$$V = E_1 \cdot \left(\frac{\lambda_1}{2} \right) + E_2 \cdot \left(\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \right) + E_3 \cdot \left(\frac{\lambda_2}{2} \right)$$

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

4.1 Εισαγωγικά

Στις αρχές του 20ου αιώνα ο Heinrich Wild σχεδιάζει και κατασκευάζει θεοδόλιχους με πολλές καινοτομίες συνεργαζόμενος με τα μεγαλύτερα εργοστάσια κατασκευής τοπογραφικών οργάνων της εποχής. Κατασκευάζονται επίσης νέοι τύποι χωροβατών και γυροσκοπικοί θεοδόλιχοι για τον προσδιορισμό της διεύθυνσης του μαγνητικού βορρά. Χαρακτηριστικό των νέων οργάνων είναι το μικρό μέγεθος και το μικρό βάρος, αλλά και η υψηλή ακρίβεια μετρήσεων.

Ο Πρώτος Παγκόσμιος Πόλεμος και οι ανάγκες του, έδωσαν ώθηση στην επιστήμη της Γεωδαισίας και της Τοπογραφίας, αλλά και της Φωτογραμμετρίας. Μετά τον πόλεμο πληθαίνουν οι ερευνητικές δραστηριότητες σε σχετικά θέματα.

Ο Δεύτερος Παγκόσμιος Πόλεμος έδωσε και πάλι μια νέα τεράστια ώθηση σε διάφορες επιστήμες. Ένα θαυμαστό δημιούργημα που ξεκινάει από την εποχή του πολέμου είναι η ηλεκτρομαγνητική μέτρηση των αποστάσεων, η μέτρηση δηλαδή μηκών με τη βοήθεια οργάνων που εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ανακάλυψη αυτή έθεσε νέες αρχές μετρήσεων και υπολογισμών και έδωσε νέες δυνατότητες στην επιστήμη της Γεωδαισίας και της Τοπογραφίας.

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1970 κατασκευάζονται ηλεκτρονικοί θεοδόλιχοι, όπου η μέτρηση των οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών γίνεται με ηλεκτρονικό τρόπο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η Γεωδαισία και η Τοπογραφία είναι επιστήμες που ωφελήθηκαν και ωφελούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη της Ηλεκτρονικής κατά τα τελευταία πενήντα χρόνια. Είναι επίσης από τις πρώτες επιστήμες που χρησιμοποίησαν τις δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τόσο για τη γρήγορη εκτέλεση υπολογισμών, όσο και για την πλήρως αυτοματοποιημένη παραγωγή σχεδίων και χαρτών με τη βοήθεια κατάλληλων προγραμμάτων (CAD) και περιφερειακών συσκευών. Η αυτοματοποίηση των εργασιών πεδίου και γραφείου οδήγησε στην κατασκευή καταγραφικών συσκευών υπαίθρου, συσκευών στις οποίες αποθηκεύονται οι μετρήσεις και στη συνέχεια μεταφέρονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία. Οι αποτυπώσεις αρχίζουν να γίνονται με ένα συνδυασμό κλασικού (μηχανικού) ή ηλεκτρονικού θεοδόλιχου και ενός ηλεκτρονικού οργάνου μέτρησης αποστάσεων με καταγραφικό (ηλεκτρονικό ταχύμετρο). Η ταχύτητα μετρήσεων και υπολογισμών είναι πλέον πολύ μεγάλη. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 όλες οι μετρήσεις γωνιών και μηκών γίνονται από ένα και μόνο ολοκληρωμένο ηλεκτρονικό όργανο που ονομάστηκε Γεωδαιτικός Σταθμός. Το όργανο αυτό είναι το τελευταίο στη σειρά οργάνων μέτρησης για τοπογραφικούς σκοπούς.

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Τα εργοστάσια κατασκευάζουν σήμερα σχεδόν αποκλειστικά ηλεκτρονικά όργανα και κυρίως γεωδαιτικούς σταθμούς. Οι γεωδαιτικοί σταθμοί εξελίσσονται συνεχώς μέχρι σήμερα με προσθήκες και καινοτομίες, όπως μικροεπεξεργαστές και λειτουργικό σύστημα παρόμοιο και συμβατό με αυτά των ηλεκτρονικών υπολογιστών, προγράμματα για εκτέλεση υπολογισμών στο πεδίο, αυτόματη κίνηση του οργάνου με σερβοκινητήρες, αυτόματη αναζήτηση στόχου για μέτρηση, ενσωματωμένη αποθήκευση χιλιάδων σημείων μέτρησης κ.ο.κ.

4.2 Γεωδαιτικά όργανα

4.2.1 Γεωδαιτικός σταθμός (Total Station)

Γενικά

Ο γεωδαιτικός σταθμός είναι ένα ηλεκτρονικό/οπτικό όργανο που χρησιμοποιείται στη σύγχρονη τοπογραφία. Είναι στην ουσία ένας ηλεκτρονικός θεοδόλιχος με ενσωματωμένη τεχνολογία ψηφιακής (ηλεκτρομαγνητικής) μέτρησης αποστάσεων. Μερικά πρότυπα διαθέτουν εσωτερικό δίσκο αποθήκευσης δεδομένων για την καταγραφή αποστάσεων, οριζοντίων και κατακόρυφων γωνιών, ενώ άλλα παρέχουν τη δυνατότητα σύνδεσης με εξωτερικό συλλέκτη πληροφοριών, συνήθως φορητό υπολογιστή.

Οι γωνίες και οι αποστάσεις μετρώνται από τον γεωδαιτικό σταθμό προς οποιοδήποτε υπό παρατήρηση σημείο και, υπολογίζονται οι συντεταγμένες αυτού (ορθογώνιες και υψόμετρο) ως προς τον σταθμό με την χρήση τριγωνομετρίας. Τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν σε υπολογιστή και με κατάλληλα λογισμικά να υποστούν επεξεργασία και να παραχθεί το τελικό αποτέλεσμα (π.χ. ο χάρτης μίας περιοχής).

Τα περισσότερα σύγχρονα όργανα μετρούν γωνίες μέσω ηλεκτρο-οπτικής σάρωσης γραμμοκωδικών, οι οποίοι είναι χαραγμένοι με εξαιρετική ακρίβεια πάνω σε περιστρεφόμενους υάλινους κυλίνδρους ή δίσκους εντός του οργάνου. Οι υψηλής ποιότητας γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν την ικανότητα μέτρησης γωνιών έως και 0.5 τόξου/δευτερόλεπτο, ενώ οι χαμηλής ποιότητας μετρούν από 5 έως 10 τόξα/δευτερόλεπτο.

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

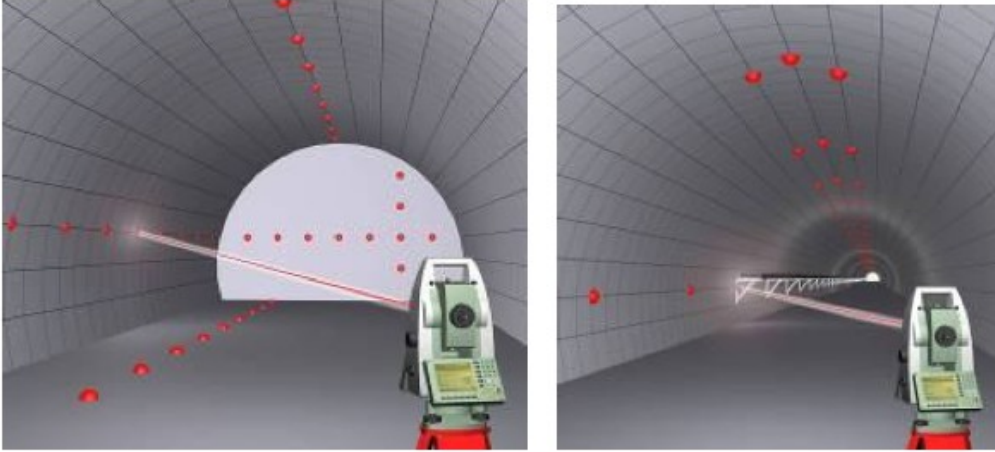
Οι μετρήσεις αποστάσεων πραγματοποιούνται με διαμορφωμένο μικροκύμα ή με υπέρυθρο μεταφορικό σήμα το οποίο ανακλάται από πρίσμα ή άλλο αντικείμενο. Κατόπιν, η διαμορφωμένη διάταξη του επιστρεφόμενου σήματος λαμβάνεται και ερμηνεύεται από το όργανο. Ένα τυπικό όργανο μετρά αποστάσεις με ακρίβεια $1.5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ σε απόσταση έως 1500 m. Μετρήσεις χωρίς ανακλαστήρα (πρίσμα), είναι δυνατό να διεξαχθούν σχεδόν σε οποιαδήποτε ανοιχτόχρωμη επιφάνεια, εντός ολίγων εκατοντάδων μέτρων.

