

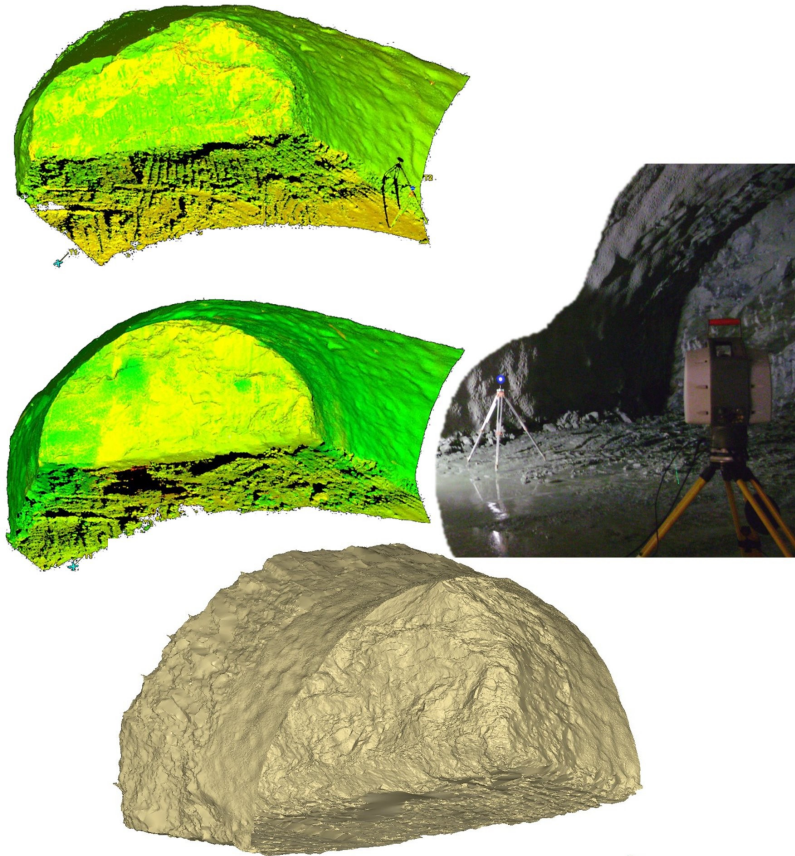


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
“Γεωπληροφορική”

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υπολογισμός της υπερεκσκαφής στο μέτωπο σήραγγας με τη χρήση επίγειου σαρωτή laser – Εφαρμογή στην υπό διάνοιξη σήραγγα Τεμπών Τ1



Επιβλέπων καθηγητής:
Επίκουρος καθηγητής της σχολής ΑΤΜ ΕΜΠ, Βασίλειος Γκίκας

Βασίλειος Ν. Αποστολόπουλος
Διπλωματούχος Μηχανικός Μεταλλείων – Μεταλλουργός ΕΜΠ

Αθήνα
Ιούνιος 2010

Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω το κ. Βασίλειο Γκίκα για τη θερμή συνεργασία και υποστήριξή του σε μένα. Οι υποδείξεις και συμβουλές του ήταν πραγματικά πολύτιμες για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το φίλο Λευτέρη Καντιάνη, τοπογράφο μηχανικό της ΑΘΗΝΑ Α.Τ.Ε. στη σήραγγα Τεμπών Τ1. Η βοήθειά του ήταν απλόχερη και αληθινή και ευελπιστώ κάποτε να του την ανταποδώσω.

Επιπλέον, θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στο κ. Ξυγκογεωργόπουλο Γεώργιο, εργοταξίαρχη της ΑΘΗΝΑ Α.Τ.Ε., που με δέχθηκε στο εργοτάξιο απροβλημάτιστα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω για μια ακόμη φορά την οικογένειά μου που μου συμπαραστέκεται στις όποιες αποφάσεις παίρνω. Σε αυτούς αφιερώνω και το παρόν σύγγραμμα, θέλοντας να τους εκφράσω την αγάπη και την ευγνωμοσύνη μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι σήραγγες που διανοίγονται εκτός αστικού περιβάλλοντος γίνονται στις περισσότερες περιπτώσεις με τη μέθοδο της διάτρησης – ανατίναξης (drill and blast). Αυτή η μέθοδος εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα σε τέτοιου είδους έργα, όπως και ένα βασικό μειονέκτημα, που είναι η δημιουργία υπερεκσκαφών στη διατομή της σήραγγας. Πραγματοποιείται, δηλαδή, μεγαλύτερη εκσκαφή περιμετρικά της διατομής από αυτήν που απαιτείται από τη μελέτη της σήραγγας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία υπολογίστηκε σε πραγματική σήραγγα το μέγεθος της υπερεκσκαφής στο μέτωπό της με τη χρήση επίγειου σαρωτή laser. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο επίγειος σαρωτής laser ScanStation2 στην υπό διάνοιξη σήραγγα Τεμπών T1. Πραγματοποιήθηκαν καταγραφές στο μέτωπο της σήραγγας σε δύο διαφορετικές φάσεις. Αρχικά στη φάση που έχει γίνει η ανατίναξη στο μέτωπο, έχουν απομακρυνθεί τα στείρα υλικά και το μέτωπο είναι ανυποστήρικτο και σε δεύτερη φάση όταν έχει τοποθετηθεί η πρώτη στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (gunite) σε αυτό. Επίσης, καταγράφηκε ένα μέρος της σήραγγας αρκετά πίσω από το μέτωπο αυτής.

Επισημαίνεται ότι δεν συνηθίζεται η χρήση επίγειου σαρωτή laser σε σήραγγες. Έτσι, εκτιμήθηκε η χρησιμότητα και αποτελεσματικότητα αυτού, όπως επίσης και της συνολικής μεθόδου. Επιπλέον, αποτελεί τη μοναδική μέθοδο που μπορεί να καταγράψει με ακρίβεια τη πραγματική εκσκαφή στο μέτωπο και τον ακριβή υπολογισμό της.

ABSTRACT

The most common method used in non-urban areas to construct a tunnel is the “drill and blast” method. This method offers numerous advantages in such constructions, but also has one important disadvantage; the creation of over-break at the tunnel cross section. In other words, the tunnel is excavated with a cross section perimeter bigger than the one originally planned.

In this diploma-thesis, the size of over-break was calculated in an actual tunnel's face, using the terrestrial laser scanner ScanStation2. This terrestrial laser scanner was used in the T1 road tunnel which is under construction at the location of Tempi (near Larissa). The tunnel's face was measured two times in two different (construction) phases. The first phase was at the tunnel's face just after the blast, the removal of the dredging spoil and before supporting the tunnel's face. The second phase was after the application of the first layer of shotcrete (gunitite). Furthermore, a part of tunnel far behind the tunnel's face was also measured.

It should be pointed out that a terrestrial laser scanner is not commonly used inside a tunnel to measure the tunnel's face. In this diploma-thesis, the methodology's capacity to provide useful conclusions was evaluated. This methodology is the only one that can measure with extreme precision the actual excavation at the tunnel's face and to accurately calculate further quantities.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος σχημάτων.....	8
Κατάλογος πινάκων.....	12
Πρόλογος – Εισαγωγή.....	13
1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΟΔΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ.....	15
1.1 Γενικά.....	15
1.2 Μέθοδος NATM.....	15
1.2.1 Μεθοδολογία κατασκευής.....	16
1.2.2 Πλεονεκτήματα της μεθόδου NATM.....	18
1.3 Μέθοδος Διάτρησης – Ανατίναξης (Drill and Blast).....	18
2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΗΨΗΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ.....	22
2.1 Βασικές αρχές.....	22
2.2 Εργασίες πεδίου.....	24
2.3 Φάσεις αποτύπωσης διατομών σηράγγων.....	26
2.4 Υπολογισμοί Εμβαδών – Όγκων.....	29
2.4.1 Εμβαδά.....	29
2.4.2 Όγκοι.....	30
3 ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER – ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	31
3.1 Αρχή μέτρησης με laser.....	31
3.1.1 Laser.....	32
3.1.2 Ιδιότητες laser.....	33
3.1.3 Τύποι laser.....	33
3.2 Μέθοδοι μέτρησης με laser.....	35
3.2.1 Μέθοδος time-of-flight.....	35
3.2.2 Μέθοδος τριγωνισμού.....	38
3.3 Σαρωτής laser.....	40
3.3.1 Λειτουργία.....	40
3.3.2 Μέρη συστήματος.....	43
3.4 Ανάλυση των σαρωτών.....	45
3.4.1 Μέγεθος της κηλίδας του laser.....	46
3.4.2 Δειγματοληψία σάρωσης.....	47

3.5 Κατηγοριοποίηση σαρωτών laser.....	47
3.6 Λογισμικό της 3D σάρωσης.....	49
4 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	50
4.1 Βασικά χαρακτηριστικά του έργου.....	50
4.1.1 Επωνυμία του έργου.....	50
4.1.2 Γεωγραφική θέση – Διοικητική υπαγωγή.....	50
4.1.3 Σκοπιμότητα του έργου.....	51
4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά της σήραγγας.....	52
4.2.1 Γενικά.....	52
4.2.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά αξόνων.....	53
4.2.3 Γεωμετρία διατομών.....	60
4.2.4 Γεωλογικές συνθήκες σήραγγας.....	62
4.2.4.1 Εισαγωγή.....	62
4.2.4.2 Μορφολογία της περιοχής διέλευσης.....	63
4.2.4.3 Γεωλογικές συνθήκες – Στρωματογραφία.....	63
5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ.....	66
5.1 Γενικές πληροφορίες για την περιοχή μελέτης.....	66
5.2 Ο επίγειος σαρωτής laser ScanStation 2.....	69
5.2.1 Γενικά.....	69
5.2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	70
5.3 Η διαδικασία της καταγραφής του μετώπου με τη χρήση του σαρωτή laser.....	73
5.3.1 Παρουσίαση των νεφών από τις καταγραφές.....	75
5.4 Συμπληρωματική αποτύπωση μέρους της σήραγγας.....	79
6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	85
6.1 Σύνοψη δεδομένων καταγραφής – πρωτογενής πληροφορία.....	85
6.2 Γεωαναφορά της θέσης του επίγειου σαρωτή laser.....	86
6.3 Επισκόπηση και διαχείριση των νεφών σημείων	89
6.4 Εισαγωγή του άξονα της σήραγγας στην περιοχή αποτύπωσης.....	91
6.5 Εξαγωγή διατομών από το νέφος σημείων.....	93
6.5.1 Σχεδίαση άξονα σήραγγας σε περιβάλλον Autocad.....	93
6.5.2 Επίθεση της τυπικής διατομής πάνω στον άξονα.....	94
6.5.3 Εξαγωγή διατομών από το νέφος με τη βοήθεια του λογισμικού Cloudworx.....	96

6.6 Υπολογισμός εμβαδού στις διατομές.....	98
7 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	100
7.1 Χρήση 3D λογισμικού για την παραγωγή μοντέλου επιφανείας.....	108
8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	112
8.1 Γενικά.....	112
8.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της χρήσης επίγειου σαρωτή laser για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.....	112
8.3 Συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν.....	113
8.4 Προτάσεις.....	114
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	116
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	118

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1.1: Παράδειγμα τοποθέτησης διατρημάτων και σειρά έναυσής τους.....	19
Σχήμα 1.2: Όρυξη διατρημάτων με τη χρήση διατρητικού jumbo drill (με διπλή “μπούμα”).	19
Σχήμα 1.3: Παραδείγματα εκρηκτικών υλών που χρησιμοποιούνται για γόμωση.....	20
Σχήμα 1.4: Η στιγμή της ανατίναξης.....	20
Σχήμα 1.5: Απομάκρυνση των αδρανών υλικών.....	21
Σχήμα 1.6: Τα στάδια της μεθόδου διάτρησης – ανατίναξης και η αλληλουχία τους.....	21
Σχήμα 2.1: Λεπτομέρεια διατομής.....	23
Σχήμα 2.2: Διατομή που περιλαμβάνει δύο διαφορετικές ακτίνες και ευθείες γραμμές.....	24
Σχήμα 2.3: Αποτύπωση της πραγματικής εκσκαφής (γαλάζιο χρώμα) σε σύγκριση με τη τυπική γραμμή εκσκαφής (κόκκινο χρώμα).....	27
Σχήμα 2.4: Αποτύπωση της διατομής εκτοξευόμενου σκυροδέματος (γαλάζιο χρώμα) σε σύγκριση με τη τυπική διατομή (κόκκινο χρώμα).....	28
Σχήμα 3.1: Διάταξη ενός laser.....	32
Σχήμα 3.2: Η αρχή της μεθόδου του τριγωνισμού.....	39
Σχήμα 3.3: Το στιγμιαίο οπτικό πεδίο (IFOV) και το οπτικό πεδίο (FOV) για τη μέτρηση τρισδιάστατων καρτεσιανών συντεταγμένων του αντικειμένου.....	41
Σχήμα 3.4: Περιστρεφόμενο κάτοπτρο.....	41
Σχήμα 3.5: Ταλαντούμενο κάτοπτρο.....	42
Σχήμα 3.6: Πολυγωνικό κάτοπτρο.....	42
Σχήμα 3.7: Σχήματα σάρωσης.....	42
Σχήμα 3.8: Βασικά μέρη ενός σαρωτή laser.....	44
Σχήμα 3.9: Σαρωτής laser με ενσωματωμένη τροφοδοσία και σύστημα ελέγχου – καταγραφής (ScanStation C10).....	44
Σχήμα 3.10: Αποτύπωμα της δέσμης laser στα 5m, 35m, 55m.....	46
Σχήμα 3.11: Πορεία της δέσμης κατά τη σάρωση.....	48
Σχήμα 3.12: Απεικόνιση του νέφους σύμφωνα με την ανακλαστικότητα (πάνω) και τη φωτογραφία του σαρωτή (κάτω).....	49
Σχήμα 4.1: Η θέση του έργου – Χάρτης προσανατολισμού.....	51
Σχήμα 4.2: Πορεία παραλλαγής από την ανοικτή οδοποιία στη σήραγγα T1.....	53
Σχήμα 4.3: Οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών.....	55
Σχήμα 4.4: Οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών (αεροφωτογραφία).....	56

Σχήμα 4.5: Μηκοτομή αριστερού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπών.....	59
Σχήμα 4.6: Μηκοτομή δεξιού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπών.....	59
Σχήμα 4.7: Τυπικές διατομές που χρησιμοποιούνται στη σήραγγα T1.....	61
Σχήμα 4.8: Τυπική διατομή τελικής επένδυσης.....	62
Σχήμα 4.9: Λεπτομέρεια τυπικής διατομής τελικής επένδυσης.....	62
Σχήμα 4.10: Γεωλογική οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών.....	64
Σχήμα 4.11: Γεωλογική μηκοτομή αριστερού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπών.....	65
Σχήμα 4.12: Γεωλογική μηκοτομή δεξιού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπών.....	65
Σχήμα 5.1: Περιοχή αποτύπωσης διατομών.....	67
Σχήμα 5.2: Οι γεωλογικοί σχηματισμοί στο μέτωπο (μηκοτομή).....	68
Σχήμα 5.3: Οι γεωλογικοί σχηματισμοί στο μέτωπο (οριζοντιογραφία).....	68
Σχήμα 5.4: Τυπική διατομή 4A.....	69
Σχήμα 5.5: Ο σαρωτής ScanStation 2.....	70
Σχήμα 5.6: Το πεδίο που σαρώνει ο σαρωτής ScanStation 2.....	71
Σχήμα 5.7: Τα βασικά μέρη του σαρωτή ScanStation 2.....	72
Σχήμα 5.8: Ειδικός στόχος σάρωσης.....	72
Σχήμα 5.9: Αποκομιδή των υλικών της ανατίναξης από το μέτωπο της σήραγγας.....	74
Σχήμα 5.10: Ο σαρωτής κατάλληλα στημένος πριν τη καταγραφή. Στο βάθος διακρίνεται ένας ειδικός στόχος και το μέτωπο (δεξιά).....	74
Σχήμα 5.11: Τα νέφη σημείων στην 1η (πάνω) και στη 2η καταγραφή (κάτω) απεικονισμένα σύμφωνα με την ανακλαστικότητα - Πρόοψη.....	76
Σχήμα 5.12: Τα νέφη σημείων στην 1η (πάνω) και στη 2η καταγραφή (κάτω) απεικονισμένα σύμφωνα με τη φωτογραφία του σαρωτή - Πρόοψη.....	77
Σχήμα 5.13: Η διαταραγμένη περιοχή κοντά στο μέτωπο λόγω της τελευταίας ανατίναξης (από 1η καταγραφή).....	78
Σχήμα 5.14: Η διαταραγμένη περιοχή όπως φαίνεται μετά τη τοποθέτηση μίας στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος (από 2η καταγραφή).....	78
Σχήμα 5.15: Απεικόνιση του μετώπου από τη μεριά που η σήραγγα δεν έχει ακόμα διανοιχθεί – Πίσω όψη.....	79
Σχήμα 5.16: Οι θέσεις του σαρωτή και οι ειδικοί στόχοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη γεωαναφορά σε κάθε θέση (περικλείονται σε πολύγωνο χρώματος magenta).....	80
Σχήμα 5.17: Η περιοχή της σάρωσης. Ο σαρωτής είναι τοποθετημένος στην 1η θέση και	

διακρίνονται δύο από τους ειδικούς στόχους και η συνδετήρια σήραγγα.....	81
Σχήμα 5.18: Το συνολικό νέφος σημείων όπως φαίνεται εξωτερικά (απεικονισμένο σύμφωνα με την ανακλαστικότητα του).....	82
Σχήμα 5.19: Το συνολικό νέφος σημείων όπως φαίνεται εσωτερικά απεικονισμένο σύμφωνα με την ανακλαστικότητα (πάνω) και τη φωτογραφία του σαρωτή (κάτω).....	82
Σχήμα 5.20: Διατομές πλάτους 5 εκατοστών του συνολικού νέφους.....	83
Σχήμα 5.21: Διατομές πλάτους 5 εκατοστών (απομάκρυνση νέφους).....	83
Σχήμα 5.22: Η τυπική διατομή και το νέφος σημείων που την περιβάλλει εξωτερικά.....	84
Σχήμα 6.1: Χρήση τεσσάρων στόχων για τον υπολογισμό της θέσης του σαρωτή και το σφάλμα υπολογισμού (1η καταγραφή).....	87
Σχήμα 6.2: Χρήση τριών στόχων για τον υπολογισμό της θέσης του σαρωτή και το σφάλμα υπολογισμού (1η καταγραφή).....	87
Σχήμα 6.3: Χρήση τεσσάρων στόχων για τον υπολογισμό της θέσης του σαρωτή και το σφάλμα υπολογισμού (2η καταγραφή).....	88
Σχήμα 6.4: Χρήση τριών στόχων για τον υπολογισμό της θέσης του σαρωτή και το σφάλμα υπολογισμού (2η καταγραφή).....	88
Σχήμα 6.5: Οι σχετικές θέσεις σαρωτή laser, ειδικών στόχων και μετώπου σε κάτοψη.....	89
Σχήμα 6.6: Το νέφος σημείων στην 1η καταγραφή απεικονισμένο σύμφωνα με την ανακλαστικότητα	90
Σχήμα 6.7: Το νέφος σημείων στην 1η καταγραφή απεικονισμένο σύμφωνα με τη φωτογραφία του σαρωτή.....	90
Σχήμα 6.8: Τα όρια της “διαταραγμένης” περιοχής όπως διακρίνονται στο νέφος.....	91
Σχήμα 6.9: Η οριζοντιογραφία, τα όρια της διαταραγμένης περιοχής και οι θέσεις λήψης διατομών.....	92
Σχήμα 6.10: Όρια εκσκαφής της τυπικής διατομής 4A και η θέση του άξονα σήραγγας.....	94
Σχήμα 6.11: Η τυπική διατομή τοποθετημένη κατάλληλα σύμφωνα με τον άξονα της σήραγγας στο Autocad (με πράσινο τα σημεία του άξονα, μπλε τα σημεία 6,9 μ. αριστερά από αυτόν).....	96
Σχήμα 6.12: Το νέφος σημείων (στην 1η καταγραφή) και η τυπική διατομή (με χρώμα magenta) όπως απεικονίζονται με τη βοήθεια του Cloudworx.....	97
Σχήμα 6.13: Αποκοπή φέτας πάχους 5 εκατοστών από το νέφος στη θέση 5 (1η καταγραφή). (Η τυπική διατομή είναι με χρώμα magenta και εξωτερικά από αυτήν είναι το νέφος).....	98

Σχήμα 6.14: Η Spline (γαλάζιο χρώμα) σχεδιασμένη στη θέση 5 (1η καταγραφή) για τον υπολογισμό του εμβαδού της υπερεκσκαφής (στην περίπτωση αυτή είναι +5,46%).....	99
Σχήμα 7.1: Το νέφος σημείων στην 1η καταγραφή κομμένο σε 19 διατομές (φέτες πάχους 5 cm) σε κάτοψη.....	101
Σχήμα 7.2: Το νέφος σημείων στη 2η καταγραφή κομμένο σε 19 διατομές (φέτες πάχους 5 cm) σε κάτοψη.....	101
Σχήμα 7.3: Οι 19 διατομές από την πρώτη καταγραφή σε όψη προς το μέτωπο της σήραγγας	102
Σχήμα 7.4: Οι 19 διατομές από τη δεύτερη καταγραφή σε όψη προς το μέτωπο της σήραγγας	102
Σχήμα 7.5: Οι πραγματικές γραμμές εκσκαφής όπως σχεδιάστηκαν για την 1η καταγραφή. 104	
Σχήμα 7.6: Οι πραγματικές γραμμές εκσκαφής όπως σχεδιάστηκαν για τη 2η καταγραφή. 104	
Σχήμα 7.7: Η διατομή 4A και οι πραγματικές γραμμές εκσκαφής που την περιβάλλουν (1η καταγραφή).....	105
Σχήμα 7.8: Η 3D επιφάνεια όπως παράχθηκε από το λογισμικό για την 1η καταγραφή.....	109
Σχήμα 7.9: Η 3D επιφάνεια όπως παράχθηκε από το λογισμικό για τη 2η καταγραφή.....	110
Σχήμα 7.10: Σύγκριση της εξομάλυνσης μεταξύ των δύο καταγραφών.....	110
Σχήμα 7.11: Το μέτωπο της σήραγγας όπως φαίνεται από μπροστά (1η καταγραφή).....	110
Σχήμα 7.12: Το 1 m. πλάτους νέφος σημείων (εξωτερικά) και η τυπική διατομή (εσωτερικά) που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση ογκομετρήσεων.....	111

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Οριζοντιογραφικά στοιχεία για τον αριστερό και δεξιό κλάδο.....	57
Πίνακας 2: Στοιχεία μηκοτομής για τον αριστερό και δεξιό κλάδο.....	60
Πίνακας 3: Οι συντεταγμένες των ειδικών στόχων στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87 (1η καταγραφή).....	86
Πίνακας 4: Οι συντεταγμένες των ειδικών στόχων στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87 (2η καταγραφή).....	87
Πίνακας 5: Οι συντεταγμένες στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87 των σημείων πάνω στον άξονα της σήραγγας.....	93
Πίνακας 6: Οι συντεταγμένες στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87 των σημείων 6,9 m αριστερά από τον άξονα της σήραγγας.....	95
Πίνακας 7: Οι συντεταγμένες των σημείων στον άξονα της σήραγγας στις θέσεις που λήφθηκαν διατομές.....	100
Πίνακας 8: Το εμβαδόν της πραγματικής γραμμής εκσκαφής για τις διατομές και η διαφορά του από τη τυπική διατομή 4A (1η καταγραφή).....	106
Πίνακας 9: Το εμβαδόν της πραγματικής γραμμής εκσκαφής για τις διατομές και η διαφορά του από τη τυπική διατομή 4A (2η καταγραφή).....	107
Πίνακας 10: Η διαφορά εμβαδού μεταξύ των δύο καταγραφών και το ποσοστό μείωσής της.....	108

Πρόλογος – Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να μετρηθεί και να υπολογιστεί το μέτρο της υπερεκσκαφής στο μέτωπο της σήραγγας. Δηλαδή της ποσότητας, περιμετρικά της διατομής της σήραγγας, που έχει διανοιχθεί περισσότερο από αυτήν που προτείνεται στη Τεχνική Μελέτη Διάνοιξης – Εκσκαφής της σήραγγας. Ουσιαστικά, είναι η διαφορά της πραγματικής τελικής γραμμής εκσκαφής που προέκυψε μετά το στάδιο της διάτρησης – ανατίναξης (με χρήση εκρηκτικών υλών) και της γραμμής εκσκαφής που προτείνεται για τη συγκεκριμένη θέση με την εφαρμογή συγκεκριμένης τυπικής διατομής (με γνωστά όρια εκσκαφής, γεωμετρία, μέτρα υποστήριξης).

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε επίγειος σαρωτής laser με σκοπό να διερευνηθεί η χρησιμότητα και αποδοτικότητά του εντός σηράγγων. Οι επίγειοι σαρωτές laser έχουν αρχίσει τη τελευταία δεκαετία μόνο και χρησιμοποιούνται σε τοπογραφικές εφαρμογές. Γι' αυτό το λόγο και δεν ενδείκνυται η χρήση τους σε σήραγγα, καθώς και δεν παρέχονται διευκολύνσεις για το σκοπό αυτό. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο επίγειος σαρωτής laser ScanStation2 της Leica Geosystems σε πραγματική υπό διάνοιξη σήραγγα, την σήραγγα Τεμπών T1.

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής:

Στο 1ο κεφάλαιο αναφέρονται δύο πολύ γνωστές μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων που χρησιμοποιούνται κυρίως για τη διάνοιξη οδικών σηράγγων μικρού μήκους εκτός αστικού περιβάλλοντος. Αυτές είναι η μέθοδος NATM και η μέθοδος διάτρησης – ανατίναξης (drill and blast), οι οποίες εφαρμόζονται παράλληλα κατά τη διάνοιξη. Στη σήραγγα Τεμπών T1 εφαρμόζονται, επίσης, αυτές οι μέθοδοι διάνοιξης.

Στο 2ο κεφάλαιο περιγράφονται οι βασικές αρχές για τη λήψη διατομών εντός σηράγγων. Αναφέρονται τα μεγέθη που μετρούνται, οι φάσεις στις οποίες γίνονται οι μετρήσεις και οι τρόποι υπολογισμού εμβαδών και όγκων.

Στο 3ο κεφάλαιο αναλύονται οι βασικές αρχές λειτουργίας των επίγειων σαρωτών laser. Πιο συγκεκριμένα, ποια είναι η αρχή και οι μέθοδοι μέτρησης με laser, πως λειτουργεί και ποια είναι τα μέρη του συστήματος. Επίσης, ποια είναι η ανάλυσή τους και από τι εξαρτάται και τι περιλαμβάνει το λογισμικό της 3D σάρωσης.

Στο 4ο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για το έργο στο οποίο

πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, δηλαδή τη σήραγγα Τεμπών T1. Αυτά περιλαμβάνουν τη γεωγραφική θέση και σκοπιμότητα του έργου και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της σήραγγας, δηλαδή τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αξόνων, τη γεωμετρία διατομών και τις γεωλογικές συνθήκες της σήραγγας. Επίσης, δίνονται ενδεικτικά η οριζοντιογραφία και οι μηκοτομές του έργου.

Στο 5ο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικές πληροφορίες για την περιοχή που έγιναν οι καταγραφές – μετρήσεις. Δίνονται τα χαρακτηριστικά της περιοχής (γεωλογικές συνθήκες, τρόπος διάνοιξης και υποστήριξης) και για τον επίγειο σαρωτή laser που χρησιμοποιήθηκε. Επίσης, δίνονται οι παράμετροι και ο τρόπος πραγματοποίησης των καταγραφών στο πεδίο. Τέλος, παρουσιάζονται τα νέφη σημείων που καταγράφηκαν.

Στο 6ο κεφάλαιο δίνονται λεπτομέρειες για την επεξεργασία των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν. Αυτές αφορούν την επεξεργασία που έγινε στο γραφείο για την εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Αναφέρεται αναλυτικά και στάδιο – στάδιο το πως έγινε η επεξεργασία τους στο λογισμικό και οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο 7ο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων. Παρουσιάζονται ποσοτικά και οπτικά τα αποτελέσματα για τις καταγραφές που πραγματοποιήθηκαν. Επίσης, παρουσιάζονται τα τρισδιάστατα μοντέλα επιφάνειας που δημιουργήθηκαν και γίνεται σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων.

Τέλος, στο 8ο κεφάλαιο αναφέρονται τα τελικά συμπεράσματα από τη συνολική διαδικασία (πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα) και από τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Επίσης, δίνεται μια αιτιολόγηση του λόγου εμφάνισης των υπερεκσκαφών και μια ποσοτική εκτίμηση του κόστους από την υπερεκσκαφή στο σύνολο της σήραγγας.

1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΟΔΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

1.1 Γενικά

Οι μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων προσαρμόζονται ανάλογα με το είδος και τις απαιτήσεις της σήραγγας που πρόκειται να διανοιχθεί. Για παράδειγμα σε αστικό περιβάλλον για κατασκευές υπόγειου σιδηρόδρομου (μετρό) επιλέγεται η χρήση μηχανήματος ολομέτωπης κοπής (TBM – Tunnel Boring Machine). Οι κύριοι λόγοι επιλογής του είναι το αυξημένο μήκος της σήραγγας, η απαίτηση για ελάχιστες μετακινήσεις στην επιφάνεια (κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις), η κυκλική διατομή της σήραγγας, οι μικρές εναλλαγές των χαρακτηριστικών του εδάφους και τα χαρακτηριστικά οριζοντιογραφίας - μηκοτομής (π.χ. κλίση και ακτίνα στροφής) που απαιτούνται.

Αντίστοιχα, για σήραγγες μικρού σχετικά μήκους σε πετρώματα με μέτρια ως καλά γεωλογικά χαρακτηριστικά και μεγάλης διατομής (μη κυκλικής), χρησιμοποιείται η μέθοδος διάνοιξης NATM με χρήση συμβατικών μέσων διάνοιξης (εκσκαφείς) ή εκρηκτικών υλών. Αυτή η μέθοδος είναι η πλέον οικονομικά συμφέρουσα και έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται ανάλογα με το τύπο και τα χαρακτηριστικά του πετρώματος.

Στη σήραγγα Τεμπών T1, όπως και σε μεγάλο αριθμό αντίστοιχων έργων, επιλέγεται η διάνοιξη με τη μέθοδο NATM. Επίσης, η εξόρυξη του πετρώματος γίνεται με τη μέθοδο διάτρησης – ανατίναξης (drill and blast) με τη χρήση εκρηκτικών υλών στο μεγαλύτερο μέρος της. Γι' αυτό το λόγο, στη συνέχεια περιγράφονται τα βασικά στοιχεία καθεμίας από αυτές τις δύο μεθόδους.

1.2 Μέθοδος NATM

Η μέθοδος υπόγειας διάνοιξης σηράγγων με συμβατικά μηχανικά μέσα ή με χρήση

εκρηκτικών υλών, έχει επικρατήσει να ονομάζεται μέθοδος NATM ή Νέα Αυστριακή Μέθοδος Σηράγγων. Σε αυτήν δεν ασκείται στο μέτωπο πίεση από μηχανικά μέσα και η υποστήριξη των τοιχωμάτων της γίνεται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή/και αγκύρια βράχου. Επίσης, είναι η δεύτερη κατασκευαστική διαδικασία που εφαρμόζεται διεθνώς για τη κατασκευή σηράγγων με υπόγεια μέθοδο διάνοιξης, μετά από αυτήν με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (TBM). Οι εναλλακτικοί τρόποι διάνοιξης σηράγγων που δεν υπάγονται στη μέθοδο NATM είναι:

- Διάνοιξη με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (TBM).
- Διάνοιξη με προστατευτική ασπίδα (shield).
- Άλλη μέθοδος που η υποστήριξη των τοιχωμάτων της σήραγγας γίνεται χωρίς εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή/και αγκύρια.

1.2.1 Μεθοδολογία κατασκευής

Βασική αρχή της μεθόδου αυτής είναι να διατηρηθεί η αντοχή του περιβάλλοντος (στη σήραγγα) εδάφους και να γίνει πλήρης αξιοποίησή της. Σημειώνεται ότι στην περιοχή της εκσκαφής ένα σημαντικό ποσοστό της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας συμβαίνει εμπρός από το μέτωπο εκσκαφής και ότι η σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας αυξάνει με ταχείς ρυθμούς. Επομένως, η άμεση υποστήριξη πρέπει να κατασκευαστεί όσο το δυνατόν πιο κοντά στο μέτωπο εκσκαφής.

Σε αντίθεση με παλαιότερες απόψεις όπου χρησιμοποιούνταν “βαριά” υποστήριξη, σκοπός στη συγκεκριμένη μέθοδο είναι μέσω της ελεγχόμενης παραμόρφωσης του εδάφους να τοποθετηθεί εύκαμπτη και “ελαφριά” υποστήριξη. Αυτό εμφανίζει θετικά αποτελέσματα και έχει ως αποτέλεσμα την ασφαλή ανάπτυξη της αντοχής του εδάφους. Η μεθοδολογία μελέτης / κατασκευής του έργου είναι η ακόλουθη:

- Εκτελείται γεωτεχνική / γεωλογική έρευνα και δοκιμές (επί τόπου και εργαστηριακές) για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του εδάφους στην περιοχή όπου έχει σχεδιασθεί να γίνει η διάνοιξη της σήραγγας.
- Γίνεται η μελέτη (υπολογισμοί και σχέδια) εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας, βάσει των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών του εδάφους που προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο. Έτσι, η βραχώμαζα που αναμένεται να συναντηθεί κατά μήκος της σήραγγας κατατάσσεται συνήθως σε 3-5 κατηγορίες (με βάση τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά) και σχεδιάζονται

αντίστοιχα 3-5 τυπικές διατομές διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης. Αυτές διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το είδος των μέτρων υποστήριξης και την πυκνότητά τους ή και τον αριθμό των φάσεων εκσκαφής. Επίσης, γίνεται και η μελέτη μόνιμης (τελικής) επένδυσης της σήραγγας.

- Εκτελείται η εκσκαφή με συμβατικά μηχανικά μέσα (π.χ. εκσκαφέας) ή με εκρηκτικές ύλες, και ενίοτε γίνεται και άμεση υποστήριξη του μετώπου εκσκαφής κατά φάσεις, ανάλογα με το είδος του εδάφους.
- Μετά την εκσκαφή, που γίνεται τμηματικά αναλόγως των χαρακτηριστικών των πετρωμάτων και του έργου, ακολουθεί η τοποθέτηση ενός συστήματος προσωρινής υποστήριξης που αποτελείται από επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (gunit), αγκύρια (rock-bolts), σιδηρά πλαίσια κτλ. Αυτά τοποθετούνται σε μικρή απόσταση από το μέτωπο εκσκαφής ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και να αποφευχθεί η αποδιοργάνωση της βραχώμαζας. Γι' αυτό το λόγο, το βήμα προχώρησης είναι της τάξης 1-3 m. Σε περίπτωση εδαφών με φτωχά χαρακτηριστικά πριν από την εκσκαφή τοποθετούνται δοκοί προπορείας (forepoling) σε όλη την περιοχή πάνω από το θόλο της σήραγγας σε μορφή “ομπρέλας” για την προστασία του μετώπου εκσκαφής. Κατά περίπτωση, η εκσκαφή γίνεται σε δύο φάσεις, άνω ημιδιατομή (θόλος) και κάτω ημιδιατομή (πυθμένας). Ανάλογα με το υπέδαφος και τη γεωμετρία της σήραγγας μπορεί να χρειασθεί η εκσκαφή να γίνει και σε περισσότερες φάσεις. Η χρονική στιγμή τοποθέτησης της αρχικής υποστήριξης είναι βασικής σημασίας για τον έλεγχο των παραμορφώσεων. Το σύστημα της άμεσης υποστήριξης μαζί με το περιβάλλον έδαφος αποτελούν το στατικό φορέα της σήραγγας στη φάση αυτή.
- Καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευής γίνονται συστηματικές μετρήσεις παρακολούθησης (monitoring) της συμπεριφοράς του υπεδάφους και της προσωρινής υποστήριξης, δηλαδή μετριοούνται οι συγκλίσεις των τοιχωμάτων της σήραγγας σε διάφορες αποστάσεις από το μέτωπο εκσκαφής, της πίεσης της βραχώμαζας και της θλιπτικής τάσης στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και άλλα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκρίνονται με τις παραδοχές και τα αποτελέσματα της μελέτης και, αν χρειάζεται, γίνονται οι απαραίτητες τροποποιήσεις στο σύστημα υποστήριξης και τη χρονική σειρά των εργασιών.

Επίσης, τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό ή και τον έλεγχο των παραδοχών της μελέτης της μόνιμης επένδυσης της σήραγγας που θα ακολουθήσει στη συνέχεια.

- Η τελική (μόνιμη) επένδυση της σήραγγας κατασκευάζεται όταν το σύστημα της αρχικής υποστήριξης έχει φτάσει σε συνθήκες ισορροπίας. Η μόνιμη επένδυση προσφέρει αυξημένη ασφάλεια στο χρόνο ζωής του έργου, δημιουργεί μία ομοιόμορφη εσωτερική επιφάνεια και βελτιώνει τη στεγανότητά της. Η μόνιμη επένδυση των σηράγγων κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα έγχυτο επί τόπου. Χρησιμοποιούνται ειδικοί σιδηρότυποι, συνήθως αυτοφερόμενοι, κάτι που μειώνει σημαντικά το χρόνο και το κόστος του έργου. Έχουν μεγάλο μήκος (συνήθως μεγαλύτερο από 10 m) και διαθέτουν υδραυλικούς μοχλούς που μπορούν να ρυθμίζουν το επιθυμητό πάχος της επένδυσης.

1.2.2 Πλεονεκτήματα της μεθόδου NATM

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου NATM έναντι των άλλων μεθόδων διάνοιξης σηράγγων είναι τα εξής:

- Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβαλλόμενες γεωτεχνικές συνθήκες με τη δυνατότητα επιλογής και προσαρμογής των μέτρων υποστήριξης.
- Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβολές της γεωμετρίας της διατομής.
- Δίνει τη δυνατότητα διάνοιξης σηράγγων μη-κυκλικής διατομής.
- Σε σήραγγες μικρού μήκους είναι οικονομικά συμφέρουσα μέθοδος λόγω του μικρού αριθμού και κόστους του μηχανικού εξοπλισμού.
- Επιτρέπει ευκολότερη στεγάνωση της σήραγγας.

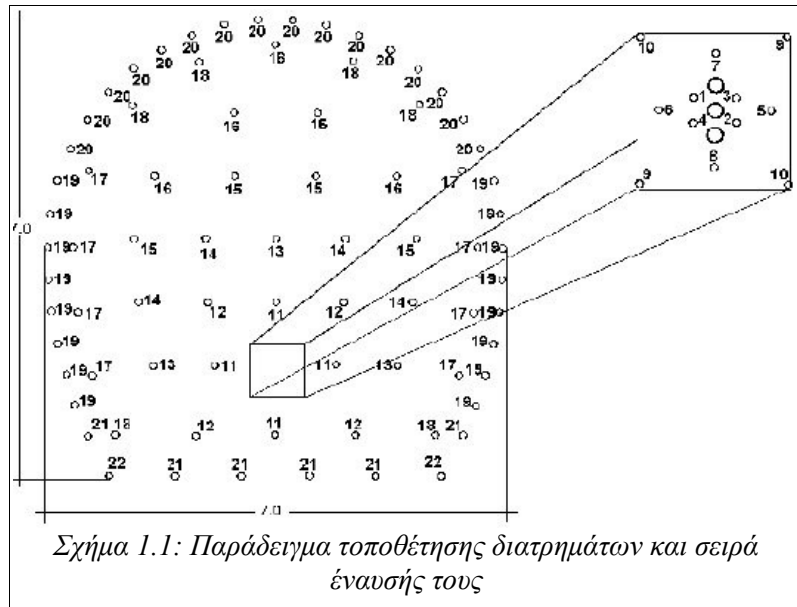
1.3 Μέθοδος Διάτρησης – Ανατίναξης (Drill and Blast)

Η διάνοιξη σηράγγων με τη μέθοδο διάτρησης – ανατίναξης αποτελεί τη κλασική μέθοδο όρυξης. Αποτελείται από επιμέρους διακριτές φάσεις οι οποίες εκτελούνται διαδοχικά και στο σύνολό τους δομούν το κύκλο εργασιών της μεθόδου.

Ο κύκλος εργασιών της μεθόδου αυτής αποτελείται από τα εξής στάδια:

- Όρυξη διατρημάτων: γίνεται σε συγκεκριμένο κάναβο και με δεδομένο βάθος,

κλίση και διάμετρο σύμφωνα με τη μελέτη ανατίναξης για τη συγκεκριμένη θέση. Στο σχήμα 1.1 φαίνεται ένα παράδειγμα του τρόπου τοποθέτησης – κατανομής των διατρημάτων καθώς και η σειρά έναυσής τους.



Η όρυξη των διατρημάτων μπορεί να γίνει χειρωνακτικά με τη χρήση αερόσφυρας ή με τη χρήση διατρητικού φορείου – jumbo drill (σχήμα 1.2).



- Γόμωση με εκρηκτικές ύλες και καπύλλια: γίνεται σε συγκεκριμένες ποσότητες – αναλογίες σύμφωνα με τη μελέτη ανατίναξης για τη συγκεκριμένη θέση. Επίσης το γέμισμα των διατρημάτων γίνεται κατά 70-80% του μήκους του

1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΟΔΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

διατρήματος με εκρηκτική ύλη. Οι εκρηκτικές ύλες που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τις συνθήκες είναι ANFO, ζελατινοδυναμίτιδες, αμμωνίτες, γαλακτώματα και άλλα (σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3: Παραδείγματα εκρηκτικών υλών που χρησιμοποιούνται για γόμωση

- Ανατίναξη (σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4: Η στιγμή της ανατίναξης

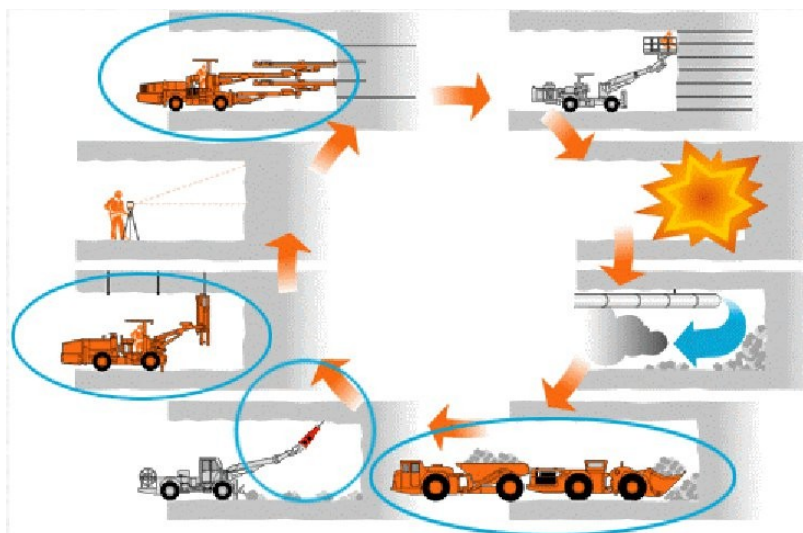
- Αερισμός: γίνεται για την αποκομιδή των επιβλαβών αερίων και των λεπτόκοκκων υλικών από το στάδιο της ανατίναξης.
- Απομάκρυνση των προϊόντων της ανατίναξης (αδρανή υλικά) – Ξεμπάζωμα (σχήμα 1.5).



Σχήμα 1.5: Απομάκρυνση των αδρανών υλικών

- Ξεσκάρωμα: γίνεται για την απομάκρυνση επικίνδυνων υλικών που βρίσκονται προσκολλημένα στο μέτωπο ή στις παρειές με την πιθανότητα να καταρρεύσουν.
- Τοποθέτηση πλαισίου (αν απαιτείται) και έλεγχος εκσκαφής.
- Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (ρίψη στρώματος εκτοξευόμενου σκυροδέματος).

Στο σχήμα 1.6 που ακολουθεί φαίνονται όλα τα στάδια της μεθόδου διάτρησης – ανατίναξης (drill and blast) συγκεντρωμένα και η σειρά – αλληλουχία αυτών.



Σχήμα 1.6: Τα στάδια της μεθόδου διάτρησης – ανατίναξης και η αλληλουχία τους

2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΗΨΗΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

2.1 Βασικές αρχές

Η επιλογή της μεθόδου διάνοιξης σήραγγων, δηλαδή εκσκαφή με ανατινάξεις ή με μηχανικά μέσα, εκσκαφή ολομέτωπου 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 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 δυσμενείς καταστάσεις (υπερ-εκσκαφές, υπο-εκσκαφές) οι οποίες προκαλούνται είτε λόγω της φύσης του εδάφους, είτε λόγω της διαταραχής των πετρωμάτων λόγω εργασιών, είτε λόγω της κακής χάραξης των γεωμετρικών στοιχείων της μελέτης εφαρμογής. Αυτές 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, όπως σε κάθε τοπογραφική εργασία πρέπει να υιοθετηθεί ένα σύστημα αναφοράς μέσω του οποίου θα είναι δυνατό να ελέγχεται κάθε παρέκκλιση από τα προβλεπόμενα στοιχεία της μελέτης.

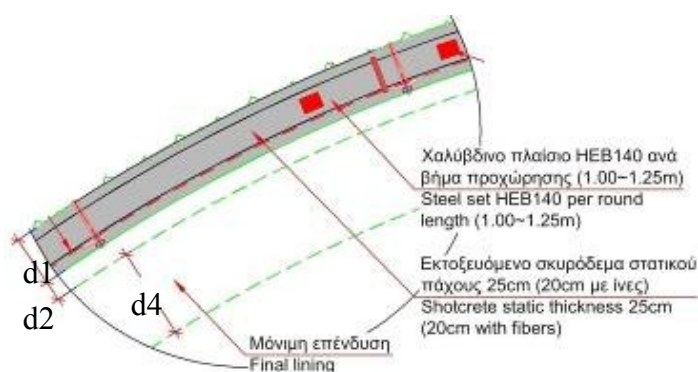
Διαστάσεις εκσκαφής – Ανοχές ασφαλείας

Η εκσκαφή των διατομών της σήραγγας πρέπει να γίνεται με ελάχιστη υπερεκσκαφή, σύμφωνα με τις 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 των κατηγοριών εκσκαφής της σήραγγας έχουν ορισθεί λεπτομερώς τα στοιχεία εκείνα τα οποία καθορίζουν την γεωμετρία των χαρακτηριστικών γραμμών της διατομής της σήραγγας, τα οποία διαφέρουν για κάθε κατηγορία πετρώματος και είναι τα παρακάτω :

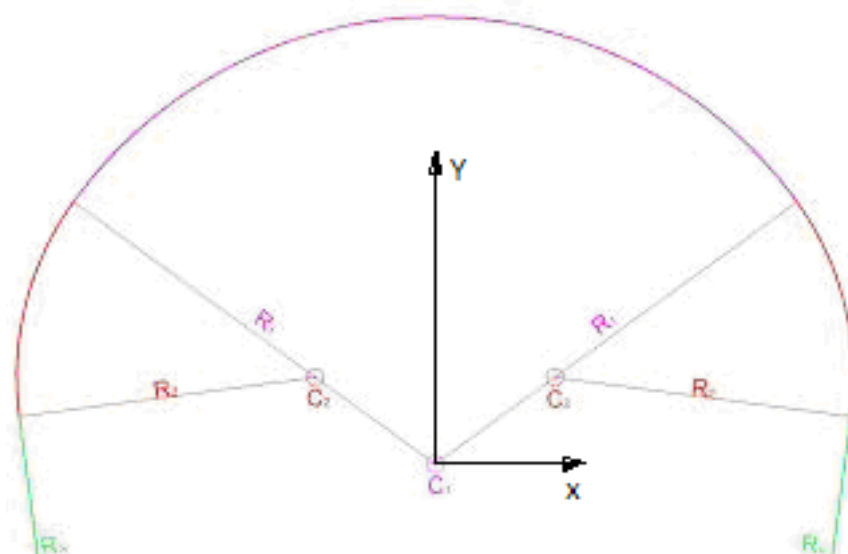
Γραμμή ελάχιστης εκσκαφής: είναι η γραμμή εκείνη μέσα από την οποία δεν επιτρέπεται παραμονή μη εκσκαφθέντος τμήματος της βραχώμαζας, οποιουδήποτε είδους και διαστάσεων. Οι θεωρητικές ακτίνες που καθορίζουν σε κάθε θέση των διατομών της σήραγγας τη Γραμμή Εκσκαφής (σχήμα 2.1), πρέπει να περιλαμβάνουν:

- R: Ακτίνα διατομής χρήσης
- d_1 : Το στατικώς απαιτούμενο πάχος της άμεσης υποστήριξης (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και σιδηρά πλαίσια)
- d_2 : Την πρόβλεψη για σύγκλιση
- d_3 : Το συνολικό πάχος την στρώσης εξομάλυνσης (μη σπλισμένο με ίνες εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, στεγανωτική μεμβράνη)
- d_4 : Το στατικώς απαιτούμενο πάχος της τελικής (μόνιμης) επένδυσης



Σχήμα 2.1: Λεπτομέρεια διατομής

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 2.2). Αυτό συνεπάγεται και τα παραπάνω στοιχεία $d_{1,2,4}$, να διαφοροποιούνται αναλόγως. Επίσης, το μέγεθος d_3 συνήθως περιλαμβάνει τα μεγέθη d_1 και d_2 , δηλαδή ισχύει $d_3=d_1+d_2$. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι το πάχος της στρώσης εξομάλυνσης δεν υπερβαίνει το όριο της σύγκλισης.



