

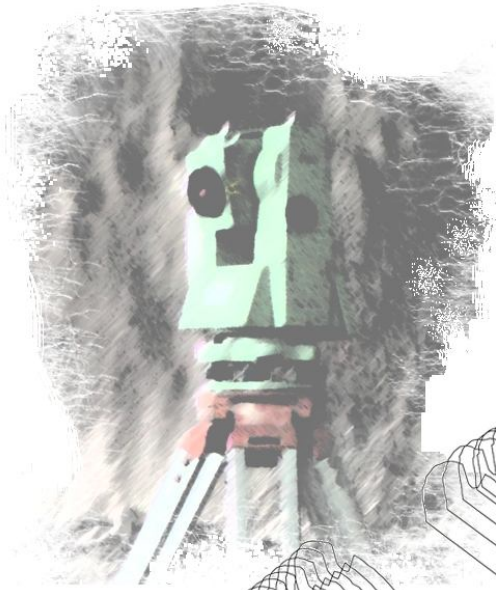


**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**

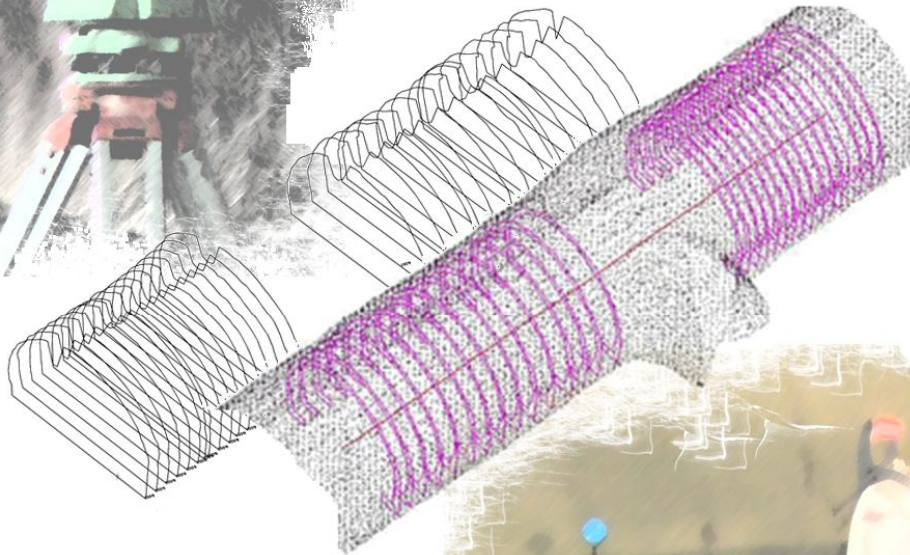
**Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών**

**Τομέας Τοπογραφίας**

**Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας**



***ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ  
ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ  
ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΕΠΙΓΕΙΟ ΣΑΡΩΤΗ LASER:  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ ΤΕΜΠΩΝ Τ1***