Τέλος, οι αυτόματοι συνολικοί σταθμοί επιτρέπουν στον χειριστή να ελέγχει το όργανο μέσω τηλεχειρισμού. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για επιπλέον προσωπικό, δεδομένου ότι ο χειριστής κρατά τον ανακλαστήρα και ελέγχει τον γεωδαιτικό σταθμό εξ αποστάσεως.

Πεδίο εφαρμογών

Όσο αυξάνεται η κατασκευαστική πολυπλοκότητα, τόσο αυξάνονται και οι ανάγκες για ακόμη πιο εξειδικευμένο εξοπλισμό. Οι γεωδαιτικοί σταθμοί και ειδικότερα οι νέας γενιάς, παρέχουν πληθώρα λειτουργιών μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η σωστή, ακριβής και, κυρίως, γρήγορη περάτωση εργασιών. Στο δεύτερο κεφάλαιο έγινε μία αναφορά στις εργασίες Τοπογράφου Μηχανικού. Στη συνέχεια, περιγράφονται συνοπτικά μερικές εφαρμογές, οι οποίες καθόρισαν σε μεγάλο βαθμό την εξέλιξη των γεωδαιτικών σταθμών.

1. Αυτόματη διάταξη μονών ή πολλαπλών σημείων, σε σχέση με τον άξονα ή με την τυπική διατομή σχεδιασμού της σήραγγας (σχήμα 4.1). Με αυτόν τον τρόπο είναι εύκολη η οριοθέτηση για παράδειγμα, πεζοδρομίων, αγωγών καλωδίων, αποχετεύσεων ή ακόμη και του αγωγού εξαερισμού (σχήμα 4.2).

4. ΓΕΩΛΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Σχήμα 4.1: Σχεδιάγραμμα αυτόματης χάραξης σημείων.



Σχήμα 4.2: Αριστερά: Οριοθέτηση πεζοδρομίων / Δεξιά: Τοποθέτηση αγωγών αερίου.

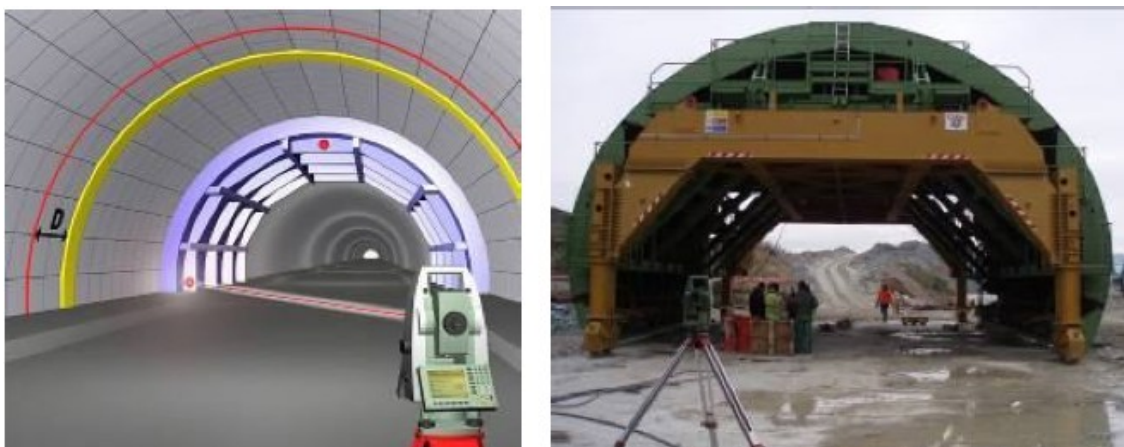
4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

2. Τοποθέτηση μεταλλότυπου ανεστραμμένου τόξου. Κι εδώ επίσης, η τοποθέτηση γίνεται με σκόπευση σημείων σε σχέση με τον άξονα ή την τυπική διατομή του μεταλλότυπου (σχήμα 4.3).



*Σχήμα 4.3: Αριστερά: Σχεδιάγραμμα τοποθέτησης μεταλλότυπου ανεστραμμένου τόξου
Δεξιά: Μεταλλότυπος ανεστραμμένου τόξου.*

3. Τοποθέτηση μεταλλότυπου θόλου και αποστραγγιστικής μεμβράνης (σχήματα 4.4 και 4.5). Η αποστραγγιστική μεμβράνη τοποθετείται για την παρεμπόδιση εισχώρησης υδάτων στην τελική επένδυση.



Σχήμα 4.4: Τοποθέτηση μεταλλότυπου θόλου.

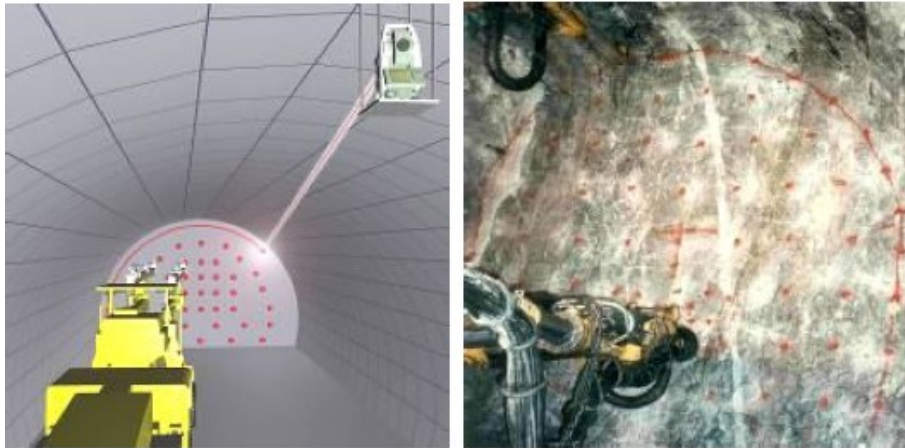
4. ΓΕΩΛΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



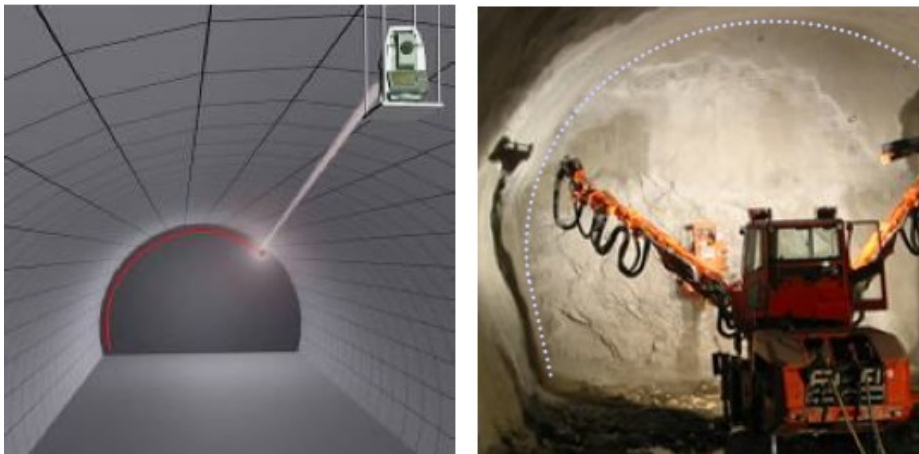
Σχήμα 4.5: Τοποθέτηση αποστραγγιστικής μεμβράνης.

4. Για την καθοδήγηση του διατρητικού στη μέθοδο Drill & Blast, όπου το όργανο είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους:
- α) Με την αυτόματη, χειροκίνητη ή χρονομετρημένη προβολή καννάβου στον καθρέπτη της σήραγγας, ώστε το διατρητικό να τρυπά ακριβώς σύμφωνα με το πρότυπο (σχήμα 4.6).
 - β) Την προβολή της καμπύλης εκσκαφής, ώστε το διατρητικό να τρυπά με πιο τυχαία διάταξη στο μέτωπο, αλλά μέσα από τη γραμμή εκσκαφής (σχήμα 4.7).

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



Σχήμα 4.6: Αυτόματης χάραξη κανάβου διάτρησης.



Σχήμα 4.7: Προβολή καμπύλης εκσκαφής.

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

5. Στη χάραξη των δοκών προπορείας με τη χάραξη των σημείων διάτρησης (σχήμα 4.8 (α)) και τον προσανατολισμό των στελεχών του διατρητικού (σχήμα 4.8 (β)).



Σχήμα 4.8: (α) Χάραξη σημείων διάτρησης / (β) προσανατολισμός στελέχους.