Σχήμα 2.2: Διατομή που περιλαμβάνει δύο διαφορετικές ακτίνες και ευθείες γραμμές

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 τον 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 $L < 500$ m

- Μέγιστη οριζοντιογραφική απόκλιση άξονα $\pm 0,05$ m
- Μέγιστη μηκοτομική απόκλιση άξονα $\pm 0,03$ m

Για σήραγγες μήκους $L > 500$ m

- Μέγιστη οριζοντιογραφική απόκλιση άξονα $\pm 0,10$ m
- Μέγιστη μηκοτομική απόκλιση άξονα $\pm 0,05$ m

2.2 Εργασίες πεδίου

Το αντικείμενο, που πιθανότατα, φέρει τη μεγαλύτερη βαρύτητα κατά τη διάρκεια της διάνοιξης και κατασκευής μίας σήραγγας, αποτελεί η πιστή εφαρμογή της γεωμετρίας της.

Επιπλέον, από το ζητούμενο αυτό προκύπτουν και άλλα χρήσιμα δεδομένα, όπως για παράδειγμα η δομική αστοχία των μέτρων υποστήριξης ή της μόνιμης επένδυσης, ο εντοπισμός ενδεχόμενων συγκλίσεων και καθιζήσεων, καθώς επίσης και οι όγκοι των εκσκαφών αλλά και των επενδύσεων (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, 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).
- β) η ύπαρξη πολυγωνομετρικού δικτύου εντός της σήραγγας, εξαρτημένου ως προς το σύστημα αναφοράς της μελέτης.

Οι παράγοντες που θα καθορίσουν τις εργασίες, τον εξοπλισμό και το 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, επίγειο σαρωτή laser).
- β) ο τρόπος με τον οποίο θα διεξαχθεί η αποτύπωση, για παράδειγμα με τη χρήση πρίσματος ή χωρίς, αυτοματοποίηση της εργασίας κτλ.

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.

1. Έτσι λοιπόν, βασική προϋπόθεση της διαδικασίας που θα επιλεγεί αποτελεί η έκταση της περιοχής μελέτης που πρόκειται να αποτυπωθεί, η οποία δεν είναι άλλη 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 την μέθοδο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, δεδομένου ότι μεγάλη έκταση συλλογής δεδομένων συνεπάγεται και μεγαλύτερο όγκο δεδομένων, άρα και ανάγκη για ταχύτερη μέθοδο αποτύπωσης.
2. Στη συνέχεια και ανεξάρτητα από τη μέθοδο που επιλέγεται (γεωδαιτικός σταθμός, επίγειος σαρωτής laser), 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 στη μέθοδο αποτύπωσης που επιλέγεται.
 - Κατά την αποτύπωση με γεωδαιτικό σταθμό, το πλήθος των σημείων που θα αποτυπωθούν, καθώς και ποια σημεία της επιφάνειας της διατομής θα είναι αυτά, υπόκεινται στην κρίση του τοπογράφου μηχανικού. Τα σημεία που λαμβάνονται είναι αυτά τα οποία φαινομενικά έστω, τείνουν να πλησιάζουν προς την θεωρητική γραμμή αναφοράς που λαμβάνεται κάθε φορά.
 - Με την μέθοδο αποτύπωσης με επίγειο σαρωτή laser, η έκταση της αποτύπωσης των διατομών δύναται να είναι αρκετά μεγάλη, δεδομένης της μεγάλης εμβέλειας της ακτίνας laser της συσκευής. Καταγράφει πληθώρα σημείων (νέφος σημείων) στο οπτικό πεδίο που του έχει οριστεί και σε καθορισμένο κানাβο (ανάλυση σάρωσης).

Να σημειωθεί ότι, πριν την χρήση γεωδαιτικών σταθμών με δυνατότητα μέτρησης χωρίς πρίσμα, οι εργασίες παραλαβής διατομών διεξάγονταν αποκλειστικά με τη χρήση EDM, με στυλαίο το οποίο έφερε προσαρτημένο πρίσμα στην άκρη του.

2.3 Φάσεις αποτύπωσης διατομών σηράγγων

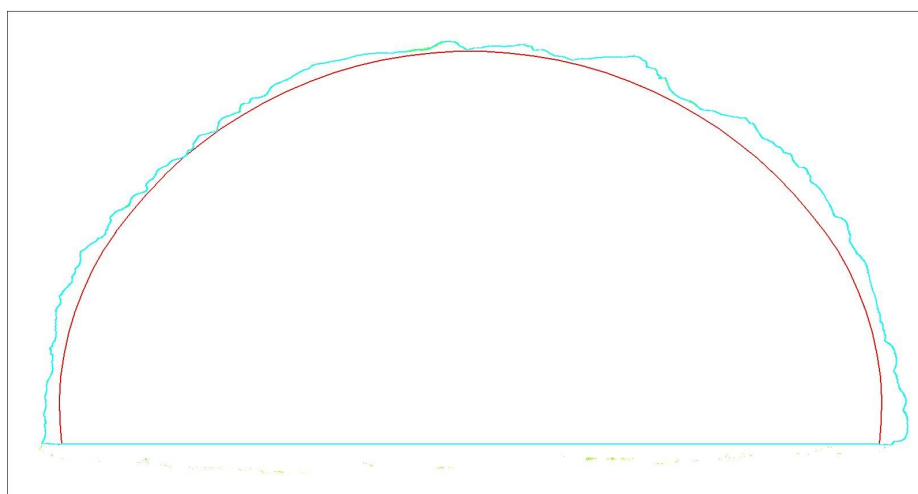
Οι φάσεις αποτύπωσης διατομών που πραγματοποιούνται στη σήραγγα γίνονται με την εξής σειρά:

- Φάση 1η: Αποτύπωση της διατομής της εκσκαφής.
- Φάση 2η: Αποτύπωση της διατομής της πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος (gunite).
- Φάση 3η: Αποτύπωση της διατομής μετά την εξομάλυνση, δηλαδή μετά την τοποθέτηση της δεύτερης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος.
- Φάση 4η: Αποτύπωση της διατομής της τελικής επένδυσης.

Αποτύπωση της διατομής της εκσκαφής

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

Σε αυτή τη φάση διαπιστώνεται ο βαθμός στον οποίο η πραγματική εκσκαφή ικανοποιεί τις συνθήκες εκείνες που απαιτεί η θεωρητική, εφόσον η γεωμετρία της είναι σωστή (σχήμα 2.3). Επίσης, η αποτύπωση της εκσκαφής αποτελεί μία διαδικασία αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των εφαρμοσμένων μεθόδων διάνοιξης.



Σχήμα 2.3: Αποτύπωση της πραγματικής εκσκαφής (γαλάζιο χρώμα) σε σύγκριση με τη τυπική γραμμή εκσκαφής (κόκκινο 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 παραπάνω σχήμα, η εκσκαφή είναι μία ακανόνιστη γραμμή που αλλάζει συνεχώς, πόσο μάλλον εάν πρόκειται για μία επιφάνεια. Είναι κατανοητό λοιπόν, ότι η λεπτομερής αποτύπωση της εκσκαφής – ειδικά αν γίνει με την χρήση συμβατικών μεθόδων, όπως συμβαίνει στην πλειοψηφία των περιπτώσεων – είναι μία αρκετά επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία, δεδομένου της πληθώρας των σημείων που πρέπει να αποτυπωθούν. Σε αυτήν την περίπτωση, φαίνεται η χρησιμότητα του επίγειου σαρωτή laser, ο οποίος δίνει τη δυνατότητα γρήγορης σάρωσης με μεγάλη ανάλυση της συνολικής

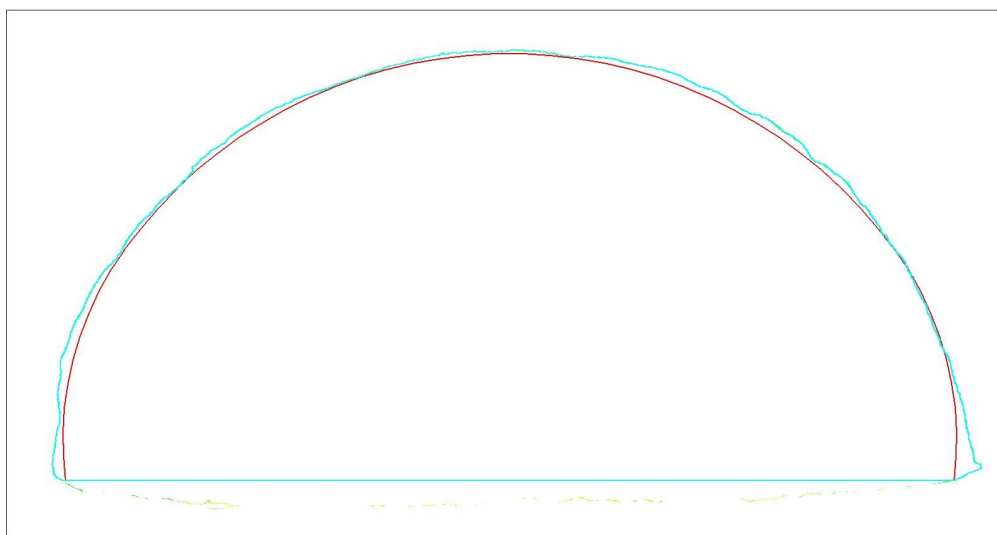
επιφάνειας που έχει οριστεί στο οπτικό του πεδίο.

Αποτύπωση διατομής εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Τα επόμενο βήμα είναι η παραλαβή της διατομής 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 οπλισμένου σκυροδέματος.

Ο κύριος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι η επιφάνεια του Gunite είναι εκ των πραγμάτων αρκετά πιο ομαλή (σχήμα 2.4) 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 αντιληφθεί τις ποσότητες που εκτοξεύονται, μικρή εκσκαφή) υπάρχει δυνατότητα ακόμη και το οπλισμένο σκυροδέμα να εισχωρήσει στη θεωρητική γραμμή εφαρμογής του, προκαλώντας έτσι προβλήματα μεγάλης ή μικρής βαρύτητας.



Σχήμα 2.4: Αποτύπωση της διατομής εκτοξευόμενου σκυροδέματος (γαλάζιο χρώμα) σε σύγκριση με τη τυπική διατομή (κόκκινο χρώμα)

Αποτύπωση της γραμμής 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 εκτοξευόμενου σκυροδέματος, 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.

2.4 Υπολογισμοί Εμβαδών – Όγκων

2.4.1 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 την μέθοδο αποτύπωσης που χρησιμοποιείται. Έτσι λοιπόν, αναλόγως της ακρίβειας 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 εμβαδόν 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. Με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και κατάλληλων σχεδιαστικών λογισμικών (π.χ. AutoCAD).

2.4.2 Όγκοι

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 την 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 τη φάση σκυροδέτησης της τελικής επένδυσης της σήραγγας

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

3 ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER – ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

3.1 Αρχή μέτρησης με laser

Η λέξη laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας) προέρχεται από τη λέξη maser (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation – ενίσχυση μικροκυμάτων με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας) και ουσιαστικά αναφέρεται στην περίπτωση της συχνότητας ν που εμπίπτει στην ορατή ακτινοβολία. Παρ' όλα αυτά, η λέξη laser χρησιμοποιείται όχι μόνο για συχνότητες στην ορατή περιοχή αλλά για κάθε συχνότητα που εμπίπτει στο μακρό ή κοντινό υπέρυθρο, στο υπεριώδες, και ακόμα στην περιοχή των ακτίνων X.

Για να κατασκευασθεί ένας ταλαντωτής για την παραγωγή laser είναι αναγκαίο να εισαχθεί μια κατάλληλη θετική ανάδραση. Στη μικροκυματική αυτό γίνεται βάζοντας το ενεργό υλικό σε μια συντονιστική κοιλότητα που συντονίζεται στη συχνότητα ν . Στην περίπτωση ενός laser η ανάδραση πετυχαίνεται βάζοντας το ενεργό υλικό μεταξύ δύο κατόπτρων μεγάλης ανακλαστικότητας. Τότε ένα επίπεδο ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδιδόμενο σε διεύθυνση ορθογώνια προς τα κάτοπτρα θα πηγαινοέρχεται μεταξύ των δύο κατόπτρων και θα ενισχύεται σε κάθε διέλευσή του από το ενεργό υλικό. Όταν ένα από τα δύο κάτοπτρα είναι μερικά διαπερατό μια χρήσιμη δέσμη εξάγεται (σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Διάταξη ενός laser

3.1.1 Laser

Το laser ως ένα ενεργό μέσο (active medium) που αποθηκεύει ενέργεια μεταξύ δύο κατόπτρων υλοποιείται όταν τα φωτόνια που εισέρχονται στο ενεργό υλικό αποκτούν υψηλή ενέργεια και εξαναγκάζονται σε εκπομπή. Με τη σειρά τους εξαναγκάζουν σε εκπομπή τα φωτόνια πάνω στα οποία προσπίπτουν, με αποτέλεσμα η ακτινοβολία εξόδου από το ενεργό μέσο να υπερβαίνει την ακτινοβολία εισόδου.

Ένα laser θα εκπέμψει όταν η ακτινοβολία αυξάνεται στο τέλος κάθε κυκλικής διαδρομής, ώσπου να ξεπεράσει ένα κατώφλι. Τότε, ένα κάτοπτρο μερικής ανάκλασης επιτρέπει σε τμήμα της ακτινοβολίας να εξέλθει του μέσου. Υπό κανονικές συνθήκες, τα άτομα με χαμηλή ενέργεια είναι περισσότερα από τα άτομα με υψηλή ενέργεια. Η αναλογία αυτή αντιστρέφεται μέσα στο μέσο (population inversion) με αποτέλεσμα τη δημιουργία ακτίνας laser. Επειδή η αύξηση των ατόμων με υψηλή ενέργεια δεν μπορεί να γίνει φυσικά, χρησιμοποιείται μια εξωτερική πηγή ενέργειας (pump source) για τη διέγερση των φωτονίων.

Τα laser μπορούν να παράγουν **συνεχές κύμα** ή **παλμό**. Στα laser συνεχούς κύματος ο μηχανισμός διέγερσης παρέχει μια σταθερή ισχύ στο ενεργό μέσο. Το σύστημα φθάνει γρήγορα σε μια “σταθερή” κατάσταση που παράγει μία ακτίνα συνεχούς κύματος. Στα laser παλμού ο μηχανισμός διέγερσης παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια σε παλμούς μικρής διάρκειας. Η ισχύς εξόδου ανέρχεται γρήγορα σε μια υψηλή τιμή και μειώνεται, προκαλώντας μια “έκρηξη” φωτός. Χαρακτηριστικά του laser παλμού είναι η επαναληπτική συχνότητα (laser repetition rate), η οποία καθορίζει τη ταχύτητα συλλογής δεδομένων, και η διάρκεια του παλμού, που καθορίζει την ανάλυση.

Η ισχύς εξόδου ενός laser συνεχούς κύματος μετριέται σε Watt (ενέργεια στη μονάδα χρόνου). Η έξοδος των παλμικών laser περιγράφεται με την ενέργεια του παλμού σε Joules και η μέγιστη ισχύς εξόδου υπολογίζεται από το πηλίκο: ενέργεια εξόδου/ διάρκεια παλμού. Το μέγιστο βεληνεκές συνδέεται άμεσα με την ενέργεια του παλμού και την ισχύ εξόδου του

laser.

3.1.2 Ιδιότητες laser

Η ακτινοβολία laser χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό μονοχρωματικότητας, συμφωνίας, κατευθυντικότητας και λαμπρότητας.

Η μονοχρωματικότητα οφείλεται στο ότι μόνο ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα συχνότητας ν μπορεί να ενισχυθεί και επίσης, αφού το σύστημα των δύο κατόπτρων σχηματίζει μια κοιλότητα συντονισμού, η ταλάντωση μπορεί να συμβεί μόνο στις συχνότητες συντονισμού αυτής της κοιλότητας.

Η συμφωνία διακρίνεται σε χωρική και χρονική. Για να ορισθεί η χωρική συμφωνία, θεωρούνται δύο σημεία P_1 και P_2 τα οποία βρίσκονται στο ίδιο ηλεκτρομαγνητικό κύμα στον χρόνο $t = 0$ και έχουν αντίστοιχα ηλεκτρικά πεδία $E_1(t)$ και $E_2(t)$. Όταν η διαφορά των φάσεων των δύο πεδίων παραμένει μηδέν για κάθε χρονική στιγμή $t > 0$, τότε υπάρχει τέλεια συμφωνία μεταξύ των δύο σημείων. Αν αυτό συμβαίνει για κάθε σημείο του κύματος, τότε υπάρχει ιδανική χωρική συμφωνία. Η χρονική συμφωνία αναφέρεται στη διατήρηση της διαφοράς φάσης μεταξύ δύο τιμών του πεδίου με ίδια τιμή για κάθε χρονική τιμή t .

Η κατευθυντικότητα είναι άμεσο αποτέλεσμα του γεγονότος ότι το ενεργό υλικό τίθεται σε μια κοιλότητα συντονισμού (π.χ. επίπεδα παράλληλα – κάτοπτρα). Αυτό σημαίνει ότι μόνο ένα κύμα διαδιδόμενο κατά μήκος της διεύθυνσης της κοιλότητας ή σε μια διεύθυνση πολύ κοντά σε αυτήν, μπορεί να διατηρείται στην κοιλότητα. Παρ' όλα αυτά, μια δέσμη πεπερασμένου ανοίγματος έχει μια αναπόφευκτη απόκλιση που οφείλεται στην περίθλαση.

Η λαμπρότητα μιας δεδομένης πηγής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ορίζεται σαν την ισχύ που εκπέμπει ανά μονάδα επιφάνειας και μονάδα στερεάς γωνίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι ακόμη και ένα laser μικρής σχετικά συχνότητας (π.χ. λίγα mW) έχει λαμπρότητα που είναι τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από αυτήν των λαμπρότερων συνήθων πηγών. Αυτό οφείλεται κυρίως στην υψηλή κατευθυντικότητα των δεσμών laser.

Μέθοδοι όπως η συμβολομετρία και η μέθοδος time of flight με μέτρηση της διαφοράς συχνότητας απαιτούν σύμφωνη ακτινοβολία, ενώ η μέθοδος ανίχνευσης του χρόνου επιστροφής του παλμού είναι ανεξάρτητη του επιπέδου συμφωνίας.

3.1.3 Τύποι laser

Τα laser ταξινομούνται ανάλογα με το ενεργό μέσο ή το μηχανισμό διέγερσης. Το

ενεργό μέσο μπορεί να είναι αέριο, υγρό, στερεό ή σύνδεση μεταξύ δύο διαφορετικών ημιαγωγών. Ο μηχανισμός διέγερσης στα laser αερίου και ημιαγωγών είναι συνήθως ηλεκτρική τάση, ενώ τα στερεά και υγρά laser χρησιμοποιούν συνήθως οπτικό μηχανισμό (π.χ. λάμπα).

α) Στερεά laser

Ο όρος laser στερεάς κατάστασης χρησιμοποιείται για εκείνα τα laser που έχουν σαν ενεργό μέσο είτε ένα μονωτικό κρύσταλλο ή γυαλί. Επίσης συχνά χρησιμοποιούν σαν ενεργά συστατικά ιόντα πρόσμιξης που εισάγονται σε έναν ιοντικό κρύσταλλο.

Το ρουβίδιο και το νεοδύμιο είναι δύο συνήθη στοιχεία στερεών laser. Το ρουβίδιο είναι κρυσταλλικό οξείδιο αργιλίου (αλουμινίου) στο οποίο μερικά από τα ιόντα αργιλίου έχουν αντικατασταθεί από ιόντα χρωμίου. Τα ιόντα χρωμίου είναι τα ενεργά στοιχεία. Τα laser ρουβιδίου λειτουργούν συνήθως σε παλμικό καθεστώς. Χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές όπως παλμική ολογραφία και στη τηλεμετρία.

Τα laser νεοδυμίου (Nd:YAG) είναι ο πιο δημοφιλής τύπος laser στερεάς κατάστασης όπου το κρυσταλλικό στερεό είναι YAG (Yttrium aluminum garnet – γρανάτης ύττριου – αργιλίου) στο οποίο μερικά από τα ιόντα αργιλίου έχουν αντικατασταθεί με νεοδύμιο. Τα laser Nd:YAG εκπέμπουν συνήθως στο υπέρυθρο με μήκος κύματος 1064 nm. Μπορούν να εκπέμπουν είτε παλμό είτε συνεχές κύμα και σε άλλα μήκη κύματος (940, 1120, 1320 και 1440 nm). Σε αρκετές εφαρμογές χρησιμοποιείται διπλή ή τριπλή συχνότητα ώστε να λαμβάνεται ορατό φως με μήκος κύματος 532 nm (πράσινο) (π.χ. ο σαρωτής HDS2500), ή υπεριώδης ακτινοβολία. Τα laser Nd:YAG μπορούν να λειτουργούν είτε παλμικά είτε με φέρον κύμα και χρησιμοποιούνται σε ποικιλία εφαρμογών, όπως επεξεργασία υλικών, τηλεμετρία και χειρουργική με laser.

Πλεονεκτήματα των στερεών laser είναι η υψηλή ισχύς, οι παλμοί σύντομης διάρκειας και η εξαιρετική ποιότητα της ακτίνας, που συνηγορούν υπέρ της επιλογής τους για εφαρμογές μεγάλου βεληνεκούς, όταν δεν τίθεται θέμα κόστους, βάρους και κατανάλωσης τα οποία είναι υψηλά.

β) Laser ημιαγωγών - αερίων

Τα laser ημιαγωγών ή δίοδοι laser είναι πολύ μικρές συσκευές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστοιχία και αποτελούν αντικείμενο σύγχρονης έρευνας για την

εξέλιξη των laser. Η εκπομπή προκαλείται με τη διέλευση ρεύματος μέσω της σύνδεσης που υπάρχει μεταξύ δύο διαφορετικών ημιαγωγών.

Τα laser αερίων διεγείρονται με ηλεκτρικό μέσο, γιατί γενικά στα αέρια η διεύρυνση των ενεργειακών επιπέδων είναι μικρή (της τάξης λίγων Ghz) επειδή οι μηχανισμοί διεύρυνσης της γραμμής είναι ασθενέστεροι από τα στερεά.

Τα περισσότερα laser αυτού του τύπου εκπέμπουν υπέρυθη ακτινοβολία, συνήθως με τη μορφή παλμού για να μειώσουν τα προβλήματα λόγω αύξησης της θερμοκρασίας. Πλεονεκτήματα των laser ημιαγωγών είναι η διατήρηση σε χαμηλά επίπεδα του κόστους, του μεγέθους και της κατανάλωσης και οι παλμοί σύντομης διάρκειας, με αντίτιμο την χαμηλότερη ισχύ εκπομπής και τη μεγαλύτερη απόκλιση της ακτίνας έναντι των στερεών laser.

3.2 Μέθοδοι μέτρησης με laser

Οι οπτικές μέθοδοι μέτρησης με χρήση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού της απόστασης σε άμεσες μεθόδους και μεθόδους που βασίζονται σε εικόνα (image-based). Οι άμεσες υπολογίζουν μια απόσταση του στόχου από τον σαρωτή που δεν επηρεάζεται από άλλους παράγοντες ενώ οι μέθοδοι εικόνας υπολογίζουν την απόσταση με κάποιον αλγόριθμο ερμηνεύοντας π.χ. τις σκιές ή την υφή των διαφόρων τμημάτων του στόχου.

Οι άμεσες μέθοδοι διακρίνονται με τη σειρά τους σε μεθόδους τριγωνισμού, μέτρησης διαφοράς χρόνου (time-of-flight) και συμβολομετρίας. Ο τριγωνισμός υπολογίζει την απόσταση με γεωμετρικές μεθόδους μέσω μετρήσεων γωνιών και αποστάσεων, η μέθοδος time-of-flight υπολογίζει την απόσταση μέσω του χρόνου μετάβασης – επιστροφής ενός διαμορφωμένου κύματος και η συμβολομετρία εκμεταλλεύεται την συμφωνία ενός κύματος για τον υπολογισμό της απόστασης. Η συμβολομετρία προσφέρει πολύ υψηλή ακρίβεια αλλά δεν εφαρμόζεται στη τεχνική μέτρησης των σαρωτών laser και επομένως δεν θα γίνει η ανάπτυξή της.

3.2.1 Μέθοδος time-of-flight

Η βασική αρχή της μεθόδου είναι η μέτρηση της διαφοράς χρόνου μεταξύ του εκπεμπόμενου και του λαμβανόμενου σήματος και βάσει της ταχύτητας φωτός, ο υπολογισμός της απόστασης δίνεται από την σχέση:

$$d = c * t \quad (\text{εξίσωση 3.1})$$

όπου, d είναι η διανυθείσα απόσταση (μετάβαση – επιστροφή) του σήματος, c είναι η ταχύτητα διάδοσης του σήματος, t είναι ο χρόνος της διαδρομής (time-of-flight).

Ο υπολογισμός της διαφοράς χρόνου μεταξύ του εκπεμπόμενου και λαμβανόμενου σήματος γίνεται με διάφορες τεχνικές, με τις σημαντικότερες να είναι η μετάδοση του παλμού και η διαμόρφωση του φέροντος κύματος.

α) Μετάδοση του παλμού

Τα όργανα που χρησιμοποιούν την αρχή μέτρησης του παλμού αποτελούνται από έναν πομπό, ένα δέκτη και μια μονάδα μέτρησης – υπολογισμού του χρόνου. Ο πομπός εκπέμπει έναν παλμό περιορισμένης διάρκειας, σταθερής συχνότητας και ο χρόνος t μετάβασης – επιστροφής μετριέται άμεσα. Η απόσταση R σαρωτή – αντικειμένου δίνεται από τη σχέση:

$$R = \frac{1}{2} \times c \times t \quad (\text{εξίσωση 3.2})$$

Πλεονέκτημα της διαμόρφωσης παλμού είναι η δυνατότητα εκπομπής υψηλής ενέργειας για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Μειώνεται με αυτόν τον τρόπο η επίδραση του περιβάλλοντος φωτισμού, επιτυγχάνεται υψηλός λόγος σήματος προς θόρυβο για το χρόνο διάρκειας του παλμού και η μέση ισχύς εκπομπής παραμένει χαμηλή προσφέροντας ικανοποιητική ασφάλεια.

Το πλήθος των παλμών που εκπέμπονται σε δεδομένο χρονικό διάστημα καθορίζεται από τη συχνότητα επανάληψης του παλμού (Pulse Repetition Frequency, PRF). Η υψηλή επαναληπτική συχνότητα αυξάνει τη ταχύτητα του σαρωτή και βελτιώνει την ανάλυση αλλά περιορίζει το μέγιστο βεληνεκές λόγω ασάφειας. Η ασάφεια εμφανίζεται όταν ένας λαμβανόμενος παλμός από ένα μακρινό στόχο επιστρέφει μετά την εκπομπή του επόμενου παλμού και μπορεί να εξαλειφθεί με την εκπομπή παλμών σε διαφορετικές επαναληπτικές συχνότητες ή με τον περιορισμό της λειτουργίας του οργάνου εντός καθορισμένου εύρους βεληνεκούς.

β) Μετάδοση συνεχούς κύματος

Το συνεχές (αρμονικό) κύμα των laser (φέρον κύμα) διαμορφώνεται κατά πλάτος ή κατά συχνότητα. Στη συνέχεια, εκπέμπεται και μετριέται η διαφορά φάσης ή διαφορά

συχνότητας του διακροτήματος (beat) αντίστοιχα, μεταξύ του εκπεμπόμενου και του ανακλώμενου σήματος, η οποία αντιστοιχεί σε διαφορά χρόνου. Διακρίνεται η μέτρηση της διαφοράς φάσης και η μέτρηση της συχνότητας.

Διαφορά φάσης

Το εκπεμπόμενο συνεχές κύμα διαμορφώνεται κατά πλάτος από ένα αρμονικό κύμα μήκους μερικών δεκάδων μέτρων. Μετά την ανάκλασή του από το αντικείμενο ανιχνεύεται σε μια φωτοδίοδο και συγκρίνεται με το εκπεμπόμενο σήμα. Ο χρόνος μετάβασης – επιστροφής του σήματος είναι ευθέως ανάλογος της διαφοράς φάσης μεταξύ του εκπεμπόμενου και λαμβανόμενου σήματος και εξαρτάται από τη συχνότητα διαμόρφωσης και την απόσταση του σαρωτή από το αντικείμενο. Για τη μέτρηση της διαφοράς φάσης δεν απαιτείται η ύπαρξη χρονομέτρου μεγάλης ακρίβειας αλλά αρκεί μια απλή ηλεκτρονική διάταξη για τη μέτρηση της διαφοράς φάσης και τον υπολογισμό του χρόνου μετάβασης – επιστροφής του σήματος. Ο χρόνος αυτός δίνεται από τη σχέση:

$$t = \frac{\Phi}{2\pi} \times T \quad (\text{εξίσωση 3.3})$$

όπου, t είναι ο χρόνος μετάβασης – επιστροφής (time-of-flight), Φ είναι η διαφορά φάσης και T είναι η χρονική διάρκεια του μήκους κύματος.

Η απόσταση R δίνεται από τη σχέση:

$$R = \frac{1}{2} \times c \times t = \frac{1}{2} \times \left(\frac{c}{f}\right) \times \left(\frac{\Phi}{2\pi}\right) \quad (\text{εξίσωση 3.4})$$

όπου, f είναι η συχνότητα του διαμορφωμένου κύματος.

Παρ' όλο που η μέθοδος μέτρησης της διαφοράς φάσης είναι τεχνικά ευκολότερη σε σχέση με τις άλλες μεθόδους time-of-flight, απαιτούνται πιο σύνθετες ηλεκτρονικές διατάξεις αλλά μειωμένου εύρους συχνοτήτων συγκριτικά με αυτές του παλμού. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχει καλύτερη ανάλυση στο βεληνικές της τάξης των 3-5 mm, σε βάρος όμως του χρόνου μέτρησης. Επομένως, επειδή απαιτείται καλό σήμα επιστροφής, η εμβέλεια των σαρωτών που χρησιμοποιούν την παραπάνω μέθοδο μειώνεται και αυξάνεται η τάση για χονδροειδή σφάλματα.

Διαφορά συχνότητας

Ένα κύμα με γραμμική, χρονικά μεταβαλλόμενη συχνότητα διαμορφώνει τη συχνότητα του αρμονικού κύματος του laser. Ένα τμήμα του εκπεμπόμενου σήματος διαχωρίζεται και κρατείται ως σήμα αναφοράς. Το ανακλώμενο σήμα αναμιγνύεται με το σήμα αναφοράς παράγοντας ένα οπτικό διακροτήμα του οποίου η συχνότητα (beat frequency) ισούται με την απόλυτη διαφορά των συχνοτήτων του εκπεμπόμενου και ανακλώμενου κύματος και είναι συνάρτηση του χρόνου μετάβασης – επιστροφής του σήματος. Αυτό δίνεται από τη σχέση:

$$t = \frac{f_D}{f_S} \times T \quad (\text{εξίσωση 3.5})$$

όπου, T είναι η περίοδος του μήκους κύματος, f_D είναι η συχνότητα του διακροτήματος και f_S είναι η εκπεμπόμενη συχνότητα.

Η απόσταση δίνεται από τη σχέση:

$$R = \frac{1}{2} \times c \times t = \frac{1}{2} \times c \times \frac{f_D}{f_S} \times \frac{1}{\Delta F} \quad (\text{εξίσωση 3.6})$$

όπου, ΔF είναι η γραμμική μεταβολή της εκπεμπόμενης συχνότητας.

Το βασικό πλεονέκτημα της διαμόρφωσης συχνότητας έναντι του παλμού είναι η χαμηλότερη μέση ισχύς εκπομπής για ίδιο λόγο σήματος προς θόρυβο και η μειωμένου εύρους ζώνη συχνοτήτων του διακροτήματος. Οι σαρωτές με διαμόρφωση συχνότητας, επειδή χρησιμοποιούν τη συχνότητα του διακροτήματος για τον υπολογισμό της απόστασης, η οποία είναι ανεξάρτητη του πλάτους του κύματος, είναι σε μεγάλο βαθμό ανεπηρέαστοι του θορύβου από διάφορες πηγές όπως ηλεκτρικό θόρυβο και θόρυβο εξαιτίας του περιβάλλοντος φωτισμού και μεταβολών της ανακλαστικότητας των επιφανειών.

Η ακρίβεια μέτρησης της απόστασης είναι συνάρτηση της γραμμικότητας της διαμόρφωσης συχνότητας και εξαρτάται από το μήκος συμφωνίας της ακτινοβολίας. Η επίτευξη υψηλού βαθμού γραμμικότητας είναι εφικτή σήμερα και επιτυγχάνει ακρίβεια μέτρησης μm. Με αυτή τη μέθοδο αντιμετωπίζεται η ασάφεια, επειδή χρησιμοποιείται χαμηλότερη συχνότητα διαμόρφωσης.

3.2.2 Μέθοδος τριγωνισμού

Η γεωμετρική αρχή της μεθόδου του τριγωνισμού παρουσιάζεται στο σχήμα 3.2. Ένας

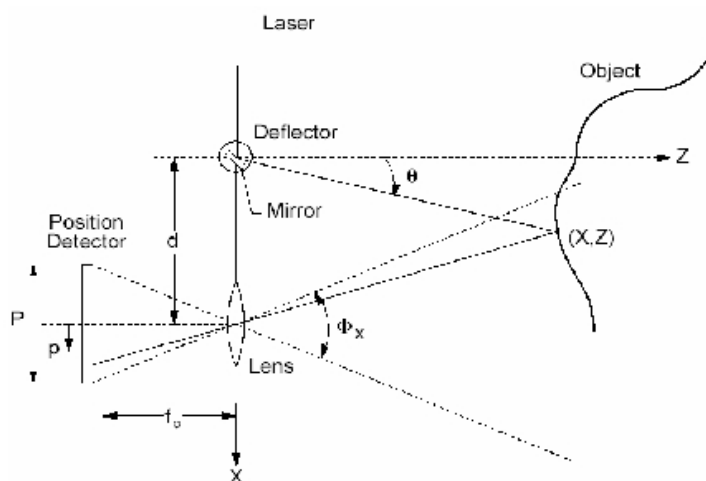
3 ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER – ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

πομπός laser προβάλλει μια ακτίνα στενής δέσμης στο στόχο. Η εικόνα της ανακλώμενης ακτινοβολίας ανιχνεύεται σε έναν δέκτη (Position Sensitive Detector, PSD), που βρίσκεται σε γνωστή απόσταση d από τον πομπό. Η θέση του μέγιστου της έντασης που καταγράφεται στο δέκτη είναι ανάλογη της απόστασης του στόχου. Οι συντεταγμένες x, z του στόχου, θεωρώντας αμελητέα τα σφάλματα των φακών προσεγγίζονται ως:

$$z = \frac{d f_0}{p + f_0 \tan \theta} \quad (\text{εξίσωση 3.7})$$

$$x = z \tan \theta \quad (\text{εξίσωση 3.8})$$

όπου, d είναι η απόσταση πομπού – δέκτη, f_0 είναι η απόσταση φακού – δέκτη, p είναι η θέση της εικόνας του σημείου στο δέκτη και θ είναι η γωνία εκπομπής της ακτίνας.



Σχήμα 3.2: Η αρχή της μεθόδου του τριγωνισμού

Διακρίνονται δύο υποκατηγορίες σαρωτών που χρησιμοποιούν την αρχή του τριγωνισμού:

- *Χρήση μίας ψηφιακής μηχανής:* οι σαρωτές αυτού του είδους αποτελούνται από μία συσκευή μετάδοσης σήματος και μία μηχανή CCD. Η συσκευή μετάδοσης σήματος βρίσκεται στο ένα άκρο της μηχανικής βάσης και εκπέμπει μία ακτίνα laser με καθορισμένη και διαρκώς αυξανόμενη γωνία πάνω στο αντικείμενο. Η κάμερα CCD βρίσκεται στο άλλο άκρο της μηχανικής βάσης και ανιχνεύει το σημείο ή τη γραμμή της ακτίνας laser πάνω στο αντικείμενο. Η τρισδιάστατη θέση του σημείου στην επιφάνεια προκύπτει από το τρίγωνο που δημιουργείται. Οι συγκεκριμένοι σαρωτές είναι χρήσιμοι για σαρώσεις μικρού βεληνεκούς καθώς και για μικρά αντικείμενα.

- *Χρήση δύο ψηφιακών συσκευών:* μια παραλλαγή της αρχής του τριγωνισμού πραγματοποιείται με τη χρήση δύο CCD μηχανών, όπου τοποθετείται μία σε κάθε άκρο της βάσης. Ένας ξεχωριστός προβολέας φωτός, ο οποίος δεν συμμετέχει σε καμία λειτουργία της μέτρησης, παράγει το σημείο ή το πρότυπο που πρόκειται να ανιχνευτεί.

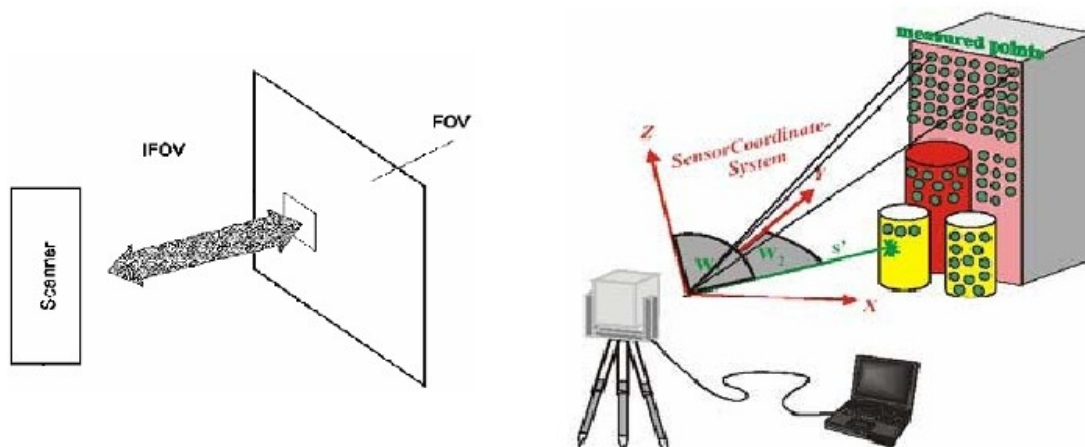
Η μέθοδος του τριγωνισμού μπορεί να εφαρμοστεί με οποιοδήποτε είδος ακτινοβολίας. Το πλεονέκτημα της χρήσης του laser έγκειται στο πολύ μεγάλο βάθος εστίασης που επιτυγχάνει, στην μείωση της επίδρασης του περιβάλλοντος φωτισμού μέσω της εφαρμογής φίλτρου αποκοπής συχνοτήτων (bandpass wavelength filter) και στην υψηλή ισχύ που διαθέτει σε μικρό μέγεθος πομπού, με αντίτιμο του θορύβου των εικόνων συμβολής και περίθλασης (speckle).

Η ακρίβεια υπολογισμού του z μειώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης. Εντούτοις, για σάρωση μικρών αντικειμένων από μικρή απόσταση, η μέθοδος του τριγωνισμού είναι ακριβέστερη της μεθόδου time-of-flight. Τα σφάλματα στη μέθοδο του τριγωνισμού επηρεάζονται κυρίως από τη γεωμετρία της λήψης και μειώνονται με την αύξηση της βάσης (απόστασης πομπού – δέκτη) και της απόστασης φακού – δέκτη.

3.3 Σαρωτής laser

3.3.1 Λειτουργία

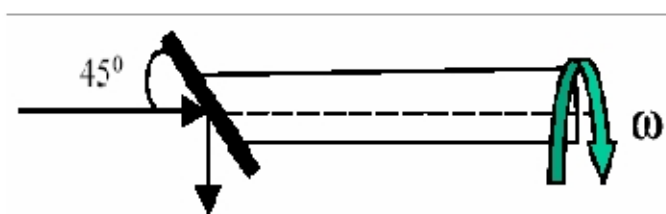
Οι επίγειοι τρισδιάστατοι σαρωτές χρησιμοποιούν lasers μήκους κύματος στο ορατό και υπέρυθρο τμήμα του φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το πλεονέκτημα της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι ότι είναι πιο ευαίσθητη και ακριβής από την ορατή ακτινοβολία. Για την αποτύπωση μιας επιφάνειας η στενή δέσμη του laser, που συνιστά το στιγμιαίο οπτικό πεδίο (Instant Field Of View - IFOV), πρέπει να μετακινηθεί κατά μήκος και πλάτος αυτής ώστε να καλύψει το οπτικό πεδίο (Field Of View - FOV) (σχήμα 3.3).



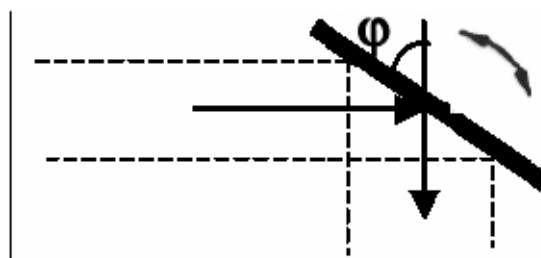
Σχήμα 3.3: Το στιγμιαίο οπτικό πεδίο (IFOV) και το οπτικό πεδίο (FOV) για τη μέτρηση τρισδιάστατων καρτεσιανών συντεταγμένων του αντικειμένου

Ο σαρωτής αναλαμβάνει την εκτροπή της ακτίνας με συγκεκριμένο τρόπο (σχήμα σάρωσης) και υψηλή, ομοιόμορφη συνήθως, γωνιακή δειγματοληψία. Η ομοιόμορφη δειγματοληψία στο επίπεδο της εικόνας (image space) δεν εξασφαλίζει πάντα και ομοιόμορφη κατανομή σημείων στον τρισδιάστατο χώρο.

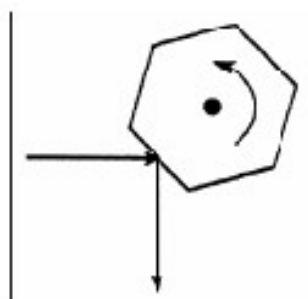
Η εκτροπή της ακτίνας σε μία διεύθυνση επιτυγχάνεται με διάφορες οπτικομηχανικές διατάξεις, όπως περιστρεφόμενα με σταθερή ταχύτητα επίπεδα ή πολυγωνικά κάτοπτρα, ταλαντούμενα κάτοπτρα ή πρίσματα (σχήματα 3.4, 3.5 και 3.6). Για την εκτροπή της ακτινοβολίας σε δύο διευθύνσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν διπλά κάτοπτρα σε διευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους ή να συνδυασθούν οι παραπάνω διατάξεις με μηχανική περιστροφή της κεφαλής του σαρωτή. Η ταυτόχρονη εκτροπή της ακτίνας σε δύο κατευθύνσεις είναι επίσης δυνατή με διάθλασή της από ζεύγος κυκλικών σφηνοειδών πρισμάτων (optical wedges).



Σχήμα 3.4: Περιστρεφόμενο κάτοπτρο

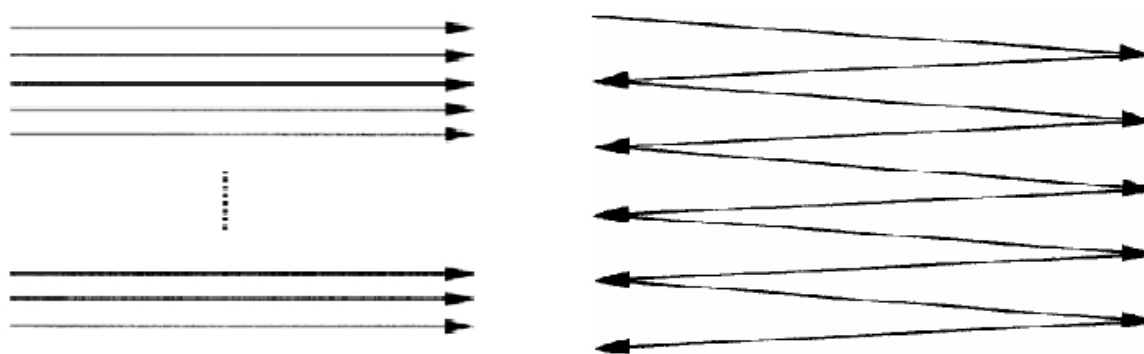


Σχήμα 3.5: Ταλαντούμενο κάτοπτρο



Σχήμα 3.6: Πολυγωνικό κάτοπτρο

Η χρήση περιστρεφόμενου επίπεδου ή πολυγωνικού κατόπτρου με σταθερή ταχύτητα έχει σαν αποτέλεσμα τη σάρωση του αντικειμένου κατά παράλληλες γραμμές ενώ η χρήση ταλαντούμενου κατόπτρου επιστρέφει σάρωση σε σχήμα Z ή μαιάνδρου (ευθύγραμμου ή ελλειπτικού), όταν χρησιμοποιούνται δύο γαλβανόμετρα (και στους δύο άξονες) (σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7: Σχήματα σάρωσης

Τα κάτοπτρα οδηγούνται από διαφόρων ειδών κινητήρες, DC κινητήρες με την μορφή σερβοκινητήρων, ηλεκτρονικούς DC κινητήρες, κινητήρες σταθερού βήματος (stepping motors) και γραμμικούς κινητήρες (linear drives), κυρίως με τη μορφή γαλβανομέτρων. Οι σερβοκινητήρες είναι κλασικοί ή ηλεκτρονικοί DC κινητήρες (brushless), που μετατρέπουν

την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια περιστροφής και μέσω συστήματος ελέγχου και ανατροφοδότησης (feedback) επιτυγχάνουν μια συγκεκριμένη γωνιακή θέση με μεγάλη ταχύτητα.

Για την εύρεση της γωνίας περιστροφής χρησιμοποιούνται οι γωνιακοί οπτικοί κωδικοποιητές. Τοποθετούνται άμεσα στον άξονα του σερβοκινητήρα και προσδιορίζουν τη θέση του με τον ακόλουθο τρόπο. Ένας κωδικοποιημένος δίσκος παρεμβάλλεται μεταξύ ενός πομπού ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ενός δέκτη. Ένας επεξεργαστής αναλαμβάνει την αποκωδικοποίηση του σήματος για την εύρεση της θέσης του δίσκου, δηλαδή της γωνίας περιστροφής του άξονα.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι κωδικοποιητών, ο απόλυτος και ο σχετικός. Οι απόλυτοι κωδικοποιητές χρησιμοποιούν πολλαπλούς δέκτες και δίσκους με μοναδικό συνδυασμό διαφανών και αδιαφανών τμημάτων ώστε για κάθε θέση του δίσκου η θέση του άξονα είναι απολύτως ορισμένη. Η ανάλυση καθορίζεται από το πλήθος των ομόκεντρων σχεδίων στο δίσκο. Οι σχετικοί κωδικοποιητές έχουν μόνο μία σειρά ίδιων σχεδίων και η ανάλυσή τους καθορίζεται από το πλήθος των τμημάτων. Χρησιμοποιούν ένα μετρητή για να προσδιορίσουν τη θέση και ένα χρονόμετρο για τον υπολογισμό της ταχύτητας.

3.3.2 Μέρη συστήματος

Τα τυπικά μέρη ενός συστήματος σαρωτή laser είναι (σχήμα 3.8):

- Ο σαρωτής που περιλαμβάνει: πομπό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, δέκτη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που λαμβάνει το επιστρεφόμενο σήμα, καταγραφική μονάδα στην οποία καταγράφονται η επιστροφή του σήματος και ο χρόνος εκπομπής – λήψης, χρονόμετρο για τη μέτρηση του χρόνου μετάβασης και επιστροφής του εκπεμπόμενου σήματος, σύστημα περιστρεφόμενων καθρεφτών που κατευθύνει τη δέσμη της ακτινοβολίας.
- Συσσωρευτή (μπαταρία) για τη τροφοδοσία του συστήματος
- Η μονάδα ελέγχου που αποτελείται από ένα φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή σε σύνδεση με το σαρωτή. Στον υπολογιστή είναι εγκατεστημένο το λογισμικό σάρωσης και επεξεργασίας των δεδομένων.
- Βασικά παρελκόμενα που συνοδεύουν το σύστημα όπως τρίποδας για να τοποθετηθεί το όργανο και ειδικοί στόχοι σάρωσης.