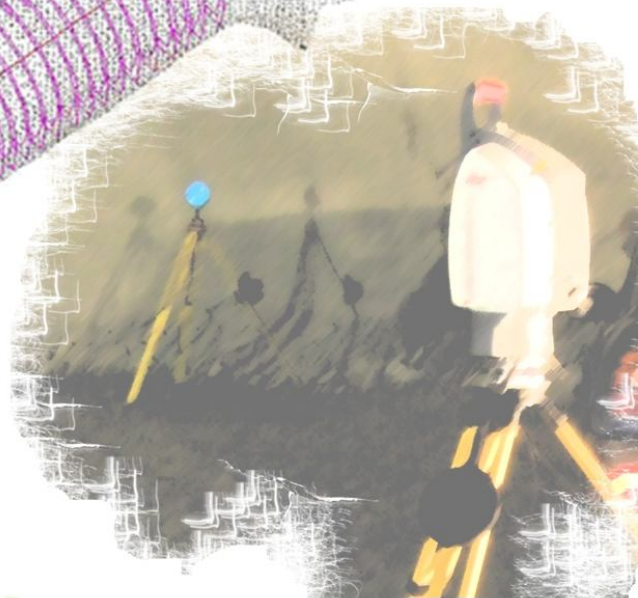


**Καντιάνης Ελευθέριος**

Υπεύθυνος

Γκίκας Βασίλειος

Επίκουρος Καθηγητής

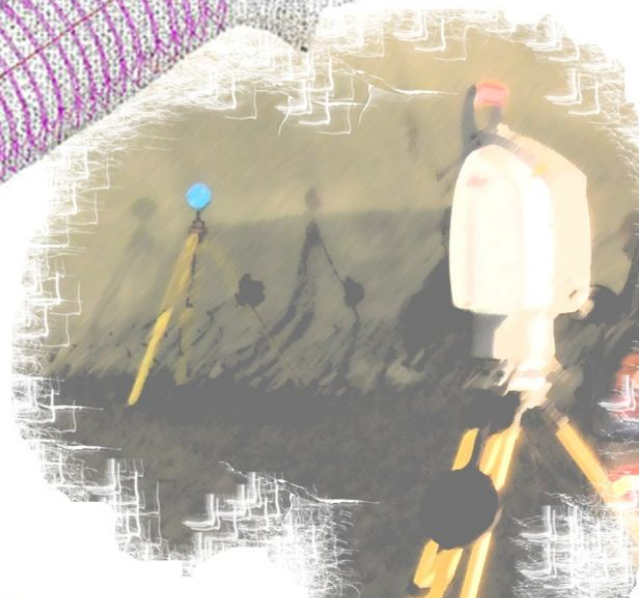
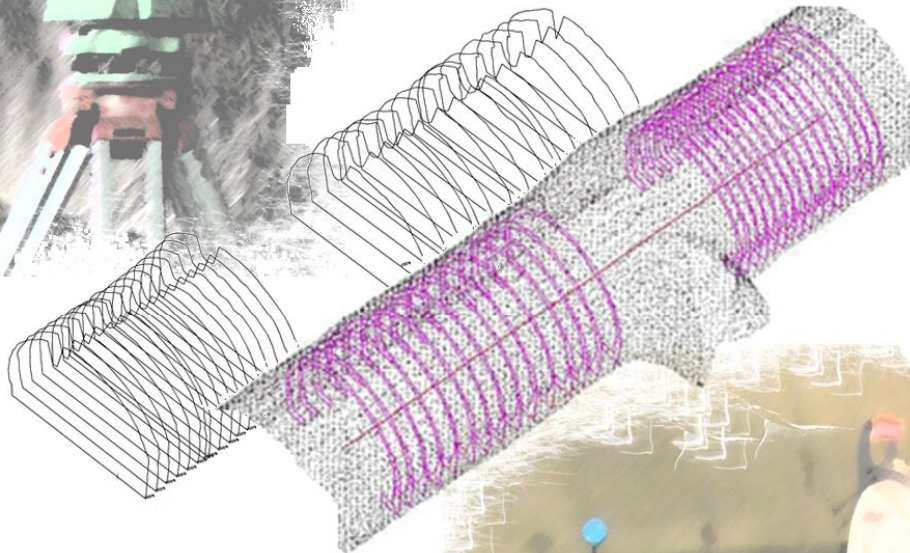


**ΑΘΗΝΑ 2010**



**National Technical University**  
**School of Rural & Surveying Engineering**  
**Department of geodesy**  
**Laboratory of General Geodesy**

***TUNNEL CROSS-SECTION PROFILING BY  
USING CONVENTIONAL GEODETIC METHODS  
AND TERRESTRIAL LASER SCANNER:  
TUNNEL T1 TEMPI IMPLEMENTATION***



**Kantianis Eleftherios**

Supervisor

**Gkikas Vasileios**

Assistant professor

**ATHENS 2010**

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επίκουρο καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών κύριο Βασίλειο Γκίκα για την αμέριστη βοήθεια και συμπαράστασή που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, ώστε να γίνει εφικτή η πραγματοποίησή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον μεταπτυχιακό φοιτητή κ. Βασίλη Αποστολόπουλο για την πολύτιμη βοήθειά του σε θέματα της εργασίας, καθώς και την κυρία Αλούπη Αικατερίνη, διοικητική υπάλληλο της γραμματείας ΤΑΤΜ ΕΜΠ, για την στήριξη και την βοήθεια που μου παρείχε.