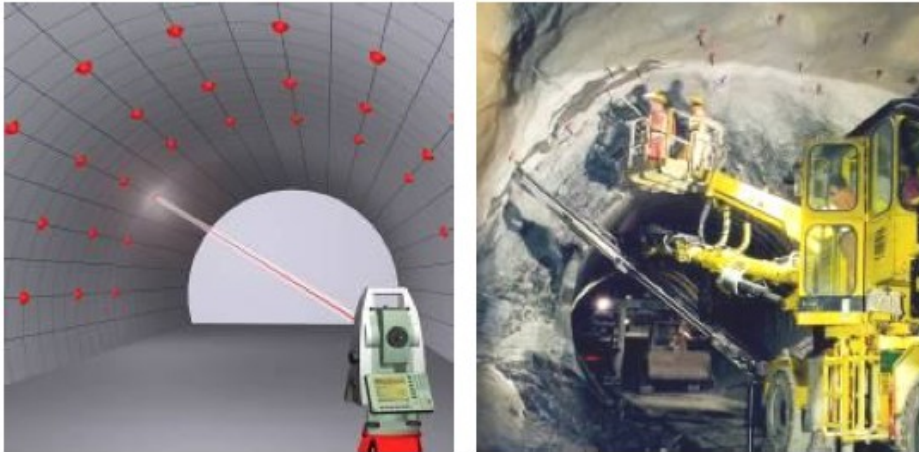
6. Στη χάραξη του άξονα της σήραγγας (σχήμα 4.9). Αυτή η λειτουργία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε σήραγγες κυκλικής διατομής, οι οποίες όμως διανοίγονται με συμβατικές μεθόδους.



Σχήμα 4.9: Χάραξη άξονα σήραγγας.

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

7. Στην αυτόματη χάραξη καννάβου διάτρησης μέτρων άμεσης υποστήριξης, όπως αγκύρια (σχήμα 4.10). Έτσι διασφαλίζεται η απόλυτη εφαρμογή των γεωτεχνικών μελετών και κατά συνέπεια η μέγιστη δυνατή προστασία.



Σχήμα 4.10: Χάραξη καννάβου τοποθέτησης μέτρων υποστήριξης.

8. Τέλος, όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορούν να εφαρμοστούν επίσης και στη διάνοιξη εγκάρσιων διαδρόμων προσπέλασης (σχήμα 4.11).



Σχήμα 4.11: Αριστερά: Σχεδιάγραμμα χάραξης καμπύλης εκσκαφής / Δεξιά: Διάτρηση εγκάρσιου διαδρόμου.

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Το όργανο αυτό διαθέτει σκόπευτρο με δυνατότητα πλήρους περιστροφής επί οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα και μπορεί να επιτύχει μετρήσεις ακρίβειας, μέχρι 3 cc. Ο γεωδαιτικός σταθμός παρέχει πληθώρα λειτουργιών οι οποίες είναι πολύ χρήσιμες, διότι μειώνουν κατά πολύ τον χρόνο των εργασιών, όπως για παράδειγμα η αυτόματη εύρεση της θέσης του οργάνου με σκόπευση από ελεύθερη στάση.

Η οριζοντίωσή του επιτυγχάνεται χονδρικά με αεροστάθμη και τρικόχλιο, ενώ η λεπτομερής διεξάγεται ψηφιακά, αφού το όργανο διαθέτει ευαίσθητο ηλεκτρονικό κλισίμετρο (tilt sensor).

Το όργανο διαθέτει υποδοχή κάρτας μνήμης. Επίσης, το όργανο περιέχει λογισμικό Οδοποιίας με το οποίο καθίσταται δυνατή η χάραξη σημείων, είτε αυτά ανήκουν στον άξονα είτε σε οριογραμμή και κυρίως, ο υψομετρικός καθορισμός τους, αφού το λογισμικό επιδέχεται την εισαγωγή μηκοτομικών, οριζοντιογραφικών και στοιχείων επικλίσεων. Η πιο σημαντική λειτουργία που παρέχει όμως είναι η δυνατότητα μέτρησης χωρίς πρίσμα, αφού έτσι είναι δυνατή η αποτύπωση δυσπρόσιτων σημείων.



Σχήμα 4.12: Ο γεωδαιτικός σταθμός τύπου Leica TCRM 1101 Plus.

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

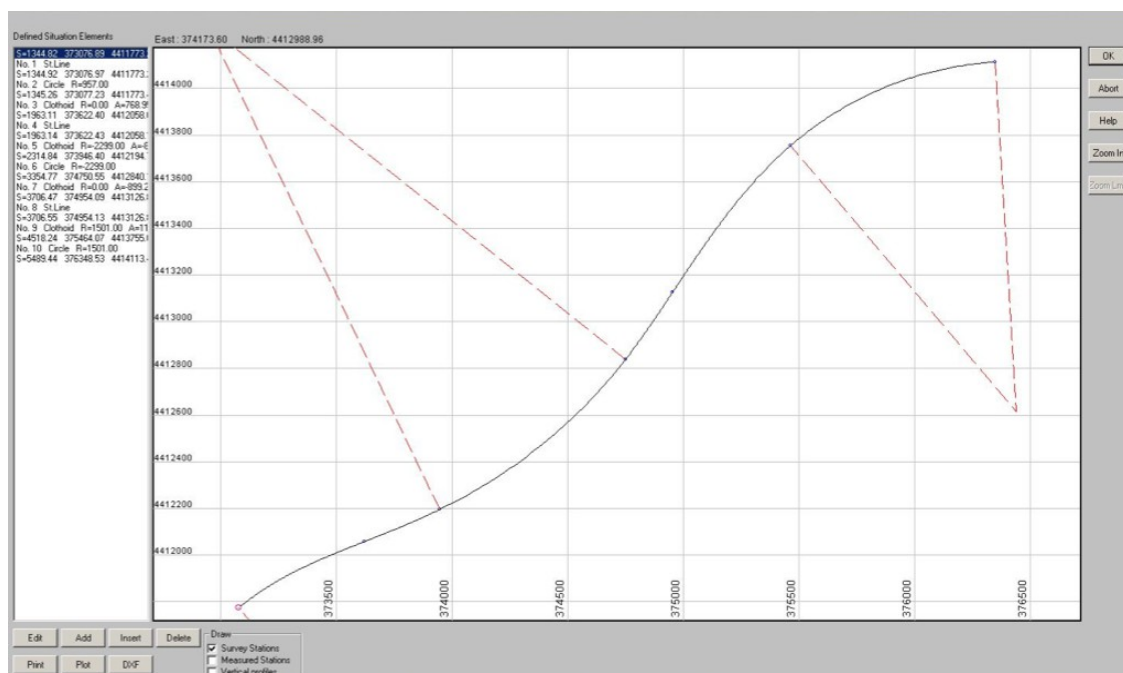
4.2.1.1 Το λογισμικό TMS (Tunnel Measuring System)

Βασικές λειτουργίες

Αφότου παρθούν οι μετρήσεις από το χώρο λήψης των σημείων, για την περαιτέρω διαδικασία, θα πρέπει να μεταφερθούν προς επεξεργασία σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω συμβατού προγράμματος επεξεργασίας δεδομένων του αντίστοιχου τύπου οργάνου.

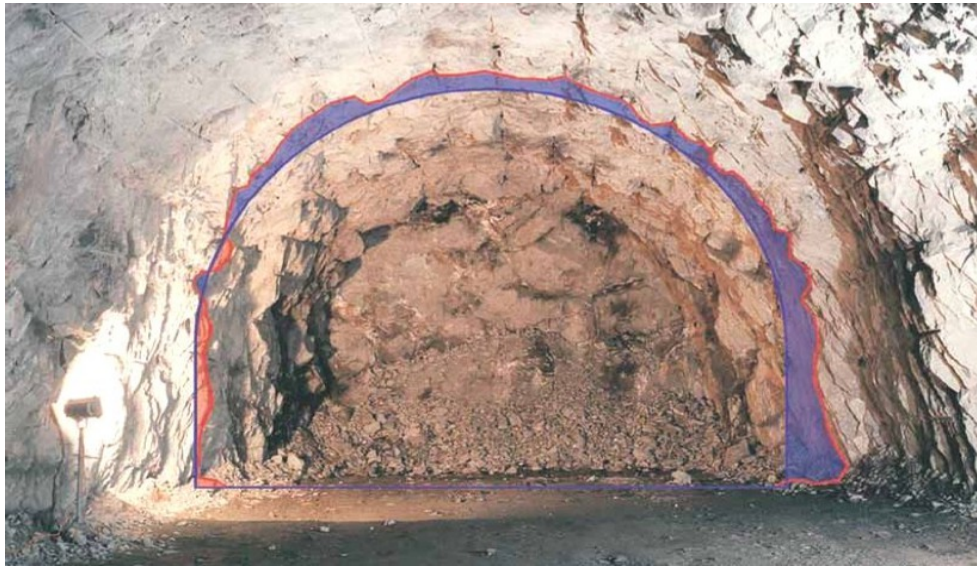
Ένα από τα πιο αξιόπιστα λογισμικά είναι το TMS PROwin της Leica Geosystems, ένα πολυχρηστικό εργαλείο για τον Τοπογράφο Μηχανικό, το οποίο αναπτύχθηκε με γνώμονα την εύκολη και γρήγορη περάτωση πληθώρας εργασιών εντός της σήραγγας. Το λογισμικό παρέχει την δυνατότητα εισαγωγής μηκοτομικών και οριζοντιογραφικών στοιχείων, καθώς και θεωρητικών διατομών (σχήμα 4.13).