Σχήμα 3.8: Βασικά μέρη ενός σαρωτή laser

Τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη των σαρωτών οδήγησε στην σύμπτυξη των διαφόρων μερών που αναφέρονται προηγουμένως. Συγκεκριμένα, στο σαρωτή εκτός των άλλων περιλαμβάνεται ο συσσωρευτής (μπαταρία) για τη τροφοδοσία του συστήματος καθώς και μια μικρή μονάδα ελέγχου για τη πραγματοποίηση και τη καταγραφή της σάρωσης στην εσωτερική μνήμη (π.χ. Leica ScanStation C10). Έτσι, γίνεται απλούστερη η μεταφορά, συνδεσμολογία και χειρισμός του σαρωτή με τη ταυτόχρονη αύξηση της ευχρηστίας του (σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.9: Σαρωτής laser με ενσωματωμένη τροφοδοσία και σύστημα ελέγχου – καταγραφής (ScanStation C10)

3.4 Ανάλυση των σαρωτών

Η ανάλυση είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των σαρωτών και αναφέρεται κυρίως στην απόσταση όπου ορίζεται ως το μέτρο της διαχωριστικής ικανότητας μεταξύ των δύο στόχων στην ίδια διεύθυνση θέασης (σάρωσης). Είναι η μικρότερη φαινόμενη απόσταση που μπορεί να μετρηθεί. Η ανάλυση είναι συνάρτηση της ανάλυσης μέτρησης του χρόνου και κατ' επέκταση του εύρους ζώνης συχνοτήτων του δέκτη.

Η μέγιστη ανάλυση απόστασης για σαρωτές παλμού είναι:

$$\Delta R_{max} = \frac{1}{2} \times c \times T \quad (\text{εξίσωση 3.9})$$

Η ανάλυση των σαρωτών παλμού περιορίζεται από την ανάλυση των χρονομέτρων και την αβεβαιότητα ανίχνευσης του σήματος. Για την επίτευξη ανάλυσης 1 mm απαιτείται ανάλυση του χρονομέτρου 6,7 psec. Τα περισσότερα εμπορικά συστήματα δίνουν ανάλυση από 0,5 έως 1 cm.

Η μέγιστη ανάλυση απόστασης για σαρωτές που χρησιμοποιούν τη διαφορά φάσης είναι:

$$\Delta R_{max} = \frac{1}{4\pi} \times \frac{c}{f} \times \Delta\Phi \quad (\text{εξίσωση 3.10})$$

Η ανάλυση ΔR_{max} , όπως υπολογίζεται παραπάνω, δεν αποτελεί μέτρο διαχωρισμού μεταξύ των δύο στόχων στην ίδια διεύθυνση θέασης, λόγω του ότι ο δέκτης ανιχνεύει την συνολική (μέση) φάση όλων των επιστροφών από διάφορες πηγές. Υπό ιδανικές συνθήκες, λόγω του μειωμένου εύρους ζώνης συχνοτήτων, σε σχέση με τους σαρωτές παλμού, οι σαρωτές διαφοράς φάσης επιτυγχάνουν ανάλυση απόστασης 3 έως 5 mm.

Η μέγιστη ανάλυση απόστασης για σαρωτές που χρησιμοποιούν τη διαφορά συχνότητας είναι:

$$\Delta R_{max} = \frac{c}{2 \Delta F} \quad (\text{εξίσωση 3.11})$$

Η μέτρηση συχνότητας δίνει την υψηλότερη ανάλυση έναντι όλων των άλλων τεχνικών μέτρησης και παρατηρείται μια αυξανόμενη τάση μετατροπής όλων των ειδών των μετρήσεων σε μετρήσεις συχνότητας ή διαφοράς συχνότητας. Η διαμόρφωση συχνότητας

προσφέρει υψηλή ανάλυση επιτρέποντας το διαχωρισμό του στόχου από άλλους κοντινούς στόχους με την προϋπόθεση ότι η μεταβολή της συχνότητας διατηρείται γραμμική.

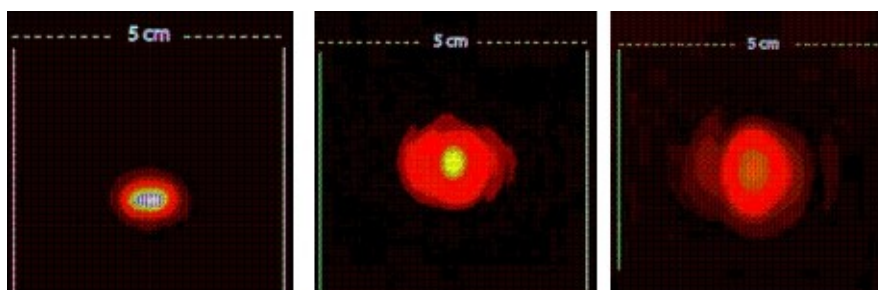
Στους σαρωτές τριγωνισμού, η ανάλυση απόστασης είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης και περιορίζεται από εικόνες συμβολής και περίθλασης.

Η γωνιακή ανάλυση είναι επίσης σημαντική και περιορίζεται από την ποιότητα και ευαισθησία των οπτικών και μηχανικών διατάξεων. Ορίζεται με το μέτρο της διαχωριστικής ικανότητας δύο σημείων σε παρακείμενες διευθύνσεις θέασης (γραμμές σάρωσης) και είναι συνάρτηση της επιλεγόμενης (ή επιτρεπόμενης) απόστασης μεταξύ δύο σημείων (sampling interval) και του μεγέθους της κηλίδας του laser.

3.4.1 Μέγεθος της κηλίδας του laser

Το μέγεθος της κηλίδας του laser είναι ανάλογο του μήκους κύματος της ακτινοβολίας και εξαρτάται κυρίως από την απόκλιση της ακτίνας. Μικρότερο μήκος κύματος δημιουργεί μικρότερο μέγεθος κηλίδας αλλά μεγαλύτερη απόκλιση λόγω περίθλασης. Στις προδιαγραφές των σαρωτών το μέγεθος της κηλίδας δίνεται συνήθως στο μέσο του βάθους πεδίου και σύμφωνα με τους νόμους της οπτικής δεν είναι σταθερό για όλο το εύρος λειτουργίας.

Το μεγάλο μέγεθος κηλίδας δεν επιτρέπει τον διαχωρισμό μικρών αντικειμένων και σάρωση με “ανάλυση” (απόσταση μεταξύ διαδοχικών σημείων) που είναι μικρότερη από τη διάμετρο της κηλίδας του laser στο αντικείμενο δεν έχει νόημα. Το ίδιο ισχύει για μεγάλη “ανάλυση” από μεγάλες αποστάσεις, αφού η κηλίδα μεγαλώνει ανάλογα με την απόσταση (σχήμα 3.10).



Σχήμα 3.10: Αποτύπωμα της δέσμης laser στα 5m, 35m, 55m

3.4.2 Δειγματοληψία σάρωσης

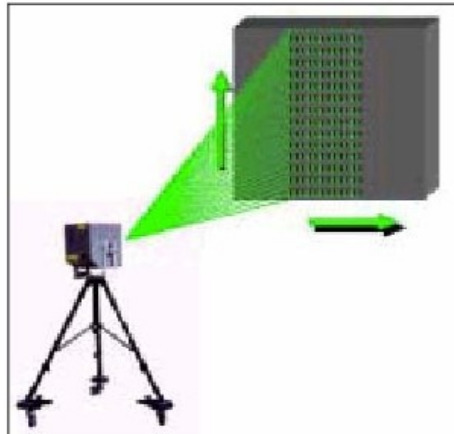
Η απόσταση μεταξύ δύο σημείων (point density, sampling interval) εξαρτάται κυρίως από την ανάλυση του μηχανισμού σάρωσης. Έτσι, είναι συνάρτηση της επαναληπτικής συχνότητας του παλμού για τους σαρωτές παλμού ή της ταχύτητας μέτρησης για τους σαρωτές συνεχούς κύματος. Μερικοί σαρωτές επιτρέπουν τη ρύθμιση του γωνιακού βήματος μεταξύ δύο σημείων και άλλοι καθορίζουν γραμμικό βήμα, δηλαδή την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων στο αντικείμενο (π.χ. σαρωτής ScanStation 2).

3.5 Κατηγοριοποίηση σαρωτών laser

Τα σύγχρονα εμπορικά συστήματα επίγειων σαρωτών διακρίνονται ως προς το οπτικό τους πεδίο σε τρεις βασικές κατηγορίες:

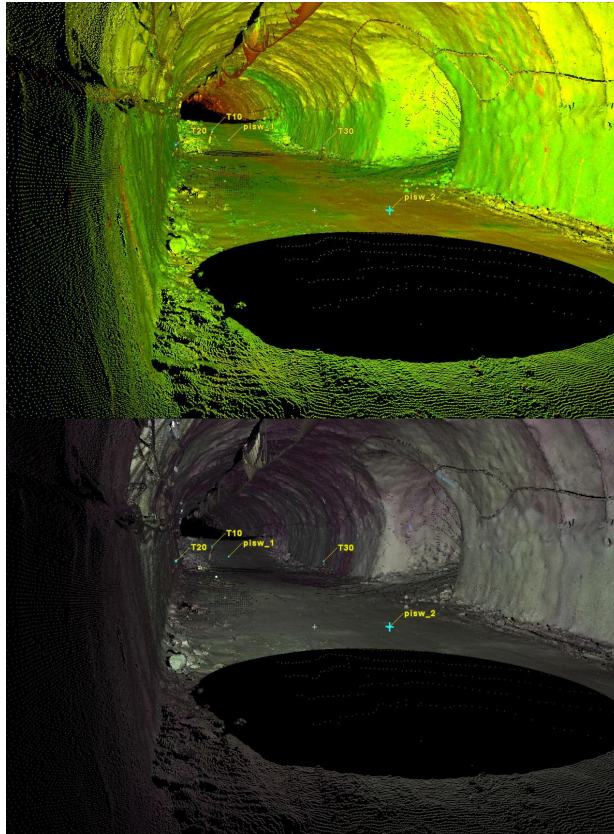
- Σαρωτής – κάμερα (camera scanner): έχει περιορισμένο οπτικό πεδίο (FOV) και μεγάλο βεληνεκές.
- Υβριδικός σαρωτής (hybrid scanner): ένας εκ των αξόνων περιστροφής δεν έχει περιορισμό κίνησης (συνήθως στην οριζόντια κίνηση) ενώ ο δεύτερος άξονας περιστροφής έχει περιορισμό λόγω της χρήσης των κατόπτρων.
- Πανοραμικός σαρωτής (panorama scanner): το οπτικό πεδίο περιορίζεται μόνο από τη βάση στήριξης του οργάνου και βρίσκει ιδιαίτερη εφαρμογή σε εσωτερικές σαρώσεις.

Ανεξάρτητα του είδους του σαρωτή ο χρήστης επιλέγει την περιοχή σάρωσης μέσα στα όρια του επιτρεπτού οπτικού πεδίου και καθορίζει την πυκνότητα δειγματοληψίας. Παρ' ότι γενικά υπάρχει δυνατότητα επιλογής διαφορετικής ανάλυσης σε κάθε άξονα, αυτό μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στο στάδιο της επεξεργασίας. Όταν η επιλεγόμενη περιοχή σάρωσης είναι πολυγωνική συνήθως χρησιμοποιούνται δύο σχήματα σάρωσης, κατά παράλληλες γραμμές ή σε σχήμα Z (σχήμα 3.11).



Σχήμα 3.11: Πορεία της δέσμης κατά τη σάρωση

Μετά τη σάρωση μιας περιοχής, καταγράφονται εσωτερικά οι γωνίες των κατόπτρων και οι χρόνοι που μετρούνται, ενώ για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των ειδικών στόχων λαμβάνεται υπόψη η γεωμετρία της σάρωσης. Τα παραγόμενα αρχεία (νέφη σημείων, point clouds) περιέχουν τις σφαιρικές συντεταγμένες των σημείων που μετατρέπονται σε καρτεσιανές με αρχή των αξόνων τον σαρωτή. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα απεικόνισης του νέφους με διάφορους τρόπους, καθώς και με απεικόνιση ψευδούς χρώματος (από φωτογραφία του σαρωτή στη θέση του σαρωτή) (σχήμα 3.12).



Σχήμα 3.12: Απεικόνιση του νέφους σύμφωνα με την ανακλαστικότητα (πάνω) και τη φωτογραφία του σαρωτή (κάτω)

3.6 Λογισμικό της 3D σάρωσης

Το λογισμικό της 3D σάρωσης στην πραγματικότητα περιλαμβάνει αρκετά υποπροϊόντα λογισμικού διαφόρων τύπων. Με βάση την όλη διαδικασία από τη συλλογή των δεδομένων μέχρι το τελικό προϊόν μπορεί να επιτευχθεί η ακόλουθη διάκριση:

- Λογισμικό για τον έλεγχο του σαρωτή
- Λογισμικό για τη διαχείριση του νέφους σημείων (π.χ. συνένωση, γεωαναφορά, αναγνώριση ειδικών στόχων)
- Λογισμικό για να συμπεριληφθούν πολύπλοκα δεδομένα στο νέφος σημείων
- Λογισμικό για τη δημιουργία σύνθετων μοντέλων επιφάνειας (π.χ. TIN – πραγματική μορφολογία εδάφους, σχέδια αντικειμένων)
- Λογισμικό για τη χαρτογράφηση υφής και εικόνας
- Λογισμικό διαχείρισης δεδομένων και προβολής

4 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

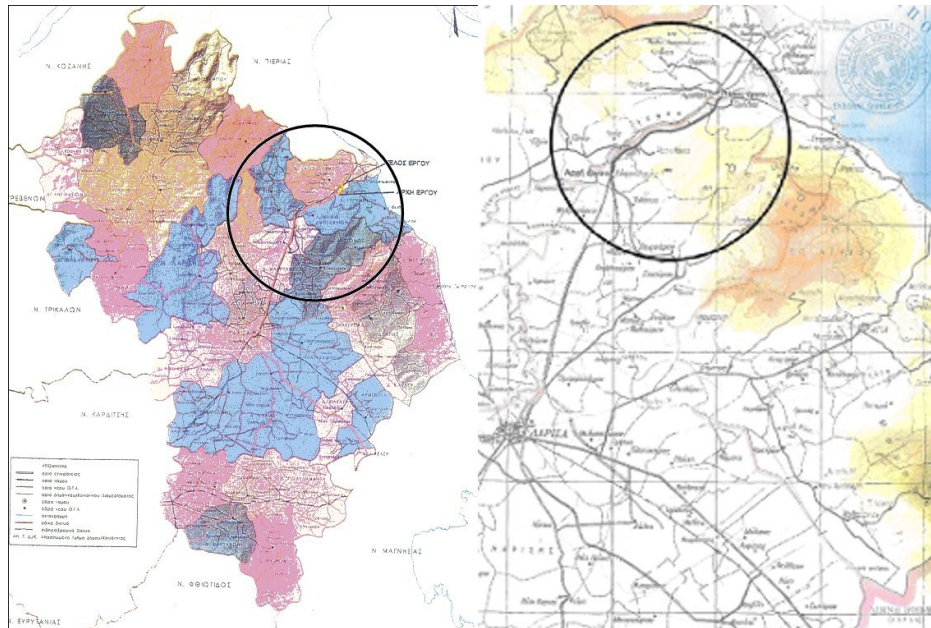
4.1 Βασικά χαρακτηριστικά του έργου

4.1.1 Επωνυμία του έργου

Το έργο το οποίο πραγματεύεται η παρούσα εργασία και στο οποίο διεξήχθησαν οι μετρήσεις, φέρει την ακόλουθη επωνυμία: «Μελέτη – Κατασκευή – Χρηματοδότηση – Λειτουργία - Συντήρηση και Εκμετάλλευση του έργου τμήμα ΠΑΘΕ Μαλιακός - Κλειδί» και βρίσκεται στο «Υπο-τμήμα πέρας κόμβου Τεμπών - Αρχή κόμβου Ραψάνης».

4.1.2 Γεωγραφική θέση – Διοικητική υπαγωγή

Η νέα χάραξη καθ' όλο το μήκος της διασχίζει τους νομούς Λαρίσης και Πιερίας, οπότε ένα μέρος της υπάγεται στο νομό Λαρίσης κι ένα μέρος της στο νομό Πιερίας αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, η νέα χάραξη του τμήματος Τεμπών βρίσκεται στο νομό Λαρίσης και διέρχεται εντός των διοικητικών ορίων των δήμων Μακρυχωρίου, Κάτω Ολύμπου, Ευρυμενών και της Κοινότητας Αμπελακίων, ενώ γειτνιάζει με τον δήμο Γόννων, όπως αυτοί διαμορφώθηκαν μετά την εφαρμογή του σχεδίου «Καποδίστριας» (Ν. 2539/97). Η θέση του έργου για το τμήμα Τεμπών φαίνεται στο σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Η θέση του έργου – Χάρτης προσανατολισμού

4.1.3 Σκοπιμότητα του έργου

Το έργο αντικαθιστά το αντίστοιχο τμήμα της Εθνικής Οδού στην περιοχή των Τεμπών και του Πλαταμώνα. Αποτελεί βασικό τμήμα του αυτοκινητόδρομου Λάρισας - Κατερίνης του οδικού άξονα Πάτρα – Αθήνα – Θεσσαλονίκη - Εύζωνοι και εντάσσεται στο πρωτεύον εθνικό οδικό δίκτυο της χώρας. Η σκοπιμότητά του ταυτίζεται με τη σκοπιμότητα κατασκευής της ΠΑΘΕ. Η σύνδεσή του με το υπόλοιπο δίκτυο θα πραγματοποιείται με τους κόμβους Τεμπών και Ραψάνης στην είσοδο και στην έξοδο των Τεμπών, με τον κόμβο Πλαταμώνα και τη διασταύρωση Σκοτίνας.

Το έργο μειώνει σημαντικά τον απαιτούμενο χρόνο διαδρομής Λάρισας - Κατερίνης και κατά συνέπεια μεταξύ όλων των διαμερισμάτων της Ηπειρωτικής Ελλάδας εκατέρωθεν αυτού του οδικού τμήματος, των οποίων η σύνδεση απαιτεί τη χρήση του.

Το έργο εντάσσεται στο πρόγραμμα δημιουργίας ενός ευρύτερου μεταφορικού δικτύου εθνικού και διευρωπαϊκού, δημιουργώντας προϋποθέσεις ισόρροπης ανάπτυξης σε πολλές περιοχές της Ελλάδας. Η υλοποίηση του όλου έργου πέρα από την τοπική και εθνική του σημασία, εντάσσεται στη γενικότερη Πολιτική Μεταφορών της Ε.Ε. και συνδέεται με τις προσπάθειες εναρμόνισης των επιμέρους Εθνικών Συστημάτων Μεταφορών των κρατών μελών.

Η σημασία του όλου έργου του αυτοκινητόδρομου ΠΑΘΕ είναι προφανής: α) ως έργο εθνικής εμβέλειας, αφού αποτελεί τον βασικό συγκοινωνιακό άξονα που συνδέει τη Νότια με

τη Βόρεια Ελλάδα και στη συνέχεια με Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη και β) κυριότερο όλων, μειώνει σημαντικά τον βαθμό επικινδυνότητας που χαρακτηρίζει το κρίσιμο πέρασμα των Τεμπών και του Πλαταμώνα. Τραγικά παραδείγματα είναι τα συμβάντα του 1999 και 2003, με τους φιλάθλους του ΠΑΟΚ και των 21 μαθητών.

4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά της σήραγγας

4.2.1 Γενικά

Πρόκειται για έργο οδοποιίας που εντάσσεται στα έργα και τις δραστηριότητες της Ομάδας Ι της Πρώτης (Α) κατηγορίας της ΚΥΑ 69269/5387/24.10.1990. Η οδική αρτηρία κατατάσσεται στην κατηγορία των οδών ΑΙ και κατασκευάζεται με δύο λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση και λωρίδα έκτακτης ανάγκης (ΛΕΑ). Ως ταχύτητα μελέτης λαμβάνεται αυτή των 120 km/h.

Η σήραγγα Τ1 είναι διπλής κατευθύνσεως, συνίσταται από δύο κλάδους έναν ανά κατεύθυνση, συνολικού μήκους 1900 m έκαστος. Ανά 300 m περίπου θα κατασκευασθούν εγκάρσιοι διάδρομοι προσπέλασης.

Η εκσκαφή της σήραγγας διεξάγεται με ελεγχόμενες ανατινάξεις, περιορισμένη χρήση εκρηκτικών ή με μηχανικά μέσα, ανάλογα με την ποιότητα πετρώματος που συναντάται. Οι ανατινάξεις γίνονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται όσο το δυνατόν η διαταραχή και χαλάρωση του πετρώματος πέρα από τις προβλεπόμενες από τη μελέτη γραμμές εκσκαφής. Η εκσκαφή της σήραγγας διεξάγεται σε δύο φάσεις.

Η αλληλουχία εργασιών οι οποίες πρόκειται να γίνουν κατά την διάνοιξη της σήραγγας βασίζεται στη Νέα Αυστριακή Μέθοδο Διάνοιξης Σηράγγων και συνοπτικά είναι οι εξής:

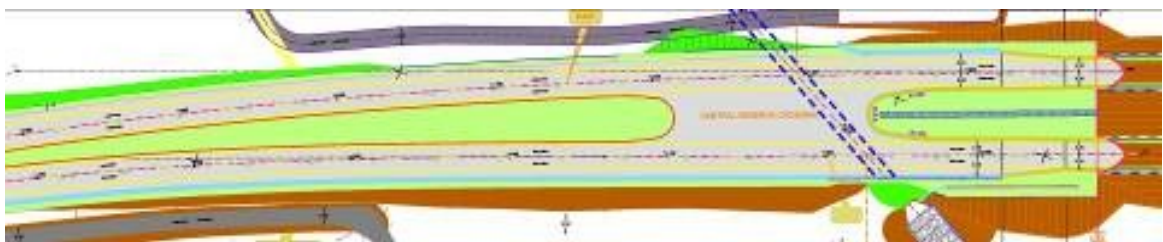
- Διάτρηση
- Γόμωση - πυροδότηση
- Φόρτωση - μεταφορά προϊόντων εκσκαφής
- Έλεγχος πετρώματος - ξεσκάρωμα
- Ενσωμάτωση πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος (το πάχος διαμορφώνεται ανά κατηγορία βραχώμαζας, σύμφωνα με την οριστική μελέτη)
- Γεωλογική χαρτογράφηση
- Διάτρηση - τοποθέτηση αγκυρίων

- Τοποθέτηση - τοπογραφικός έλεγχος πλαισίου για τις κατηγορίες βραχώμαζας που προβλέπεται
- Ενσωμάτωση υπόλοιπων στρώσεων εκτοξευόμενου σκυροδέματος
- Διάτρηση - τοποθέτηση δοκών προπορείας (εάν προβλέπονται)
- Έλεγχος εκσκαφών, συγκλίσεων, παραμορφώσεων, επικίνδυνων αερίων

4.2.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά αξόνων

Η σήραγγα T1 αποτελείται από δύο κλάδους, έναν ανά κατεύθυνση, οι οποίοι απέχουν μεταξύ τους αξονική απόσταση περίπου 25 m. Η χιλιομέτρηση είναι μοναδική για κάθε κλάδο, δηλαδή, οι χιλιομετρήσεις του ενός δεν συμπίπτουν με αυτές του άλλου. Έτσι, η θέση της εισόδου της σήραγγας του δεξιού κλάδου εντοπίζεται στη χιλιομετρική θέση 1+916,40, ενώ η είσοδος της σήραγγας του αριστερού κλάδου στη χιλιομετρική θέση 1+940,05. Στις χιλιομετρικές θέσεις που αναφέρθηκαν δεν συμπεριλαμβάνονται και τα επιπλέον μήκη διαμόρφωσης των στομίων με την μέθοδο Εκσκαφής κι Επικάλυψης (Cut & Cover).

Εισερχόμενοι από την ανοικτή οδοποιία προς τις σήραγγες, οι δύο κλάδοι ακολουθούν μία πορεία παραλλαγής ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή διαφορά των 25 m μεταξύ των δύο κλάδων. Άλλωστε, η αξονική απόσταση μεταξύ των δύο κλάδων στην ανοικτή οδοποιία είναι περίπου 12 m (σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2: Πορεία παραλλαγής από την ανοικτή οδοποιία στη σήραγγα T1

Από την είσοδο μέχρι και την έξοδό τους, ακολουθούν παράλληλη πορεία κι έτσι, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες αποκλίσεις. Συγκεκριμένα:

Οριζοντιογραφικά στοιχεία

Από τη Χ.Θ. 1+940,05 (είσοδος) μέχρι και τη Χ.Θ. 1+963,05 ο άξονας του **αριστερού κλάδου** κινείται σε ευθυγραμμία. Στη συνέχεια, ο άξονας εισέρχεται σε αριστερόστροφη καμπύλη, της οποίας η κορυφή της πολυγωνικής εντοπίζεται στο σημείο L_3 με συντεταγμένες $X: 374455.770$, $Y: 4412383.730$ και γωνία $\gamma=161.4642^\circ$.

Πιο συγκεκριμένα, μέχρι τη Χ.Θ. 2+314.92 αποτελεί μέρος κλωθοειδούς μήκους 351.87m με παραμέτρους $A=899.61$, εκτροπή (ϵ ή D_t)=2.24 και $T= 894.78$. Έπειτα, ο άξονας βαίνει επί κυκλικού τόξου ακτίνας $R=2300m$ και μήκους 1040.37m, μέχρι την Χ.Θ. 3+355.29. Τέλος, η χάραξη κινείται πάλι εντός κλωθοειδούς με τα ίδια γεωμετρικά στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω, μέχρι την χιλιομετρική θέση 3+707.16, απ' όπου αρχίζει να κινείται σε ευθυγραμμία έως την έξοδο της στην χιλιομετρική θέση 3+811.

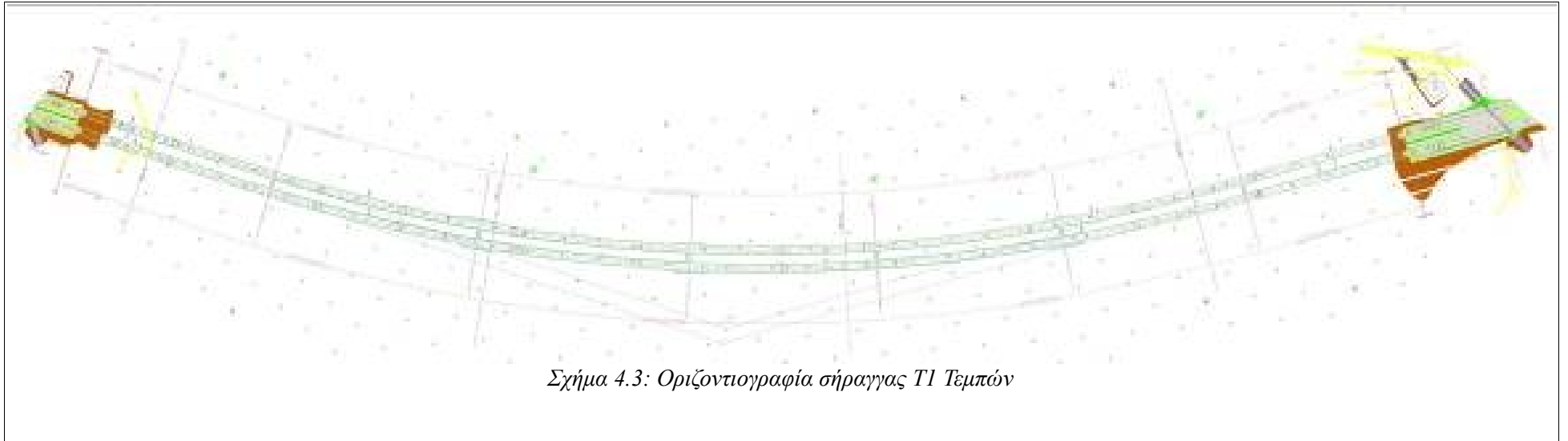
Το τόξο συναρμογής είναι της μορφής κλωθοειδής καμπύλη - κυκλικό τόξο - κλωθοειδής καμπύλη και, το συνολικό μήκος του είναι $L=1744.11m$.

Ο άξονας του **δεξιού κλάδου** ακολουθεί την λογική του αριστερού. Αρχικά, δηλαδή, από την είσοδο της σήραγγας στη Χ.Θ. 1+916.40 έως τη Χ.Θ. 1+971.55 κινείται σε ευθυγραμμία, από την οποία εισέρχεται σε αριστερόστροφη καμπύλη της οποίας η κορυφή εντοπίζεται στο σημείο R_3 με συντεταγμένες $X: 374463.841$, $Y: 4412363.861$ και γωνία $\gamma=162.4071^\circ$.

Συγκεκριμένα, από τη Χ.Θ. 1+971.55 έως τη Χ.Θ. 2+319.28 και, από τη Χ.Θ. 3+344.36 έως 3+692.09, ο άξονας κινείται εντός κλωθοειδών με γεωμετρικά στοιχεία: παράμετρο $A=899.16$, εκτροπή (ϵ ή D_t)=2.17, $T= 881.63$ και αντιστοίχως $A=899,47$, $\epsilon=2,17$ και $T=881,74$. Οι δύο αυτές κλωθοειδείς συνδέονται μεταξύ τους με κυκλικό τόξο ακτίνας $R=2325m$ και μήκους 1025.08m. Τελικά, από τη Χ.Θ. 3+692.09 έως την έξοδο της σήραγγας στη Χ.Θ. 3+821.14, ο άξονας κινείται σε ευθυγραμμία.

Η μορφή της καμπύλης συναρμογής είναι επίσης της μορφής κλωθοειδής - κυκλικό τόξο - κλωθοειδής και, το συνολικό μήκος της είναι $L=1720.79m$.

Στο σχήμα 4.3, φαίνεται η οριζοντιογραφία της σήραγγας T1 σε κάναβο, ενώ στο σχήμα 4.4, φαίνεται η οριζοντιογραφία της σήραγγας προσανατολισμένη σε αεροφωτογραφία της περιοχής των Τεμπών.



Σχήμα 4.3: Οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών



Σχήμα 4.4: Οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών (αεροφωτογραφία)

Ακολουθεί πίνακας στον οποίο παρουσιάζονται τα οριζοντιογραφικά στοιχεία των δύο κλάδων της σήραγγας T1.

4 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Αριστερός κλάδος		Χ.Θ.				
		1+940.05 έως 1+963.05	1+963.05 έως 2+314.92	2+314.92 έως 3+355.29	3+355.29 έως 3+707.16	3+707.16 έως 3+811.00
ΤΥΠΟΣ	ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑ	L=23.00	-	-	-	L=103.84
	ΚΥΚΛΙΚΟ ΤΟΞΟ	-	-	R=2300 L=1040.37	-	-
	ΚΛΩΘΟΕΙΔΗΣ	-	A=899.61 L=351.87 ε=2.24 T=894.78	-	A=899.61 L=351.87 ε=2.24 T=894.78	-
Δεξιός κλάδος		Χ.Θ.				
		1+916.40 έως 1+971.55	1+971.55 έως 2+319.28	2+319.28 έως 3+344.36	3+344.36 έως 3+692.33	3+692.33 έως 3+811.00
ΤΥΠΟΣ	ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑ	L=55.15	-	-	-	L=118.67
	ΚΥΚΛΙΚΟ ΤΟΞΟ	-	-	R=2325 L=1025.08	-	-
	ΚΛΩΘΟΕΙΔΗΣ	-	A=899.16 L=347.73 ε=2.17 T=881.63	-	A=899.47 L=347.97 ε=2.17 T=881.74	-

Πίνακας 1: Οριζοντιογραφικά στοιχεία για τον αριστερό και δεξιό κλάδο.

Στοιχεία μηκοτομής

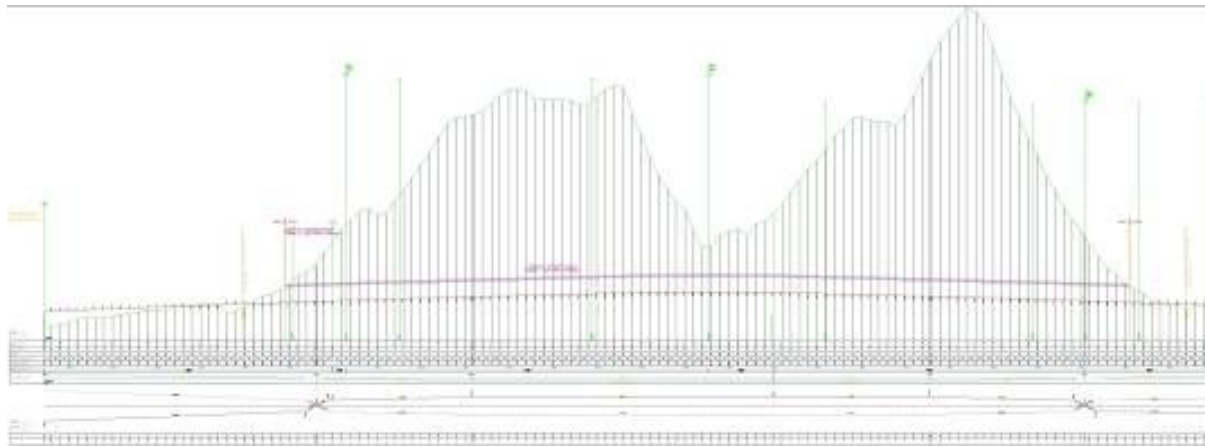
Όσον αφορά στον αριστερό κλάδο, από την είσοδο της η σήραγγα κινείται σε κατακόρυφο τόξο συναρμογής, με ακτίνα $R=110000\text{m}$, $t=121.00\text{m}$ και $f=0.07\text{m}$ μέχρι τη Χ.Θ. 2+151. Στη συνέχεια, βρίσκεται σε ευθυγραμμία με ανωφέρεια 0,53% για μήκος $L=438.74\text{m}$, μέχρι τη Χ.Θ. 2+589.74 όπου εισέρχεται πάλι σε κυκλικό τόξο ακτίνας $R=50000\text{m}$, $t=265.00\text{m}$ και $f=0.70\text{m}$ έως τη Χ.Θ. 3+119.74. Εξερχόμενος απ' το κυκλικό τόξο και μέχρι τη Χ.Θ. 3+589.39, ο άξονας κινείται κατηφορικά με κλίση $j=-0.53\%$, απ' όπου μέχρι την έξοδο της σήραγγας στην Χ.Θ. 3+811, κινείται εντός κυκλικού τόξου ομοίων γεωμετρικών χαρακτηριστικών με το αρχικό δηλαδή $R=110000\text{m}$, $t=121.00\text{m}$ και $f=0.07\text{m}$.

Η χάραξη του δεξιού κλάδου είναι απλούστερη, αφού εφαρμόζει μόλις ένα κατακόρυφο τόξο καθ' όλο το μήκος της σήραγγας. Συγκεκριμένα, από τη Χ.Θ. της εισόδου, ο άξονας ακολουθεί ανηφορική ευθεία με κλίση $j=0.75\%$ μέχρι και τη Χ.Θ. 2+565.35, απ' όπου στη συνέχεια κινείται επί κατακόρυφου τόξου με ακτίνα $R=40000$, $T=300.00$ και $f=1.12$, έως τη

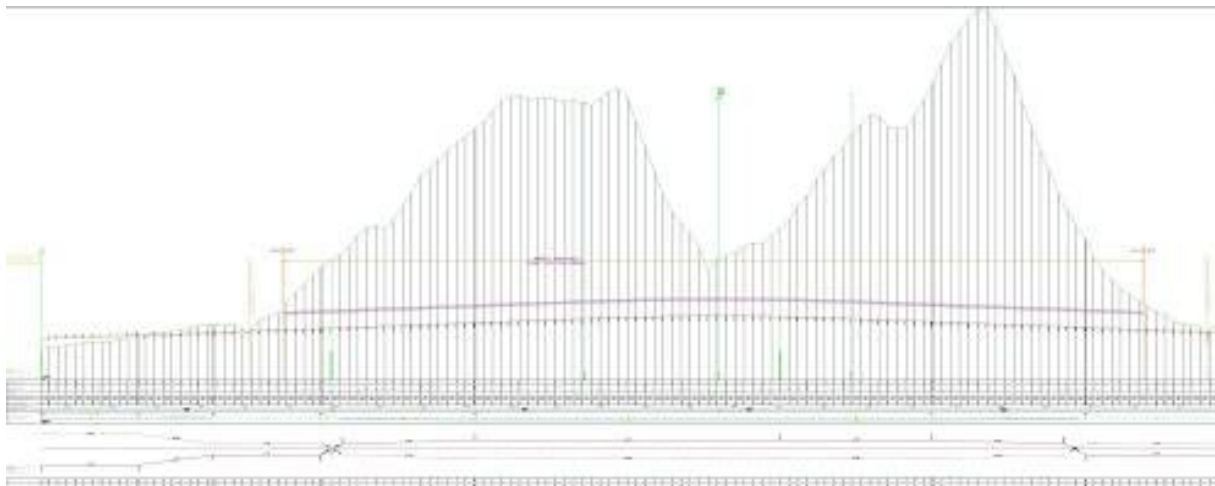
4 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

X.Θ. 3+165.35. Τέλος, μέχρι την έξοδο της σήραγγας στη X.Θ. 3+821.14, ο άξονας κινείται σε ευθύγραμμη κατωφέρεια με κλίση $j=-0.75\%$.

Στα σχήματα 4.5 και 4.6 παρουσιάζονται οι μηκοτομές του αριστερού και του δεξιού κλάδου αντιστοίχως.



Σχήμα 4.5: Μηκοτομή αριστερού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπών



Σχήμα 4.6: Μηκοτομή δεξιού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπών

4 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται συνοπτικά τα στοιχεία μηκοτομής και των δύο κλάδων.

Αριστερός κλάδος		Χ.Θ.				
		1+940.05 έως 2+151.00	2+151.00 έως 2+589.74	2+589.74 έως 3+119.74	3+119.74 έως 3+811.00	3+707.16 έως 3+811.00
ΤΥΠΟΣ	ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑ	-	j=0.53% L=438.74	-	j=-0.53% L=469.66	-
	ΚΥΚΛΙΚΟ	Κυρτό R=110000	-	Κυρτό R=50000	-	Κοίλο R=110000
	ΤΟΞΟ	t=121.00	-	t=265.00	-	t=121.00
		f=0.07	-	f=0.70	-	f=0.07

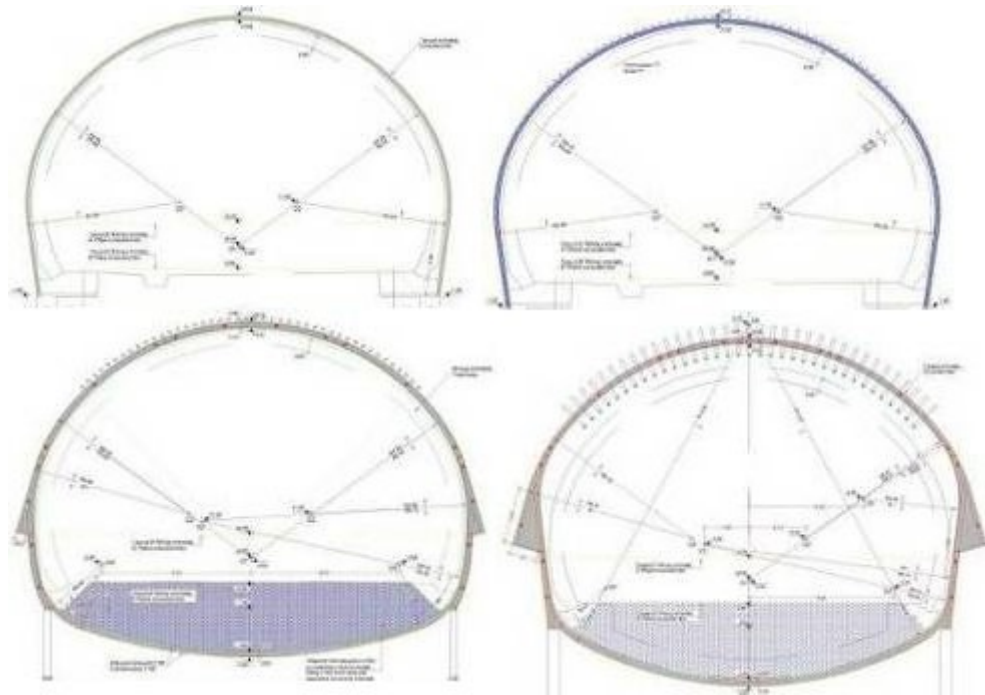
Δεξιός κλάδος		Χ.Θ.		
		1+916.40 έως 2+565.35	2+565.35 έως 3+165.35	3+165.35 έως 3+821.14
ΤΥΠΟΣ	ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑ	j=0.75% L=438.74	-	j=0.75% L=438.74
	ΚΥΚΛΙΚΟ	-	Κυρτό R=40000	-
	ΤΟΞΟ	-	t=300.00	-
		f=1.12		

Πίνακας 2: Στοιχεία μηκοτομής για τον αριστερό και δεξιό κλάδο.

4.2.3 Γεωμετρία διατομών

Η εκσκαφή των διατομών της σήραγγας διεξάγεται στις γραμμές και διαστάσεις που δείχνονται στα σχέδια της μελέτης και ελέγχονται κάθε φορά από το υπεύθυνο τοπογραφικό συνεργείο. Κατά τη διαστασιολόγηση της σήραγγας έχουν οριστεί λεπτομερώς τα στοιχεία εκείνα που καθορίζουν τη γεωμετρία των χαρακτηριστικών γραμμών της διατομής της σήραγγας και οι οποίες διαφέρουν για κάθε τυπική διατομή.

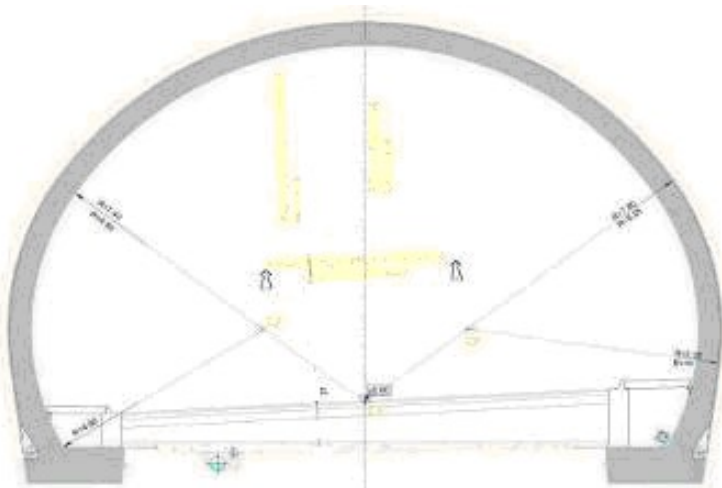
Στη συνέχεια παρατίθενται οι τυπικές διατομές για τις κατηγορίες 4A, 5A, 6A, 7A. Οι ονομασίες (4A,5A, κλπ) προέκυψαν για κάθε κατηγορία πετρώματος που συναντάται εντός της σήραγγας, δηλαδή, η ποιότητα της βραχώμαζας κατατάσσεται κατά αύξοντα αριθμό. Έτσι, η κατηγορία 7A αποτελεί την χειρότερη κατηγορία βραχώμαζας η οποία ενδέχεται να προκύψει, ενώ η κατηγορία 4A εφαρμόζεται στην βέλτιστη ποιότητα πετρωμάτων. Οι κατηγορίες 5A και 6A είναι ενδιάμεσες κατηγορίες (σχήμα 4.7).



Σχήμα 4.7: Τυπικές διατομές που χρησιμοποιούνται στη σήραγγα T1.
(Πάνω: αριστερά 4A, δεξιά 5A / Κάτω: αριστερά 6A, δεξιά 7A)

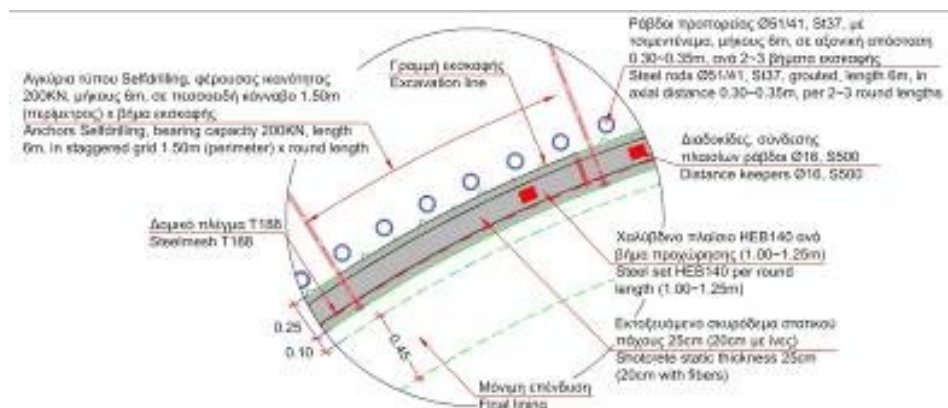
Η εκσκαφή στην κατηγορία 7 πραγματοποιείται με μηχανικά μέσα προκειμένου να μην διαταραχθεί το πέτρωμα. Στις υπόλοιπες κατηγορίες η εκσκαφή γίνεται με χρήση εκρηκτικών, περιορισμένη στις 5A, 6A και εκτεταμένη με μεγάλο βήμα στην 4A. Επίσης, όσον αφορά τα μέτρα υποστήριξης, στις κατηγορίες 5A, 6A και 7A γίνεται εκτεταμένη εφαρμογή μέτρων υποστήριξης (δοκοί προπορείας, ηλώσεις, κατασκευή ανεστραμμένου τόξου). Στην κατηγορία 4A δεν απαιτείται η χρήση πολλών μέτρων υποστήριξης, παρά μόνον η εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος και η τοποθέτηση ηλώσεων σε αραιό κάναβο.

Τέλος, στο παρακάτω σχήμα 4.8, παρουσιάζεται η τυπική διατομή της τελικής επένδυσης η οποία πρόκειται να εφαρμοσθεί στη σήραγγα. Τόσο ο άξονας της σήραγγας όσο και ο άξονας της οδοποιίας είναι ορατοί. Επιλέχθηκε εσκεμμένα τυπική διατομή με το οδόστρωμα σε επίκλιση ώστε να είναι ορατός και ο άξονας της οδοποιίας, δεδομένου ότι οι δύο δεν συμπίπτουν. Επίσης, διακρίνονται και τα πεζοδρόμια αριστερά και δεξιά του οδοστρώματος.



Σχήμα 4.8: Τυπική διατομή τελικής επένδυσης

Επίσης, στο σχήμα 4.9 παρουσιάζεται μια λεπτομέρεια διατομής, όπου φαίνονται οι γραμμές εκσκαφής και εκτοξευόμενου σκυροδέματος, το πλαίσιο, η γραμμή σύγκλισης (δηλαδή το περιθώριο που δίνεται από τους μελετητές για τυχόν παραμορφώσεις της σήραγγας), καθώς και η γραμμή της τελικής επένδυσης. Η εσωτερική γραμμή της τελικής επένδυσης καλείται εσωράχιο, ενώ η εξωτερική εξωράχιο.



Σχήμα 4.9: Λεπτομέρεια τυπικής διατομής τελικής επένδυσης

4.2.4 Γεωλογικές συνθήκες σήραγγας

4.2.4.1 Εισαγωγή

Παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές γεωλογικές συνθήκες της σήραγγας T1 τόσο από πλευράς τύπων πετρωμάτων όσο και της δομής αυτών. Υπογραμμίζεται η ανάγκη γνώσης της

γεωλογικής “λογικής” της ευρύτερης κάθε φορά περιοχής για τη σωστή διάγνωση θεμελιωδών προβλημάτων που μπορεί να προκύπτουν. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δίνεται στην ανάγκη καθορισμού, κάθε φορά, του ακριβούς τύπου βραχώμαζας που τότε μόνο θα μπορεί να επιτρέψει τη σωστή επιλογή των απαραίτητων γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού.

4.2.4.2 Μορφολογία της περιοχής διέλευσης

Γεωμορφολογικά η κοιλάδα των Τεμπών αναπτύσσεται μεταξύ των ορεινών όγκων του Ολύμπου και της Όσσας, έχοντας γενική διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ.