Τέλος, τις ευχαριστίες μου θα ήθελα να εκφράσω στον κύριο Ξυγκογεωργόπουλο Γεώργιο, εργοταξίαρχη της ΑΘΗΝΑ Α.Τ.Ε., για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, καθώς και σε όλους τους συναδέλφους μου για την συνεργασία μας όλα αυτά τα χρόνια.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συστηματική παρακολούθηση της πορείας και της γεωμετρίας των τεχνικών έργων, αποτελεί βασική προϋπόθεση για την σωστή και ασφαλή λειτουργία τους. Παραδοσιακά, σε εργασίες διάνοιξης σηράγγων ο έλεγχος αυτός διεξάγεται με την χρήση γεωδαιτικού σταθμού, με περιορισμένες όμως δυνατότητες. Τα τελευταία χρόνια όμως η εισαγωγή και εφαρμογή του συστήματος TMS Profiler σε σχετικές εργασίες, κατέδειξε τις δυνατότητες και την συνεισφορά αυτής της μεθόδου. Πρόκειται για ένα ειδικό λογισμικό γεωδαιτικού σταθμού που παρέχει τη δυνατότητα χάραξης, συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων για κατασκευαστικούς και επιμετρητικούς σκοπούς σε όλες τις υπόγειες εργασίες.

Σε αντίθεση με τους κλασικούς τρόπους αποτύπωσης, η νέα τεχνολογία της τρισδιάστατης σάρωσης laser, προσφέρει συνολική και σχεδόν συνεχή αποτύπωση του εσωτερικού της σήραγγας, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο τη δυνατότητα επιλογής διατομών σε οποιαδήποτε θέση. Επιπλέον, προσφέρει μεγάλη ταχύτητα και ευκολία στις εργασίες πεδίου, δεδομένου ότι ο κυρίως όγκος εργασιών αφορά στην επεξεργασία των δεδομένων.

Σε αυτή την εργασία διερευνάται η δυνατότητα χρησιμοποίησης σύγχρονων γεωδαιτικών σταθμών και σαρωτών laser για την αποτύπωση διατομών σηράγγων και την εν συνεχεία επεξεργασία των δεδομένων που προκύπτουν. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν γεωδαιτικός σταθμός και επίγειος σαρωτής laser. Και τα δύο όργανα εγκαταστάθηκαν πολύ κοντά στις περιοχές ενδιαφέροντος και προσανατολίστηκαν στο ίδιο σύστημα αναφοράς.

Από την ανάλυση των παρατηρήσεων προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς την ακρίβεια και την αξιοπιστία της κάθε μεθόδου, και η δυνατότητα χρήσης της κάθε μεθόδου σε ένα ευρύ φάσμα εργασιών. Αναφέρεται ότι για τις τρεις μεθόδους που εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία, οι διαφορές των αποτελεσμάτων είναι της τάξης του 1-6%.

## **ABSTRACT**

The systematic monitoring of the progress and the geometry of the Construction Works constitutes a basic condition for their proper as well as safe serviceability. Traditionally, during Tunnel construction this control checks are carried out by the use of total stations, with limited however capabilities. However in recent years, the introduction and application of TMS Profiler in relative field works, proved the potential and contribution of this method. It is about a special geodetic instrument software that provides the possibility of setting out, data collection and processing, for construction as well as quantitative purposes in all kinds of underground works.

Unlike the conventional methods of tunnel profiling and mapping, this new three-dimensional laser scanning technology, offers total, comprehensive and almost continuous tunnels profile, providing by this way the possibility of cross-sections selection in any required location. In addition, it provides great speed and ease in the field works, since the main work volume mostly concerns the data procession.