Η διαδικασία εισαγωγής δεδομένων περιγράφεται στο παράρτημα. Το βασικότερο προτέρημά του είναι η λήψη διατομών εντός σήραγγας και η δυνατότητα άμεσης εξαγωγής αποτελεσμάτων για την αξιολόγησή τους (σχήμα 4.14).



Σχήμα 4.13: Εισαγωγή στοιχείων οριζοντιογραφίας.

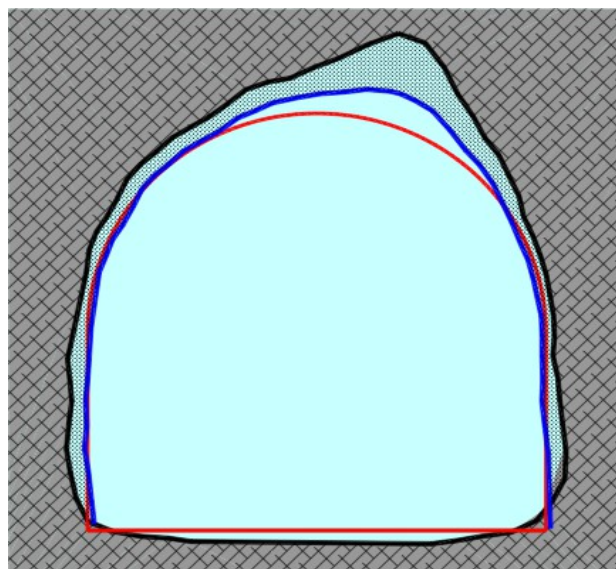
4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



Σχήμα 4.14: Διατομή εκσκαφής σε σύγκριση με την θεωρητική γραμμή.

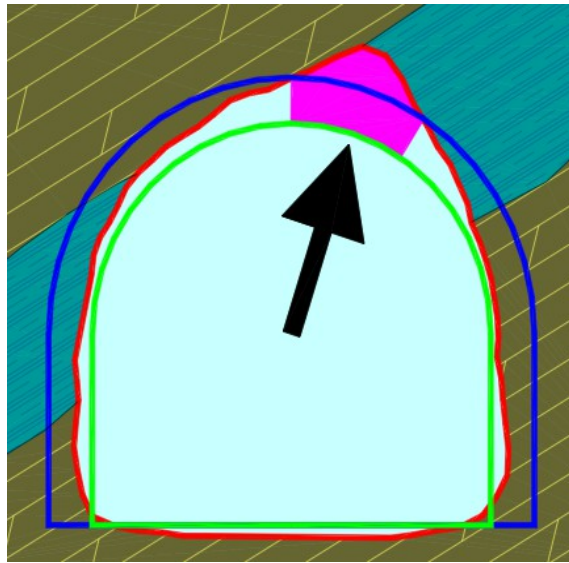
Μερικές από τις λειτουργίες που προσφέρει το λογισμικό TMS PROwin και σχετίζονται άμεσα με τις εργασίες σε σήραγγα είναι οι εξής:

- Άμεσος έλεγχος διατομής εκσκαφής
- Υπολογισμός εμβαδού και όγκου των στρώσεων gunite ή σκυροδέματος (σχήμα 4.15)
- Υπολογισμός γεωλογικών υποεκσκαφών ή υπερεκσκαφών (σχήμα 4.16)
- As built αποτύπωση
- Επιμετρητικές εργασίες



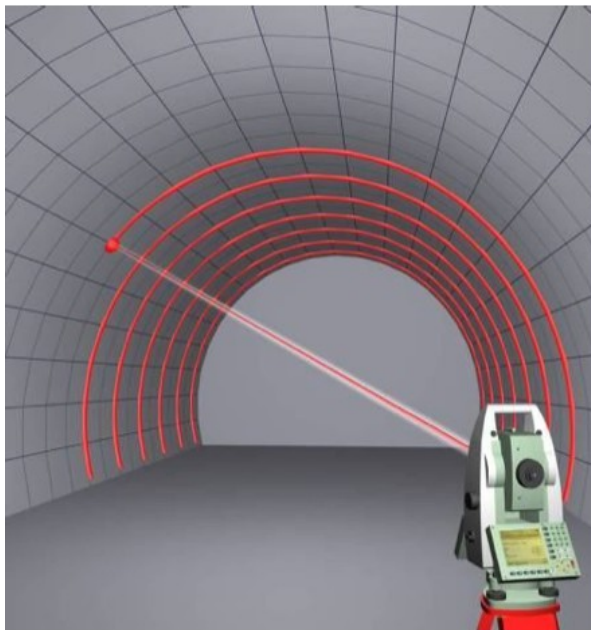
Σχήμα 4.15: Υπολογισμός στρώσης gunite.

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

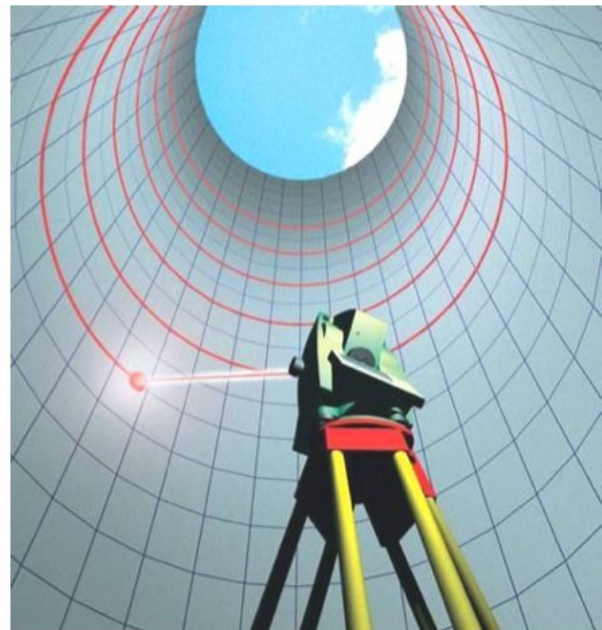


Σχήμα 4.16: Υπολογισμός γεωλογικής υπερεκσαφής.

Με το λογισμικό είναι δυνατή επίσης η αποτύπωση είτε μεμονωμένων σημείων, επιλέγοντας δηλαδή ο χειριστής τα σημεία, είτε πολλαπλών σημείων σε συγκεκριμένες θέσεις, επιλέγοντας την αυτόματη μέθοδο. Οι μετρήσεις διεξάγονται χωρίς πρίσμα αλλά με δεσμίδα laser (σχήμα 4.17 α), ενώ είναι δυνατή η αποτύπωση σε διατομή κάθετη στον άξονα της σήραγγας (σχήμα 4.17 α) καθώς και πλευρική διατομή, παράλληλη δηλαδή με τον άξονα (σχήμα 4.17 β). Η δεύτερη χρησιμοποιείται συνήθως στην αποτύπωση φρεατίων.



(α)



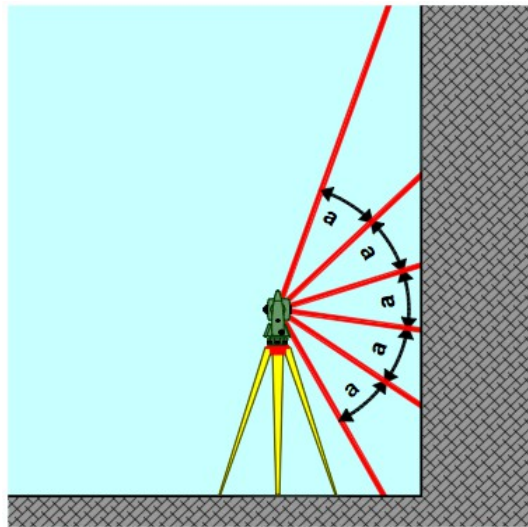
(β)

Σχήμα 4.17: α) Διατομή κάθετη στον άξονα / β) Πλευρική παραλαβή διατομής.