Η γεωμορφολογική εξέλιξη της κοιλάδας των Τεμπών επέδρασε καθοριστικά στην διαμόρφωση του ανάγλυφου και των συνθηκών ευστάθειας της περιοχής. Στο σύνολό της η περιοχή χαρακτηρίζεται από αστάθεια των τεχνητών και φυσικών κλιτύων, η οποία οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην έντονη και γρήγορη μορφολογική εξέλιξη της περιοχής.

4.2.4.3 Γεωλογικές συνθήκες – Στρωματογραφία

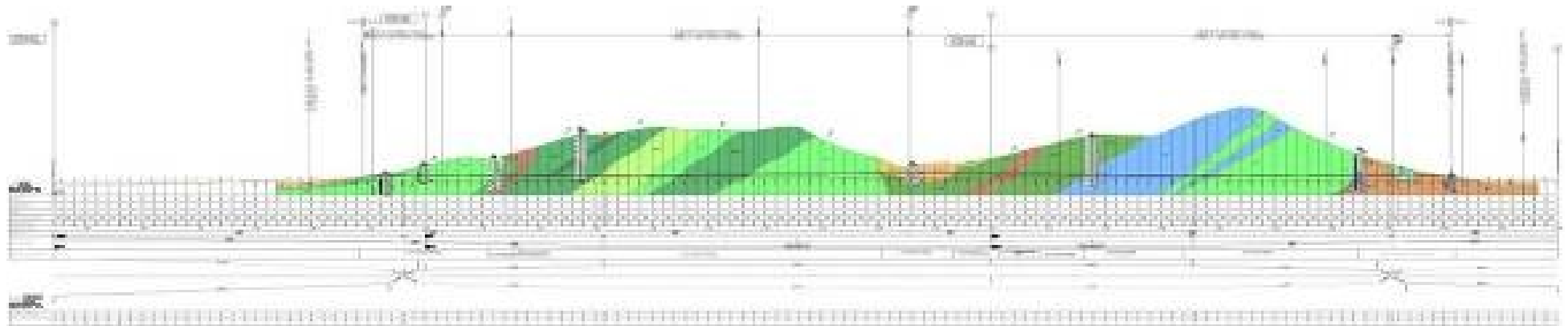
Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την κοιλάδα των Τεμπών ανήκουν στις τεκτονικές ενότητες της Όσσας και των Αμπελακίων.

Η ενότητα της Όσσας, η οποία συναντάται και στο μεγαλύτερο τμήμα της κοιλάδας αποτελείται κυρίως από φυλλίτες και από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, ενώ η ενότητα των Αμπελακίων συναντάται στο αρχικό τμήμα της κοιλάδας και σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Αποτελείται κυρίως από σχιστόλιθους, αμφιβολίτες και αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους με ενστρώσεις μαρμάρων. Στην ενότητα αυτή εντοπίζεται επίσης ένα ετερογενές σύμπλεγμα σχιστόλιθων, μαρμάρων και περιδοτιτών, που βρίσκονται επωθημένοι στους προηγούμενους σχηματισμούς.

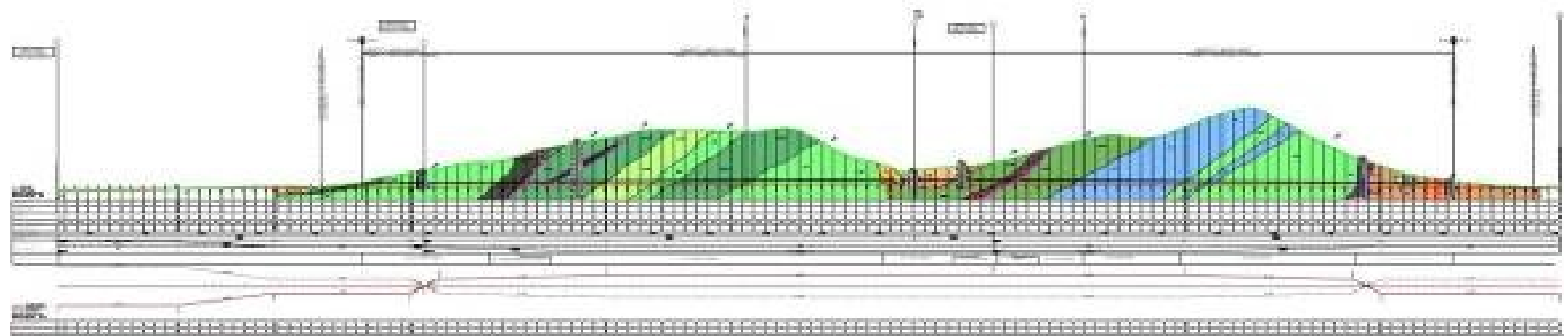
Όσον αφορά στις γεωλογικές συνθήκες της σήραγγας T1 οι οποίες προέκυψαν από τις γεωλογικές μελέτες, όπως φαίνεται και στην γεωλογική οριζοντιογραφία του σχήματος 4.10, η σήραγγα στο μεγαλύτερο μέρος της διασχίζει την ενότητα Αμπελακίων, συναντώντας στρώσεις βραχωδών σχηματισμών, κυρίως μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων, μαρμαρυγιακών αμφιβολιτικών σχιστόλιθων και αμφιβολιτικών σχιστόλιθων, ενώ περίπου από τη Χ.Θ. 3+155 του αριστερού κλάδου (σχήμα 4.11) και 3+160 του δεξιού (σχήμα 4.12), εισέρχεται στην ενότητα της Όσσας, όπου συναντά διαδοχικά σχηματισμούς κρυσταλλικών μαρμάρων, σχιστόλιθου κι εν τέλει, φυλλίτη.



Σχήμα 4.10: Γεωλογική οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών



Σχήμα 4.11: Γεωλογική μηκοτομή αριστερού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπόν



Σχήμα 4.12: Γεωλογική μηκοτομή δεξιού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπόν

5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

5.1 Γενικές πληροφορίες για την περιοχή μελέτης

Τα δεδομένα αυτής της εργασίας προέρχονται από τον αριστερό κλάδο της σήραγγας T1 των Τεμπών, η οποία κατασκευάζεται στα πλαίσια σύνδεσης της Βόρειας και Νότιας Ελλάδας, με σκοπό την παράκαμψη των επικίνδυνων στενών της κοιλάδας των Τεμπών. Επιταχύνεται, έτσι, η διέλευση της κοιλάδας και ταυτόχρονα μειώνεται ο βαθμός επικινδυνότητας λόγω του έντονου επιφανειακού αναγλύφου (που μπορεί να προκαλέσει πιθανές αποκολλήσεις βράχων, κατολισθήσεις, εμφάνιση έντονων καιρικών φαινομένων – ομίχλη κλπ.).

Έγινε προσπάθεια να καταγραφεί όσο το δυνατόν ακριβέστερα το μέτωπο της σήραγγας του αριστερού κλάδου αμέσως μετά τις φάσεις της ανατίναξης και του ξεσκαρώματος. Πρόκειται για μια διεργασία η οποία επιβαρύνει τη συνεχή ροή του κύκλου εργασιών εντός της σήραγγας. Επιπλέον, λόγω του ανυποστήρικτου “γυμνού” πετρώματος (χωρίς την προσθήκη εκτοξευόμενου σκυροδέματος) η καταγραφή πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο γρήγορη και να τηρούνται αυστηρά οι κανόνες ασφαλείας.

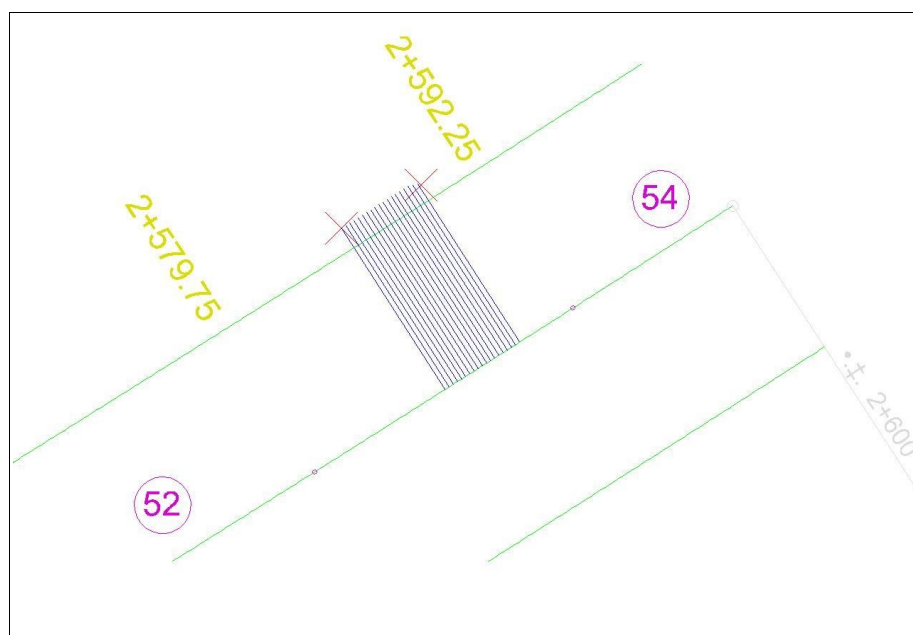
Χρησιμοποιήθηκε ο επίγειος σαρωτής laser ScanStation 2 της Leica Geosystems για την αποτύπωση του μετώπου. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν δύο καταγραφές αυτού:

- i. μετά τη φάση της ανατίναξης και του ξεσκαρώματος,
- ii. μετά τη τοποθέτηση μίας στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος (guniting).

Επισημαίνεται ότι η στρώση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πρέπει να τοποθετείται αμέσως μετά τη φάση του ξεσκαρώματος για αποφυγή αποκολλήσεων εδαφικών σχηματισμών – καταπτώσεων και για τη καλύτερη κατανομή των τάσεων που προκαλούνται λόγω της διάνοιξης.

5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

Το μέτωπο που καταγράφηκε βρίσκεται στη Χ.Θ. 2+589,66 και η προχώρηση της τελευταίας ανατίναξης είναι περίπου 2,5 m. Αυτή υπολογίστηκε από το νέφος σημείων συγκρίνοντας τη διαταραγμένη επιφάνεια της διατομής της σήραγγας κοντά στο μέτωπο με την πιο λεία – εξομαλυμένη πίσω από το μέτωπο, λόγω της πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος που έχει τοποθετηθεί.

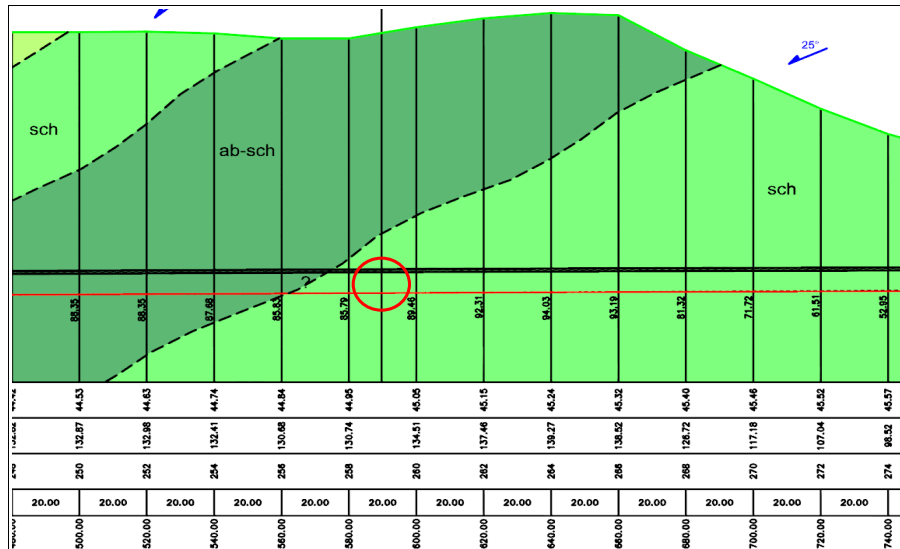


Σχήμα 5.1: Περιοχή αποτύπωσης διατομών

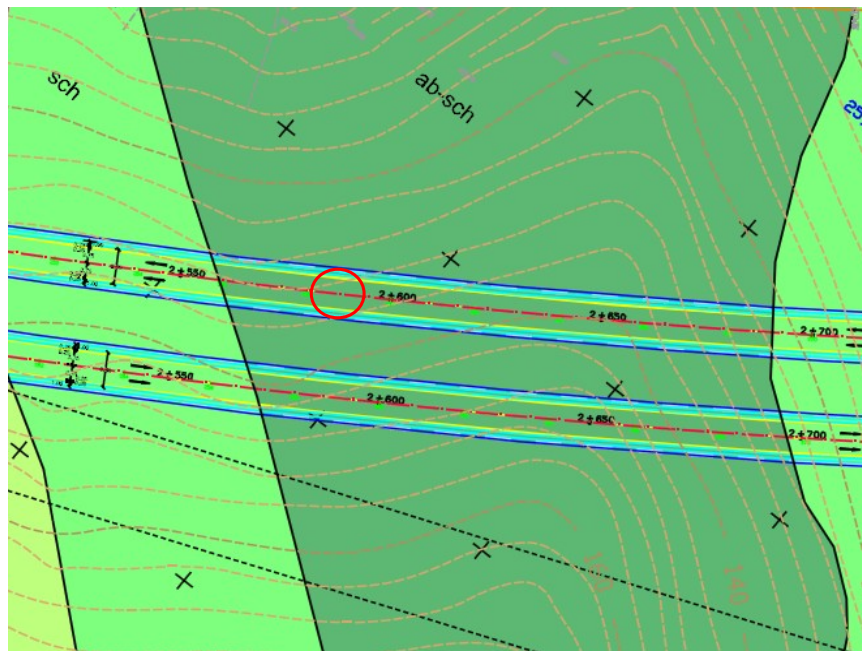
Για τη σύγκριση των ορίων της πραγματικής εκσκαφής με αυτά της τυπικής διατομής, εξήχθησαν διατομές από τα δύο νέφη σημείων ανά 20 cm και συγκεκριμένα από τη Χ.Θ. 2+586,05 μέχρι τη Χ.Θ. 2+589,66 (σχήμα 5.1). Έτσι, προέκυψαν 19 συνολικά διατομές ανά νέφος σημείων.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί στην περιοχή του μετώπου είναι μαρμαρυγιακοί – αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι με υπερκείμενα αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους (σχήματα 5.2 και 5.3).

5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΛΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ



Σχήμα 5.2: Οι γεωλογικοί σχηματισμοί στο μέτωπο (μηκοτομή)

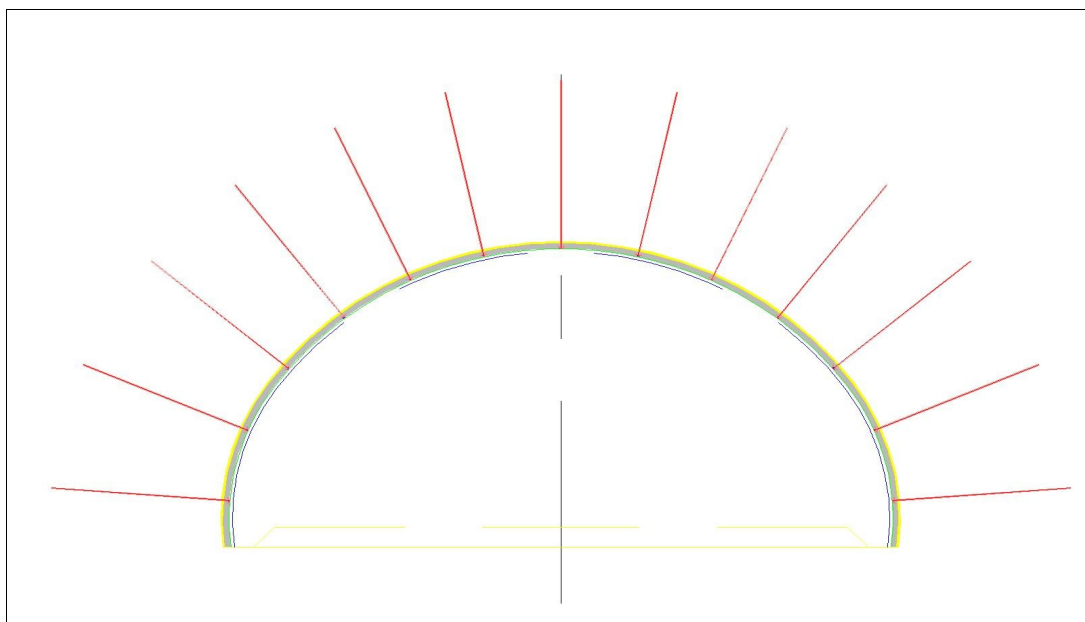


Σχήμα 5.3: Οι γεωλογικοί σχηματισμοί στο μέτωπο (οριζοντιογραφία)

Επίσης, η διάνοιξη της σήραγγας γίνεται σε δύο φάσεις. Αρχικά, διανοίγεται η Α' φάση, που είναι το πάνω μέρος της σήραγγας, και μετά από κάποιες μέρες η Β' φάση, που είναι το

κάτω μέρος της σήραγγας. Συνήθως, η διάνοιξη της Β' φάσης καθυστερεί αρκετά μέτρα από την Α' και διανοίγεται με μηχανικά μέσα (αντί με χρήση εκρηκτικών υλών) και με πολύ μεγαλύτερο ρυθμό προχώρησης.

Στο σημείο που έγιναν οι μετρήσεις γίνεται η διάνοιξη Α' φάσης και σύμφωνα με τη μελέτη εκσκαφής τοποθετείται υποστήριξη κατηγορίας 4Α. Πρόκειται για ελαφριά υποστήριξη χωρίς τη χρήση πλαισίων, παρά μόνο στρώσεων εκτοξευόμενου σκυροδέματος (συνολικού πάχους 15 cm) και αγγυρίων (τύπου Swellex). Οι στρώσεις σκυροδέματος τοποθετούνται σε τρία στάδια, με σκυρόδεμα πάχους 5 cm ανά στρώση. Στο σχήμα 5.4 που ακολουθεί φαίνεται η τυπική διατομή 4Α (στην Α' φάση διάνοιξης) όπου αποτυπώνονται τα όρια εκσκαφής, το πλάτος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και το εξωράχιο της τελικής επένδυσης.



Σχήμα 5.4: Τυπική διατομή 4Α

5.2 Ο επίγειος σαρωτής laser ScanStation 2

5.2.1 Γενικά

Η τεχνολογία συνεχώς εξελίσσεται και ταυτόχρονα γίνεται πιο προσιτή για το μηχανικό.

Οι δυνατότητες των τοπογραφικών οργάνων αυξάνονται, όπως επίσης και η ποιότητα των δεδομένων που παρέχουν. Μια σύγχρονη, σχετικά, τεχνολογία που αρχίζει σταδιακά να χρησιμοποιείται σε μετρήσεις είναι αυτή των επίγειων σαρωτών laser.

Οι δυνατότητες των επίγειων σαρωτών laser (laser scanners) είναι πολλές. Αυτό που χρειάζεται διερεύνηση είναι το πεδίο που μπορούν να χρησιμεύσουν στο μηχανικό. Ποιες είναι δηλαδή οι εφαρμογές αυτών. Έχοντας αυτό ως προϋπόθεση, η χρήση ενός τέτοιου επίγειου σαρωτή laser σε τεχνικά έργα και κυρίως υπόγεια έργα, φαίνεται ότι μπορεί να είναι χρήσιμη, αποδοτική και τεχνικό-οικονομικά συμφέρουσα. Στην παρούσα διπλωματική εξετάστηκε η δυνατότητα πραγματοποίησης μετρήσεων διατομών για την εξαγωγή ποσοτικής πληροφορίας και κυρίως του μεγέθους των υπερεκκαφών.

5.2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

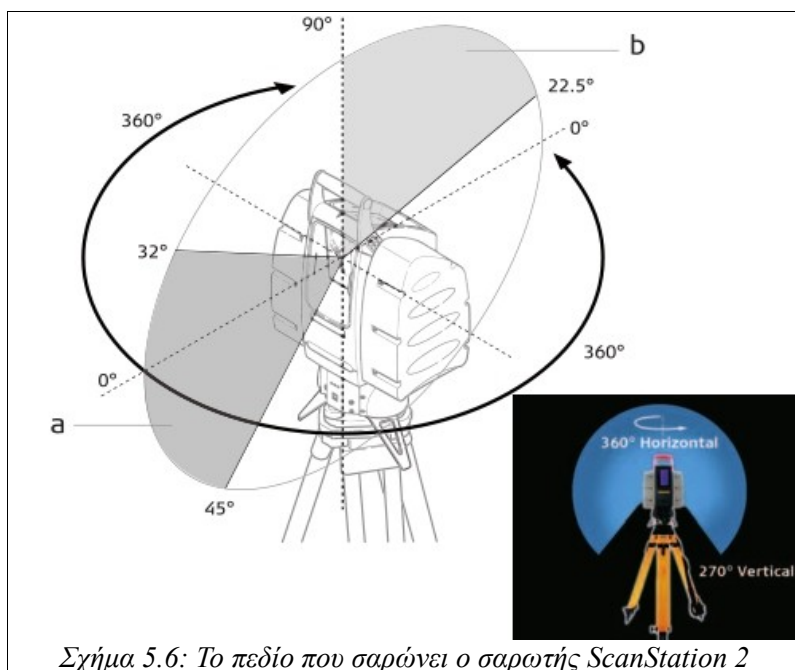
Ο επίγειος σαρωτής laser ScanStation 2 της Leica Geosystems (σχήμα 5.5) είναι ένας επίγειος σαρωτής που χρησιμοποιεί ακτίνες laser υψηλής ακριβείας για την καταγραφή σημείων. Έχει τη δυνατότητα καταγραφής μέχρι και 50.000 σημεία το δευτερόλεπτο και σε απόσταση μέχρι και 300 m (90% αλμπέντο ή λευκαύγεια) χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα. Μπορεί να καταγράψει σημεία σε απόσταση μικρότερη του ενός χιλιοστού μεταξύ τους. Λόγω του πλήθους των σημείων που λαμβάνει και της απόστασης μεταξύ τους, το σύνολο αυτών ονομάζεται νέφος σημείων (point cloud).



Σχήμα 5.5: Ο σαρωτής ScanStation 2

5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

Πρόκειται για έναν παλμικό σαρωτή που στέλνει επαναλαμβανόμενους παλμούς ακτίνων laser με δυνατότητα αποτύπωσης 360° στο οριζόντιο και 270° στο κατακόρυφο επίπεδο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια δύο περιστρεφόμενων κατόπτρων που κατευθύνουν την ακτίνα laser στον κατακόρυφο άξονα και με την περιστροφή του σαρωτή στον οριζόντιο άξονα. Ουσιαστικά δεν αποτυπώνονται τα σημεία που βρίσκονται στον κατακόρυφο άξονα από -45° μέχρι 90° (σχήμα 5.6) εξαιτίας του τρόπου στήριξης (τοποθέτησης) του οργάνου.



Η γωνιακή του ανάλυση είναι $60 \mu\text{rad}$ ($12''$) και η ακρίβεια μίας μέτρησης ως προς τη θέση και απόσταση είναι 6 mm και 4 mm αντίστοιχα (για εμβέλεια μέχρι 50 m). Επιπλέον διαθέτει ισοσταθμητή και στους δύο άξονες (dual axis compensator), ηλεκτρονικό σύστημα κίνησης (servo), αυτόματη αναγνώριση στόχων και σκόπευση με τη βοήθεια ψηφιακής οθόνης (imaging) και όχι μέσω τηλεσκοπίου.

Συγκεκριμένα, ο σαρωτής αυτός προϋποθέτει για το χειρισμό του σύνδεση με φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η σκόπευση γίνεται με τη βοήθεια ψηφιακής εικόνας (φωτογραφίας) που λαμβάνεται από το σαρωτή και με τη βοήθεια του λογισμικού Cyclone της Leica Geosystems στον φορητό υπολογιστή ρυθμίζονται όλες οι παράμετροι για την αποτύπωση. Με αυτό το τρόπο καταγράφονται τα δεδομένα που λαμβάνονται και στη συνέχεια, αν απαιτείται, μπορούν να υποστούν οποιαδήποτε επεξεργασία.

Οι διαστάσεις του σαρωτή είναι $265 \text{ mm} \times 370 \text{ mm} \times 510 \text{ mm}$ (βάθος x πλάτος x ύψος) και το καθαρό του βάρος $18,8 \text{ kg}$. Επιπλέον, απαιτείται τροφοδοσία για τη λειτουργία του, η

5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

οποία παρέχεται από συσσωρευτές (μπαταρίες) που ο καθένας έχει βάρος 12 kg και αυτονομία 3 h. Τα βασικά μέρη του σαρωτή ScanStation 2 είναι (σχήμα 5.7):

- Ο σαρωτής που περιλαμβάνει: πομπό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, δέκτη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που λαμβάνει το επιστρεφόμενο σήμα, καταγραφική μονάδα στην οποία καταγράφονται η επιστροφή του σήματος και ο χρόνος εκπομπής – λήψης, χρονόμετρο για τη μέτρηση του χρόνου μετάβασης και επιστροφής του εκπεμπόμενου σήματος, σύστημα περιστρεφόμενων καθρεφτών που κατευθύνει τη δέσμη της ακτινοβολίας.
- Συσσωρευτές (μπαταρίες) για τη τροφοδοσία του συστήματος
- Η μονάδα ελέγχου που αποτελείται από ένα φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή σε σύνδεση με το σαρωτή. Στον υπολογιστή είναι εγκατεστημένο το λογισμικό σάρωσης και επεξεργασίας των δεδομένων.
- Βασικά παρελκόμενα που συνοδεύουν το σύστημα όπως τρίποδας για να τοποθετηθεί το όργανο και ειδικοί στόχοι σάρωσης (σχήμα 5.8).



Σχήμα 5.7: Τα βασικά μέρη του σαρωτή ScanStation 2



Σχήμα 5.8: Ειδικός στόχος σάρωσης

5.3 Η διαδικασία της καταγραφής του μετώπου με τη χρήση του σαρωτή laser

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του Κεφαλαίου 5, η συνολική διαδικασία για τη καταγραφή κοντά στο μέτωπο πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο σύντομη χρονικά. Το έδαφος (πριν την πρώτη καταγραφή) είναι ανυποστήρικτο και χρειάζεται προσοχή σε τυχόν καταπτώσεις ή αποκολλήσεις βράχων κλπ. Επίσης, η συνέχιση των φάσεων εκσκαφής – διάνοιξης της σήραγγας δεν είναι δυνατό να διακοπεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, που στη συνέχεια καθυστερεί στο χρονοδιάγραμμα διάνοιξης της σήραγγας.

Επομένως, πρέπει η διαδικασία καταγραφής να είναι όσο το δυνατόν πιο συντονισμένη και οργανωμένη. Από πριν έχουν επιλεγθεί οι θέσεις τοποθέτησης του επίγειου σαρωτή laser και των τεσσάρων ειδικών στόχων. Επίσης, έχει υπολογιστεί η απόσταση του σαρωτή από το μέτωπο, το πεδίο σάρωσης (κατακόρυφα και οριζόντια) και η επιθυμητή ανάλυση σάρωσης. Τα τρία αυτά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένου τη ταχύτητα σάρωσης του σαρωτή, καθορίζουν και το χρόνο που απαιτείται για τη σάρωση. Επισημαίνεται ότι η ταχύτητα σάρωσης του σαρωτή δεν έχει σχέση με την ονομαστική (συνήθως είναι κατά πολύ μικρότερη) και για να εκτιμηθεί προϋποθέτει τη καταγραφή του σαρωτή σε αντίστοιχες συνθήκες (ανάκλαση στο ίδιο πέτρωμα, απόσταση από το μέτωπο κλπ.) και τη χρονομέτρησή του.

Πρώτη καταγραφή

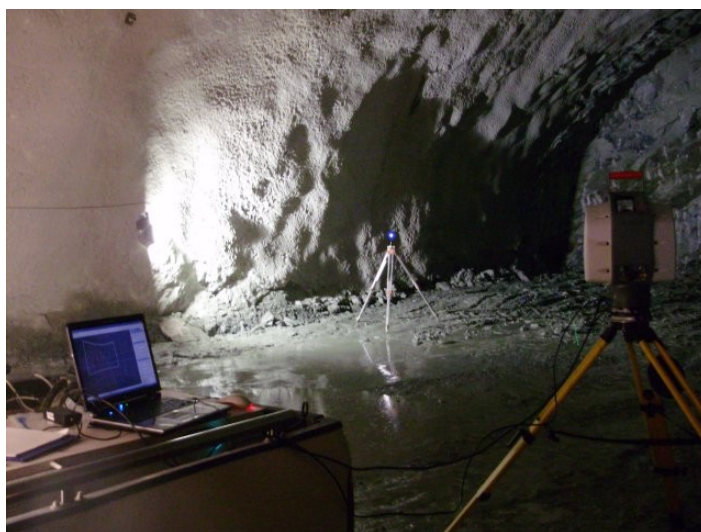
Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της ολοκλήρωσης του ξεσκαρώματος και της αποκομιδής των υλικών της ανατίναξης ξεκίνησε η διαδικασία (σχήμα 5.9). Τοποθετήθηκαν οι τρίποδες των τεσσάρων ειδικών στόχων σύμφωνα με τη γεωμετρία που αποφασίστηκε. Στη συνέχεια, όταν το μέτωπο καθάρισε από τα στείρα υλικά και απομακρύνθηκαν τα χωματουργικά μηχανήματα, εγκαταστάθηκε το όργανο στη θέση καταγραφής. Επιλέχθηκε να τοποθετηθούν δύο στόχοι μπροστά και δύο στόχοι πίσω από αυτό για καλύτερη γεωμετρία. Στο σχήμα 5.10 φαίνεται ο σαρωτής laser κατάλληλα τοποθετημένος, ένας ειδικός στόχος (μπροστά και αριστερά από το σαρωτή) και το μέτωπο. Επίσης, διακρίνεται ο φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής με τον οποίο γίνεται ο χειρισμός του σαρωτή.



Σχήμα 5.9: Αποκομιδή των υλικών της ανατίναξης από το μέτωπο της σήραγγας

Στη συνέχεια, λήφθηκε φωτογραφία στο συνολικό οπτικό πεδίο του σαρωτή και ορίστηκε το πεδίο σάρωσης. Αυτό ορίστηκε ως $66,231^\circ$ εύρος στον οριζόντιο και $39,353^\circ$ εύρος (ΔH_z και ΔV) στο κατακόρυφο άξονα μέσω του λογισμικού Cyclone. Η ανάλυση σάρωσης επιλέχθηκε ως 4 mm τόσο στον οριζόντιο όσο και στο κατακόρυφο άξονα σε βάθος πεδίου ίσο με 25 m. Η συνολική καταγραφή διάρκεσε 36 min.

Στο τέλος της καταγραφής του νέφους σημείων, επιλέχθηκαν μέσω του λογισμικού οι τέσσερις ειδικοί στόχοι και καταγράφηκαν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Επίσης, οι συντεταγμένες των ειδικών στόχων υπολογίστηκαν στο σύστημα αναφοράς του έργου, το οποίο για συμβατικούς λόγους είναι το προβολικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87.



Σχήμα 5.10: Ο σαρωτής κατάλληλα στημένος πριν τη καταγραφή. Στο βάθος διακρίνεται ένας ειδικός στόχος και το μέτωπο (δεξιά).

Δεύτερη καταγραφή

Μετά την πρώτη καταγραφή τοποθετήθηκε η πρώτη στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο μέτωπο και στις παρειές του, δηλαδή στο σύνολο της διαταραγμένης περιοχής. Σκοπός είναι να καταγραφεί η ίδια ακριβώς περιοχή για να μπορέσουν να εξαχθούν συγκρίσιμα αποτελέσματα.

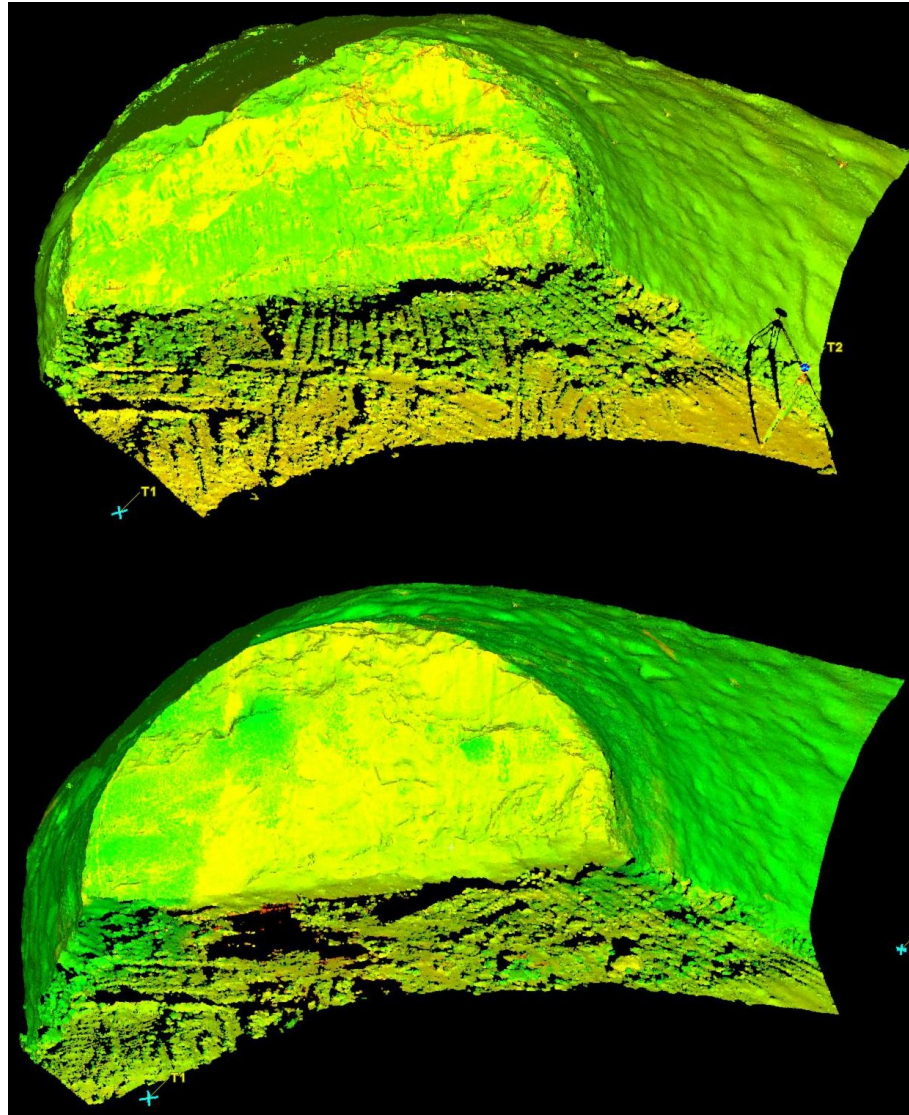
Γι' αυτό το λόγο, οι τέσσερις στόχοι αφέθηκαν ακριβώς στις ίδιες θέσεις και το μόνο που απεγκαταστάθηκε και εγκαταστάθηκε ξανά ήταν ο επίγειος σαρωτής laser. Έτσι, αυτός τοποθετήθηκε σε μια θέση πλησίον της αρχικής και πραγματοποιήθηκαν παρόμοια βήματα καταγραφής. Δηλαδή, λήφθηκε μια νέα φωτογραφία από το σαρωτή και ορίστηκε το πεδίο σάρωσης ως $67,881^\circ$ εύρος στον οριζόντιο και $34,129^\circ$ εύρος (ΔH_z και ΔV) στο κατακόρυφο άξονα μέσω του λογισμικού Cyclone. Η ανάλυση σάρωσης επιλέχθηκε η ίδια με την προηγούμενη καταγραφή, δηλαδή 4 mm τόσο στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα σε βάθος πεδίου ίσο με 25 m. Η συνολική καταγραφή διάρκεσε 34 min.

5.3.1 Παρουσίαση των νεφών από τις καταγραφές

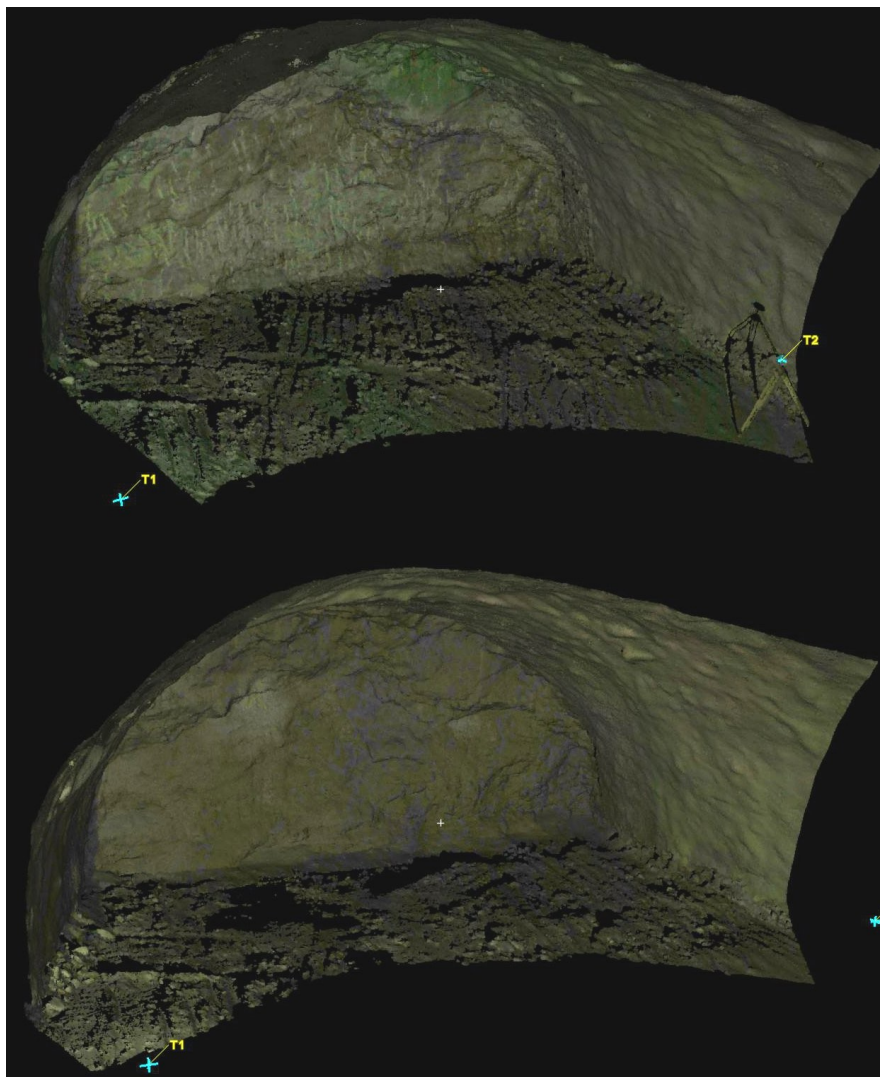
Μετά τις δύο καταγραφές είναι δυνατή η απεικόνιση τους στο λογισμικό Cyclone. Γίνεται, έτσι, μια πρώτη εκτίμηση της ποιότητας της αποτύπωσης της επιθυμητής περιοχής και αν είναι πλήρως ορατή από τη θέση σάρωσης.

Τα νέφη σημείων για την πρώτη και δεύτερη καταγραφή απεικονίζονται σύμφωνα με:

- την ανακλαστικότητα τους (σχήμα 5.11)
- τη φωτογραφία από το σαρωτή (σχήμα 5.12)



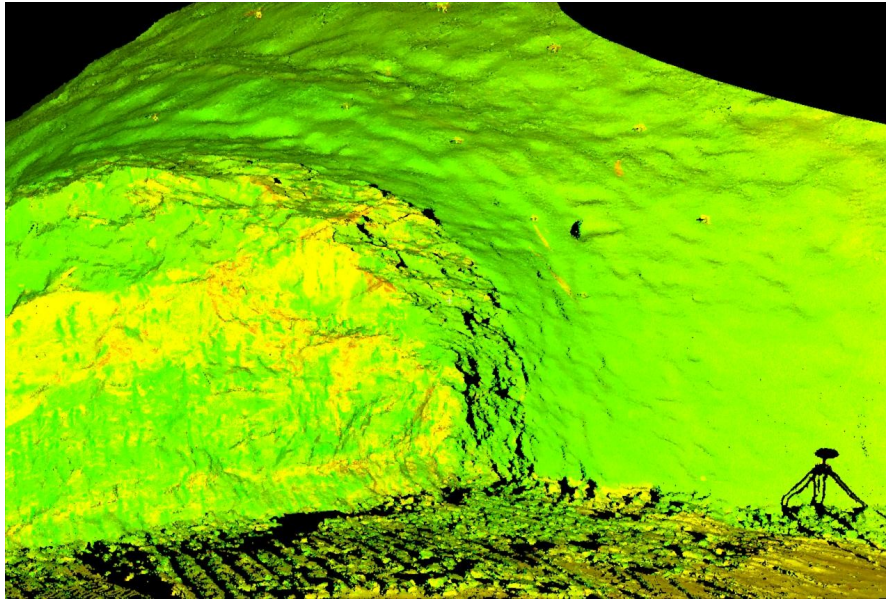
Σχήμα 5.11: Τα νέφη σημείων στην 1η (πάνω) και στη 2η καταγραφή (κάτω) απεικονισμένα σύμφωνα με την ανακλαστικότητα - Πρόοψη



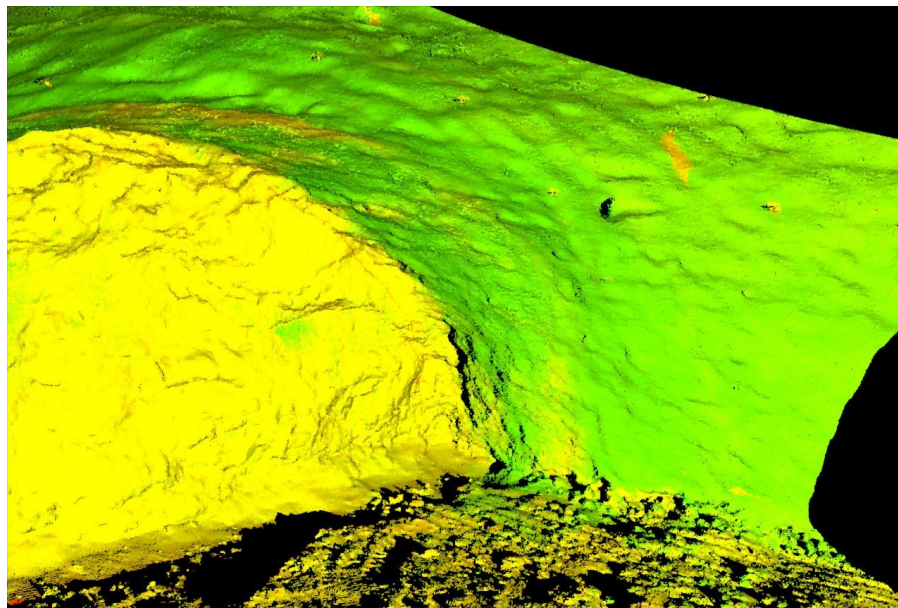
Σχήμα 5.12: Τα νέφη σημείων στην 1η (πάνω) και στη 2η καταγραφή (κάτω) απεικονισμένα σύμφωνα με τη φωτογραφία του σαρωτή - Πρόοψη

Επιπλέον, από τα νέφη σημείων είναι ορατή η διαταραγμένη περιοχή λόγω της τελευταίας ανατίναξης κοντά στο μέτωπο της σήραγγας. Αυτή διακρίνεται καλύτερα στην πρώτη καταγραφή (σχήμα 5.13), ενώ στη δεύτερη καταγραφή που έχει τοποθετηθεί μία στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (gunite) είναι πιο δυσδιάκριτη λόγω της εξομάλυνσης της επιφάνειάς της (σχήμα 5.14).

Η διαταραγμένη αυτή περιοχή θα μετρηθεί κατάλληλα στη συνέχεια και θα εξαχθούν διατομές, με σκοπό τον υπολογισμό του πραγματικού εμβαδού αυτών σε σύγκριση με το ζητούμενο από τη τεχνική μελέτη. Επομένως, αυτή πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ορατή (χωρίς κενά - σκιές στο νέφος) και να έχει καλή ανάλυση. Και τα δύο αυτά κριτήρια καλύπτονται αρκετά καλά στη συγκεκριμένη περίπτωση.



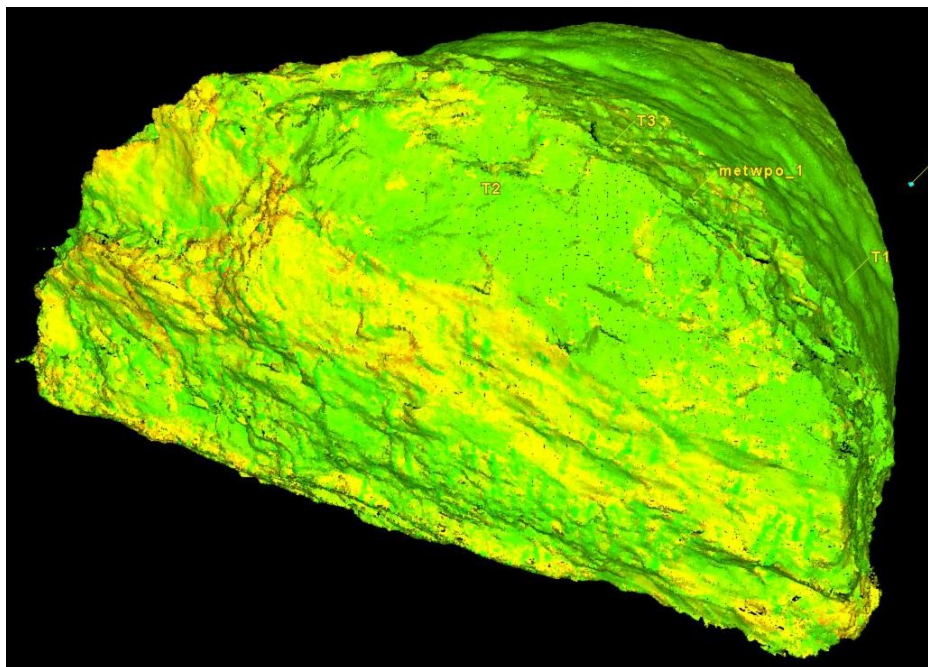
Σχήμα 5.13: Η διαταραγμένη περιοχή κοντά στο μέτωπο λόγω της τελευταίας ανατίναξης (από 1η καταγραφή)



Σχήμα 5.14: Η διαταραγμένη περιοχή όπως φαίνεται μετά τη τοποθέτηση μίας στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος (από 2η καταγραφή)

Επιπλέον, από τα νέφη σημείων και με τη βοήθεια της ανακλαστικότητας των υλικών είναι δυνατή η διάκριση της εναλλαγής των πετρωμάτων στο μέτωπο (από 1η καταγραφή) και λεπτομερειών στη διάνοιξη της σήραγγας, όπως τα άκρα των αγκυρίων στις παρειές αυτής και τα νέα διατρήματα στο μέτωπο που έχουν διατρηθεί (από 2η καταγραφή). Επίσης είναι

δυνατή η απεικόνιση του μετώπου από την πίσω πλευρά του, δηλαδή από τη μεριά που δεν έχει ακόμα διανοιχθεί η σήραγγα (σχήμα 5.15). Αυτό βοηθάει το μηχανικό στο καλύτερο σχεδιασμό και προσαρμογή της διάτρησης – ανατίναξης.

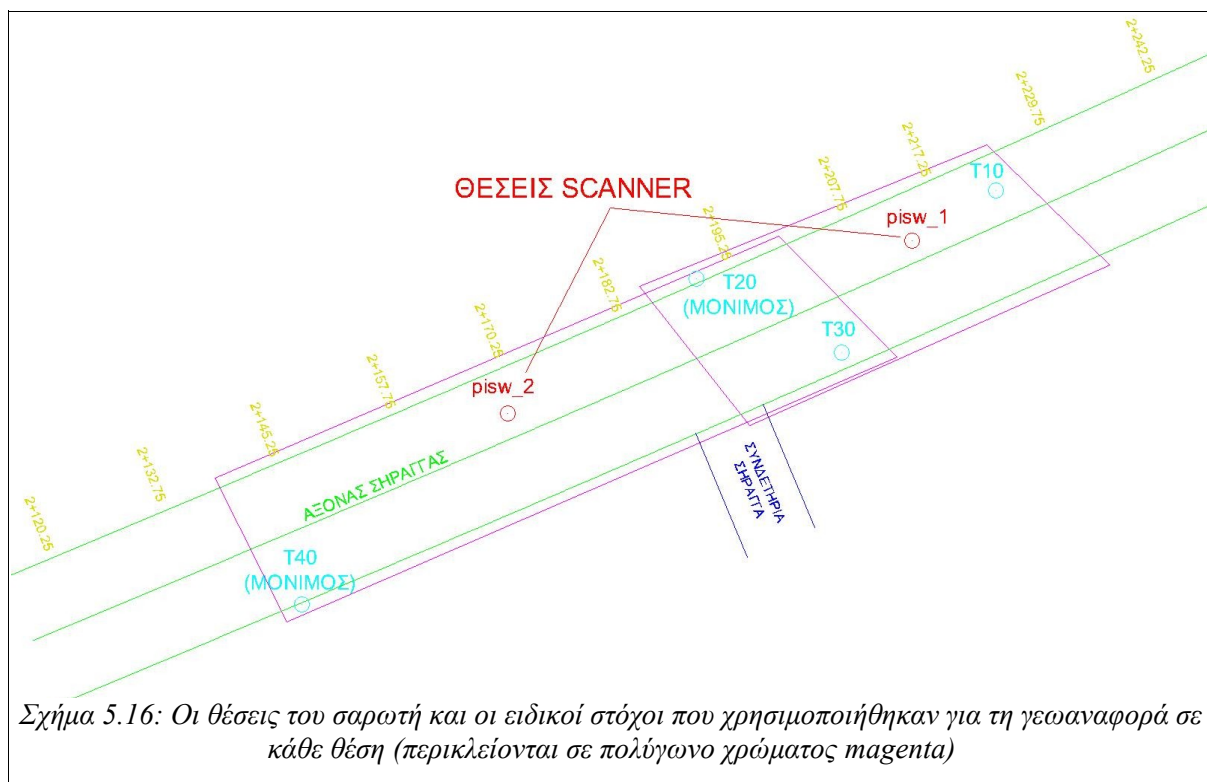


Σχήμα 5.15: Απεικόνιση του μετώπου από τη μεριά που η σήραγγα δεν έχει ακόμα διανοιχθεί – Πίσω όψη

5.4 Συμπληρωματική αποτύπωση μέρους της σήραγγας

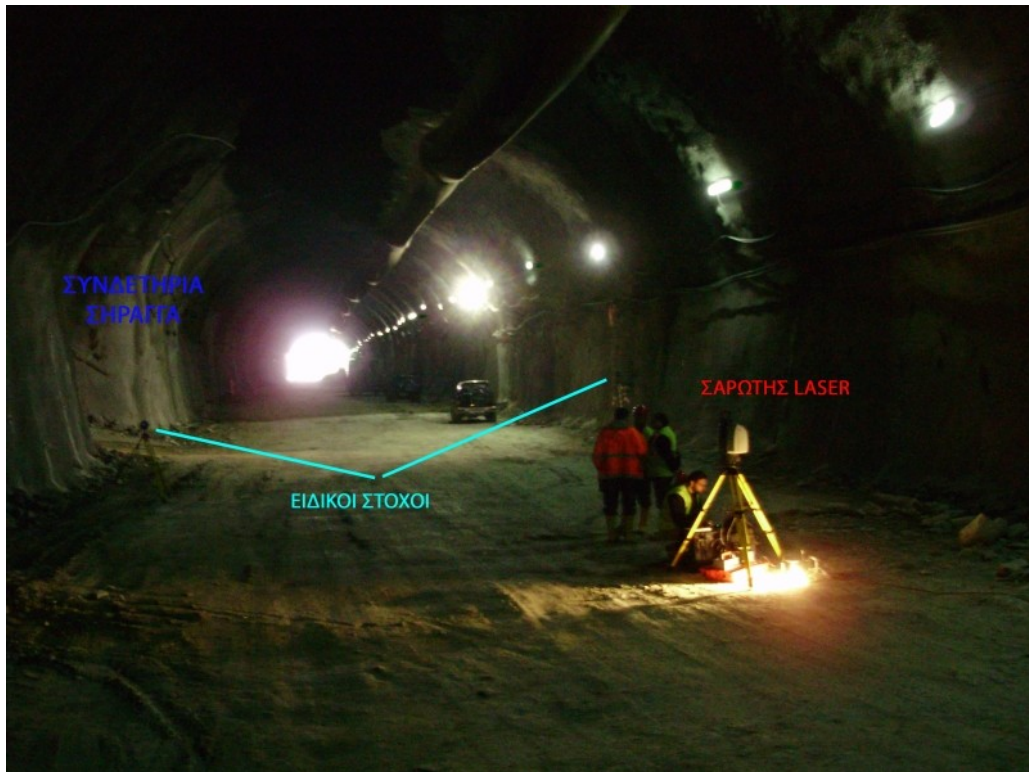
Για την περαιτέρω διερεύνηση της χρηστικότητας του επίγειου σαρωτή laser εντός της σήραγγας, έγινε σάρωση σε ένα κομμάτι του αριστερού κλάδου της σήραγγας T1 των Τεμπών αρκετά πίσω από το μέτωπο. Ο σαρωτής εγκαταστάθηκε σε δύο θέσεις και κατέγραψε σχεδόν στο σύνολο του οπτικού του πεδίου.

Αναλυτικότερα, ο σαρωτής σε κάθε θέση που τοποθετήθηκε κατέγραψε το νέφος σημείων που το περιβάλλει μαζί με τρεις κατάλληλα τοποθετημένους ειδικούς στόχους (σχήμα 5.16). Αυτοί οι ειδικοί στόχοι είχαν γνωστές συντεταγμένες στο προβολικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87 (οι δύο από αυτούς είναι και μόνιμοι πακτωμένοι στόχοι στις παρειές της σήραγγας) και χρησιμοποιήθηκαν για τη γεωαναφορά του σαρωτή σε κάθε θέση.



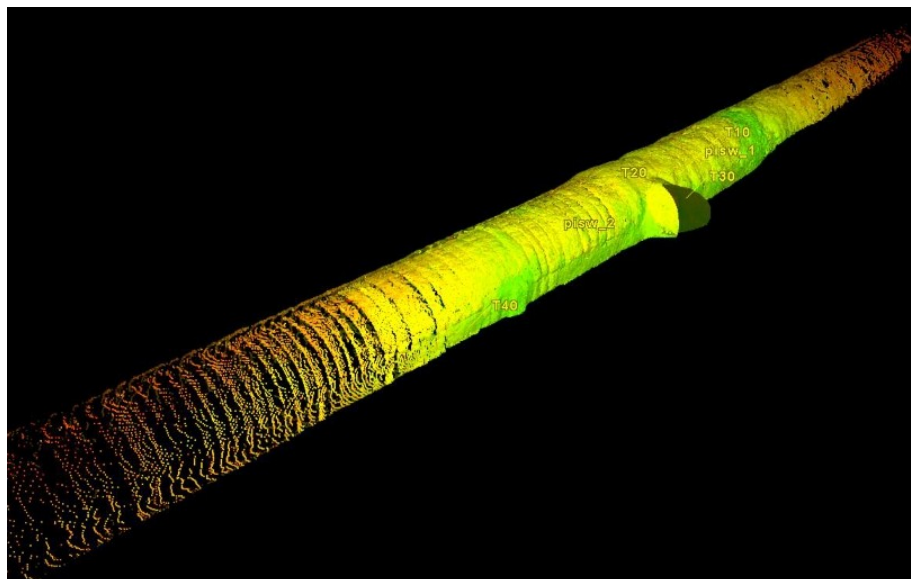
Ο σαρωτής laser εκτέλεσε σάρωση σχεδόν στο συνολικό του οπτικό πεδίο, δηλαδή 360 μοίρες περιστροφή στον οριζόντιο άξονα και 110° στο κατακόρυφο (από -20° μέχρι +90° από την οριζόντιο) και για τις δύο θέσεις σάρωσης. Επίσης, η ανάλυση σάρωσης ορίστηκε ως 5 cm στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα σε 20 m βάθος πεδίου. Ο χρόνος που χρειάστηκε για κάθε καταγραφή των νεφών σημείων ήταν 32 min.

Στην περιοχή της σάρωσης (σχήμα 5.17) απαντώνται διαφορετικοί τύποι πετρωμάτων και κατ' επέκταση, χρησιμοποιούνται διαφορετικές κατηγορίες διατομών δηλαδή κατηγορία 5A στην πρώτη περιοχή και κατηγορία 4A στην δεύτερη. Αναφέρεται ότι στην πρώτη περιοχή όπου χρησιμοποιήθηκε η κατηγορία 5A, ο τύπος πετρώματος που συναντήθηκε ήταν Μαρμαρυγιακός αμφιβολιτικός σχιστόλιθος (sch) ενώ στη κατηγορία 4A, ο τύπος πετρώματος ήταν Αμφιβολιτικός σχιστόλιθος με αμφιβολίτες (ab-sch). Επίσης, ανάμεσα από τις δύο περιοχές μελέτης που επελέγησαν, παρεμβάλλεται εγκάρσιος διάδρομος προσπέλασης (συνδετήρια σήραγγα).

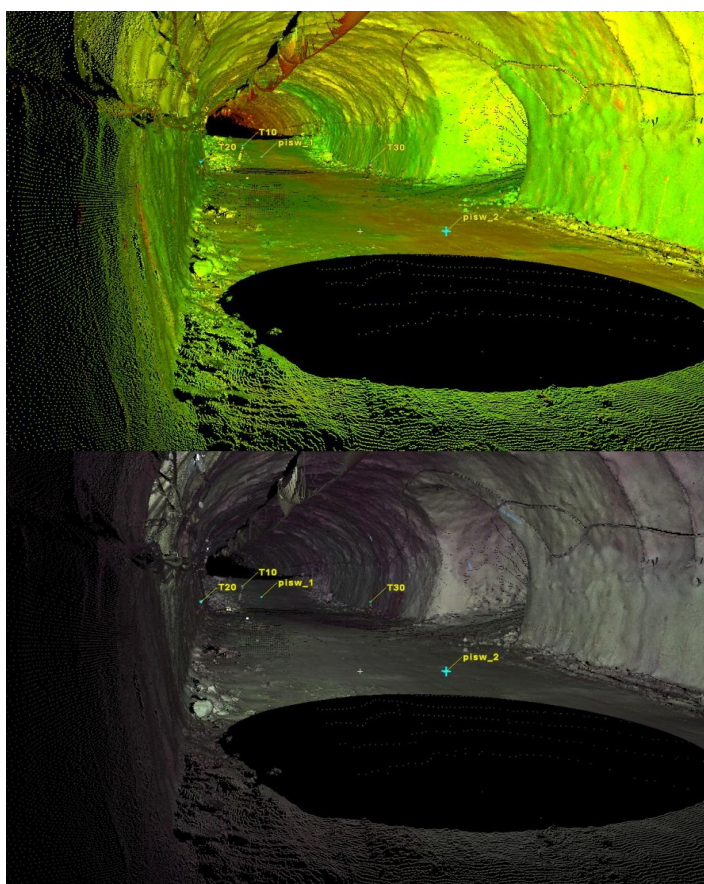


Σχήμα 5.17: Η περιοχή της σάρωσης. Ο σαρωτής είναι τοποθετημένος στην 1η θέση και διακρίνονται δύο από τους ειδικούς στόχους και η συνδετήρια σήραγγα.

Μετά τη καταγραφή των νεφών σημείων και την επεξεργασία τους στο λογισμικό Cyclone, προέκυψε ένα ενιαίο νέφος σημείων αποτελούμενο από 3.841.406 σημεία (1.921.990 σημεία στην πρώτη θέση και 1.919.416 σημεία στη δεύτερη). Αυτό αποτελεί σύνθεση των νεφών και από τις δύο θέσεις σάρωσης. Το συνολικό νέφος απεικονίζεται όπως φαίνεται εξωτερικά (σύμφωνα με την ανακλαστικότητα του) στο σχήμα 5.18 και εσωτερικά στο σχήμα 5.19.



Σχήμα 5.18: Το συνολικό νέφος σημείων όπως φαίνεται εξωτερικά (απεικονισμένο σύμφωνα με την ανακλαστικότητα του)

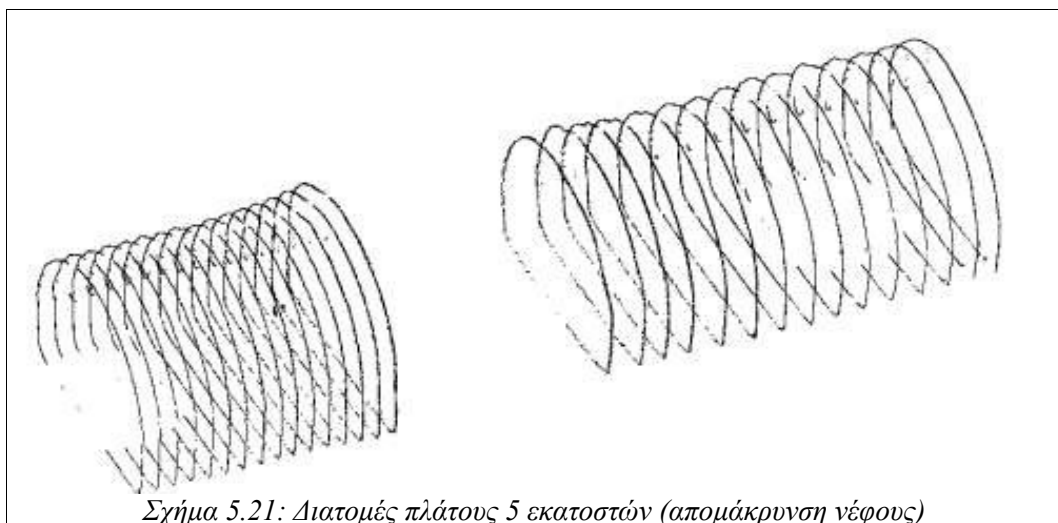
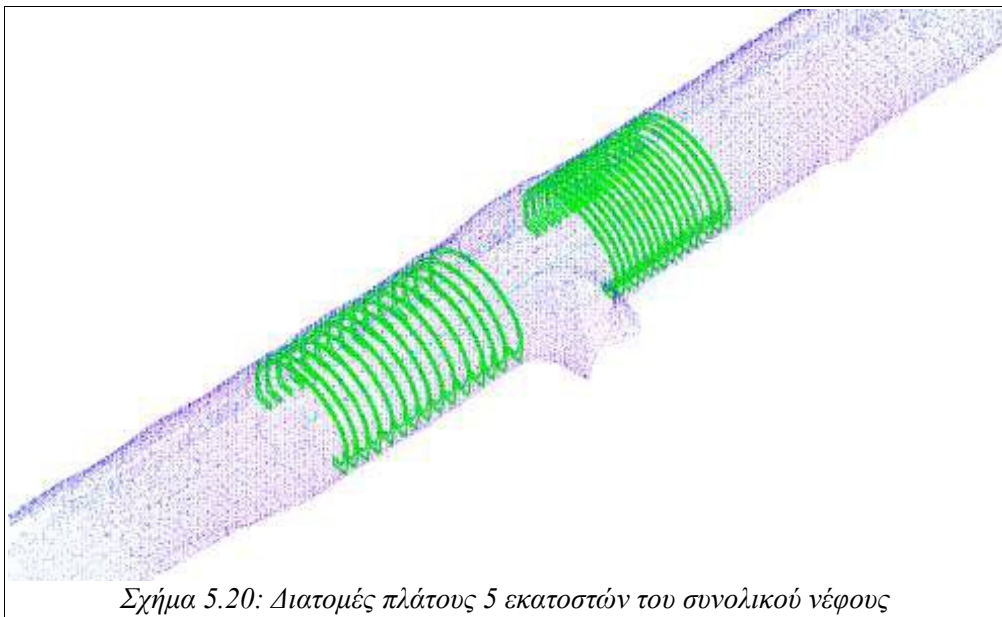


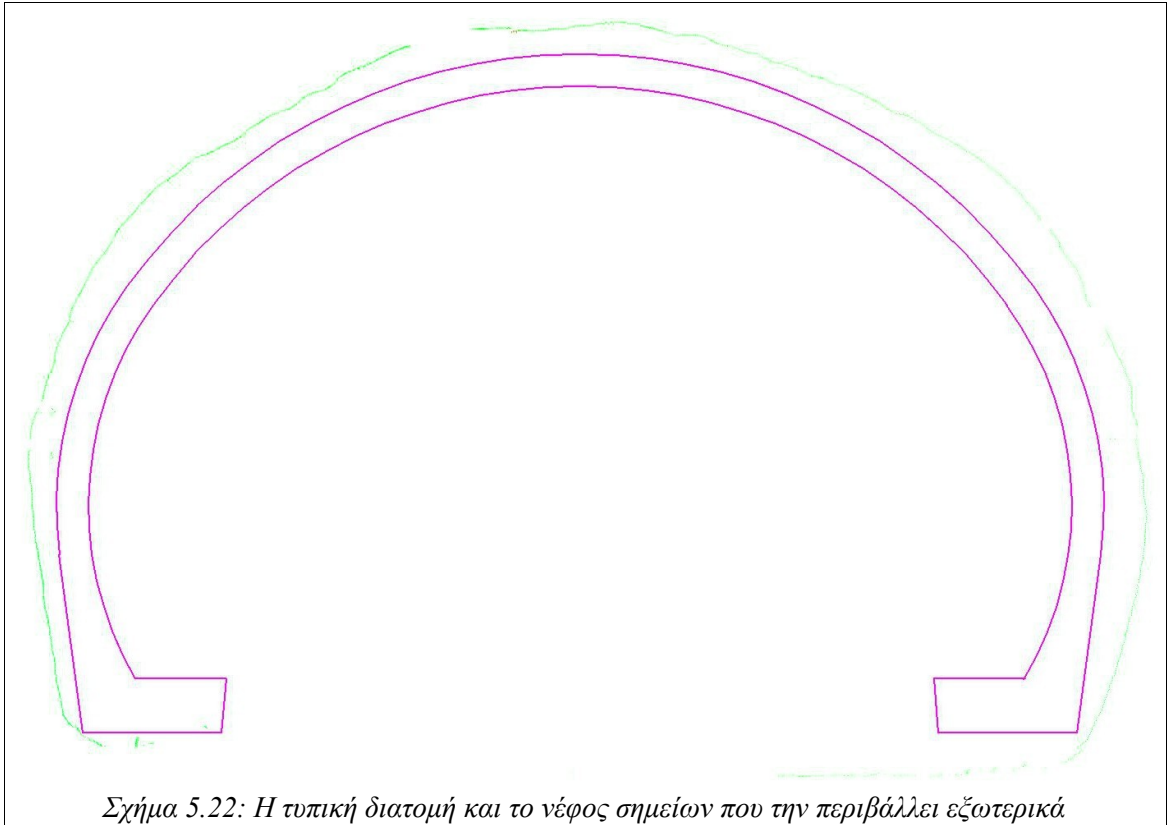
Σχήμα 5.19: Το συνολικό νέφος σημείων όπως φαίνεται εσωτερικά απεικονισμένο σύμφωνα με την ανακλαστικότητα (πάνω) και τη φωτογραφία του σαρωτή (κάτω)

5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

Μετά τη συνένωση των νεφών είναι η δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία τους. Μπορούν να εξαχθούν διατομές σε οποιαδήποτε θέση και να γίνουν μετρήσεις για οποιαδήποτε εφαρμογή απαιτείται. Επίσης, τονίζεται ότι με δύο σαρώσεις σε δύο διαφορετικές θέσεις σάρωσης που απέχουν μεταξύ τους περίπου 45 m, καλύφθηκε ένα αρκετά μεγάλο κομμάτι της σήραγγας (μεγαλύτερο από 120 m) με αρκετά πυκνή ανάλυση σάρωσης.

Στη συνέχεια, δίνονται ενδεικτικά διατομές που εξήχθησαν από το συγκεκριμένα νέφος σημείων (σχήματα 5.20 και 5.21). Επίσης, στο σχήμα 5.22 απεικονίζεται μια τυπική διατομή τοποθετημένη κατάλληλα (σύμφωνα με τον άξονα της σήραγγας) και το νέφος που την περιβάλλει στη συγκεκριμένη θέση.





Σχήμα 5.22: Η τυπική διατομή και το νέφος σημείων που την περιβάλλει εξωτερικά

6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Ο συγκεκριμένος επίγειος σαρωτής laser δεν έχει κατασκευασθεί για τη χρήση του εντός σιηράγγων και για την εξαγωγή διατομών. Επομένως, τόσο η ίδια η συσκευή όσο και το παρεχόμενο λογισμικό (Cyclone) δεν έχουν τις απαραίτητες διευκολύνσεις για το σκοπό που ορίστηκε σε αυτή την εργασία. Αυτό ήταν κάτι αναμενόμενο, μιας και δοκιμάστηκε ο σαρωτής σε μια νέα εφαρμογή για να μελετηθεί η χρησιμότητα και η πρακτικότητά του σε αυτές τις συνθήκες.

6.1 Σύνοψη δεδομένων καταγραφής – πρωτογενής πληροφορία

Από το πεδίο λήφθηκαν οι μετρήσεις σε δύο φάσεις, οι οποίες αφορούν δύο διαφορετικές καταγραφές νεφών σημείων σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές. Έτσι ουσιαστικά ο επίγειος σαρωτής laser τοποθετήθηκε δύο φορές σε διαφορετική θέση, αλλά σχετικά σε μικρή απόσταση μεταξύ αυτών. Επιπλέον, για να δοθούν συντεταγμένες στον σαρωτή χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις ειδικοί στόχοι για κάθε καταγραφή, οι οποίοι και για τις δύο καταγραφές παραμείναν στην ίδια ακριβώς θέση.

Η πρωτογενής πληροφορία που συλλέχθηκε από το πεδίο είναι:

- ένα νέφος σημείων (1.937.766 σημεία) – 1η καταγραφή
- ένα νέφος σημείων (1.719.549 σημεία) – 2η καταγραφή
- οι τέσσερις συντεταγμένες στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87 των ειδικών στόχων
- οι δύο φωτογραφίες (μία για κάθε καταγραφή) του συνολικού οπτικού πεδίου του σαρωτή

Αρχικά, η πληροφορία του νέφους που καταγράφει ο σαρωτής είναι η εξής:

- Ο σαρωτής ορίζεται ως η αρχή των αξόνων με συντεταγμένες (0,0,0).

- Στα σημεία του νέφους δίνονται συντεταγμένες (X,Y,Z) σχετικές ως προς το σαρωτή (υπολογίζονται αυτόματα από το λογισμικό βάσει γωνιών και αποστάσεων).
- Καταγράφεται, επίσης, και ο βαθμός ανακλαστικότητας κάθε σημείου ξεχωριστά.

6.2 Γεωαναφορά της θέσης του επίγειου σαρωτή laser

Έχοντας τις συντεταγμένες των τεσσάρων ειδικών στόχων στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87, είναι δυνατό να δοθούν συντεταγμένες και στον σαρωτή για τις δύο καταγραφές.

Σε κάθε καταγραφή ξεχωριστά, έχουν επισημανθεί και καταγραφεί οι ειδικοί στόχοι μέσω του λογισμικού. Με αυτόν τον τρόπο, έχει τοποθετηθεί ένα διάνυσμα στο κέντρο του κάθε στόχου με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Επίσης, καταγράφεται η σχετική θέση αυτών ως προς το σαρωτή. Έτσι δίνοντας πραγματικές συντεταγμένες στους στόχους, μπορεί να γεωαναφερθεί και ο σαρωτής.

Αρκούν τρεις ειδικοί στόχοι για την ορθή γεωαναφορά του σαρωτή, αλλά για τον υπολογισμό του σφάλματος και της ακρίβειας της θέσης του σαρωτή, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις στόχοι τελικά. Οι συντεταγμένες των στόχων δόθηκαν με χρήση γεωδαιτικού σταθμού.

Γεωαναφορά σαρωτή για την πρώτη καταγραφή

Οι συντεταγμένες των ειδικών στόχων στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87 δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Συντ/νες Ειδικών Στόχων	x	y	H
T1	374171,744	4412326,246	46,807
T2	374178,317	4412316,649	47,134
T3	374167,369	4412309,692	47,134
T4	374160,439	4412319,212	46,769

Πίνακας 3: Οι συντεταγμένες των ειδικών στόχων στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87 (1η καταγραφή).

Με τη βοήθεια του λογισμικού Cyclone υπολογίζεται η ακριβής θέση του σαρωτή laser και το σφάλμα υπολογισμού συνολικά και για κάθε στόχο χωριστά. Επομένως:

- χρήση όλων των στόχων (τέσσερις)

ID	X	Y	Z	HT	Error	Use	Acquire	Type
metwpo_1	374168.726	4412316.690	46.673	0.000	0.004	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Scanner
T1	374171.744	4412326.246	46.807	0.000	0.004	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target
T2	374178.317	4412316.649	47.134	0.000	0.002	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target
T3	374167.369	4412309.692	47.134	0.000	0.003	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target
T4	374160.439	4412319.212	46.769	0.000	0.002	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target

Σχήμα 6.1: Χρήση τεσσάρων στόχων για τον υπολογισμό της θέσης του σαρωτή και το σφάλμα υπολογισμού (1η καταγραφή).

- χρήση τριών στόχων

ID	X	Y	Z	HT	Error	Use	Acquire	Type
metwpo_1	374168.726	4412316.691	46.673	0.000	0.002	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Scanner
T1	374171.744	4412326.246	46.807	0.000	0.004	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target
T2	374178.317	4412316.649	47.134	0.000	0.001	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target
T3	374167.369	4412309.692	47.134	0.000	0.002	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target
T4	374160.439	4412319.212	46.769	0.000	0.001	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target

Σχήμα 6.2: Χρήση τριών στόχων για τον υπολογισμό της θέσης του σαρωτή και το σφάλμα υπολογισμού (1η καταγραφή).

(*δεν χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό ο στόχος με το μεγαλύτερο σφάλμα)

Η θέση λοιπόν του σαρωτή για την πρώτη καταγραφή είναι $\text{metwpo}_1=(374168.726,4412316.691,46.673)$ με μέγιστο σφάλμα ίσο με 2 mm.

Γεωαναφορά σαρωτή για τη δεύτερη καταγραφή

Οι συντεταγμένες των ειδικών στόχων στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87 δίνονται στον παρακάτω πίνακα (ίδιες με τις αρχικές, δεδομένου ότι οι στόχοι δεν μετακινήθηκαν):

Συντ/νες Ειδικών Στόχων	x	y	H
T1	374171,744	4412326,246	46,807
T2	374178,317	4412316,649	47,134
T3	374167,369	4412309,692	47,134
T4	374160,439	4412319,212	46,769

Πίνακας 4: Οι συντεταγμένες των ειδικών στόχων στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87 (2η καταγραφή).

Με τη βοήθεια του λογισμικού Cyclone υπολογίζεται η ακριβής θέση του επίγειου σαρωτή laser και το σφάλμα υπολογισμού συνολικά και για κάθε στόχο χωριστά. Επομένως έχουμε:

- **χρήση όλων των στόχων (τέσσερις)**

ID	X	Y	Z	HT	Error	Use	Acquire	Type
metwpo_2	374168.583	4412317.570	46.652	0.000	0.003	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Scanner
T1	374171.744	4412326.246	46.807	0.000	0.003	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target
T2	374178.317	4412316.649	47.134	0.000	0.001	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target
T3	374167.369	4412309.692	47.134	0.000	0.003	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target
T4	374160.439	4412319.212	46.769	0.000	0.002	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target

Unit: m

Σχήμα 6.3: Χρήση τεσσάρων στόχων για τον υπολογισμό της θέσης του σαρωτή και το σφάλμα υπολογισμού (2η καταγραφή).

- **χρήση τριών στόχων**

ID	X	Y	Z	HT	Error	Use	Acquire	Type
metwpo_2	374168.583	4412317.571	46.652	0.000	0.002	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Scanner
T1	374171.744	4412326.246	46.807	0.000	0.003	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target
T2	374178.317	4412316.649	47.134	0.000	0.001	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target
T3	374167.369	4412309.692	47.134	0.000	0.002	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target
T4	374160.439	4412319.212	46.769	0.000	0.001	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HDS Target

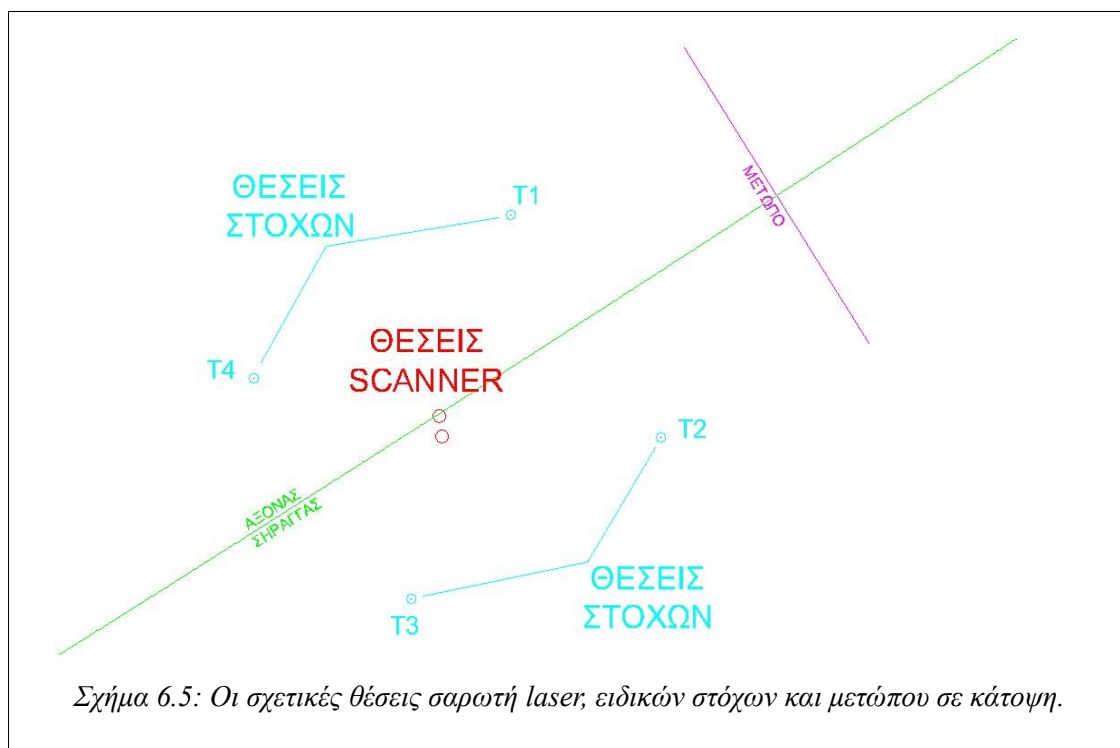
Unit: m

Σχήμα 6.4: Χρήση τριών στόχων για τον υπολογισμό της θέσης του σαρωτή και το σφάλμα υπολογισμού (2η καταγραφή).

(*δεν χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό ο στόχος με το μεγαλύτερο σφάλμα)

Η θέση λοιπόν του σαρωτή για τη δεύτερη καταγραφή είναι **metwpo_2=(374168.583,4412317.571,46.652)** με μέγιστο σφάλμα ίσο με 2 mm.

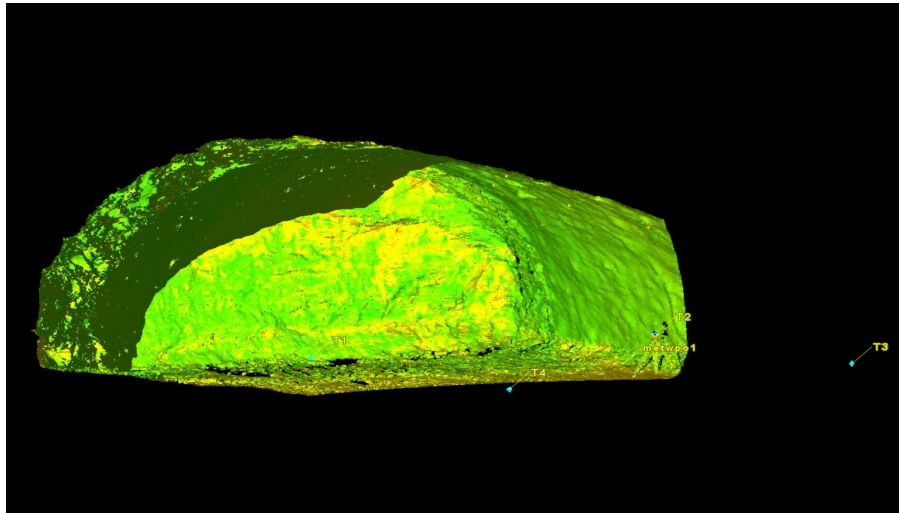
Στο σχήμα 6.5 που ακολουθεί φαίνονται οι σχετικές θέσεις του σαρωτή laser (για τις δύο καταγραφές) και των ειδικών στόχων, καθώς και του μετώπου.



6.3 Επισκόπηση και διαχείριση των νεφών σημείων

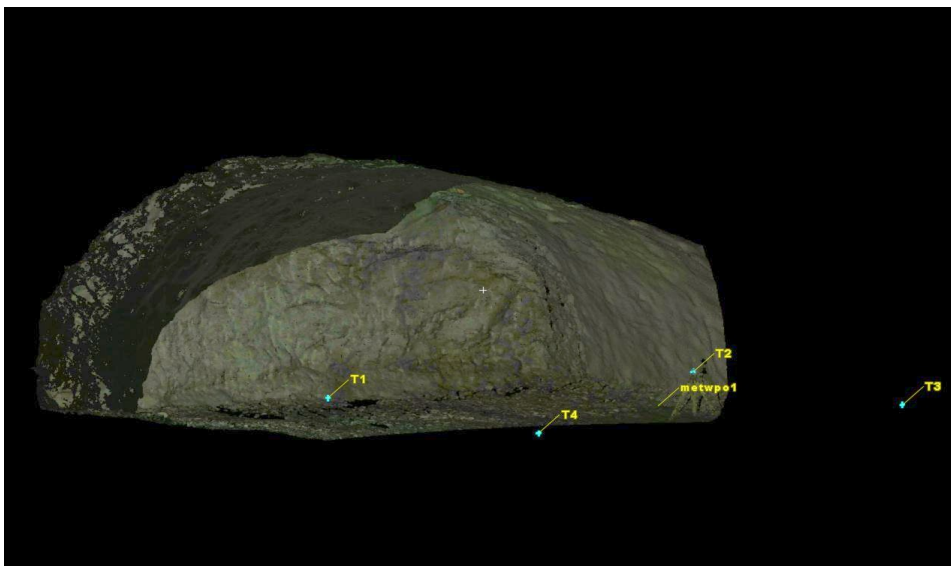
Μετά τον προσδιορισμό συντεταγμένων για το σαρωτή και για τις δύο καταγραφές, μπορούν να υπολογιστούν συντεταγμένες και για το σύνολο των σημείων των νεφών. Έτσι όλα τα σημεία που έχουν καταγραφεί από το σαρωτή, είναι και αυτά αναφερόμενα στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87.

Στη συνέχεια, μέσω του λογισμικού Cyclone δίνεται η δυνατότητα επισκόπησης του νέφους στο σύνολό του. Αυτό μπορεί να απεικονιστεί στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή είτε σύμφωνα με την ανακλαστικότητα του κάθε σημείου ξεχωριστά (σχήμα 6.6), είτε σύμφωνα με τη φωτογραφία που έχει ληφθεί από τη θέση του σαρωτή (σχήμα 6.7). Στην πρώτη περίπτωση, η ανακλαστικότητα μετρείται σε κλίμακα από 0 μέχρι 1 και αντιστοιχίζεται σε αυτήν μια παλέτα χρωμάτων.



Σχήμα 6.6: Το νέφος σημείων στην 1η καταγραφή απεικονισμένο σύμφωνα με την ανακλαστικότητα

Τα νέφη σημείων, στη συνέχεια, επεξεργάζονται ώστε να μην περιέχουν περιττές πληροφορίες και συνενώνονται οι διάφορες σαρώσεις σε ενιαία νέφη. Έτσι, γίνεται πιο εύκολα η περαιτέρω επεξεργασία (επιλογή συγκεκριμένων σημείων, “κόψιμο” διατομών κτλ.) και επιταχύνεται η απεικόνιση και η επεξεργασία στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Επίσης, μπορεί να μειωθεί ο κánaβος της σάρωσης, κάτι το οποίο αποφεύχθηκε στη συγκεκριμένη περίπτωση μιας και απαιτείται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Αυτή είναι 4 mm κατακόρυφα και 4 mm οριζόντια σε απόσταση 25 m από το σαρωτή.

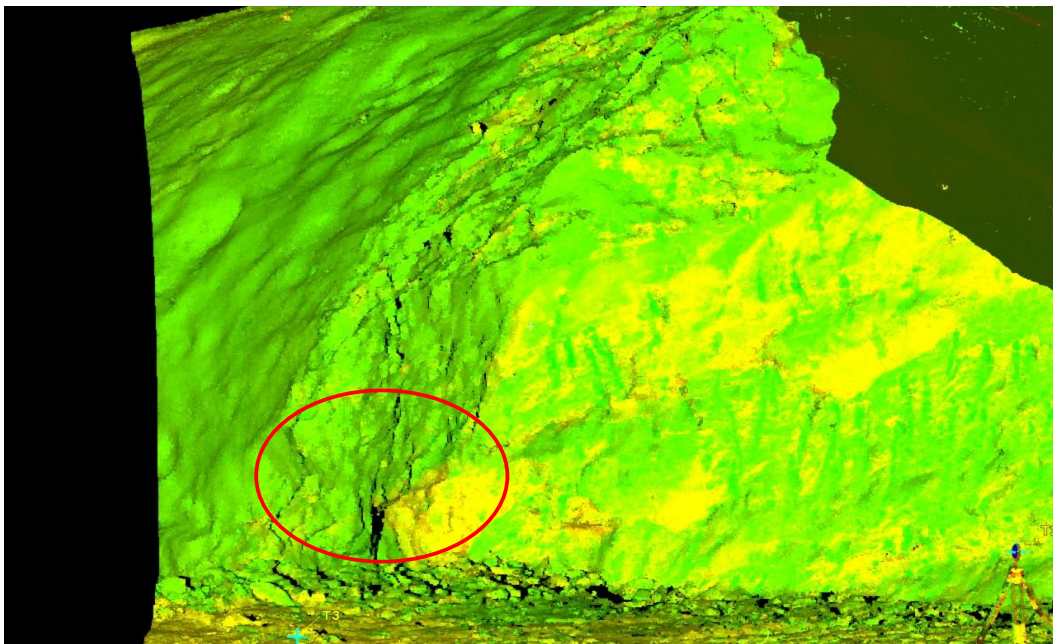


Σχήμα 6.7: Το νέφος σημείων στην 1η καταγραφή απεικονισμένο σύμφωνα με τη φωτογραφία του σαρωτή

6.4 Εισαγωγή του άξονα της σήραγγας στην περιοχή αποτύπωσης

Τα νέφη σημείων που έχουν καταγραφεί έχουν πλέον συντεταγμένες στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87. Επομένως, επιλέγοντας οποιοδήποτε περιοχή του νέφους είναι δυνατό με τη βοήθεια της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής της σήραγγας, να υπολογιστεί η θέση του άξονα της σήραγγας (στη συγκεκριμένη θέση). Είναι διαδικασία απαραίτητη, λόγω του ότι ο άξονας της σήραγγας είναι η μόνη γνωστή πληροφορία σύμφωνα με την οποία είναι δυνατή η σύγκριση της τυπικής διατομής στη θέση αυτή με το νέφος.

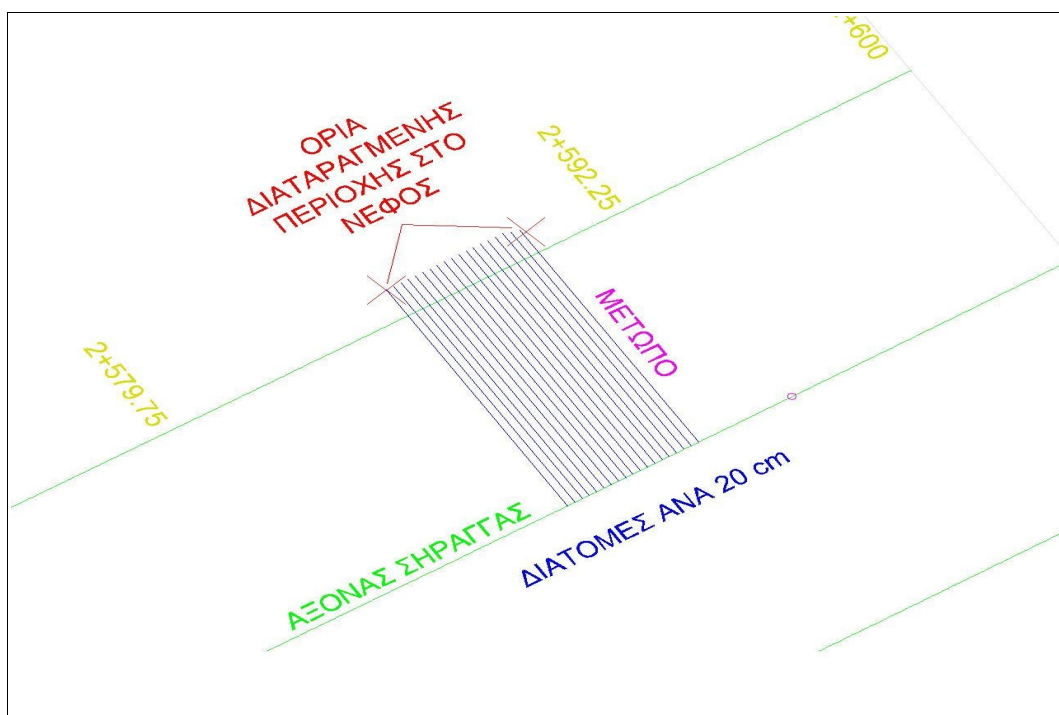
Εντοπίζονται, λοιπόν τα όρια της “διαταραγμένης” περιοχής κοντά στο μέτωπο της σήραγγας. Αυτή η περιοχή είναι διακριτή στο αρχικό νέφος σημείων (πρώτη καταγραφή). Συγκεκριμένα, ξεκινάει από το μέτωπο της σήραγγας και προς τα πίσω μέχρι την εμφάνιση μιας πιο λείας – ομοιόμορφης επιφάνειας που είναι αποτέλεσμα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος (gunite) που έχει ήδη τοποθετηθεί από την προηγούμενη διάνοιξη (σχήμα 6.8).



Σχήμα 6.8: Τα όρια της “διαταραγμένης” περιοχής όπως διακρίνονται στο νέφος

Στη συνέχεια με τη βοήθεια της οριζοντιογραφίας της σήραγγας (σχήμα 6.9), εντοπίζονται οι Χ.Θ. (Χιλιομετρικές Θέσεις) των σημείων αυτών και οι συντεταγμένες τους (X, Y) πάνω στον άξονα της σήραγγας. Αυτό γίνεται φέρνοντας κάθετες από τα σημεία του νέφους στον άξονα της σήραγγας στο λογισμικό Autocad. Επίσης, ανά 20 cm προσθέτονται

επιπλέον σημεία. Αυτά αποτελούν τις θέσεις λήψης των διατομών της σήραγγας.



Σχήμα 6.9: Η οριζοντιογραφία, τα όρια της διαταραγμένης περιοχής και οι θέσεις λήψης διατομών

Τέλος, έχοντας τις Χ.Θ. για όλα τα σημεία πάνω στον άξονα για τα οποία θα ληφθούν διατομές και με τη βοήθεια της μηκοτομής της σήραγγας, υπολογίζονται και τα υψόμετρα (H) αυτών. Έτσι, συνολικά βρέθηκαν σε 19 σημεία πάνω στον άξονα, που απέχουν μεταξύ τους 20 cm, οι πραγματικές τους συντεταγμένες στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87 (x, y, H). Αυτές είναι οι εξής:

ΣΗΜΕΙΑ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ					
	x	y	H	X.Θ.	d(X.Θ.)
1	374.183,0830	4.412.326,8490	44,941	2586,0483	
2	374.183,2521	4.412.326,9570	44,942	2586,2490	0,20
3	374.183,4213	4.412.327,0650	44,943	2586,4497	0,20
4	374.183,5904	4.412.327,1730	44,944	2586,6504	0,20
5	374.183,7596	4.412.327,2810	44,945	2586,8511	0,20
6	374.183,9287	4.412.327,3890	44,946	2587,0518	0,20
7	374.184,0978	4.412.327,4971	44,947	2587,2524	0,20
8	374.184,2669	4.412.327,6051	44,948	2587,4531	0,20
9	374.184,4360	4.412.327,7132	44,949	2587,6538	0,20
10	374.184,6051	4.412.327,8213	44,950	2587,8545	0,20
11	374.184,7741	4.412.327,9294	44,951	2588,0552	0,20
12	374.184,9432	4.412.328,0376	44,952	2588,2559	0,20
13	374.185,1123	4.412.328,1457	44,953	2588,4566	0,20
14	374.185,2813	4.412.328,2539	44,954	2588,6572	0,20
15	374.185,4503	4.412.328,3620	44,955	2588,8579	0,20
16	374.185,6194	4.412.328,4702	44,956	2589,0586	0,20
17	374.185,7884	4.412.328,5784	44,957	2589,2593	0,20
18	374.185,9553	4.412.328,6853	44,958	2589,4575	0,20
19	374.186,1237	4.412.328,7932	44,959	2589,6575	0,20
Συνολική Απόσταση =			3,61 m		

Πίνακας 5: Οι συντεταγμένες στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87 των σημείων πάνω στον άξονα της σήραγγας.

6.5 Εξαγωγή διατομών από το νέφος σημείων

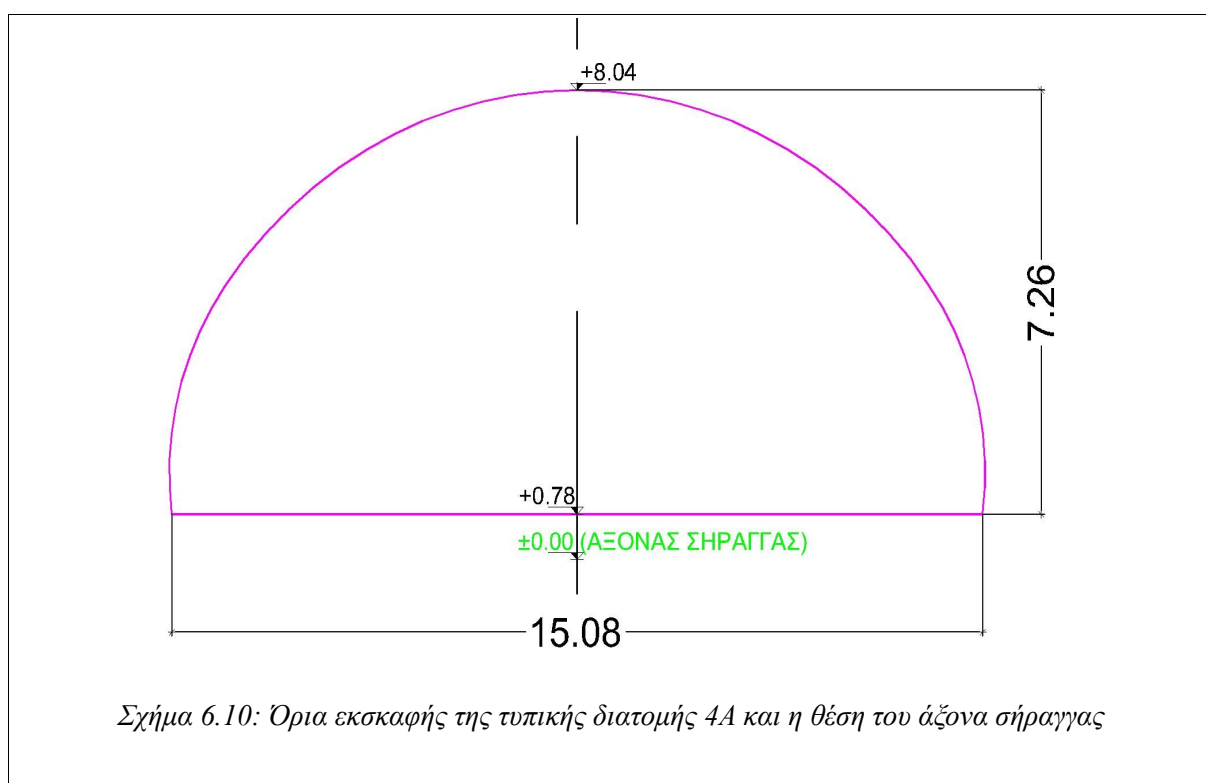
Από τις 19 θέσεις που επιλέχθηκαν προηγουμένως και καλύπτουν την “διαταραγμένη” περιοχή κοντά στο μέτωπο, εξάγονται από τα νέφη σημείων οι διατομές της σήραγγας. Οι διατομές της σήραγγας είναι πάντα κατακόρυφες και όχι κάθετες στον άξονα της σήραγγας. Έχοντας τις διατομές αυτές και την καθορισμένη (από τα σχέδια) τυπική διατομή, είναι δυνατό να εκτιμηθεί η υπερεκσκαφή και η ακριβής απόκλιση από το επιθυμητό. Η επεξεργασία γίνεται με τα ακόλουθα βήματα.