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

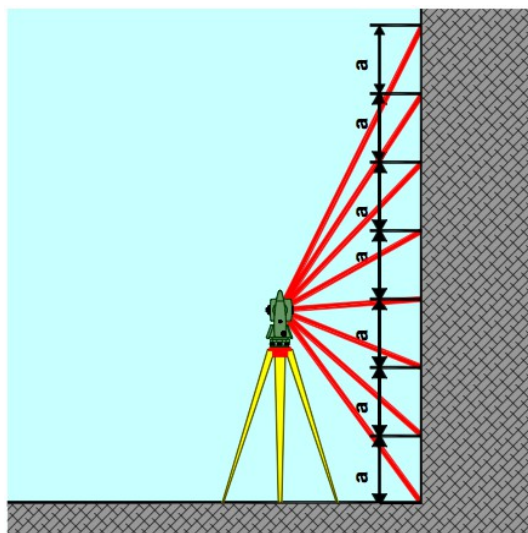
Μερικοί ακόμη τρόποι αποτύπωσης που μπορούν να επιλεγούν είναι οι εξής:

1. Μπορούν να αποτυπωθούν σημεία με βάση τη γωνιακή διάταξη (ή αραιώση), δηλαδή το όργανο μπορεί να στρέφεται κατά μία συγκεκριμένη γωνία κάθε φορά ανάμεσα από την αποτύπωση κάθε σημείου (σχήμα 4.18).



Σχήμα 4.18: α) Διατομή κάθετη στον άξονα / β) Πλευρική παραλαβή διατομής.

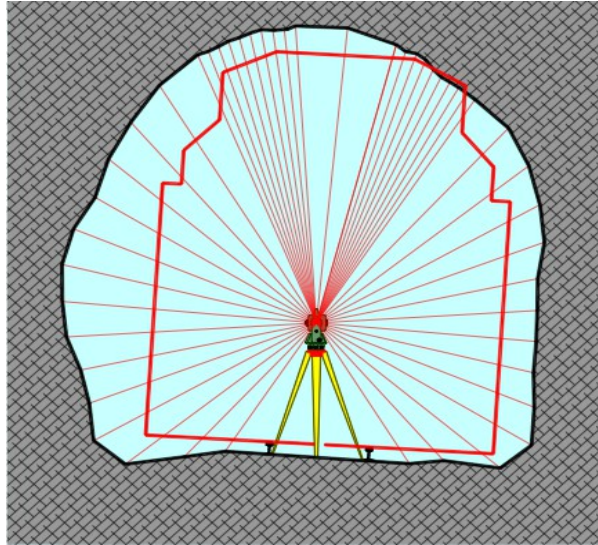
2. Επίσης, πάνω στην ίδια λογική, δύναται να παραληφθούν σημεία με κριτήριο την απόσταση μεταξύ τους. Το όργανο δηλαδή στρέφεται έτσι, ώστε τα αποτυπωθέντα σημεία να ισαπέχουν μεταξύ τους (σχήμα 4.19).



Σχήμα 4.19: α) Διατομή κάθετη στον άξονα / β) Πλευρική παραλαβή διατομής.

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

3. Τέλος, το λογισμικό επιδέχεται την εισαγωγή κάρναβου αποτύπωσης καθώς επίσης και συγκεκριμένων προτύπων αποτύπωσης (συνδυασμό των παραπάνω), όπως φαίνεται στο σχήμα (σχήμα 4.20).



Σχήμα 4.20: α) Διατομή κάθετη στον άξονα / β) Πλευρική παραλαβή διατομής.

Παράμετροι αποτύπωσης

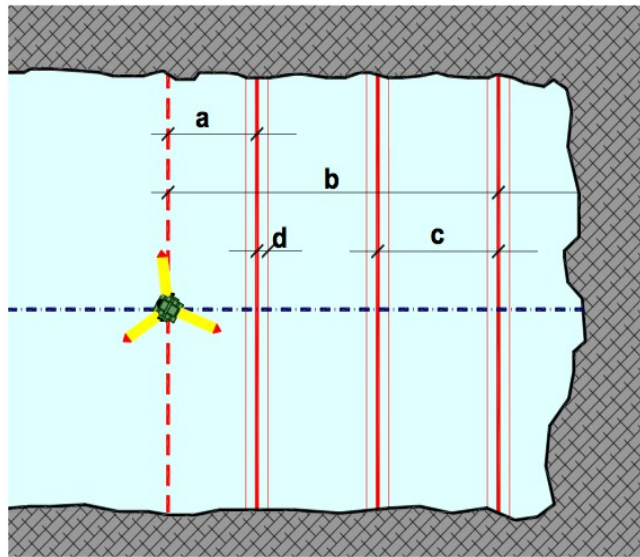
Είναι χαρακτηριστική η ευελιξία με την οποία εισάγονται και ρυθμίζονται οι παράμετροι αποτύπωσης, αφού οι περιορισμοί που υπάρχουν είναι πρακτικά ελάχιστοι.

Στη συνέχεια αναφέρονται οι βασικές παράμετροι και μερικές επιπλέον λειτουργίες, οι οποίες καθιστούν το TMS PROscan αναπόσπαστο εργαλείο του Τοπογράφου Μηχανικού.

1. Η πρώτη διατομή που αποτυπώνεται, δύναται να βρίσκεται είτε σε αρνητική είτε σε θετική χιλιομετρική θέση, σε σχέση με τη θέση του οργάνου (a).
2. Η τελευταία διατομή που αποτυπώνεται, δύναται επίσης να βρίσκεται είτε σε αρνητική είτε σε θετική χιλιομετρική θέση, σε σχέση με τη θέση του οργάνου (b).
3. Είναι δυνατός ο ορισμός της απόστασης (βήμα) μεταξύ των διατομών (c).
4. Μπορεί να επιλεγεί η ανοχή (tolerance), δηλαδή η απόσταση κάθε σημείου από τη θεωρητική χιλιομετρική θέση (d).

Οι τέσσερις παράμετροι που αναφέρθηκαν εικονίζονται στο (σχήμα 4.21).

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



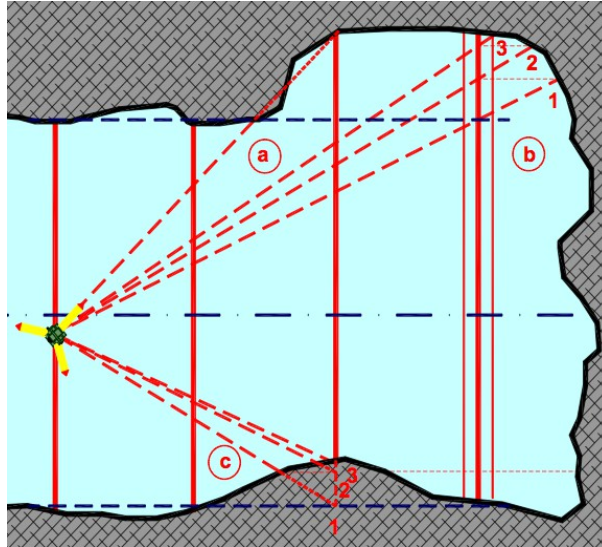
Σχήμα 4.21: Παράμετροι αποτύπωσης.

Επιπροσθέτως των όσων αναφέρθηκαν ανωτέρω και, ειδικότερα σε ό,τι αφορά στις τέσσερις παραμέτρους, το λογισμικό μπορεί επίσης να επιτύχει μεγάλη ακρίβεια σκόπευσης κατά την αποτύπωση. Δηλαδή, κατά την διάρκεια της αποτύπωσης και σε πραγματικό χρόνο, το λογισμικό διεξάγει τις εξής διεργασίες:

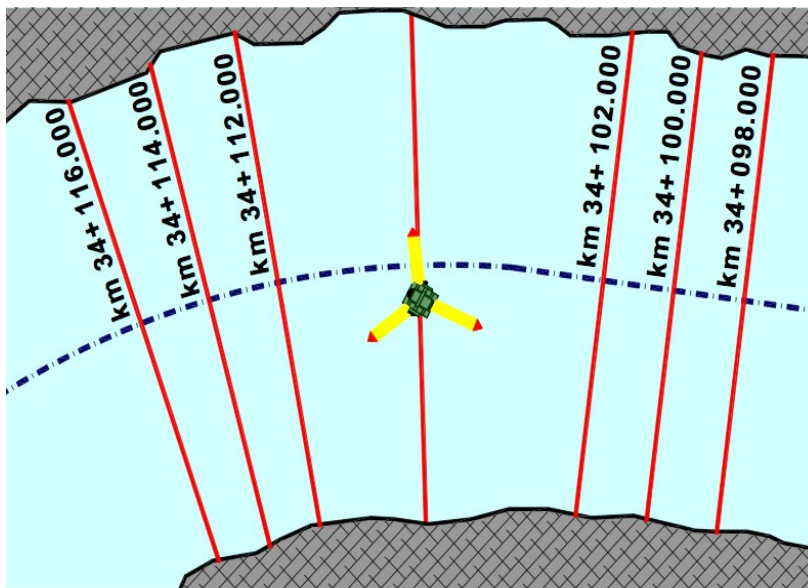
- α) Συστηματικό έλεγχο της ανοχής (tolerance), δηλαδή της απόστασης κάθε σημείου από την θέση της θεωρητικής διατομής
- β) Αυτόματη επανασκόπευση εάν το σημείο υπερβεί το όριο ανοχής.

Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται τυχόν λάθη παραποίησης της πραγματικής εικόνας της διατομής. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 4.22. Επίσης, όλες οι διατομές αποτυπώνονται κάθετες ως προς τον κεντρικό άξονα και σε συγκεκριμένες χλιομετρικές θέσεις (σχήμα 4.23).

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



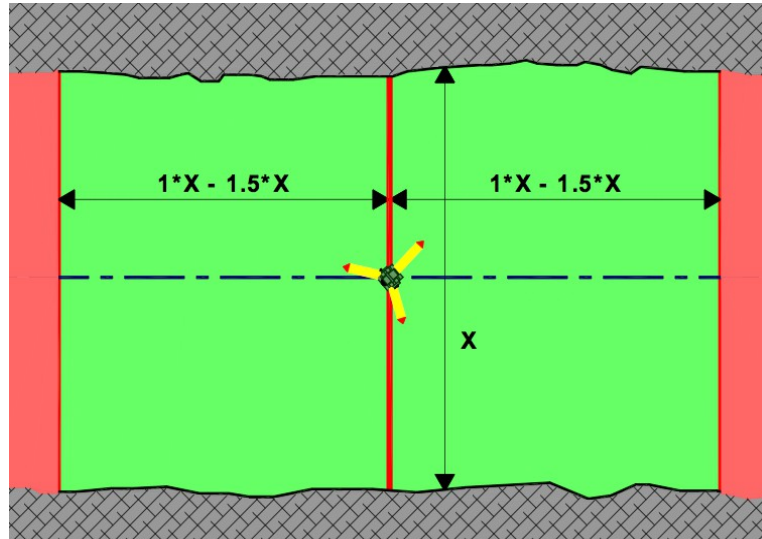
Σχήμα 4.22: Έλεγχος ανοχής κατά την αποτύπωση και επανασκόπευση.



Σχήμα 4.23: Αποτύπωση διατομών σε συγκεκριμένες χιλιομετρικές θέσεις.

Το μοναδικό πιθανότατα μειονέκτημα συνίσταται στο γεγονός ότι όσο απομακρύνεται η διατομή που αποτυπώνεται από την θέση του οργάνου, τόσο μικρότερη ακρίβεια μπορεί να επιτευχθεί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πολλαπλή σκόπευση σημείων, το οποίο συνεπάγεται άσκοπη αύξηση του χρόνου αποτύπωσης. Έτσι, στο σχήμα 4.24 παρουσιάζεται το βέλτιστο εύρος αποτύπωσης διατομών από μία στάση.

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



Σχήμα 4.24: Βέλτιστο εύρος αποτύπωσης.

4.2.1.2 Επεξεργασία των μετρήσεων

Όπως έχει αναφερθεί, κατά την αποτύπωση με αυτή τη μέθοδο, κάθε σημείο που λαμβάνεται είναι μοναδικό αφού έχει μοναδικές καρτεσιανές συντεταγμένες (X, Y, Z) , οι οποίες στη συνέχεια μετατρέπονται με τη βοήθεια λογισμικού που έχει ενσωματωμένο το όργανο σε σχετικές συντεταγμένες, με βάση τον άξονα και τη μηκοτομή της σήραγγας. Έτσι λοιπόν, για κάθε σημείο “ν” $(X_n/Y_n/Z_n)$ μίας διατομής, λαμβάνονται τα αντίστοιχα μεγέθη $\Delta X_n/\Delta Y_n/dsta_n$, όπου:

ΔX_n : η οριζόντια απόσταση του σημείου “ν” από το κέντρο των αξόνων $(0,0)$.

ΔY_n : η κατακόρυφη απόσταση του σημείου “ν” από το κέντρο των αξόνων $(0,0)$.

$dsta_n$: η αύξουσα ή φθίνουσα απόκλιση του σημείου “ν” από τη θεωρητική χιλιομετρική θέση

Το μέγεθος $dsta$ δεν εμπεριέχεται στον υπολογισμό της επιφάνειας, αφού γίνεται η παραδοχή ότι κάθε σημείο προβάλλεται στη χιλιομετρική θέση της διατομής. Εν τούτοις, ο ρόλος της παραμέτρου αυτής είναι ποιοτικός, αφού εξασφαλίζει την εγγύτητα κάθε σημείου στη θεωρητική χιλιομετρική θέση της διατομής.

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Έτσι λοιπόν, για κάθε διατομή προκύπτει ένας πίνακας. Τα στοιχεία που απαρτίζουν τον πίνακα παραλαβής διατομών είναι τα εξής:

- Αρχικά, στο άνω μέρος του πίνακα αναγράφονται ο αύξων αριθμός και η χιλιομετρική θέση της διατομής.
- Στην πρώτη στήλη αναγράφεται ο αύξων αριθμός κάθε αποτυπωμένου σημείου (1,2...25).
- Η δεύτερη στήλη περιέχει τα στοιχεία της χιλιομετρικής θέσης κάθε σημείου.
- Στην τρίτη στήλη αναφέρονται οι αποστάσεις ΔX από το σημείο αναφοράς ενώ,
- Στην τέταρτη στήλη οι αποστάσεις ΔY
- Τέλος, στην τελευταία στήλη περιλαμβάνει την απόκλιση d_{sta} , κάθε σημείου της διατομής από την θεωρητική χιλιομετρική θέση.

4.2.2 Σαρωτής Laser (Laser scanner)

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές laser είναι ένα νέο και αρκετά υποσχόμενο είδος οργάνων. Μπορούν να προσδιορίζουν τις θέσεις σημείων σε τρεις διαστάσεις ως προς ένα τοπικό σύστημα αναφοράς, μετρώντας την απόσταση, την κατακόρυφη και την οριζόντια γωνία προς αυτά. Η λειτουργία τους είναι παρόμοια με αυτή ενός γεωδαιτικού σταθμού, με τη διαφορά ότι απουσιάζει η οπτική διάταξη σκόπευσης αφού η σάρωση διεξάγεται πλήρως αυτοματοποιημένα. Το πλήθος των σημείων που λαμβάνονται σε μία σάρωση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κυρίως όμως από το γωνιακό βήμα με το οποίο οι κινητήρες του οργάνου περιστρέφουν την μετρητική κεφαλή κατά τον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονα, από την ανάλυση του δίσκου κάθε άξονα, καθώς και από το γωνιακό εύρος στο οποίο είναι ικανή να κινηθεί η κεφαλή επί οριζοντίου και καθέτου άξονα. Ο αριθμός των σημείων που μπορεί να μετρήσει ένας σύγχρονος σαρωτής, ξεκινά από μερικές εκατοντάδες χιλιάδες και φτάνει έως μερικά εκατομμύρια σημεία ανά στάση σάρωσης.

Εξαιτίας του μεγάλου όγκου δεδομένων που συλλέγει ο σαρωτής, προκειμένου να γίνει επεξεργασία αυτών, απαιτούνται ιδιαίτερα αυξημένες υπολογιστικές δυνατότητες. Για το λόγο αυτό μόλις τα τελευταία χρόνια έγινε δυνατή η κατασκευή τέτοιων οργάνων, σε συνδυασμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας Η/Υ. Οι κυριότερες εφαρμογές της τεχνολογίας τρισδιάστατης σάρωσης laser σχετίζονται κυρίως με αποτυπώσεις τεχνικών έργων όπως σήραγγες και γέφυρες, μηχανολογικών εγκαταστάσεων, αρχιτεκτονικών μνημείων, εσωτερικών χώρων, ενώ τελευταία έχει εφαρμοστεί επιτυχώς και σε χώρους εγκλημάτων.