6.5.1 Σχεδίαση άξονα σήραγγας σε περιβάλλον Autocad

Από τα 19 σημεία με γνωστές συντεταγμένες στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87 σχεδιάζεται ο άξονας της σήραγγας στην περιοχή ενδιαφέροντος. Ο άξονας της σήραγγας είναι το βασικότερο στοιχείο με το οποίο μπορεί να συνδεθεί το νέφος με τη τυπική διατομή.

6.5.2 Επίθεση της τυπικής διατομής πάνω στον άξονα

Από τη μελέτη διάνοιξης της σήραγγας φαίνεται ότι στη συγκεκριμένη περιοχή χρησιμοποιείται τυπική διατομή κατηγορίας 4Α. Επιπλέον, πρόκειται για την πρώτη φάση εκσκαφής δηλαδή το δάπεδο της σήραγγας βρίσκεται αρκετά πιο ψηλά από το τελικό δάπεδο. Στο σχήμα 6.10 φαίνονται τα όρια εκσκαφής της τυπικής διατομής κατηγορίας 4Α.



Για την τοποθέτηση της τυπικής διατομής πάνω στον άξονα της σήραγγας απαιτούνται δύο γνωστά σημεία για κάθε θέση. Έχουν βρεθεί τα σημεία πάνω στον άξονα, οπότε απαιτούνται και επιπλέον σημεία για κάθε ένα από αυτά. Επιλέγεται για κάθε ένα σημείο στον άξονα το αντίστοιχο του 6,9 m αριστερά. Από την οριζοντιογραφία της σήραγγας βρίσκονται οι ακριβείς τους συντεταγμένες. Αυτές είναι οι εξής:

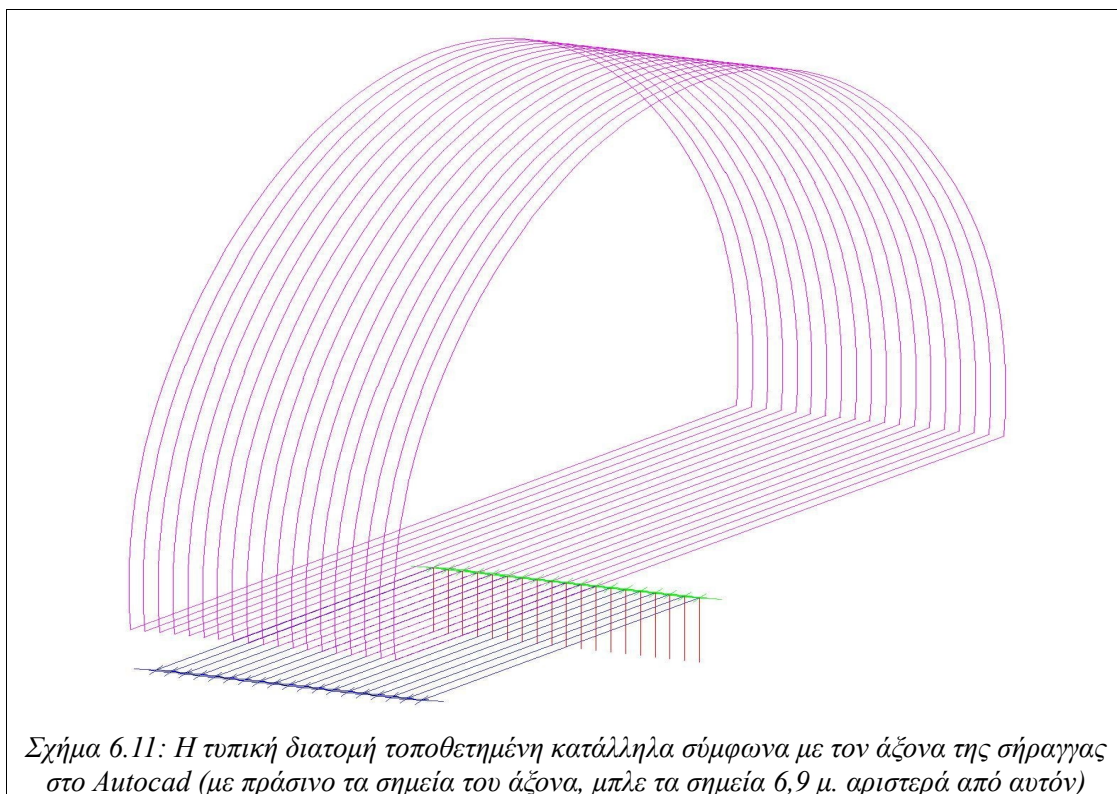
ΣΗΜΕΙΑ 6,9 m ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ

	x	y	H	X.Θ.
1	374.179,3706	4.412.332,6652	44,941	2586,0483
2	374.179,5393	4.412.332,7729	44,942	2586,2490
3	374.179,7079	4.412.332,8805	44,943	2586,4497
4	374.179,8766	4.412.332,9882	44,944	2586,6504
5	374.180,0452	4.412.333,0959	44,945	2586,8511
6	374.180,2138	4.412.333,2036	44,946	2587,0518
7	374.180,3824	4.412.333,3114	44,947	2587,2524
8	374.180,5510	4.412.333,4191	44,948	2587,4531
9	374.180,7196	4.412.333,5269	44,949	2587,6538
10	374.180,8882	4.412.333,6346	44,950	2587,8545
11	374.181,0567	4.412.333,7424	44,951	2588,0552
12	374.181,2253	4.412.333,8502	44,952	2588,2559
13	374.181,3938	4.412.333,9580	44,953	2588,4566
14	374.181,5624	4.412.334,0659	44,954	2588,6572
15	374.181,7309	4.412.334,1737	44,955	2588,8579
16	374.181,8994	4.412.334,2816	44,956	2589,0586
17	374.182,0679	4.412.334,3895	44,957	2589,2593
18	374.182,2363	4.412.334,4960	44,958	2589,4575
19	374.182,4023	4.412.334,6036	44,959	2589,6575

Πίνακας 6: Οι συντεταγμένες στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87 των σημείων 6,9 m αριστερά από τον άξονα της σήραγγας.

Η αρίθμηση στα παραπάνω σημεία συμβαδίζει με τα αντίστοιχα σημεία πάνω στον άξονα της σήραγγας. Όπως, επίσης, το υψόμετρο (H) και η X.Θ.

Στη συνέχεια, εισάγονται τα 19 σημεία πάνω στον άξονα, τα αντίστοιχα αυτών 6,9 m αριστερά και ο άξονας της σήραγγας στο Autocad. Σχεδιάζεται, επίσης, ανά θέση η τυπική διατομή κατακόρυφα και κατάλληλα ευθυγραμμισμένη σύμφωνα με τα παραπάνω σημεία. Στο σχήμα 6.11 που ακολουθεί φαίνεται η τυπική διατομή της σήραγγας τοποθετημένη στις πραγματικές συντεταγμένες της. Είναι, δηλαδή, η ιδανική περίπτωση εκσκαφής της σήραγγας στις συγκεκριμένες θέσεις.

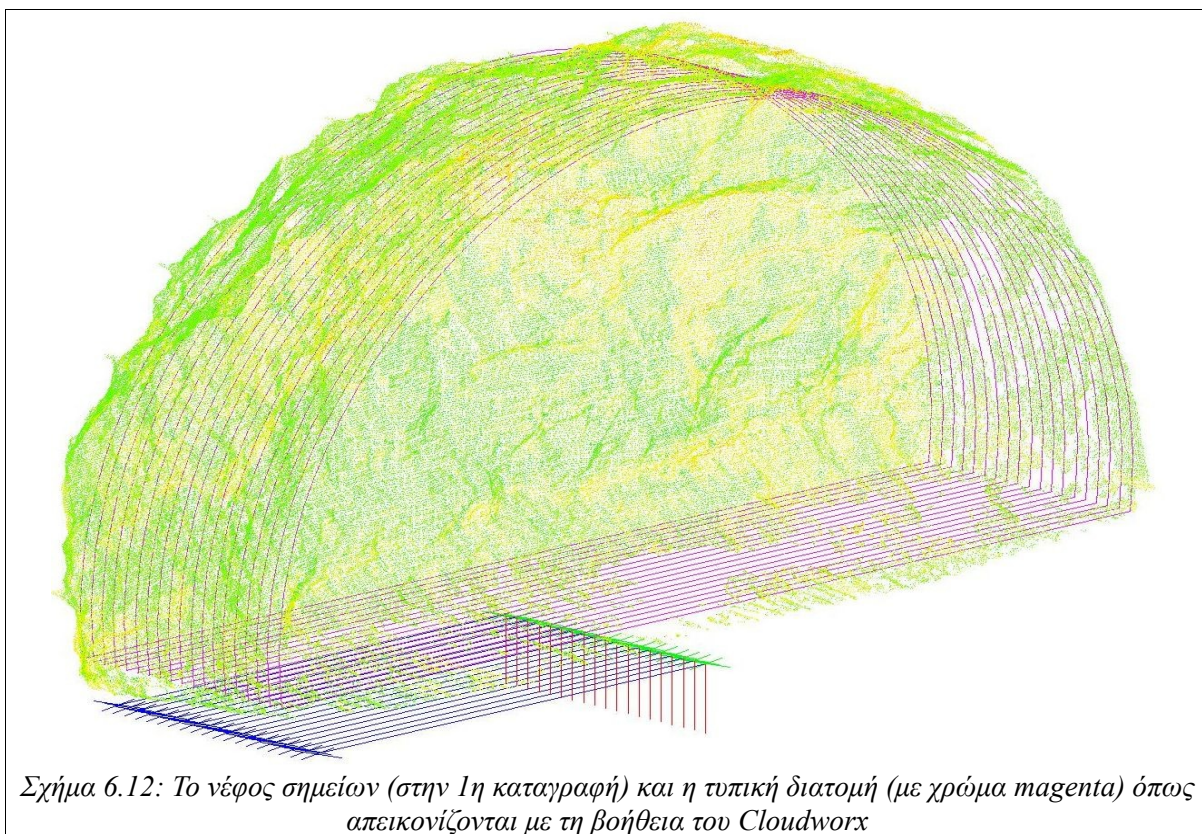


Σχήμα 6.11: Η τυπική διατομή τοποθετημένη κατάλληλα σύμφωνα με τον άξονα της σήραγγας στο Autocad (με πράσινο τα σημεία του άξονα, μπλε τα σημεία 6,9 μ. αριστερά από αυτόν)

6.5.3 Εξαγωγή διατομών από το νέφος με τη βοήθεια του λογισμικού Cloudworx

Το λογισμικό Cyclone της Leica Geosystems που παρέχεται μαζί με τον επίγειο σαρωτή laser, προσφέρει πολλές δυνατότητες απεικόνισης και επεξεργασίας του νέφους σημείων. Όμως, επειδή τα σχέδια από τη μελέτη κατασκευής της σήραγγας δίνονται σε αρχεία Autocad, η επεξεργασία του νέφους είναι πιο εύκολη σε αυτό.

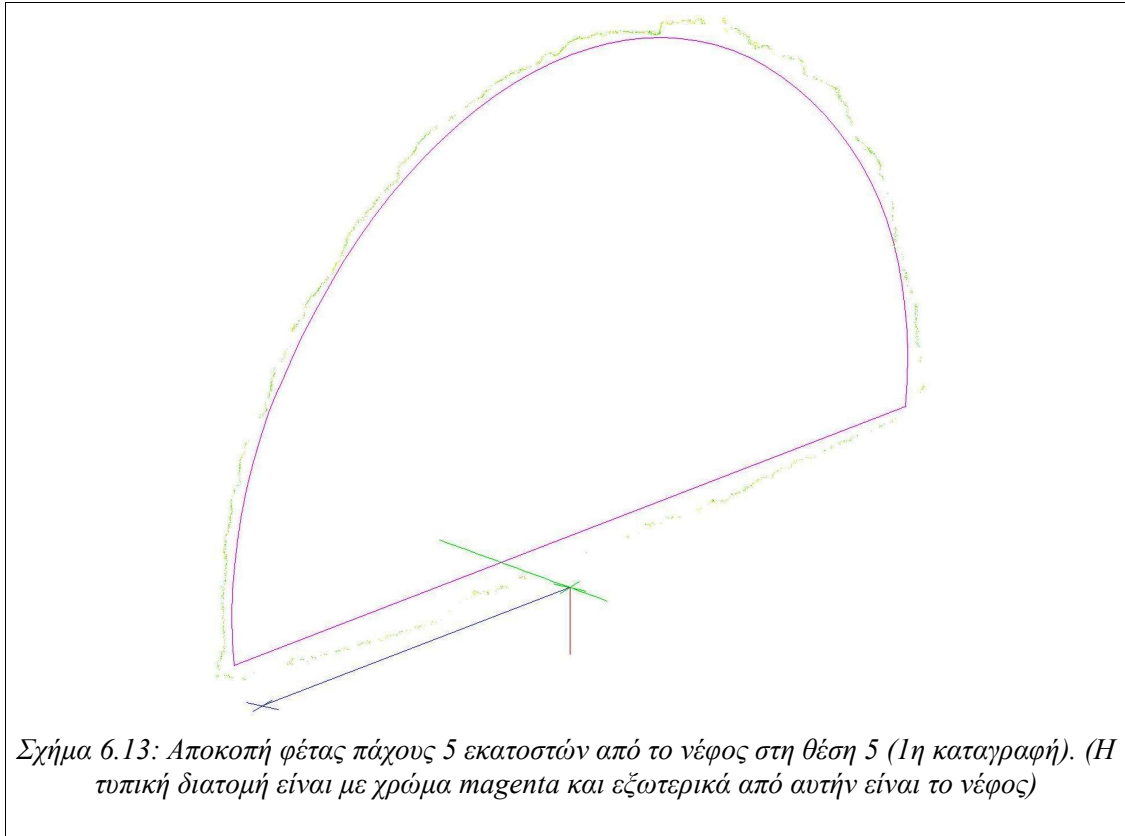
Βασικό μειονέκτημα στο Autocad είναι η αδυναμία να επεξεργαστεί νέφη σημείων, αφού δεν μπορεί να χειριστεί με ευκολία μεγάλους όγκους σημείων. Όμως, η Leica Geosystems παρέχει μια εφαρμογή που εγκαθίσταται ως επιπλέον γραμμή εργαλείων στο Autocad και ονομάζεται Cloudworx. Μέσω αυτής δίνεται η δυνατότητα απεικόνισης γρήγορα και αποδοτικά των νεφών σημείων, καθώς και μερικές βασικές διεργασίες επεξεργασίας αυτών. Αυτές περιλαμβάνουν τη δημιουργία τομών στο νέφος σε συγκεκριμένη διεύθυνση και τη συνένωση σημείων του νέφους. Στο σχήμα 6.12 φαίνεται το νέφος σημείων στην 1η καταγραφή απεικονισμένο σύμφωνα με την ανακλαστικότητα έχοντας κάνει αποκοπή (clip) στην αρχή της “διαταραγμένης” περιοχής.



Με αυτό το τρόπο είναι δυνατή η αποκοπή διατομών από το νέφος με τη μορφή φέτας (slice) με εύρος όσο είναι απαραίτητο για την περαιτέρω επεξεργασία. Εδώ λήφθηκαν διατομές πάχους 5 cm ($\pm 2,5$ cm από τη τυπική διατομή), κάνοντας έτσι την παραδοχή ότι όλα τα σημεία από αυτή τη φέτα ανήκουν στην ίδια διατομή, δηλαδή στην ίδια Χ.Θ.

Πιο συγκεκριμένα, στο Cloudworx αρχικά ορίζεται κατάλληλα ο άξονας σύμφωνα με τον οποίο θα κοπεί το νέφος. Αυτός είναι παράλληλος με τη τυπική διατομή σε κάθε Χ.Θ. και εκεί λαμβάνεται η φέτα πάχους 5 cm. Στη συνέχεια, αφού έχουν επιλεγεί τα σημεία, εξάγονται μέσω του Cyclone σε μορφή κατάλληλη για περαιτέρω μεμονωμένη επεξεργασία, για παράδειγμα σε αρχείο Autocad, ή ASCII αρχείο.

Για παράδειγμα, για εξαγωγή της διατομής στη θέση 5 (με Χ.Θ. 2.586,8511) ορίζεται ως αρχή των αξόνων το σημείο 5 πάνω στον άξονα της σήραγγας με συντεταγμένες (374183.7596, 4412327.2810, 44.945). Οι άξονες ευθυγραμμίζονται έτσι ώστε να είναι παράλληλοι με την τυπική διατομή σε αυτό το σημείο και στη συνέχεια γίνεται αποκοπή μιας φέτας πάχους 5 cm. Αυτή φαίνεται στο επόμενο σχήμα 6.13 και περιέχει 3514 σημεία.



6.6 Υπολογισμός εμβαδού στις διατομές

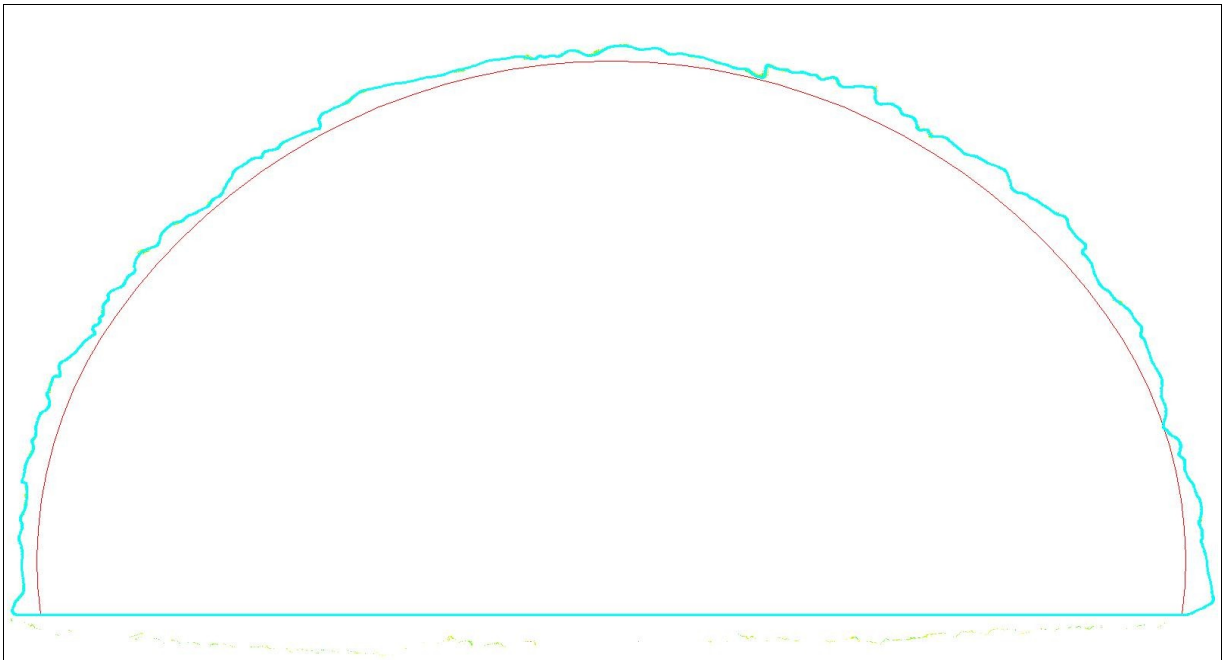
Η πληροφορία, η οποία είναι η ζητούμενη και άμεσα συγκρίσιμη με τη τυπική διατομή, είναι η ποσότητα της υπερεκσκαφής σε κάθε διατομή. Είναι, δηλαδή, το εμβαδόν (σε τετραγωνικά μέτρα) μεταξύ του νέφους σημείων και της τυπικής διατομής σε κάθε θέση που λαμβάνεται διατομή. Η τυπική διατομή έχει εμβαδόν σύμφωνα με τη μελέτη 87,93 m². (τυπική διατομή τύπου 4A, A' φάση εκσκαφής).

Για τον υπολογισμό του επιθυμητού εμβαδού γίνονται οι εξής ενέργειες στο περιβάλλον Autocad σε κάθε θέση που λαμβάνεται διατομή:

- Ορίζονται οι άξονες συντεταγμένων έτσι ώστε οι άξονες X, Y να είναι παράλληλοι με τη διατομή. Ο άξονας Z έχει αντίστοιχα διεύθυνση προς το μέτωπο της σήραγγας. Αυτός ουσιαστικά αναφέρεται στο πάχος της διατομής που έχει εξαχθεί από το νέφος (στη συγκεκριμένη περίπτωση πάχους 5 cm).
- Σχεδιάζεται μια γραμμή Spline που ακολουθεί το νέφος σημείων σε όλη τη διατομή. Τα κάτω όρια αυτής είναι η βάση της τυπικής διατομής, αφού το έδαφος στη φάση εκσκαφής τη δεδομένη στιγμή δεν θα είναι το τελικό και δεν έχει λόγο να μετρηθεί.

- Η Spline μετατρέπεται σε κλειστή γραμμή Polyline και υπολογίζεται το εμβαδόν της. Αυτό περιέχει το εμβαδόν της τυπικής διατομής και της υπερεκσκαφής.
- Αφαιρείται το εμβαδόν της τυπικής διατομής και απομένει το ζητούμενο εμβαδόν, δηλαδή της υπερεκσκαφής στη συγκεκριμένη θέση.

Για τον υπολογισμό της διατομής στη θέση 5, σχεδιάστηκε η γραμμή Spline που φαίνεται στο σχήμα 6.14. Υπολογίστηκε το εμβαδόν της που είναι 92,73 m². Επομένως, το εμβαδόν της υπερεκσκαφής είναι 92,73 m² - 87,93 m² = 4,80 m². Δηλαδή είναι +5,46% επιπλέον από το ζητούμενο από τη τεχνική μελέτη.



Σχήμα 6.14: Η Spline (γαλάζιο χρώμα) σχεδιασμένη στη θέση 5 (1η καταγραφή) για τον υπολογισμό του εμβαδού της υπερεκσκαφής (στην περίπτωση αυτή είναι +5,46%)

7 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

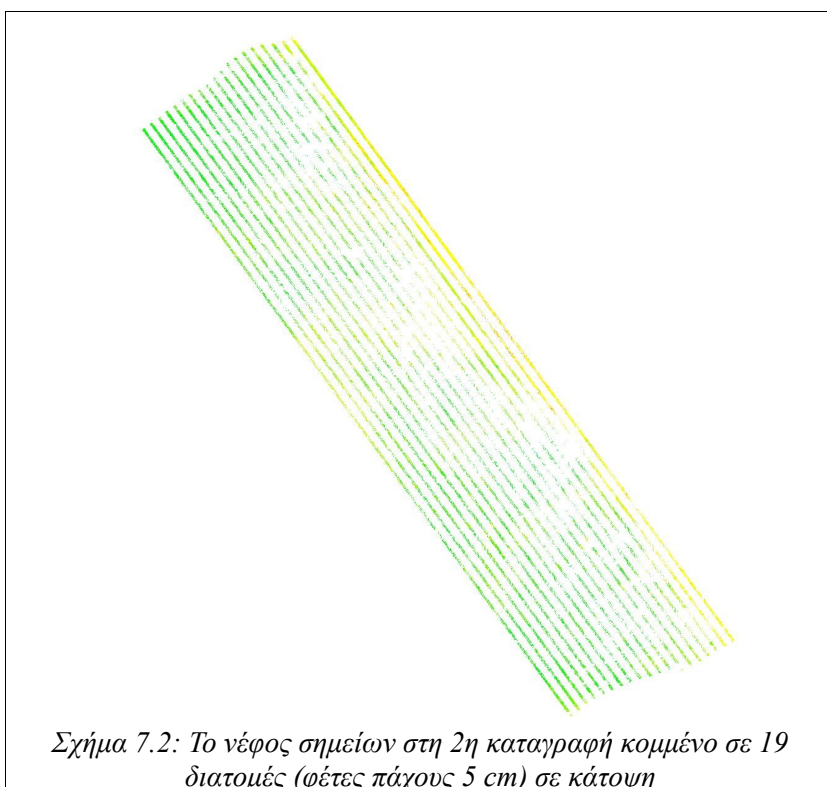
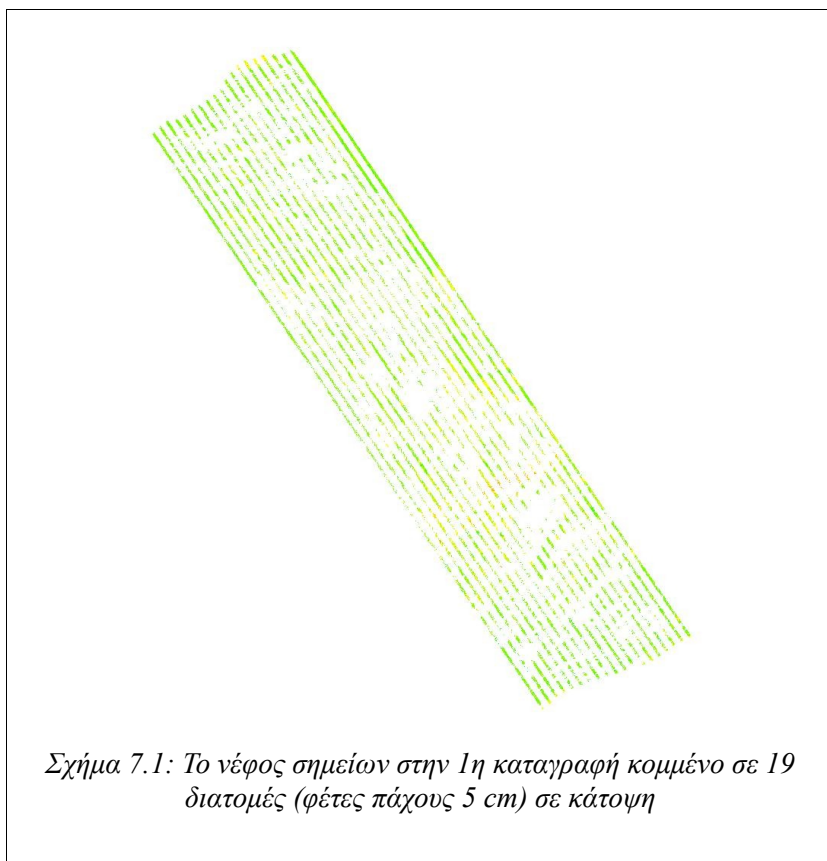
Για την εξαγωγή αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν 19 διατομές οι οποίες επιλέχθηκαν από το νέφος σημείων, έτσι ώστε να είναι εντός της “διαταραγμένης” περιοχής εξαιτίας της τελευταίας ανατίναξης για τη διάνοιξη της σήραγγας (βλ. Κεφάλαιο 6). Οι θέσεις του άξονα για αυτές τις διατομές και η απόσταση μεταξύ τους φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

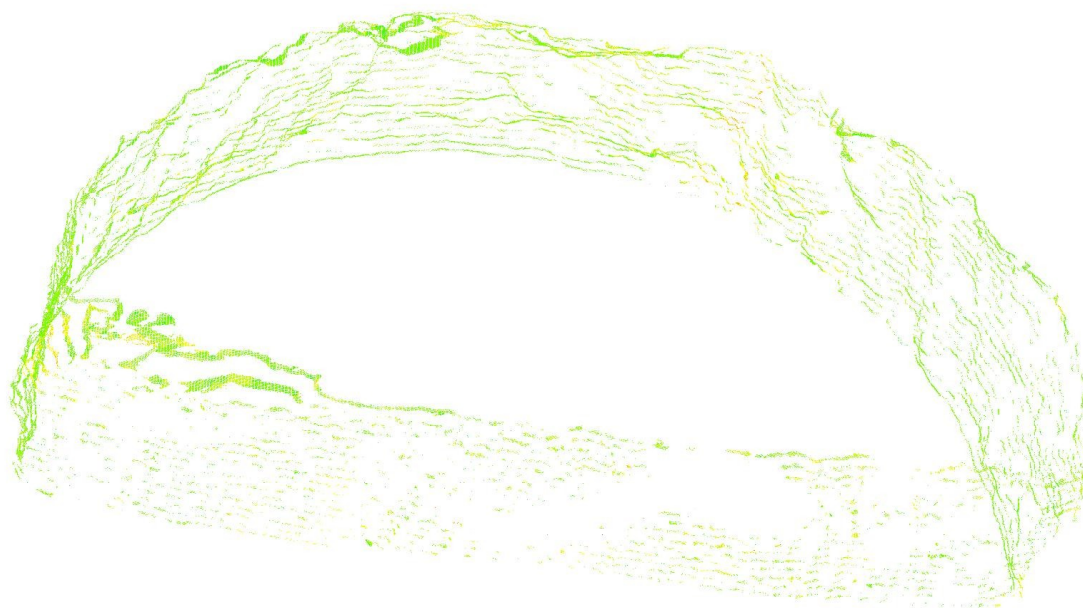
ΣΗΜΕΙΑ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ					
	x	y	H	Χ.Θ.	d(Χ.Θ.)
1	374.183,0830	4.412.326,8490	44,941	2586,0483	
2	374.183,2521	4.412.326,9570	44,942	2586,2490	0,20
3	374.183,4213	4.412.327,0650	44,943	2586,4497	0,20
4	374.183,5904	4.412.327,1730	44,944	2586,6504	0,20
5	374.183,7596	4.412.327,2810	44,945	2586,8511	0,20
6	374.183,9287	4.412.327,3890	44,946	2587,0518	0,20
7	374.184,0978	4.412.327,4971	44,947	2587,2524	0,20
8	374.184,2669	4.412.327,6051	44,948	2587,4531	0,20
9	374.184,4360	4.412.327,7132	44,949	2587,6538	0,20
10	374.184,6051	4.412.327,8213	44,950	2587,8545	0,20
11	374.184,7741	4.412.327,9294	44,951	2588,0552	0,20
12	374.184,9432	4.412.328,0376	44,952	2588,2559	0,20
13	374.185,1123	4.412.328,1457	44,953	2588,4566	0,20
14	374.185,2813	4.412.328,2539	44,954	2588,6572	0,20
15	374.185,4503	4.412.328,3620	44,955	2588,8579	0,20
16	374.185,6194	4.412.328,4702	44,956	2589,0586	0,20
17	374.185,7884	4.412.328,5784	44,957	2589,2593	0,20
18	374.185,9553	4.412.328,6853	44,958	2589,4575	0,20
19	374.186,1237	4.412.328,7932	44,959	2589,6575	0,20

Συνολική Απόσταση = 3,61 m

Πίνακας 7: Οι συντεταγμένες των σημείων στον άξονα της σήραγγας στις θέσεις που λήφθηκαν διατομές

Από τις παραπάνω θέσεις αποκόπηκαν διατομές (σε μορφή φέτας πάχους 5 cm η κάθε μία) από το συνολικό νέφος και για τις δύο καταγραφές. Αυτές παρουσιάζονται όλες μαζί σε κάτοψη για κάθε καταγραφή ξεχωριστά στα σχήματα 7.1 και 7.2. Εκεί διακρίνεται ότι οι διατομές ισαπέχουν μεταξύ τους, καθώς και ότι είναι κατακόρυφες. Επίσης, στα σχήματα 7.3 και 7.4 παρουσιάζονται οι διατομές σε όψη προς το μέτωπο της σήραγγας.





Σχήμα 7.3: Οι 19 διατομές από την πρώτη καταγραφή σε όψη προς το μέτωπο της σήραγγας

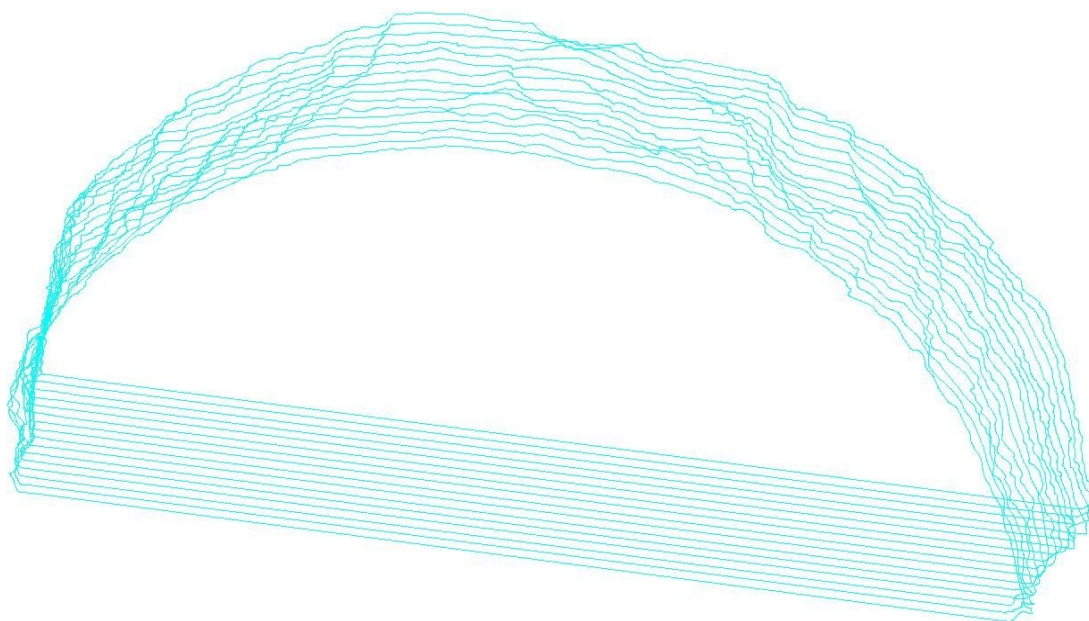


Σχήμα 7.4: Οι 19 διατομές από τη δεύτερη καταγραφή σε όψη προς το μέτωπο της σήραγγας

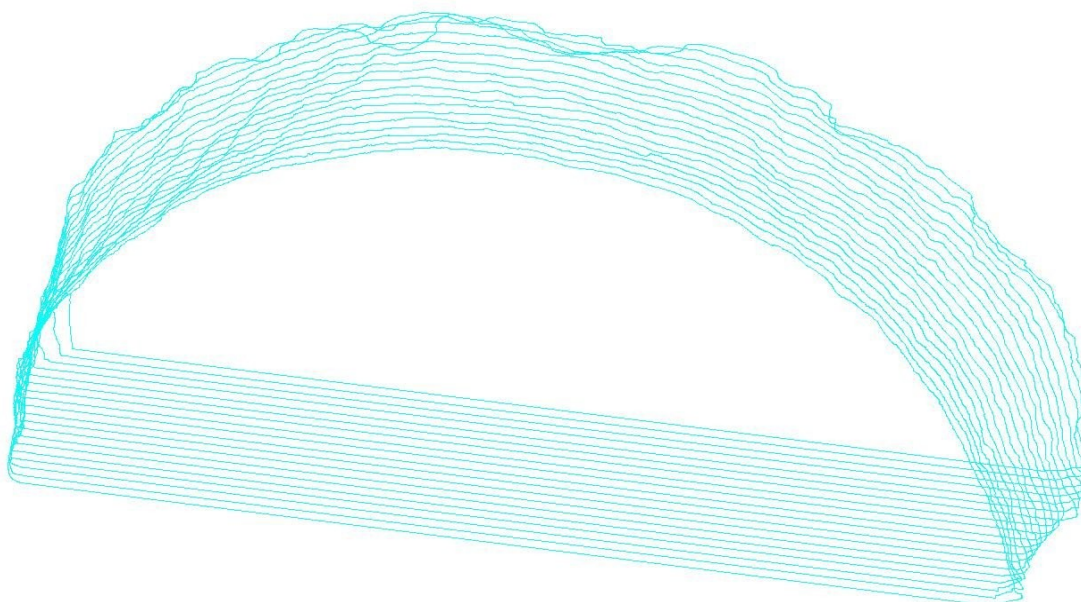
Υπενθυμίζεται ότι, η δεύτερη καταγραφή διαφέρει από την πρώτη στο ότι έχει τοποθετηθεί στην επιφάνεια της σήραγγας μία αρχική στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (gunite). Επομένως, αναμένεται η επιφάνειά της να είναι πιο λεία και εξομαλυσμένη σε σύγκριση με αυτήν της πρώτης καταγραφής.

Στα τελευταία δύο σχήματα είναι ευδιάκριτη η διαφορά της ομαλότητας μεταξύ των δύο καταγραφών. Η δεύτερη καταγραφή εμφανίζει μικρότερες ανωμαλίες στην επιφάνειά της για το λόγο που αναφέρθηκε προηγουμένως. Επιπλέον, φαίνεται ότι στο κάτω αριστερό μέρος των δύο τελευταίων διατομών (διατομές 18 και 19) αρχίζει και εμφανίζεται μέρος από το μέτωπο της σήραγγας (βλ. παράρτημα). Αυτό είναι αναμενόμενο από το σχεδιασμό της διάτρησης – ανατίναξης της σήραγγας για τη τελική γεωμετρία που πρέπει να έχει το μέτωπο μετά την ανατίναξη για τη συγκράτηση αυτού και την αύξηση του συντελεστή ασφαλείας.

Επιπλέον, με τη μέθοδο που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, σχεδιάζεται για κάθε διατομή του νέφους σημείων μια γραμμή που περιλαμβάνει αυτά τα σημεία σε κάθε διαφορετική θέση (Χ.Θ.). Στα σχήματα 7.5 και 7.6 παρουσιάζονται όλες μαζί οι πραγματικές γραμμές εκσκαφής για τις δύο καταγραφές. Υπενθυμίζεται ότι το δάπεδο στη θέση που γίνανε οι καταγραφές δεν θα είναι και το τελικό της σήραγγας (το τελικό είναι πιο χαμηλά), επομένως για τον υπολογισμό των τελικών εμβαδών λαμβάνεται ως δάπεδο αυτό της τυπικής διατομής 4Α. Γι' αυτό το λόγο και στα σχήματα φαίνεται ως ευθεία γραμμή.

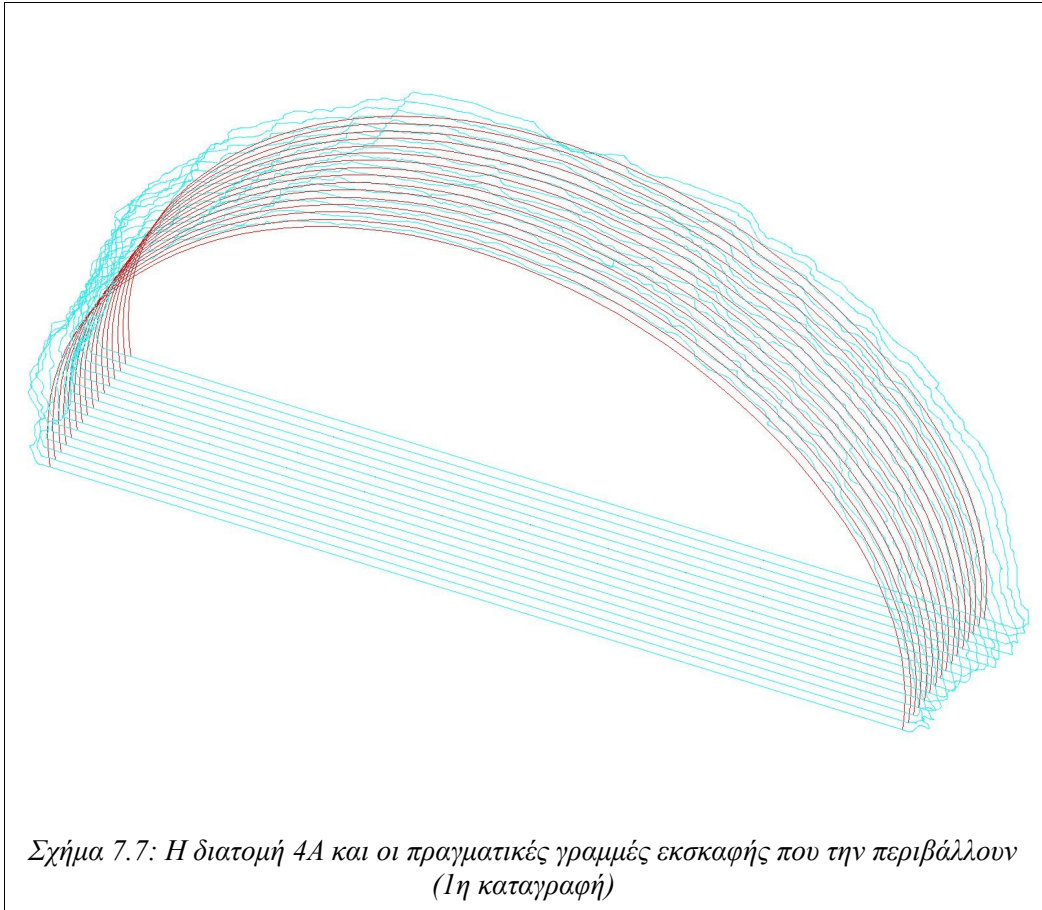


Σχήμα 7.5: Οι πραγματικές γραμμές εκσκαφής όπως σχεδιάστηκαν για την 1η καταγραφή



Σχήμα 7.6: Οι πραγματικές γραμμές εκσκαφής όπως σχεδιάστηκαν για τη 2η καταγραφή

Το ζητούμενο εμβαδόν είναι το εμβαδόν μεταξύ της πραγματικής γραμμής εκσκαφής και της τυπικής διατομής 4A σε όλες τις θέσεις που λήφθηκαν διατομές. Ενδεικτικά στο σχήμα 7.7 φαίνεται η διατομή 4A με κόκκινο χρώμα και οι πραγματικές γραμμές εκσκαφής που την περιβάλλουν για κάθε θέση ορθά τοποθετημένες (1η καταγραφή).



7 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Επομένως, το εμβαδόν της πραγματικής γραμμής εκσκαφής και η διαφορά του από τη τυπική διατομή για κάθε διατομή στην **πρώτη** καταγραφή δίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Εμβαδόν τυπικής διατομής 4A (m ²) = 87,93			
Αριθμός διατομής	Εμβαδόν πραγματικής γραμμής εκσκαφής (m ²)	Διαφορά από τυπική διατομή 4A – Υπερεκσκαφή (m ²)	Ποσοστό διαφοράς (%)
1	91,81	3,88	+4,41
2	92,10	4,17	+4,75
3	92,53	4,60	+5,23
4	92,67	4,75	+5,40
5	92,73	4,80	+5,46
6	92,63	4,71	+5,35
7	93,04	5,11	+5,82
8	93,37	5,44	+6,19
9	93,79	5,87	+6,67
10	94,49	6,56	+7,46
11	95,03	7,10	+8,07
12	95,39	7,46	+8,48
13	96,12	8,19	+9,32
14	96,54	8,62	+9,80
15	96,88	8,95	+10,18
16	97,02	9,09	+10,34
17	97,00	9,08	+10,32
18	96,09	8,16	+9,29
19	94,11	6,19	+7,03

Πίνακας 8: Το εμβαδόν της πραγματικής γραμμής εκσκαφής για τις διατομές και η διαφορά του από τη τυπική διατομή 4A (1η καταγραφή).

Στον παραπάνω πίνακα (πίνακα 8) διακρίνεται ότι το μέτρο των υπερεκσκαφών είναι μεταξύ 4,5-9m² ανά διατομή, ή επιπλέον περίπου 5-10% από το ζητούμενο από τη μελέτη. Για τα αποτελέσματα αυτά, θεωρείται ότι οι πρώτες δύο διατομές (1-2) έχουν διανοιχθεί από την προηγούμενη ανατίναξη (λόγω της λείας επιφάνειά τους) και οι δύο τελευταίες διατομές (18-19) εξαιρούνται επειδή δεν έχουν διανοιχθεί πλήρως (λόγω της εμφάνισης του μετώπου στις διατομές, βλ. σχήμα 7.3). Επίσης, φαίνεται ότι πλησιάζοντας στο μέτωπο της σήραγγας μεγαλώνουν οι υπερεκσκαφές.

Επίσης, το εμβαδόν της πραγματικής γραμμής εκσκαφής και η διαφορά του από τη τυπική διατομή για κάθε διατομή στη **δεύτερη** καταγραφή δίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Εμβαδόν τυπικής διατομής 4A (m ²) = 87,93			
Αριθμός διατομής	Εμβαδόν πραγματικής γραμμής εκσκαφής (m ²)	Διαφορά από τυπική διατομή 4A – Υπερεκσκαφή (m ²)	Ποσοστό διαφοράς (%)
1	89,72	1,80	+2,04
2	89,54	1,61	+1,83
3	89,50	1,57	+1,79
4	89,53	1,60	+1,82
5	89,59	1,66	+1,89
6	89,62	1,69	+1,92
7	89,82	1,90	+2,16
8	90,14	2,21	+2,51
9	90,60	2,67	+3,04
10	91,16	3,23	+3,68
11	91,73	3,80	+4,32
12	92,26	4,33	+4,93
13	93,05	5,12	+5,83
14	93,64	5,71	+6,49
15	94,27	6,34	+7,21
16	94,78	6,85	+7,79
17	95,07	7,15	+8,13
18	94,76	6,84	+7,78
19	93,16	5,23	+5,95

Πίνακας 9: Το εμβαδόν της πραγματικής γραμμής εκσκαφής για τις διατομές και η διαφορά του από τη τυπική διατομή 4A (2η καταγραφή).

Στον παραπάνω πίνακα (πίνακα 9) διακρίνεται ότι το μέτρο των υπερεκσκαφών είναι μεταξύ 1,5-7m² ανά διατομή, ή επιπλέον περίπου 1,8-8% από το ζητούμενο από τη μελέτη. Μειώθηκαν, δηλαδή, κατά μεγάλο ποσοστό οι υπερεκσκαφές. Επίσης, φαίνεται πάλι, ότι πλησιάζοντας στο μέτωπο της σήραγγας μεγαλώνουν οι υπερεκσκαφές.

Τέλος, δίνεται στον ακόλουθο πίνακα (πίνακα 10) η **διαφορά** (σε m²) και το **ποσοστό μείωσης** (%) του εμβαδού στη δεύτερη καταγραφή σε σύγκριση με την πρώτη. Αυτό οφείλεται, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στη τοποθέτηση της αρχικής πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος (gunite).

Αριθμός διατομής	Διαφορά εμβαδού της 2ης από τη 1η καταγραφή (m ²)	Ποσοστό μείωσης της διαφοράς (%)
1	-2,08	53,68
2	-2,56	61,36
3	-3,03	65,87
4	-3,15	66,28
5	-3,14	65,38
6	-3,02	64,10
7	-3,22	62,93
8	-3,23	59,40
9	-3,19	54,42
10	-3,33	50,71
11	-3,30	46,45
12	-3,13	41,91
13	-3,07	37,44
14	-2,91	33,74
15	-2,61	29,15
16	-2,24	24,62
17	-1,93	21,25
18	-1,33	16,25
19	-0,96	15,47

Πίνακας 10: Η διαφορά εμβαδού μεταξύ των δύο καταγραφών και το ποσοστό μείωσής της.