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

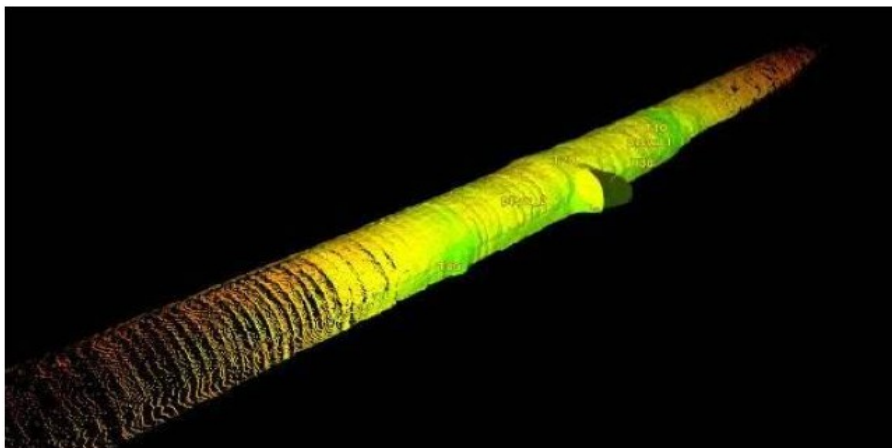
4.2.2.1 Επεξεργασία των μετρήσεων

Όπως και στις προηγούμενες μεθόδους, έτσι κι εδώ, προκειμένου να διεξαχθούν οι μετρήσεις με τον σαρωτή laser, έπρεπε πρώτα το όργανο να προσανατολιστεί, ώστε οι συντεταγμένες του νέφους που ελήφθησαν να είναι κι αυτές ενταγμένες στο ίδιο δίκτυο αναφοράς. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, τοποθετήθηκαν γύρω από την θέση όπου εγκαταστάθηκε το όργανο τρίποδες, στους οποίους εφαρμόστηκαν στόχοι στους οποίους το laser scanner έχει ικανότητα σκόπευσης. Εν συνεχεία, οι στόχοι αυτοί μετρήθηκαν με γεωδαιτικό σταθμό ώστε να δοθούν συντεταγμένες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην πορεία για τον προσανατολισμό του οργάνου εντός της σήραγγας (σχήμα 4.25).

Στο πέρας της διαδικασίας σάρωσης της σήραγγας και μετά την επεξεργασία των δεδομένων στο λογισμικό Cyclone, προέκυψε ένα νέφος σημείων με πυκνότητα 5 cm (σχήματα 4.26, 4.27).

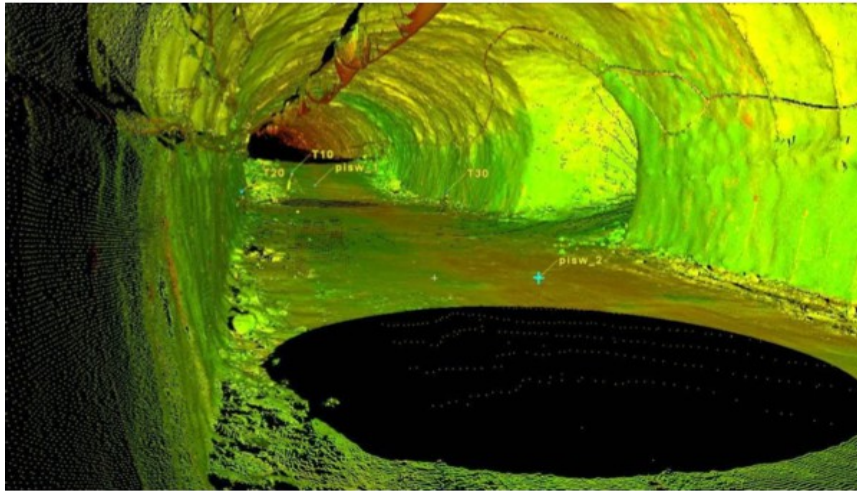


Σχήμα 4.25: Προσανατολισμός επίγειου σαρωτή laser.



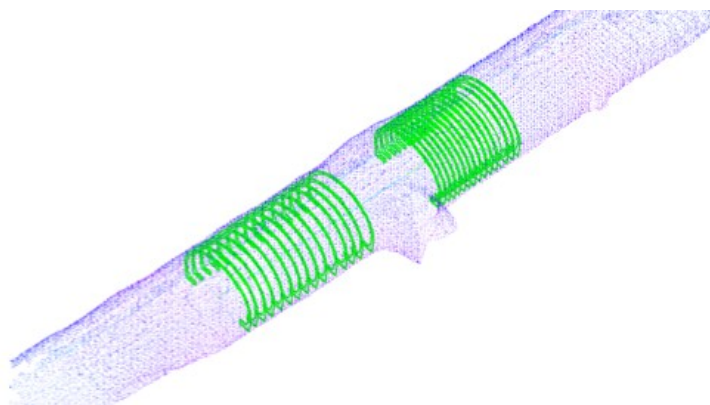
Σχήμα 4.26: Νέφος επίγειου σαρωτή laser.

4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

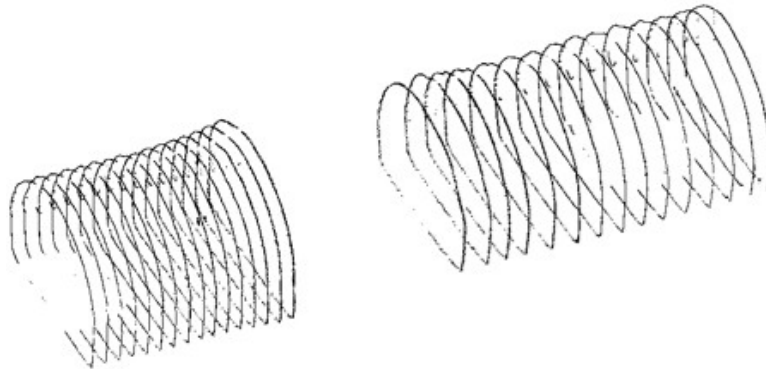


Σχήμα 4.27: Νέφος επίγειου σαρωτή laser.

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω σχήματα, η απόδοση του ανάγλυφου της σήραγγας με την μέθοδο αυτή γίνεται με μεγάλη λεπτομέρεια. Ωστόσο, παρ' όλη την πληθώρα σημείων που είναι διαθέσιμα, δεν είναι δυνατή η εξαγωγή οποιουδήποτε συμπεράσματος. Θα πρέπει λοιπόν, τα σημεία αυτά του νέφους να αναχθούν σε ένα τοπικό σύστημα αναφοράς στο οποίο θα μπορούν να υποστούν επεξεργασία, να αξιολογηθούν και, εν τέλει, να εξαχθούν τα όποια συμπεράσματα. Επίσης, προκειμένου να μειωθεί το πλήθος των σημείων και να καταστεί δυνατή η επεξεργασία τους, το νέφος τμήθηκε με κατακόρυφα επίπεδα εύρους 5 cm στις αντίστοιχες χιλιομετρικές θέσεις των διατομών, βάσει της οριζοντιογραφίας (σχήματα 4.28 και 4.29).



Σχήμα 4.28: Περιοχές εύρους 5cm σε κάθε διατομή.

4. ΓΕΩΛΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Σχήμα 4.29: Περιοχές εύρους 5 cm σε κάθε διατομή (απομάκρυνση νέφους).

Επειδή ο κύριος σκοπός είναι να συγκριθούν οι διατομές της σήραγγας σε συγκεκριμένες θέσεις, πρέπει να γίνει μετασχηματισμός των νέων αυτών περιοχών σε συντεταγμένες του συστήματος αναφοράς των διατομών. Για να γίνει αυτό, το πρώτο βήμα είναι να υπολογισθούν από την οριζοντιογραφία και την μηκοτομή οι συντεταγμένες (X/Y/Z) κάθε διατομής, βάσει της χιλιομετρικής θέσης της.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Βασικά συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια επιγραμματική παράθεση των συμπερασμάτων τα οποία εύλογα μπορούν να διεξαχθούν έπειτα από τη σύγκριση των τριών διαφορετικών μεθόδων αποτύπωσης (Total Station, TMS Profiler, Laser Scanner).

Η σύγκριση αυτή έχει ως κύριο άξονα, ούτως ώστε να παρθούν όσο το δυνατόν πιο στοχευμένα συμπεράσματα, τις εξής παραμέτρους: τον εξοπλισμό, την ποιότητα των μετρήσεων, το κόστος καθώς και τον απαιτούμενο χρόνο.

Συμπεράσματα με βάση τον εξοπλισμό:

- Η εφαρμογή της μεθόδου αποτύπωσης με Total Station προϋποθέτει τη χρήση ενός γεωδαιτικού σταθμού ο οποίος θα λειτουργεί με ενσωματωμένο λογισμικό οδοποιίας και με δυνατότητα μέτρησης χωρίς πρίσμα.
- Η εφαρμογή της μεθόδου με TMS Profiler προϋποθέτει τη χρήση ενός γεωδαιτικού σταθμού τύπου Leica TCRM 1101 με λογισμικό TMS PROwin για τη λήψη και επεξεργασία των δεδομένων.
- Η εφαρμογή της μεθόδου με Laser Scanner προϋποθέτει τη χρήση ενός επίγειου σαρωτή καθώς και το αντίστοιχο λογισμικό επεξεργασίας του νέφους.

Συμπεράσματα με βάση τον χρόνο:

Όσο αφορά τον χρόνο λήψης μίας διατομής καθώς και τον ελάχιστο χρόνο που είναι αναγκαίος για την επεξεργασία των στοιχείων, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις μετά από σύγκριση των τριών προαναφερθέντων μεθόδων.

- Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Total Station για περίπου 30 σημεία, ο αναγκαίος χρόνος ανά διατομή είναι προσεγγιστικά 12 λεπτά ενώ για την επεξεργασία των στοιχείων, είναι περίπου επιπρόσθετα 10 λεπτά ανά διατομή.
- Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο TMS Profiler για μία διατομή με περίπου 60 σημεία απαιτούνται 7 λεπτά ενώ η επεξεργασία αυτών για κάθε διατομή δεν υπερβαίνει τα 5 λεπτά.
- Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Laser scanner για την λήψη των στοιχείων, απαιτείται χρόνος περίπου 30 λεπτών, για το μέγιστο εύρος αποτύπωσης, με κάναβο 5 cm. Για την επεξεργασία των στοιχείων απαιτήθηκε χρόνος περίπου 2 ωρών ανά διατομή.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αξίζει να επισημανθεί πως το ολικό μήκος αποτύπωσης των διατομών με συμβατικές μεθόδους είναι περίπου 39 m, ενώ το μήκος σάρωσης με Laser Scanner είναι περίπου 100 m.

Συμπεράσματα με βάση την ποιότητα των μετρήσεων:

Η ποιότητα των μετρήσεων των προαναφερθέντων μεθόδων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το βαθμό λεπτομέρειας της αποτύπωσης.

Η διαφορά της πρώτης μεθόδου εν συγκρίσει με τις άλλες δύο υπόκειται στην κρίση του παρατηρητή, δηλαδή στον εκάστοτε αριθμό επιλογής σκόπευσης σημείων ενώ στις υπόλοιπες μεθόδους η αποτύπωση γίνεται χωρίς τη συμμετοχή του χειριστή. Έτσι, ο βαθμός λεπτομέρειας της δεύτερης μεθόδου εν αντιθέσει με την πρώτη είναι διπλάσιος (περίπου 60 σημεία), ενώ με τη μέθοδο Laser Scanner ο βαθμός λεπτομέρειας ως προς τα σημεία υπολογίζεται στις 2000 ανά διατομή.

Συμπεράσματα με βάση το κόστος:

- Παρατηρούμε ότι οι μέθοδοι Laser Scanner και TMS Profiler παρουσιάζουν μεταξύ τους αποκλίσεις της τάξεως του 1%, ενώ η μέθοδος Total Station έχει απόκλιση 6%. Όπως διαφαίνεται, για μία σήραγγα μήκους 2000 m οι διακυμάνσεις θα είναι της τάξεως του 1.5 m³ /m. Ως εκ τούτου δημιουργείται μια διαφορά 3000 m³, όπου παίρνοντας ως μέση τιμή σκυροδέματος τα 100 € /m³ δημιουργείται ένα κόστος περίπου 300000 €. Παρατηρούμε λοιπόν πως οι μέθοδοι αποτύπωσης των διατομών συνδέονται άρρηκτα με τα οικονομικά μεγέθη.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**5.2 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα**

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες 5.1 και 5.2, οι οποίοι περιλαμβάνουν επιγραμματικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του εξοπλισμού που απαιτείται και χρησιμοποιείται για κάθε μέθοδο αποτύπωσης.

Πίνακας 5.1: Πλεονεκτήματα μεθόδων.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ		
Total Station	TMS Profiler	Laser Scanner
Χαμηλό κόστος αγοράς	Ανεξάρτητο λογισμικό	Μεγάλη ταχύτητα αποτύπωσης (ελάχιστος χρόνος)
Δυνατότητα χρήσης σε πολλαπλές εργασίες πεδίου	Άμεση αντίληψη της διατομής σε πραγματικό χρόνο	Μέγιστη ακρίβεια
Επίδραση ανθρώπινου παράγοντα (επιλογή σημείων σκόπευσης, παράβλεψη στοιχείων που δεν ανήκουν στην διατομή π.χ. αεραγωγός, καλώδια κλπ)	Εύκολη-άμεση επεξεργασία δεδομένων	Μεγάλος όγκος δεδομένων
		Αξιοπιστία
		Με μία σάρωση παρέχεται δυνατότητα λήψης διατομών σε όποια θέση και όσο πυκνά απαιτείται
		Παρέχει ποιοτική και ποσοτική αναπαράσταση της γεωμετρίας της σήραγγας συμπεριλαμβανομένων τμημάτων με ειδικά χαρακτηριστικά όπως εγκάρσιοι διάδρομοι (by pass)

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**Πίνακας 5.2: Μειονεκτήματα μεθόδων.**

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ		
Total Station	TMS Profiler	Laser Scanner
Επίδραση ανθρώπινου παράγοντα (υποκειμενική σκόπευση σημείων)	Υψηλό σχετικά κόστος αγοράς	Υψηλό κόστος αγοράς
Χρονοβόρο στην αποτύπωση διατομών		Μεγάλος όγκος του εξοπλισμού
		Μεγάλος όγκος δεδομένων απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ
		Μονόπλευρη χρήση – As built σάρωση
		Μεγάλος χρόνος επεξεργασίας δεδομένων

Οδηγούμενοι πάντα από τον τύπο και το φόρτο της εργασίας καθώς και την ποσότητα δεδομένων που απαιτούνται, η καταλληλότητα της εκάστοτε μεθόδου κρίνεται, όπως είναι εμφανές, από την υπερίσχυση των πλεονεκτημάτων συγκριτικά με τα αντίστοιχα των άλλων δύο μεθόδων και με τα μειονεκτήματα της ίδιας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

1. Barry F. Kavanagh, Surveying principles and applications, sixth edition
2. Leica Geosystems, Leica TCRM 1101 User Manual, Version 2.0 En
3. Leica Geosystems, Leica TCRM 1101 Technical Data
4. Leica Geosystems, TPS 1100 Professional Series, System Field Manual, Version 2.0 En
5. Leica Geosystems, Leica TMS PROwin 7.0 User Manual, Version 2.0 En
6. Leica Geosystems, Leica TMS PROoffice User Manual, Version 2.0 En

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Γκίκας, Β., Καραμήτσος, Σ., Κώτσης, Ι. (2007) “Χρήση Τρισδιάστατου Σαρωτή Laser στην Αποτύπωση Διατομών Σηράγγων”, Τεχνικά Χρονικά, Τεύχος 1-2, σ 87-97
2. Λακάκης Κ, Χαλιμούρδας Σ.Π, Σαββαΐδης Π (2007), “Σχεδιασμός, Μεθοδολογία και Λογισμικό Παρακολούθησης Συγκλίσεων Σηράγγων με Μεθόδους Τεχνικής Γεωδαισίας”, Τεχνικά χρονικά, Τεύχος 3, σ 21-32
3. Α. Μπαντέλας, Π. Σαββαΐδης, Ι. Υφαντής, Ι. Δούκας (2007), “Τεχνική Γεωδαισία: Σύγχρονα Μετρητικά Συστήματα Και Πεδία Εφαρμογών”, Εργαστήριο Γεωδαισίας – Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.
4. Κασσιδάκης Δ (2003): Βραχομηχανική και στοιχεία σηράγγων, Εργαστήριο Βραχομηχανικής, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Τ.Ε.Ι. Λάρισας
5. Μπαλοδήμος, Δ.Δ. (1991). Σημειώσεις τεχνικής Γεωδαισίας, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Τομέας Τοπογραφίας, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.
6. Κοντογιάννη, Β. (2001). Γεωδαιτικός έλεγχος σύγκλισης σηράγγων. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.
7. Κοντογιάννη, Β. (2005). Γεωδαιτικός έλεγχος σύγκλισης σηράγγων. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Διαδικτυακές Πηγές

1. *en.wikipedia.org/wiki/Laser_scanning*
2. *www.laserdesign.com/*
3. *https://www.trimble.com*
4. *www.leica-geosystems.com/hds/*
5. *www.laserscanningforum.com/forum/*
6. *en.wikipedia.org/wiki/Tunnel_boring_machine*
7. *https://www.tbmseminars.com/*
8. *www.tbmtraining.com.au*
9. *www.springer.com/medicine/journal/13142*