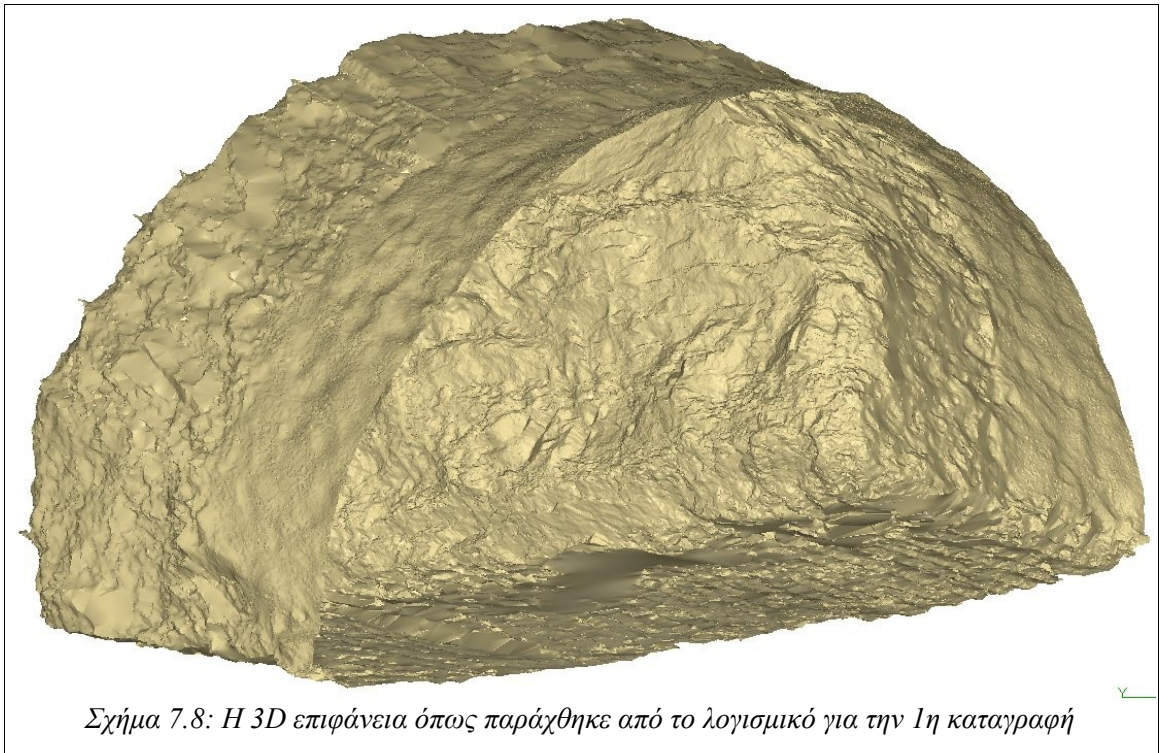
7.1 Χρήση 3D λογισμικού για την παραγωγή μοντέλου επιφανείας

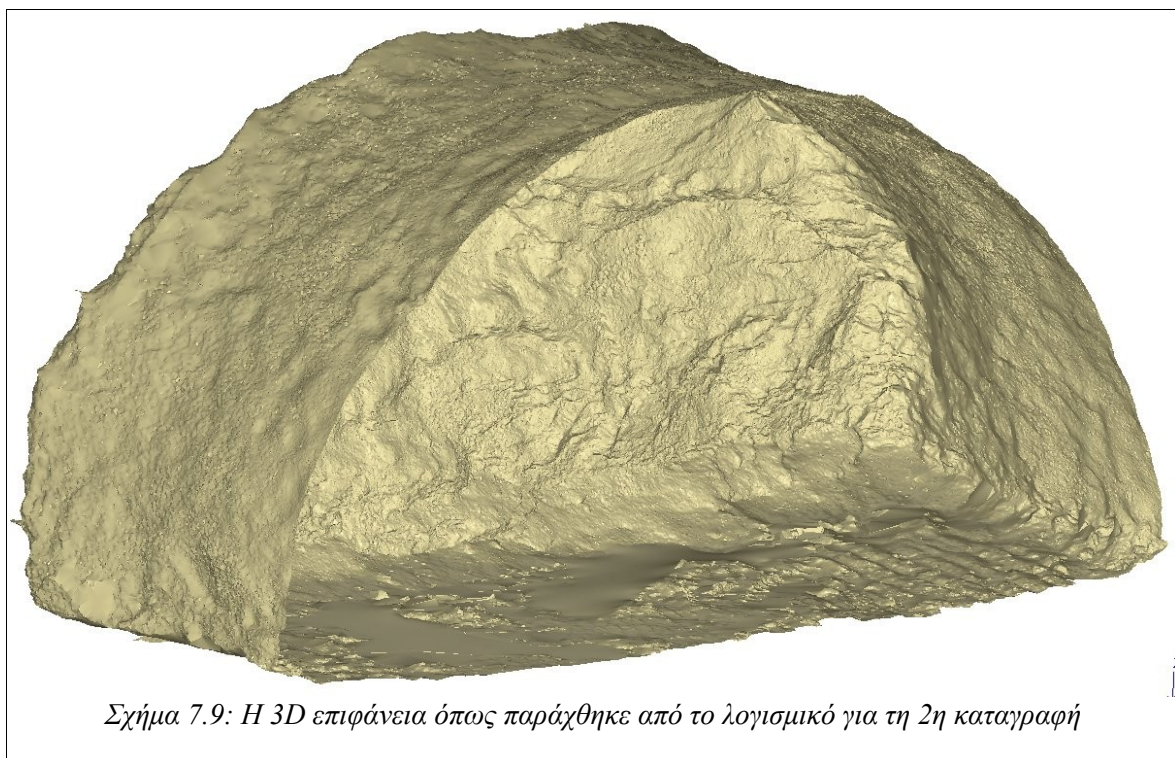
Τα τελευταία χρόνια γίνεται όλο και πιο ευρεία η χρήση επίγειων σαρωτών laser σε τοπογραφικές εφαρμογές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αυξανόμενη ζήτηση λογισμικών που να μπορούν να επεξεργαστούν νέφη σημείων. Έτσι, έχουν αρχίσει να παράγονται ειδικά λογισμικά εμφάνισης, επεξεργασίας και τρισδιάστατης μοντελοποίησης για νέφη σημείων.

Για την εφαρμογή της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, ύστερα από έρευνα στα διάφορα διαθέσιμα λογισμικά επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί μια δοκιμαστική έκδοση του προγράμματος 3DReshaper (έκδοση 5.3) της εταιρείας Technodigit. Το συγκεκριμένο λογισμικό είναι αρκετά εύχρηστο για το χρήστη, δίνει γρήγορα αποτελέσματα και περιέχει τους σχετικούς αλγόριθμους για την παραγωγή επιφανειών και ψηφιακών μοντέλων επιφάνειας.

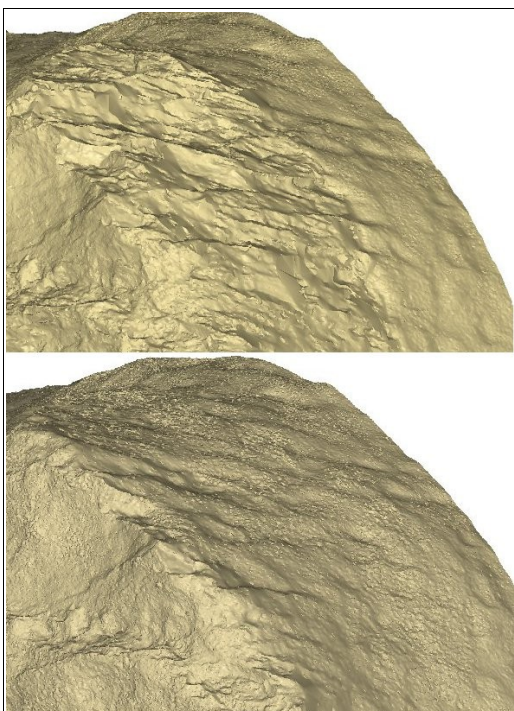
Επομένως, αρχικά σχεδιάστηκε μέσω του λογισμικού αυτού η επιφάνεια του νέφους

σημείων (3D model) με σκοπό την αξιολόγησή της. Επιλέχθηκε να μην εξαιρεθεί κανένα σημείο από το νέφος (no noise reduction), να μην υπάρξει τρισδιάστατη προσαρμογή του πλέγματος (3D deviation) και να αφεθούν όσο το δυνατόν λιγότερες τρύπες στην επιφάνεια (hole detection). Στα σχήματα 7.8 και 7.9 απεικονίζονται για την πρώτη και δεύτερη καταγραφή αντίστοιχα το αποτέλεσμα της τρισδιάστατης επιφάνειας που παράχθηκε.

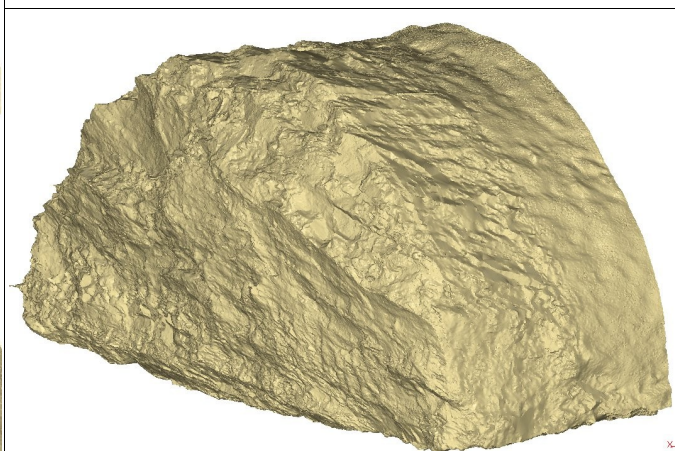




Επίσης, στο σχήμα 7.10 φαίνεται (σε λεπτομέρεια) συγκριτικά η εξομάλυνση στην επιφάνεια που έχει γίνει μεταξύ των δύο καταγραφών και στο σχήμα 7.11 το μέτωπο της σήραγγας από μπροστά (1η καταγραφή).



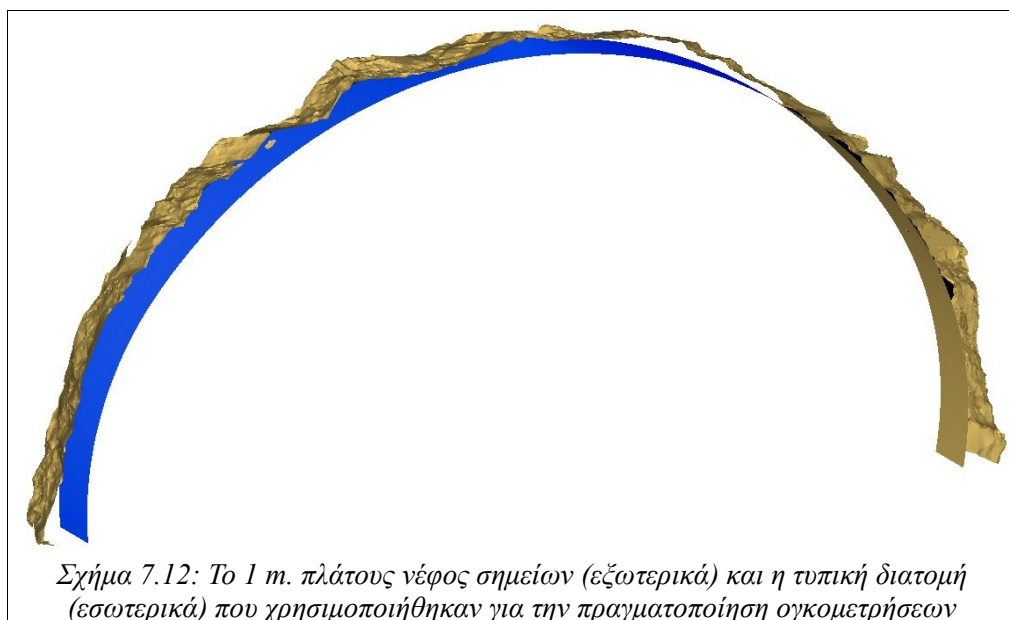
Σχήμα 7.10: Σύγκριση της εξομάλυνσης μεταξύ των δύο καταγραφών



Σχήμα 7.11: Το μέτωπο της σήραγγας όπως φαίνεται από μπροστά (1η καταγραφή)

Το λογισμικό παρέχει επίσης τη δυνατότητα πραγματοποίησης ογκομετρήσεων μεταξύ επιφανειών. Για υπολογισμό όγκων ανά μέτρο μήκους λήφθηκαν αποτελέσματα πολύ κοντά σε αυτά που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο των διατομών. Δηλαδή υπολογίστηκε με μια διαφορά περίπου 6% λιγότερο από τη μέση τιμή των υπολογισμένων διατομών στο συγκεκριμένο κομμάτι.

Πιο αναλυτικά, αποκόπηκε ένα κομμάτι πλάτους ενός μέτρου από το νέφος και υπολογίστηκε ο καθαρός του όγκος. Επίσης υπολογίστηκε ο όγκος που καταλαμβάνει η τυπική διατομή στο συγκεκριμένο κομμάτι. Η διαφορά στους όγκους αυτούς είναι το ζητούμενο. Στο σχήμα 7.12 που ακολουθεί φαίνεται το κομμάτι του νέφους εξωτερικά και εσωτερικά η τυπική διατομή τοποθετημένη στη θέση της για την 1η καταγραφή.



Σχήμα 7.12: Το 1 m. πλάτους νέφος σημείων (εξωτερικά) και η τυπική διατομή (εσωτερικά) που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση ογκομετρήσεων

Το αποτέλεσμα της ογκομέτρησης του λογισμικού θέλει διερεύνηση για το πόσο ακριβές είναι. Δεν είναι δυνατή η άμεση σύγκριση με τα αποτελέσματα από τις διατομές που λήφθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, γιατί αυτές απέχουν μεταξύ τους 20 cm η καθεμία και αποτελούν το αποτέλεσμα της μέση τιμής για το κομμάτι που εξετάστηκε. Τέλος, το λογισμικό παρέχει και τη δυνατότητα εξαγωγής διατομών σε συγκεκριμένες θέσεις κάτι το οποίο δεν εφαρμόστηκε λόγω της δοκιμαστικής έκδοσης (demo) του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε.

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

8.1 Γενικά

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε η δυνατότητα της χρήσης ενός επίγειου σαρωτή laser μέσα σε σήραγγα για τοπογραφικές εφαρμογές. Έγινε καταγραφή του μετώπου της σήραγγας με σκοπό τον υπολογισμό του μεγέθους της πραγματικής εκσκαφής που γίνεται σε αυτήν. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπως γίνεται συνήθως σε σήραγγες που εφαρμόζεται ο ίδιος τρόπος διάνοιξης, γίνονται εκσκαφές μεγαλύτερες από τις ζητούμενες από τη μελέτη (υπερεκσκαφές). Επίσης, εξήχθησαν διατομές σε αυτήν τόσο στο μέτωπο όσο και σε ένα μεγάλο μέρος της.

Χρησιμοποιήθηκε ο επίγειος σαρωτής laser ScanStation2 της Leica Geosystems για τις παραπάνω καταγραφές. Ο συγκεκριμένος σαρωτής και ανάλογου τύπου σαρωτές έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για την εφαρμογή για το σκοπό που αναφέρθηκε προηγουμένως. Αυτά αναφέρονται στη συνέχεια.

8.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της χρήσης επίγειου σαρωτή laser για τη συγκεκριμένη εφαρμογή

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης επίγειου σαρωτή laser είναι:

- Καταγραφή πολύ μεγάλου αριθμού σημείων (νέφος σημείων) με μεγάλη ακρίβεια.
- Υψηλή ταχύτητα καταγραφής των σημείων – αποτύπωσης.
- Από μία θέση του οργάνου μπορεί να καταγραφεί όλο το οπτικό του πεδίου.
- Είναι δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία του νέφους σημείων που συλλέγεται δίνοντας ακριβή αποτελέσματα εμβαδών – όγκων.
- Είναι δυνατή η ρεαλιστική και παραστατική απεικόνιση της γεωμετρίας της

σήραγγας και μοντελοποίησής της.

Τα μειονεκτήματα της χρήσης επίγειου σαρωτή laser είναι:

- Ο επίγειος σαρωτής laser και τα παρελκόμενά του (φορητός Η/Υ, συσσωρευτές, τρίποδας κλπ) είναι ογκώδη, βαριά και δύσκολα για γρήγορο και αποδοτικό στήσιμο.
- Ο όγκος δεδομένων που προκύπτει είναι πολύ μεγάλος και πιθανόν να απαιτείται ειδική επεξεργασία για την αφαίρεση περιττής πληροφορίας.
- Η εξαγωγή πληροφορίας από τα δεδομένα που συλλέγονται από το πεδίο μπορεί να γίνει μόνο μετά από επεξεργασία αυτών. Αυτό γίνεται γιατί η συγκεκριμένη εφαρμογή δεν έχει πλήρως αυτοματοποιηθεί.
- Το λογισμικό χρήσης, απεικόνισης και επεξεργασίας του σαρωτή απαιτεί εμπειρία και εκμάθηση από το χρήστη.
- Υψηλό κόστος αγοράς.

8.3 Συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο προκύπτει ότι οι πραγματικές υπερεκσκαφές στη σήραγγα στη συγκεκριμένη θέση είναι περίπου 5-10%, δηλαδή 4,5-9 m² παραπάνω ανά διατομή. Αυτό σημαίνει ότι ανά μέτρο προχώρησης απαιτούνται 4,5-9 m³ οπλισμένου σκυροδέματος (gunite) για την πλήρωση του κενού μεταξύ της πραγματικής εκσκαφής και της τυπικής διατομής.

Ακόμα από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι, μετά τη τοποθέτηση ενός στρώματος εκτοξευόμενου σκυροδέματος (2η καταγραφή), οι υπερεκσκαφές μειώθηκαν κατά 20-65% απ' ότι αρχικά ήταν. Μειώθηκαν, δηλαδή, οι υπερεκσκαφές σε μεγάλο βαθμό.

Δεδομένου της ιδιαιτερότητας που παρουσιάζουν έργα όπως η διάνοιξη σηράγγων, δεν είναι δυνατό τα παραπάνω συμπεράσματα να γενικευθούν. Είναι καθαρά μετρήσεις οι οποίες ανάλογα τη θέση που γίνονται, μπορούν να δώσουν τελείως διαφορετικά αποτελέσματα. Εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωλογία της περιοχής, το τρόπο διάνοιξης, το μηχανολογικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται και άλλους παράγοντες.

Επομένως, τέτοιου είδους μετρήσεις γίνονται με σκοπό τη βελτίωση και προσαρμογή της μεθόδου διάνοιξης για τη δεδομένη σήραγγα στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι

μετρήσεις. Εκτιμάται, δηλαδή, το μέτρο της υπερεκσκαφής και γίνονται προσπάθειες μείωσης της στο ελάχιστο δυνατό.

8.4 Προτάσεις

Η αποτύπωση της πραγματικής εκσκαφής της σήραγγας και ο ακριβής υπολογισμός της, δεν είναι δυνατό να γίνει με απλές τοπογραφικές μεθόδους. Με τη χρήση ενός επίγειου σαρωτή laser, όμως, είναι δυνατή η γρήγορη και ακριβής αποτύπωση του μετώπου λόγω των συνθηκών που επικρατούν στη σήραγγα. Μέχρι τώρα ήταν δυνατό να γίνει μόνο μια χονδρομερής εκτίμηση του μεγέθους της υπερεκσκαφής.

Από τα αποτελέσματα από τις καταγραφές προέκυψε ότι ανά μέτρο προχώρησης απαιτούνται 4,5-9 m³ οπλισμένου σκυροδέματος (gunite) για την πλήρωση του κενού μεταξύ πραγματικής εκσκαφής και τυπικής διατομής (ιδανικής γραμμής εκσκαφής). Με μια μέση τιμή σκυροδέματος 100 €/m³ προκύπτει ότι το κόστος ανά μέτρο προχώρησης είναι κατά 450-900 € αυξημένο. Σε μια σήραγγα μήκους 2 km (όπως η σήραγγα T1 στα Τέμπη) αυτό μεταφράζεται ως κόστος 900.000-1.800.000 €.

Συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι πιθανόν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στην υλοποίηση της μελέτης. Τρεις είναι οι πιο πιθανοί λόγοι που μπορούν να προκαλέσουν τόσο μεγάλες υπερεκσκαφές:

1. Η γεωλογία των πετρωμάτων στην περιοχή να μην εμφανίζει σταθερά χαρακτηριστικά (γεωλογικά – γεωτεχνικά) και ομοιομορφία, με αποτέλεσμα να είναι απρόβλεπτη η συμπεριφορά τους κατά τη διάνοιξη.
2. Να έχει γίνει λανθασμένος υπολογισμός του σχεδίου διάτρησης – ανατίναξης. Πιθανόν να γίνεται υπερβολική γόμωση των περιμετρικών διατρημάτων ή μερικά από τα στοιχεία της διαμέτρου, του μήκους, της κλίσης, του πλήθους και της σειρά έναυσης αυτών να μην έχουν εκτιμηθεί – υπολογιστεί σωστά.
3. Να μην γίνεται με σωστό τρόπο είτε ο χειρισμός των μηχανημάτων διάτρησης από τους χειριστές είτε η τοποθέτηση της σωστής ποσότητας εκρηκτικών από τον υπεύθυνο γομωτή (και της συνδεσμολογίας της αλληλουχίας έναυσης αυτών).

Επομένως, τέτοιου είδους μετρήσεις είναι απαραίτητες σε σήραγγες και δίνουν αξιοποιήσιμα αποτελέσματα. Αν εξαλειφθούν μερικά από τα μειονεκτήματα των επίγειων

σαρωτών laser για τη συγκεκριμένη χρήση τους, τότε το μέλλον δείχνει ότι τα συμβατικά τοπογραφικά όργανα θα αντικατασταθούν από αυτούς. Ήδη κατασκευάζονται φτηνότεροι και καλύτεροι σαρωτές με ενσωματωμένους τους συσσωρευτές (μπαταρίες) και τη μονάδα ελέγχου και καταγραφής των δεδομένων (π.χ. Leica ScanStation C10). Επίσης, είναι θέμα χρόνου η αυτοματοποίηση της διαδικασίας εξαγωγής διατομών και ειδίκευσης τέτοιων σαρωτών σε σήραγγες.

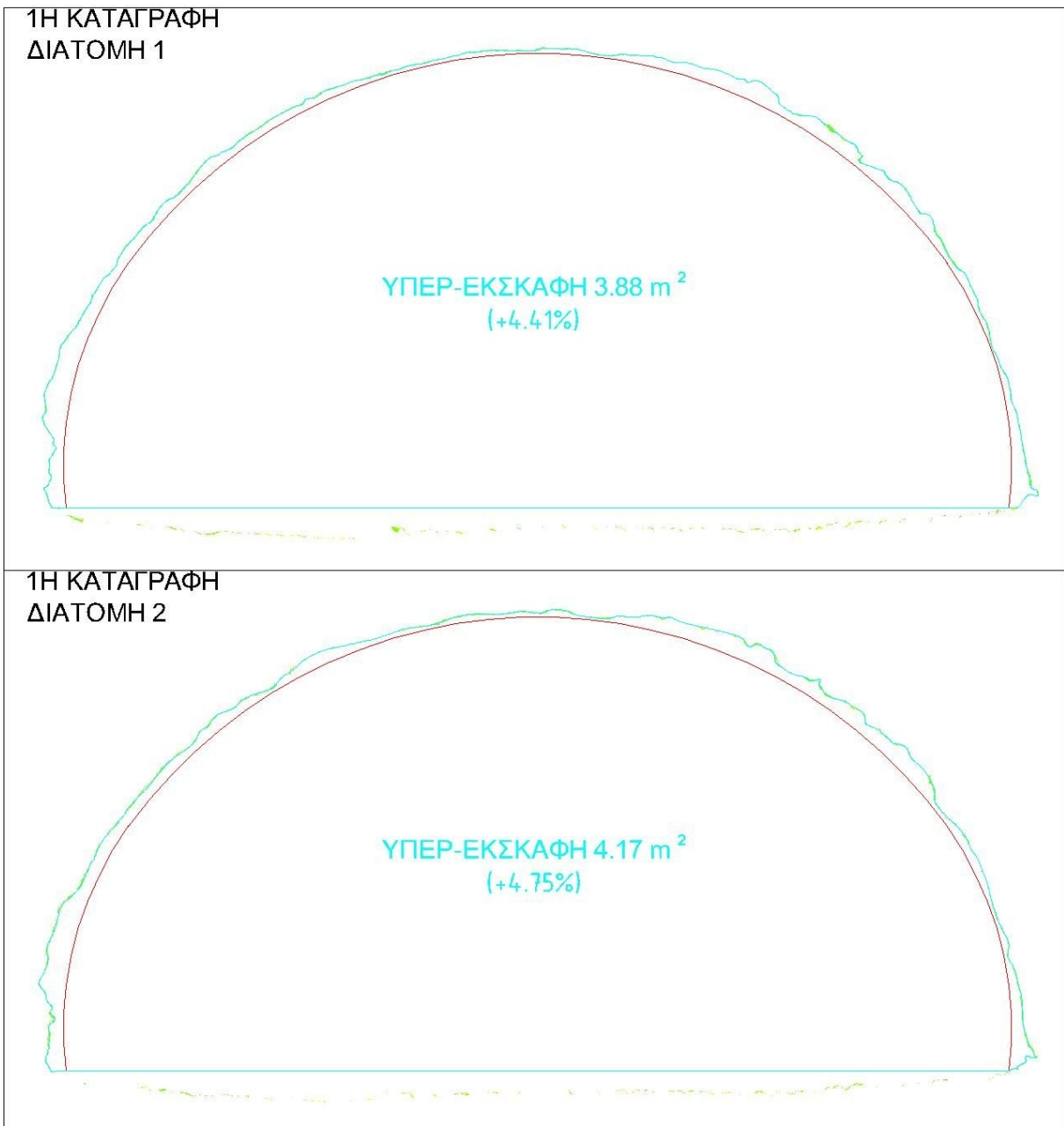
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. 3DReshaper Manual – Version 5.3.7.4, Technodigit
2. Cloudworx Manual – Version 4.1, Leica Geosystems
3. Cyclone Manual – Version 6.0.3, Leica Geosystems
4. Hoek E., 2000. *Rock engineering*. Course notes
5. Leica ScanStation2 User Manual, Leica Geosystems
6. Αποστολόπουλος Β., 2006. *Παρακολούθηση της διάνοιξης σήραγγας σε πραγματικό χρόνο – Εφαρμογή σε λογισμικό ΓΣΠ (GIS)*, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π.
7. Γκίκας Β., Καραμήτσος Σ., Κώτσης Ι., 2007. *Χρήση τρισδιάστατου σαρωτή laser στην αποτύπωση διατομών σηράγγων*, Τεχνικά Χρονικά, Τεύχος 1-2
8. Καββαδάς Μ., 2006-2007. *Σχεδιασμός Υπογείων Έργων*, Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος στο Δ.Π.Μ.Σ. “Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων”
9. Καββαδάς Μ., 2006-2007. *Υπολογιστικές Μέθοδοι Ανάλυσης Υπογείων Έργων*. Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος στο Δ.Π.Μ.Σ. “Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων”
10. Καλιαμπάκος Δ., 2003. *Υπόγεια έργα*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
11. Καλιαμπάκος Δ., *Εκμετάλλευση μεταλλείων*, Σημειώσεις μαθήματος, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών
12. Καντιάνης Ελευθέριος, 2010. *Αποτύπωση διατομών σηράγγων κατά τη διάνοιξη με συμβατικές γεωδαιτικές μεθόδους και επίγειο σαρωτή laser: Εφαρμογή στη σήραγγα Τεμπών Τ1*. Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π.
13. Μαρίνος Π.Γ., 2005. *Μηχανική όρυξη σηράγγων*. Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος στο Δ.Π.Μ.Σ. “Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων”
14. Μπαλοδήμος Δ.Δ., 1991. *Σημειώσεις τεχνικής γεωδαισίας*, Ε.Μ.Π.
15. Οικονομόπουλου Ι., 1989. *Εκμετάλλευση μεταλλείων*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
16. Παναγιώτου Γ. *Τεχνικές διάνοιξης υπογείων έργων με χρήση εκρηκτικών υλών*, Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος στο Δ.Π.Μ.Σ. “Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων”

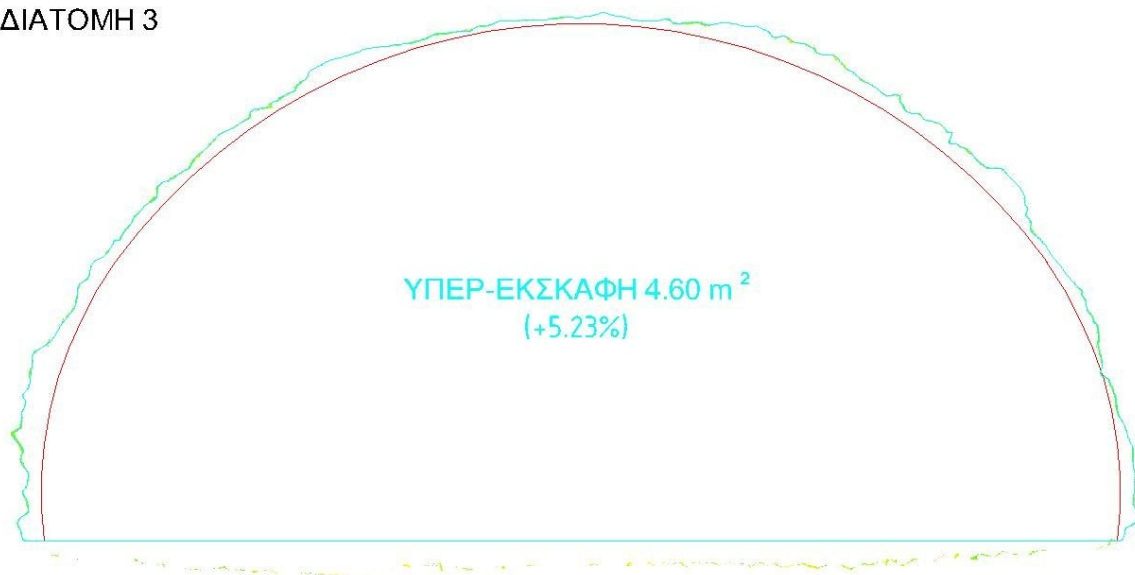
17. Παναγιώτου Γ., *Εξόρυξη πετρωμάτων Ι*, Σημειώσεις μαθήματος, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών
18. Σοφιανός Α.Ι. *Τεχνικές διάνοιξης σηράγγων*, Τόμος Ι και ΙΙ, Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
19. Σοφιανός Α.Ι.. *Σταθεροποίηση σταθερών ανοιγμάτων*, Σημειώσεις μαθήματος, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών
20. Τσακίρη Μ., 2000. *Η τεχνολογία της επίγειας σάρωσης laser*. Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος στο Δ.Π.Μ.Σ. “Γεωπληροφορική”
21. Τσουτρέλης Χ.. *Στοιχεία μηχανικής των πετρωμάτων*, Σημειώσεις μαθήματος, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

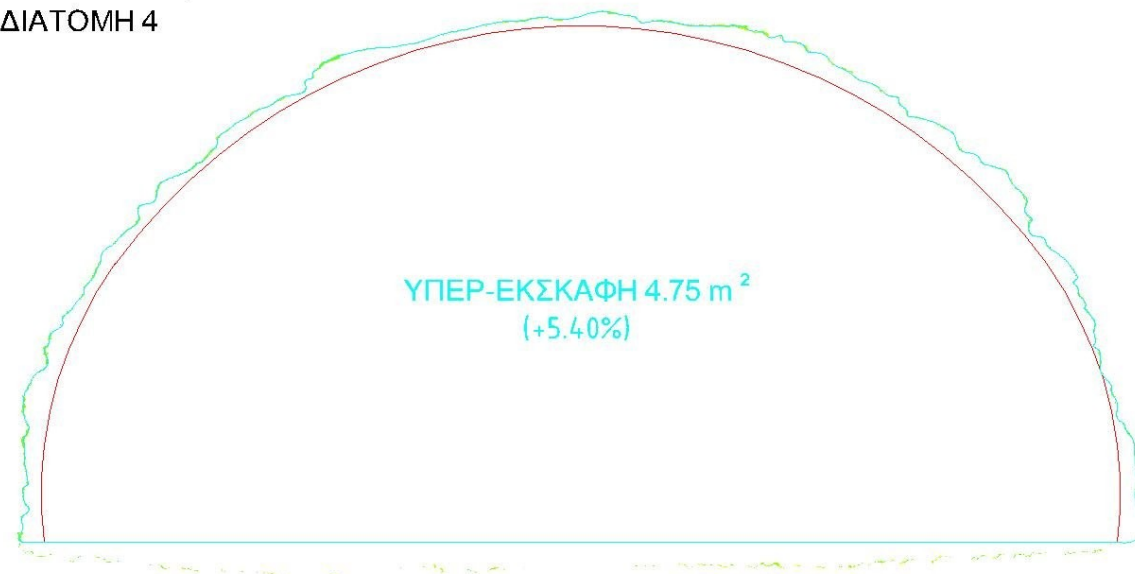
- Στη συνέχεια παρατίθενται για τις 2 καταγραφές που πραγματοποιήθηκαν οι 19 διατομές που λήφθηκαν, σχεδιασμένες στο λογισμικό Autocad μαζί με τις υπερεκσκαφές που υπολογίστηκαν (με κόκκινο είναι η τυπική διατομή, με μπλε η γραμμή πραγματικής εκσκαφής που σχεδιάστηκε).



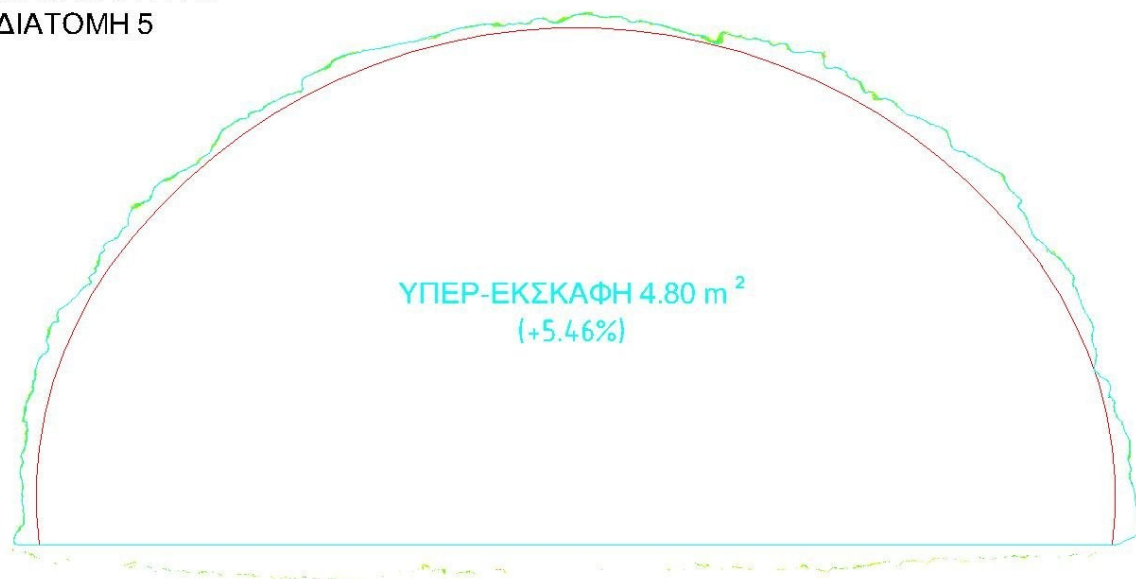
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 3



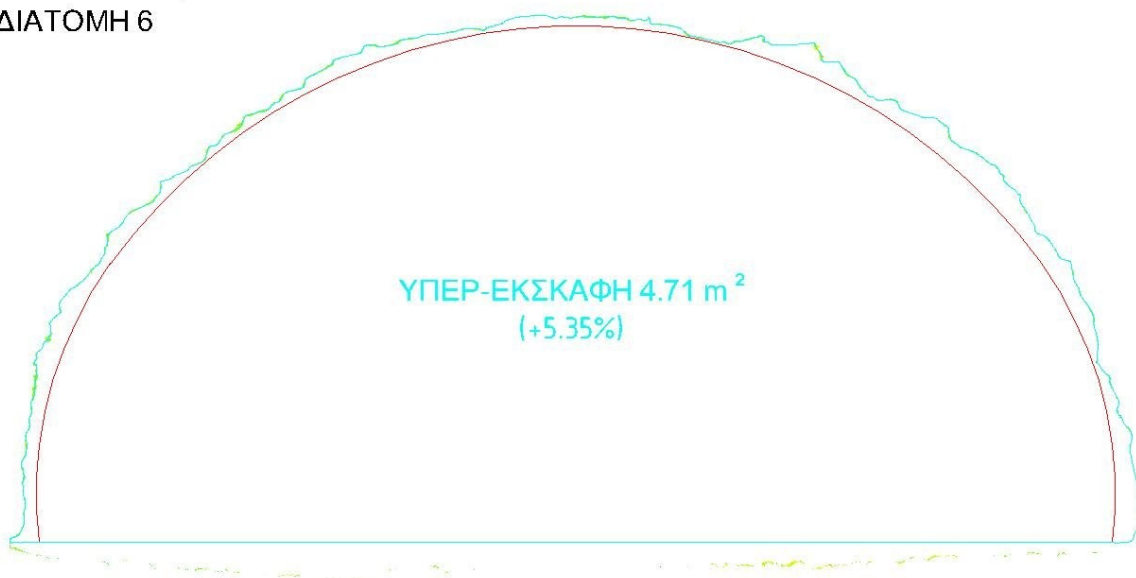
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 4



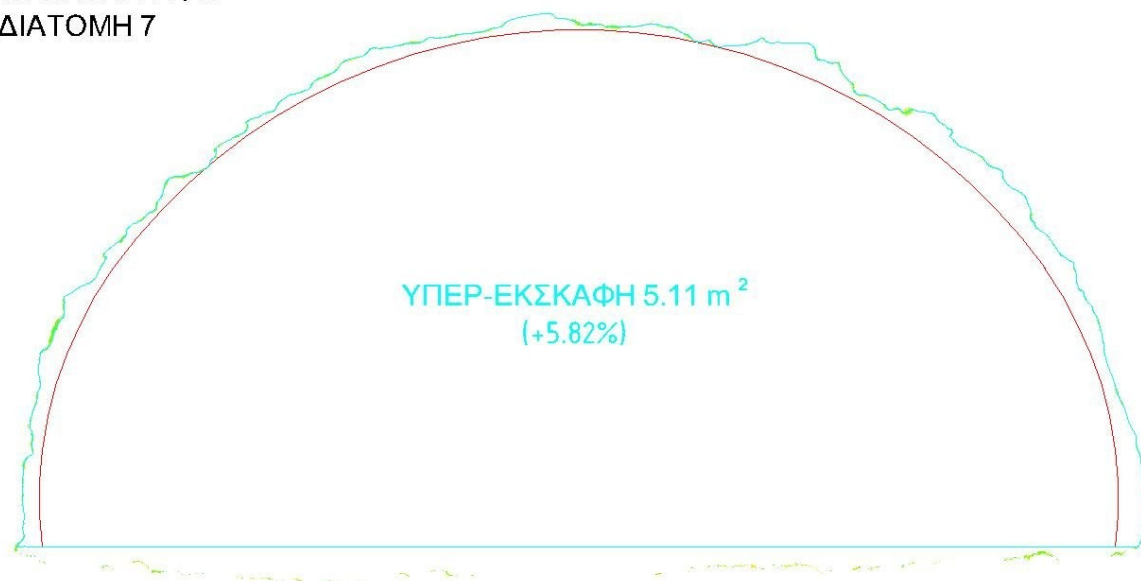
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 5



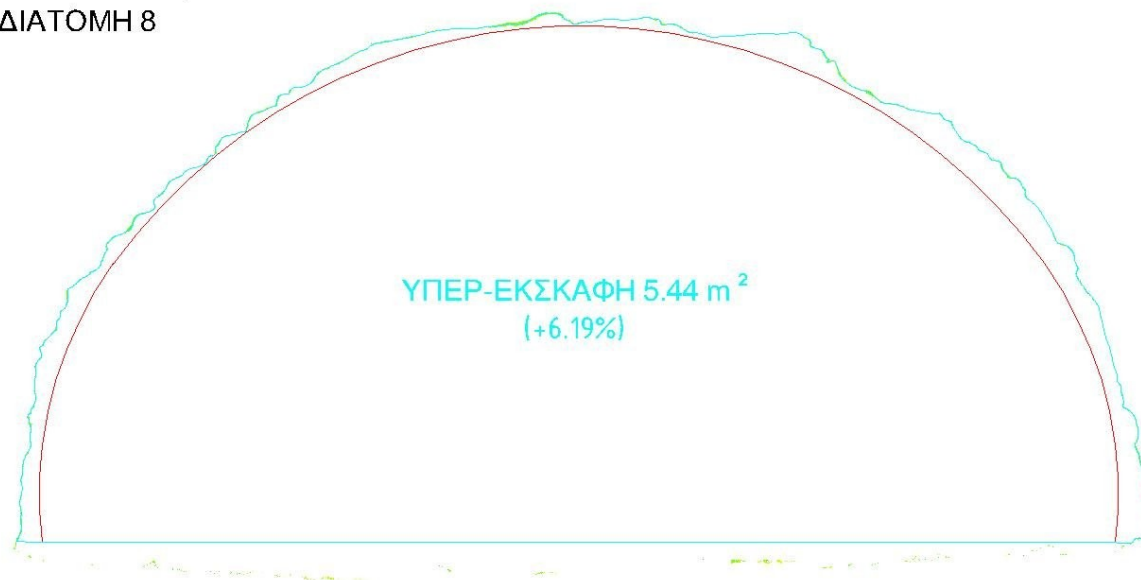
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 6



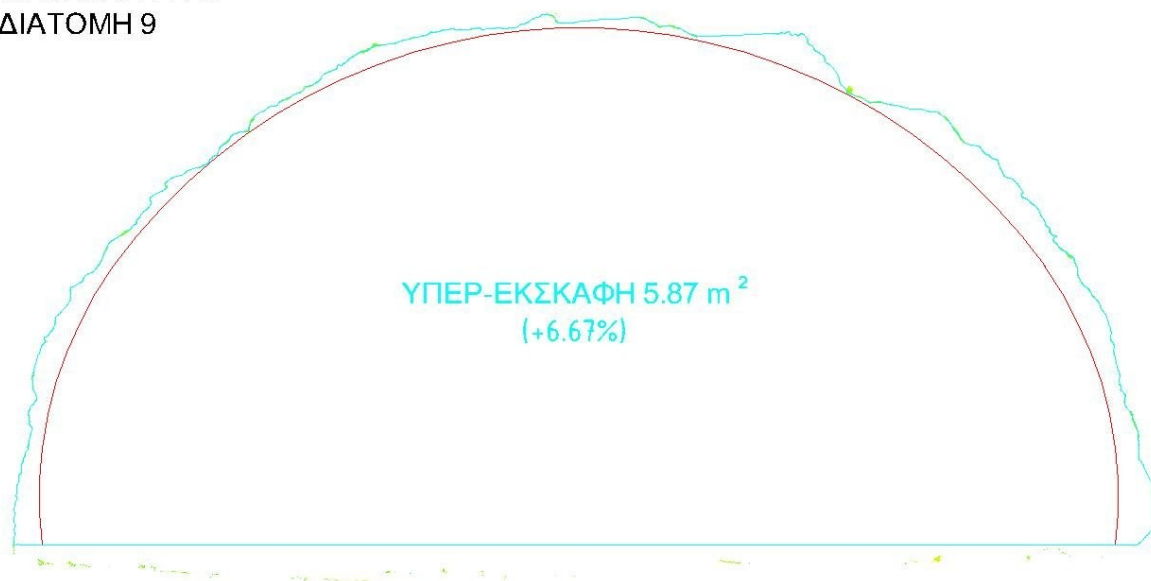
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 7



1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 8



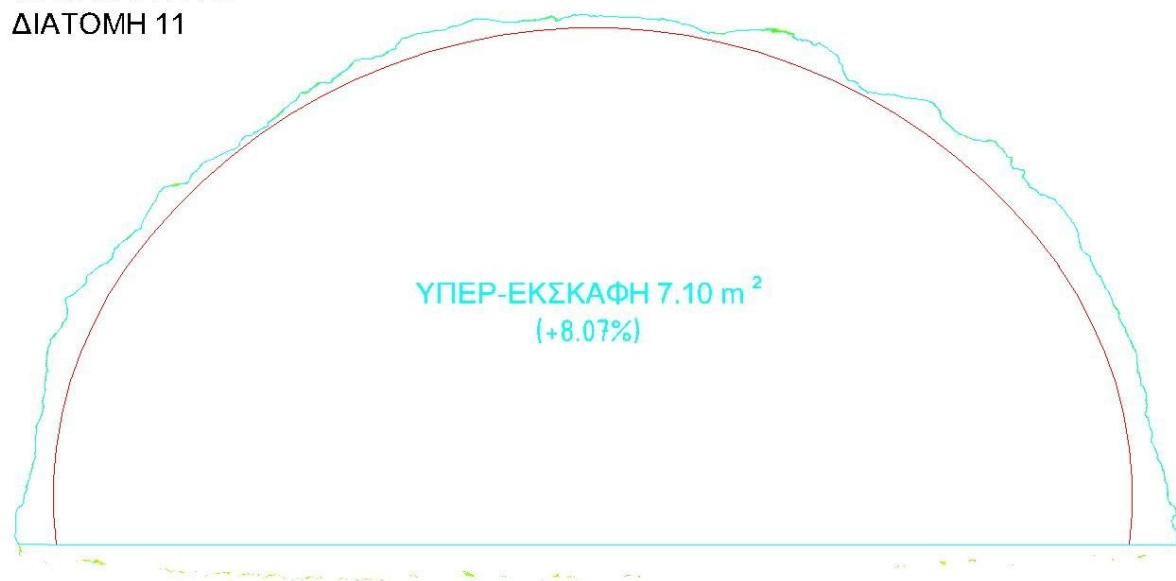
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 9



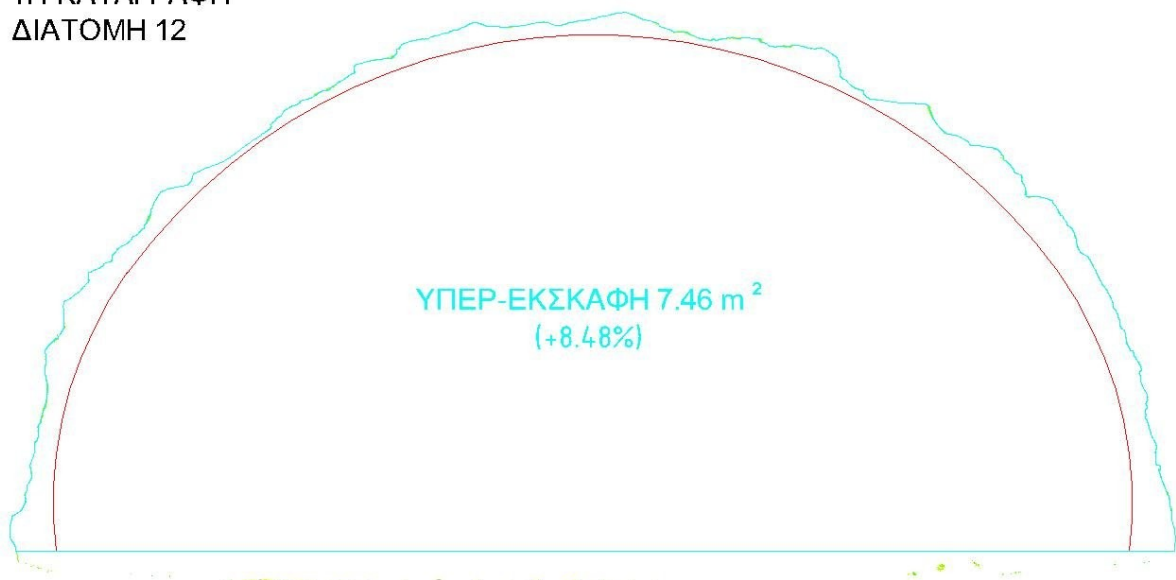
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 10



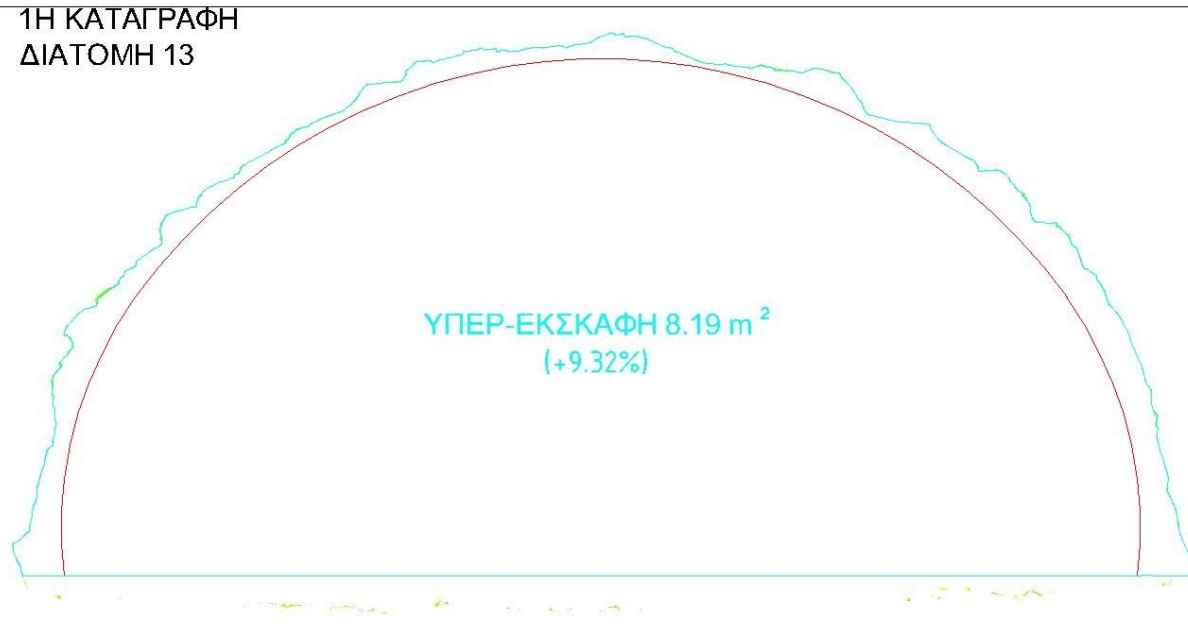
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 11



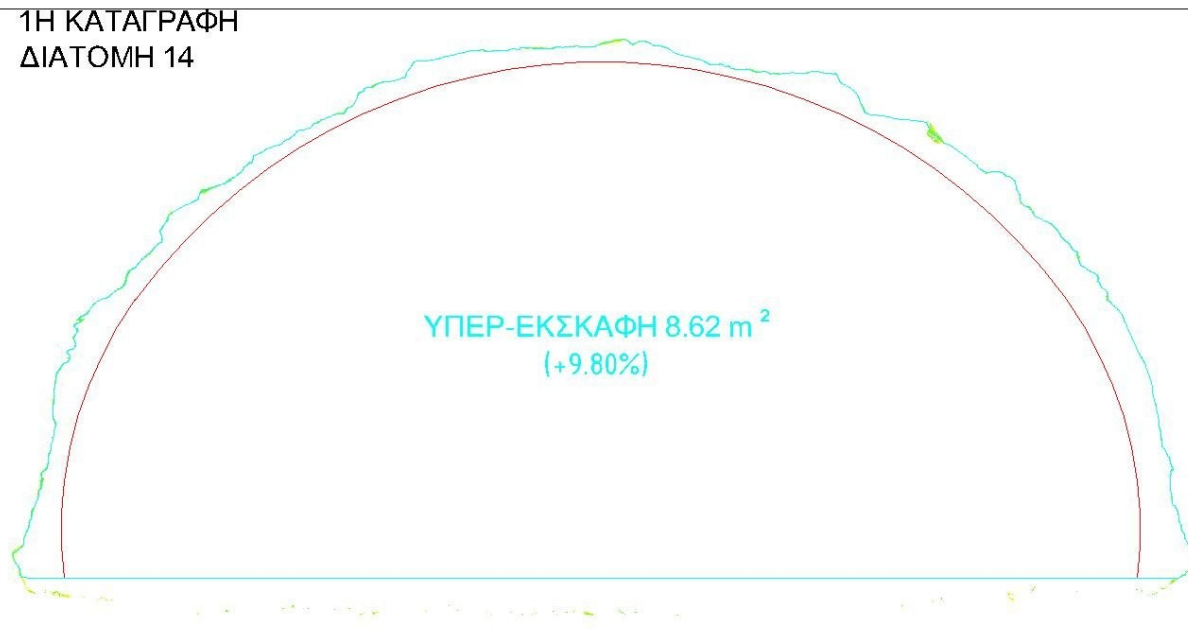
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 12



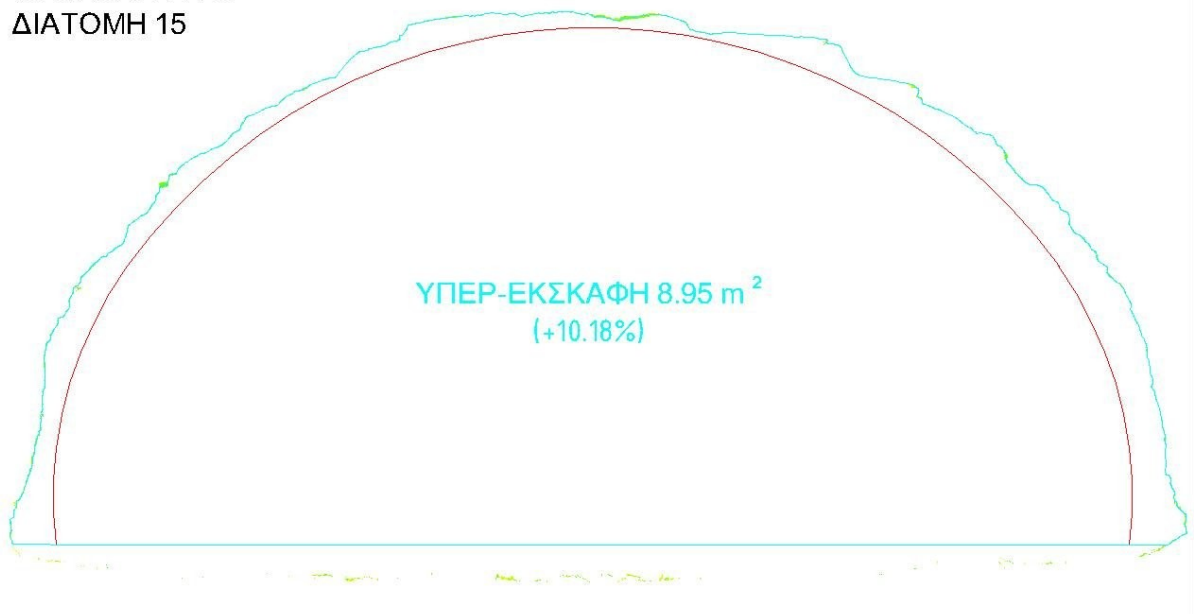
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 13



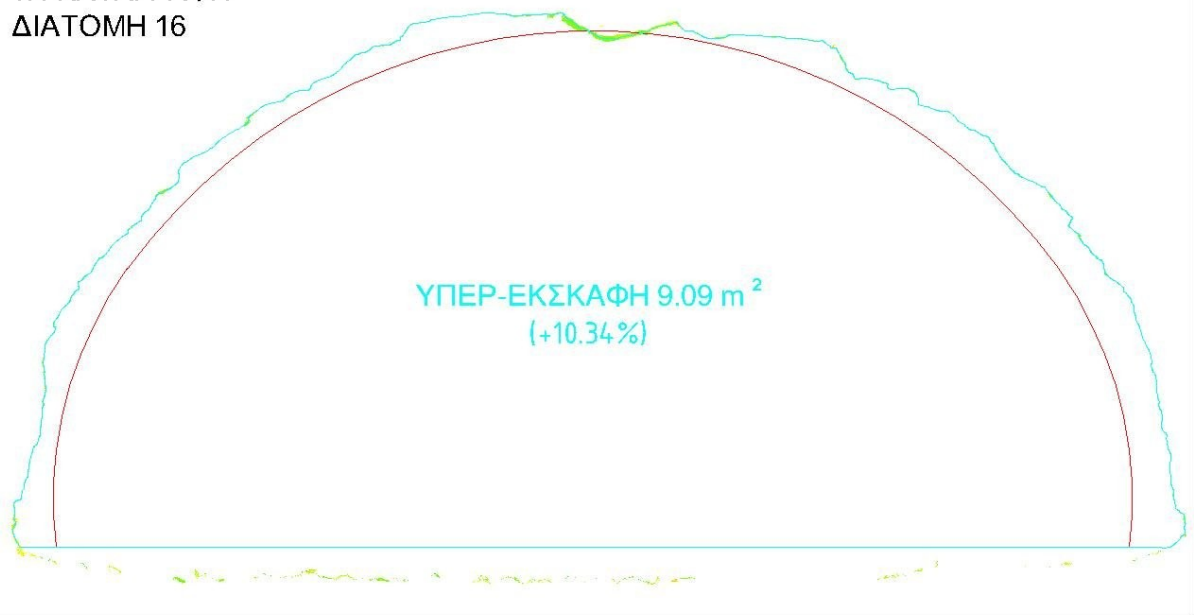
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 14



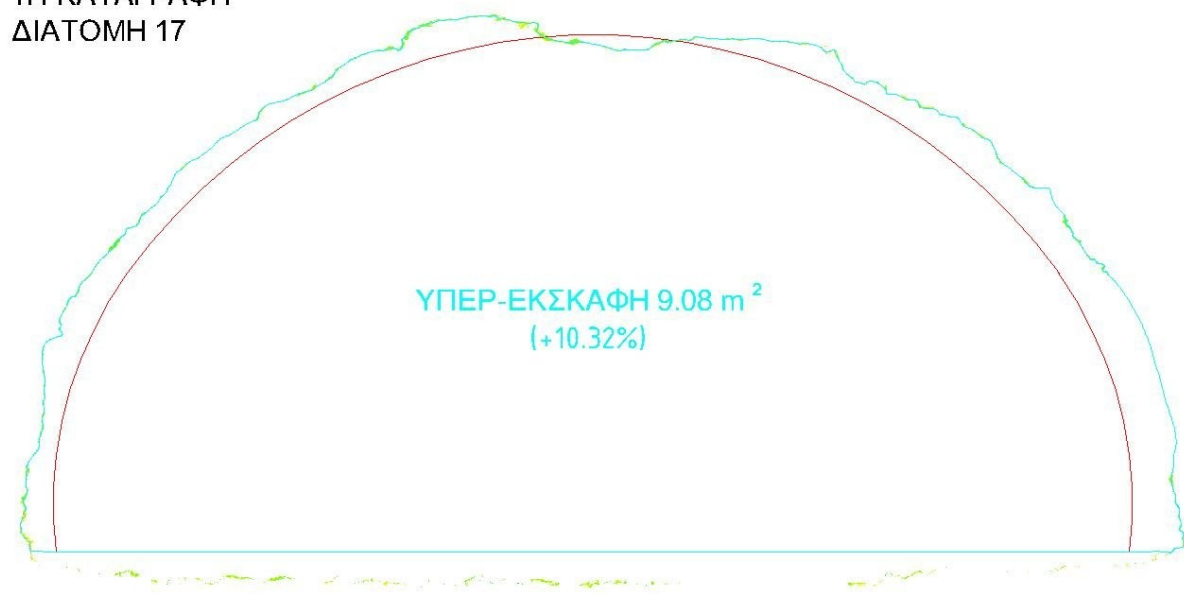
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 15



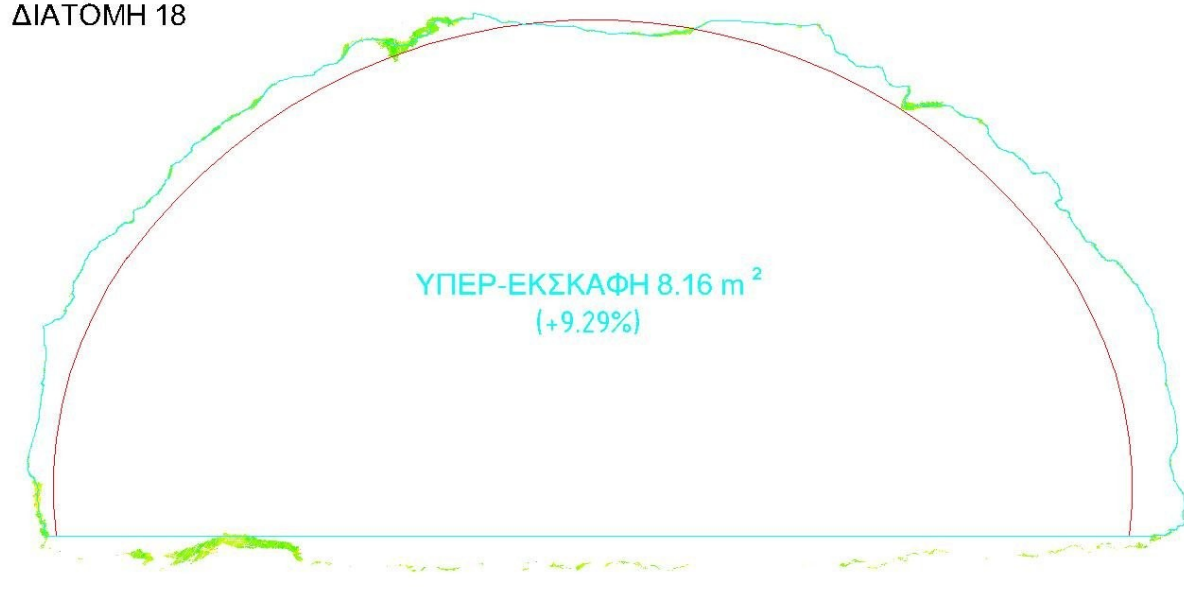
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 16



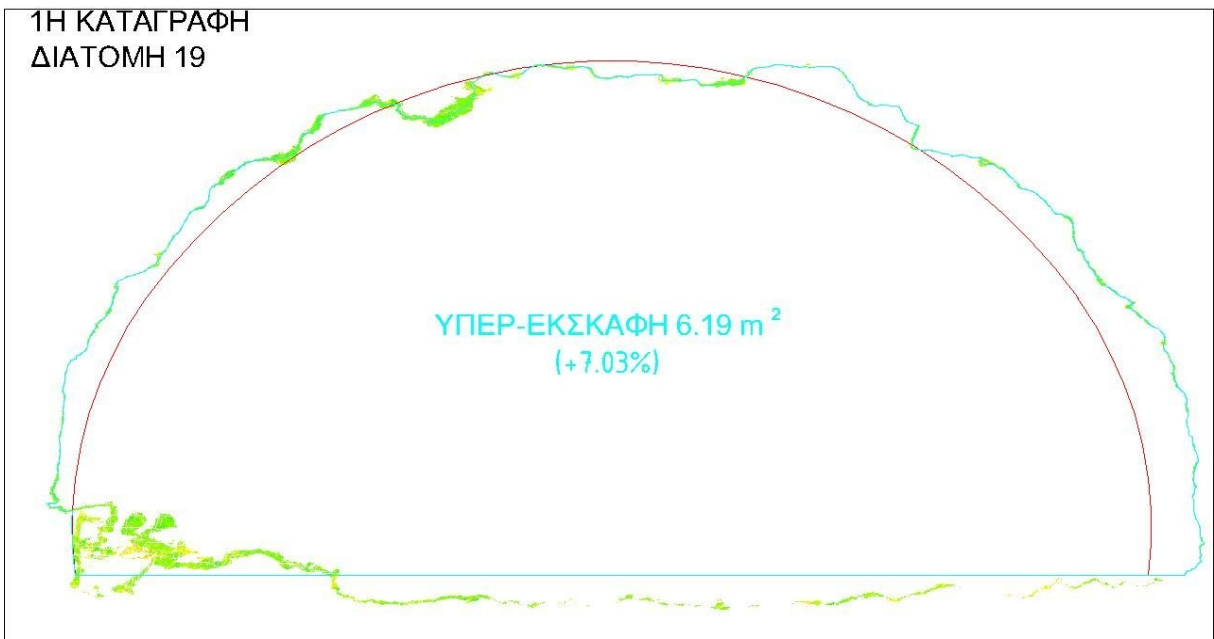
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 17



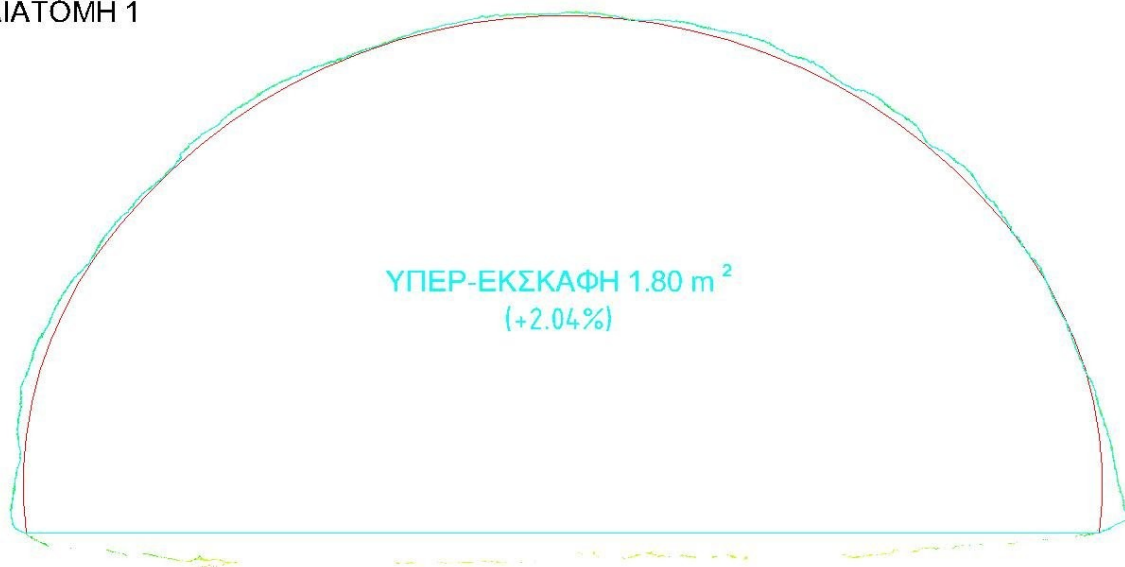
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 18



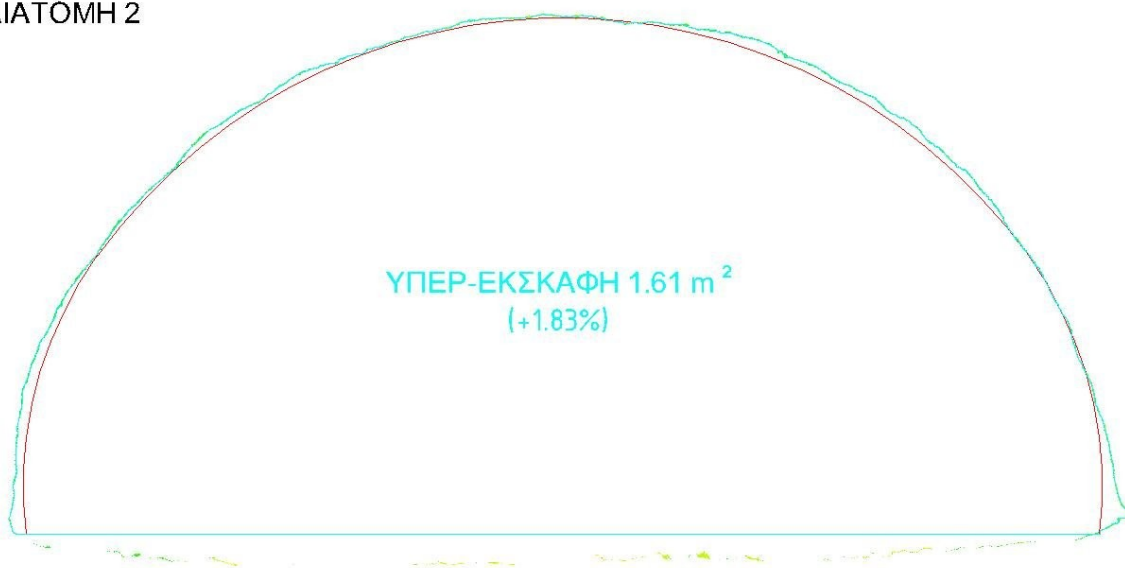
1Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 19



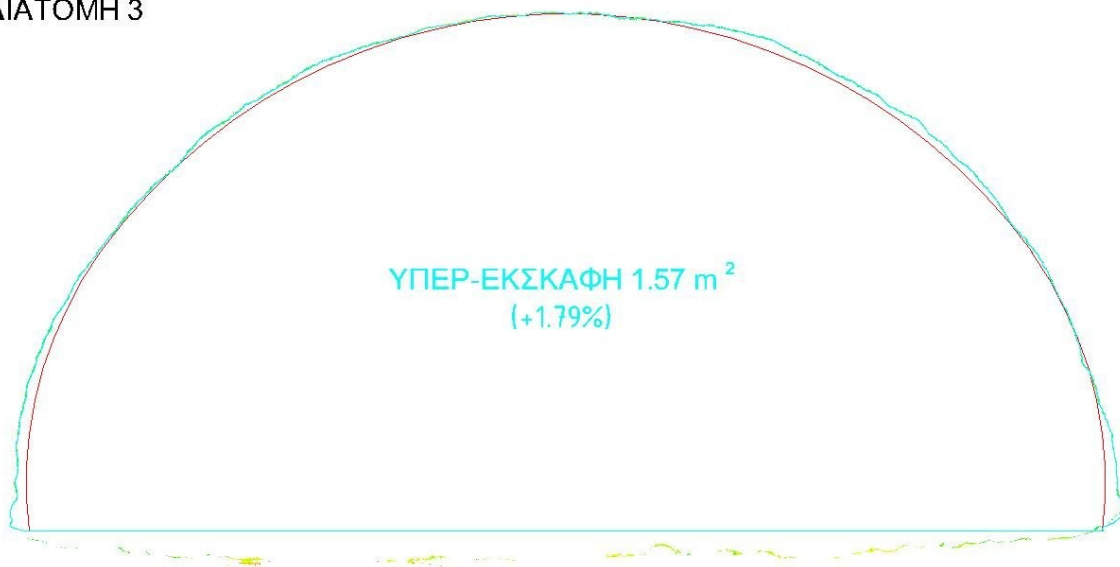
2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 1



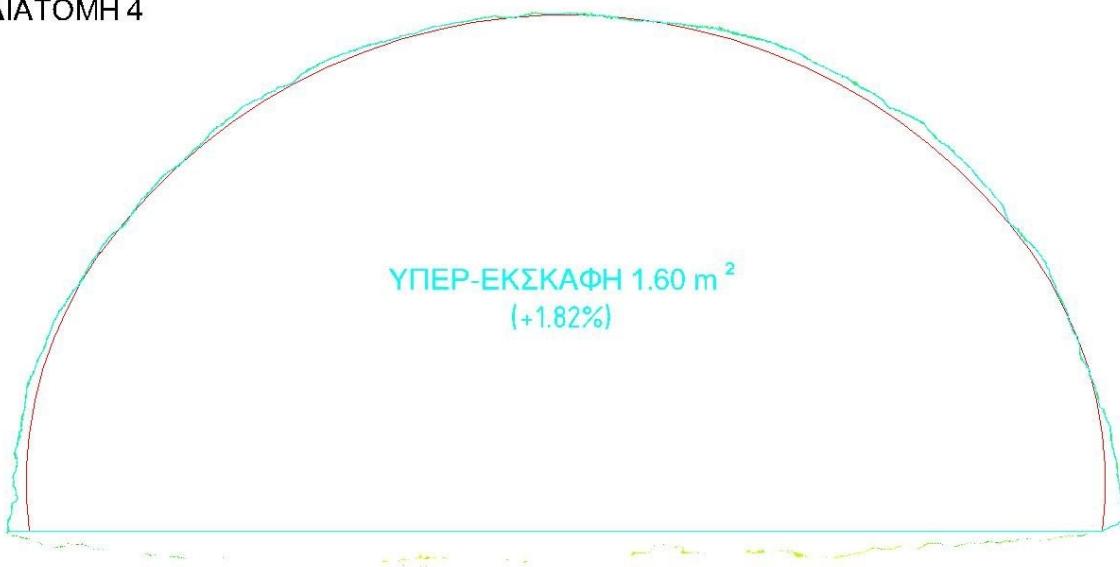
2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 2



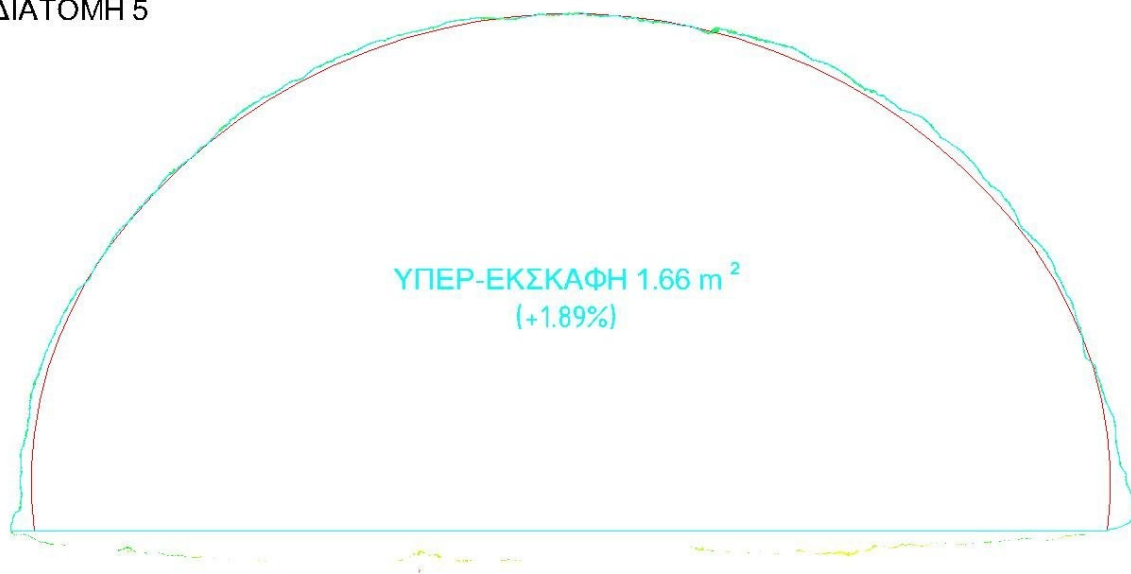
2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 3



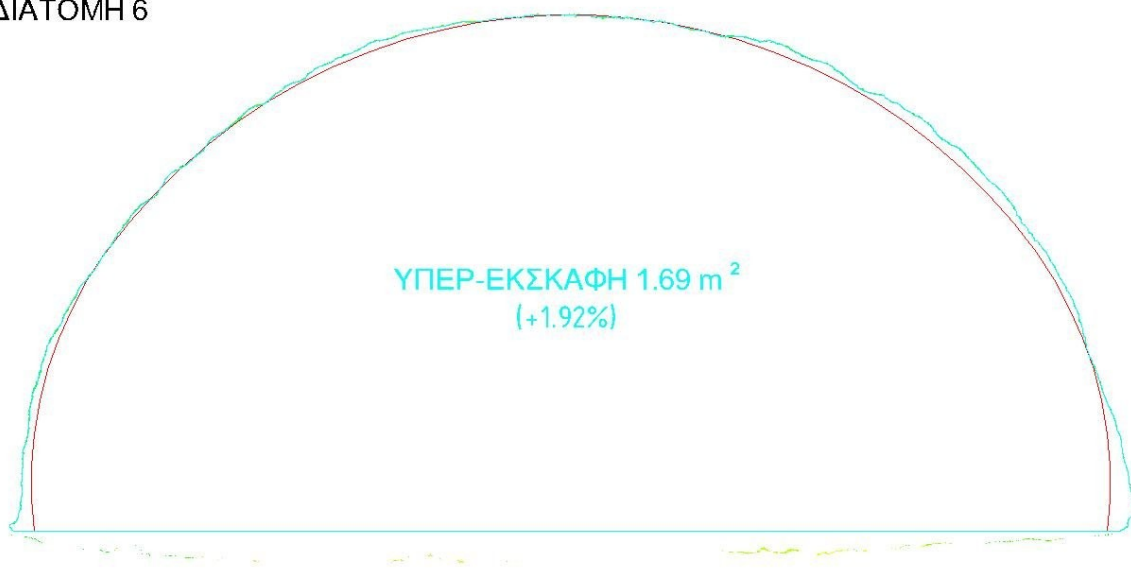
2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 4



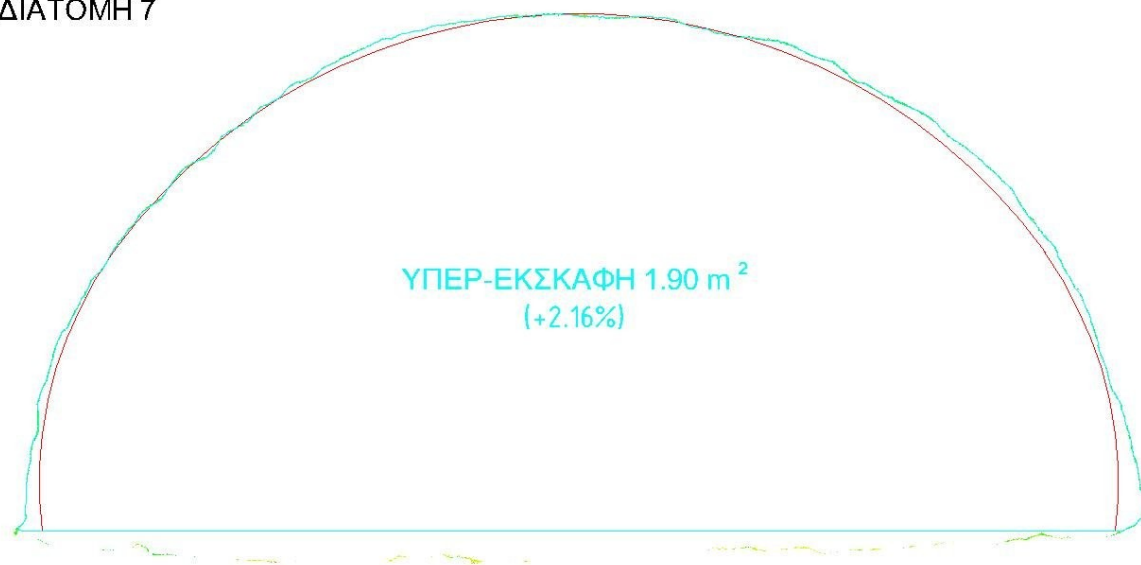
2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 5



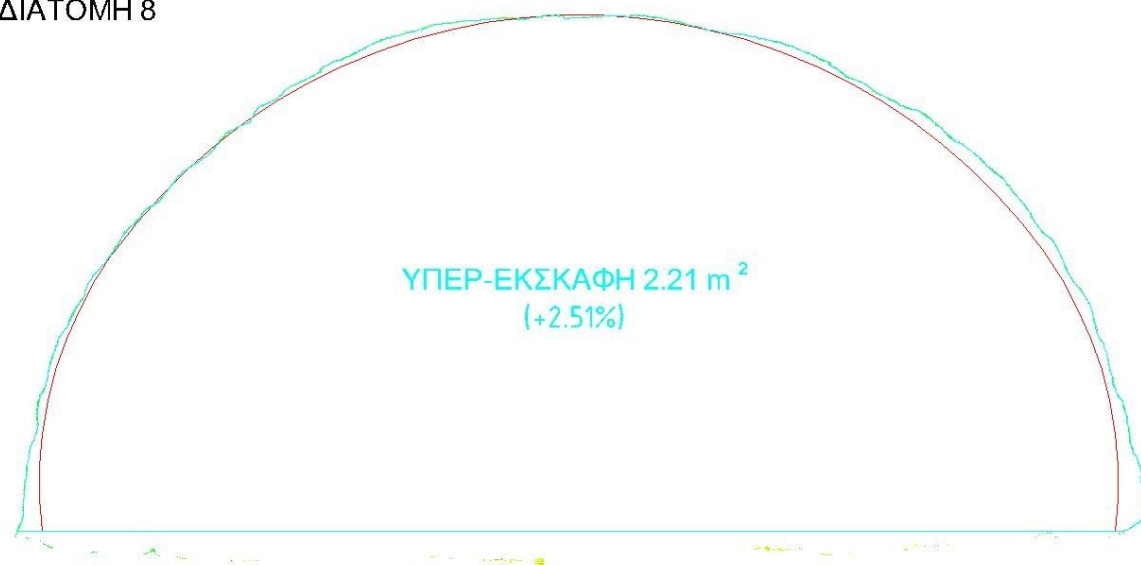
2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 6



2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 7



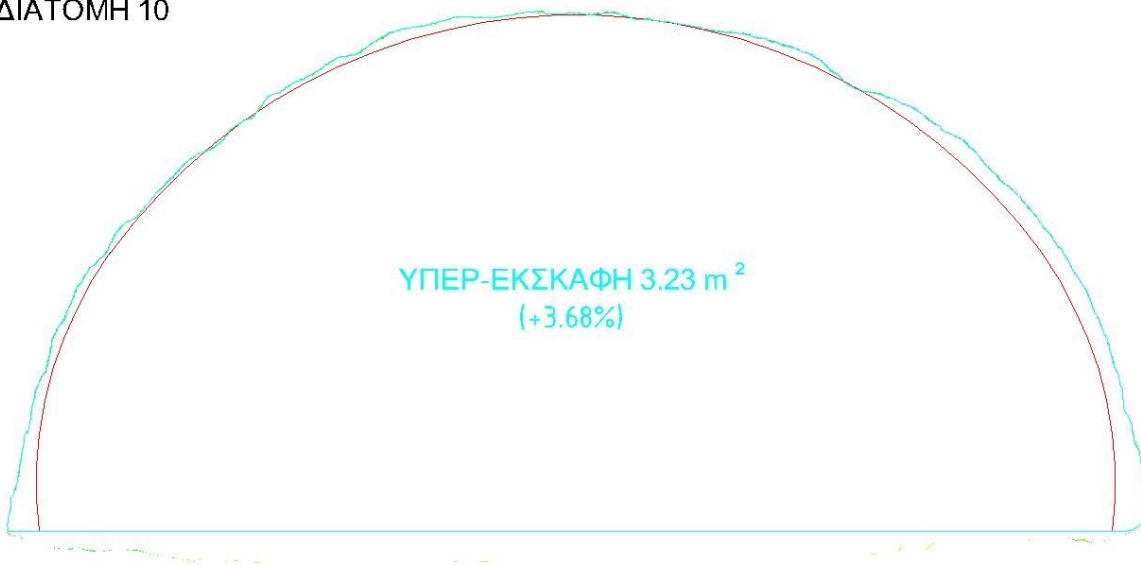
2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 8



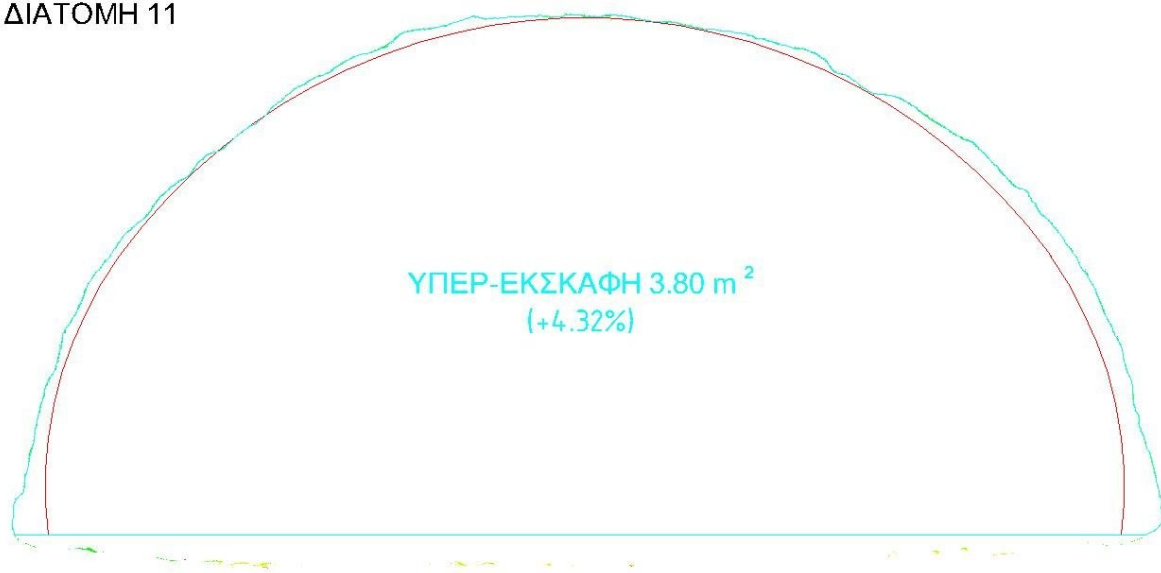
2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 9



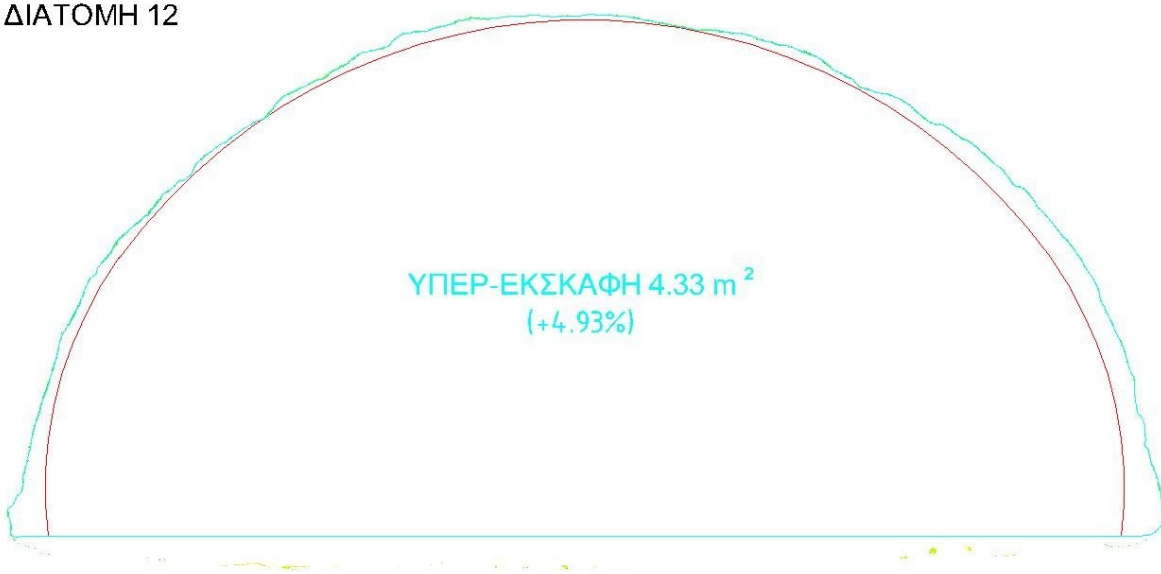
2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 10



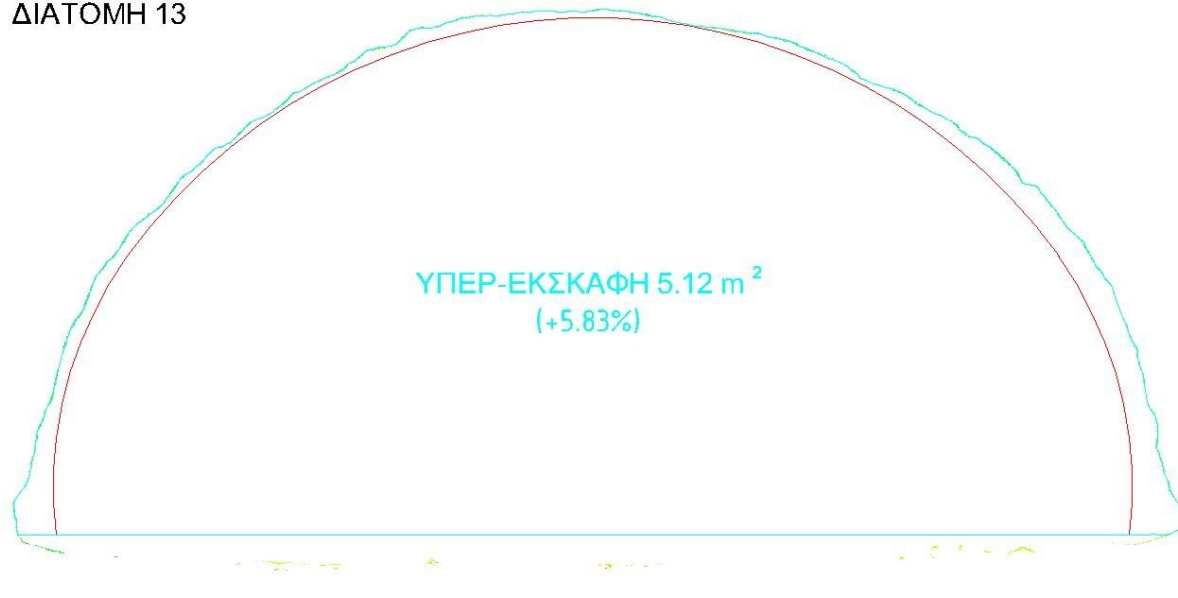
2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 11



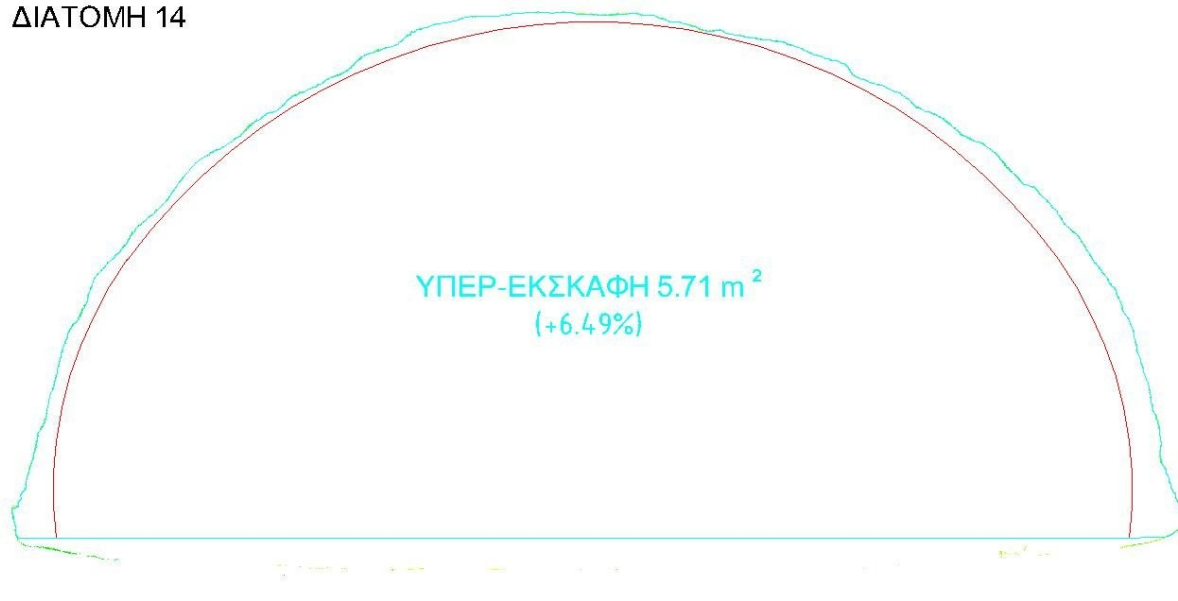
2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 12



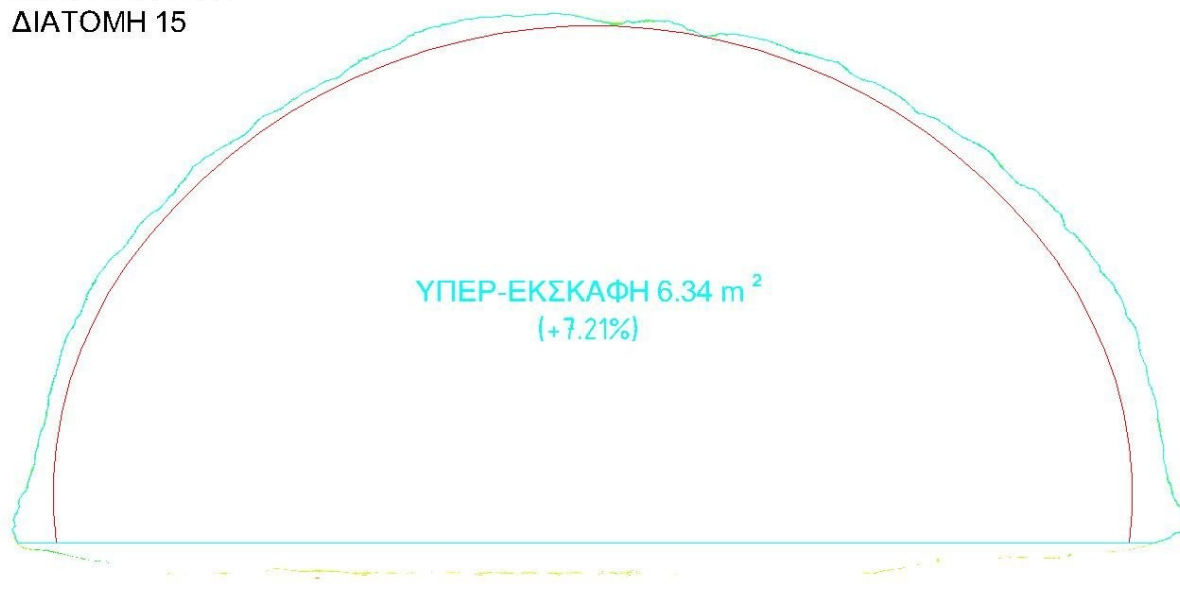
2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 13



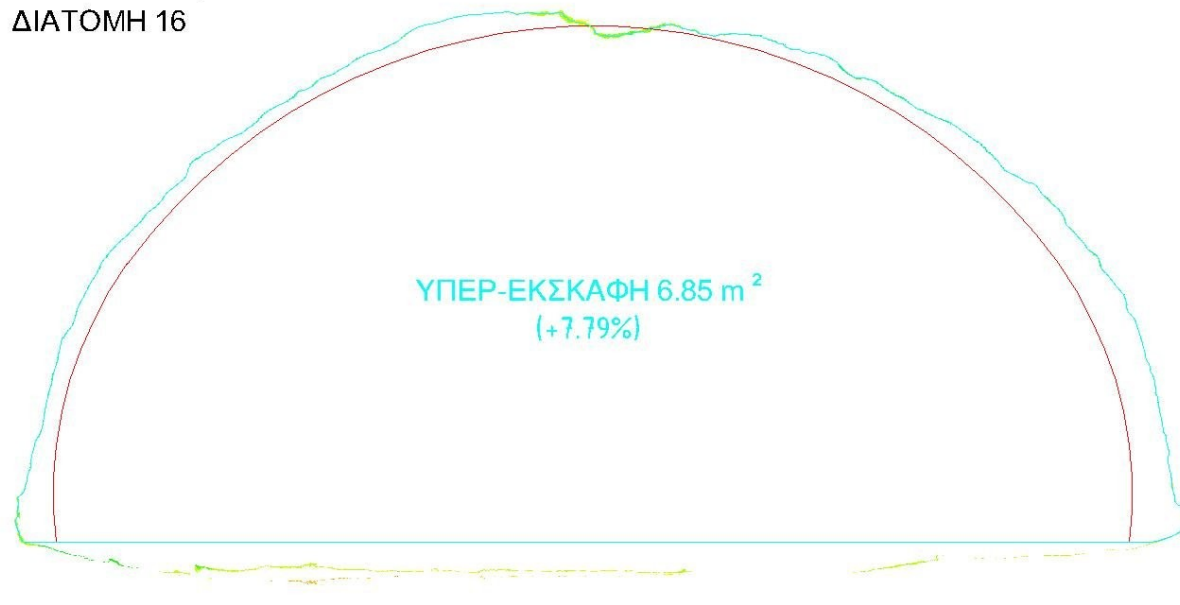
2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 14



2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 15



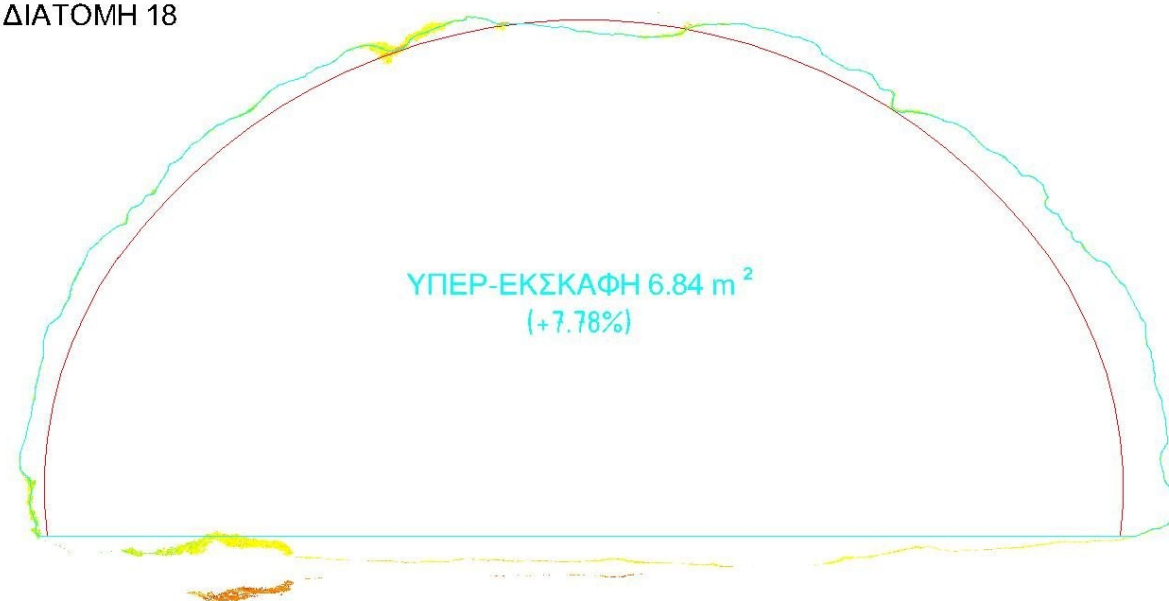
2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 16



2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 17



2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 18



2Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ 19