This diploma thesis investigates the possibility of utilization of modern total stations and laser scanner methods for tunnel cross-sections profile mapping and the subsequent procession of the data obtained. For this purpose, one total station and one laser scanner were used. Both of them were placed close to the areas of interest and orientated to the same reference system.

From the analysis of the overall data collected, useful conclusions were obtained regarding the accuracy and reliability of each method, as well as the possibility of implementing each method in a wide range of tasks. It is reported that for the three methods applied in the present thesis, the outcome is ranging from 1.0 - 6.0%

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b>	<b>8</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b>	<b>13</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>14</b>
<b>1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ</b>	<b>16</b>
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	16
1.2 ΤΥΠΟΙ ΣΗΡΑΓΓΩΝ	16
1.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ	18
1.3.1 Μέθοδος διάνοιξης με Μηχανή Ολομέτωπου Κοπής ( <i>Tunnel Boring Machine, TBM</i> )	18
1.3.2 Μέθοδος ανοικτού ορύγματος ( <i>Cut &amp; Cover</i> )	21
1.3.3 Μέθοδος Επικάλυψης - Εκσκαφής ( <i>Cover &amp; Cut ή Top Down</i> )	22
1.3.4 Νέα Αυστριακή Μέθοδος ( <i>New Austrian Tunneling Method ή NATM</i> )	25
1.3.4.α Γενικά	25
1.3.4.β Χαρακτηριστικά της μεθόδου NATM	26
1.3.4.γ Μέτρα άμεσης υποστήριξης	32
1.3.4.δ Φάσεις εκσκαφής	35
<b>2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ</b>	<b>40</b>
2.1 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ - ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ	40
2.2 ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	40
2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ	57
2.3.1 Μέθοδος μετρήσεων	57
2.3.1.α Στάσεις του οργάνου και θέσεις στόχων σκόπευσης	58
2.3.1.β Γεωδαιτικά Όργανα	59
2.3.1.γ Συχνότητα Μετρήσεων	60
2.3.1.δ Συνθήκες μετρήσεων - Προβλήματα και δυσκολίες	61
2.3.2 Καταγραφή μετακινήσεων στις σήραγγες	62
2.4 ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	63
<b>3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ - ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ</b>	<b>65</b>
3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ	65
3.2 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ	68
3.3 ΦΑΣΕΙΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ	70
3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΜΒΑΔΟΥ - Όγκων	74
3.3.1 Εμβαδά	74
3.3.2 Όγκοι	75
<b>4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ</b>	<b>77</b>
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ	77
4.2 ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ	78
4.2.1 Γεωδαιτικός σταθμός ( <i>Total Station</i> )	78
4.2.1.α Ο γεωδαιτικός σταθμός TCRM 1101 plus	85

4.2.1.β Το λογισμικό TMS (Tunnel Measuring System)	87
4.2.2 Σαρωτής Laser (Laser scanner)	95
<b>5. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ</b>	<b>97</b>
5.1 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	97
5.1.1 Επωνυμία του έργου	97
5.1.2 Γεωγραφική θέση-Διοικητική υπαγωγή	97
5.1.3 Σκοπιμότητα του έργου	97
5.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	99
5.2.1 Γενικά	99
5.2.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά αξόνων	100
5.2.3 Γεωμετρία διατομών	107
5.2.4 Γεωλογικές συνθήκες σήραγγας	110
5.2.4.α Εισαγωγή	110
5.2.4.β Μορφολογία της περιοχής διέλευσης	111
5.2.4.γ Γεωλογικές συνθήκες-Στρωματολογία	111
<b>6. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ</b>	<b>114</b>
6.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ	114
6.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ	117
<b>7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b>	<b>121</b>
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	121
7.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΜΕ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ (TOTAL STATION)	122
7.2.1 Επεξεργασία των μετρήσεων	122
7.2.2 Αξιολόγηση μετρήσεων	124
7.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΜΕ TMS PROWIN	127
7.3.1 Επεξεργασία των μετρήσεων	127
7.3.2 Αξιολόγηση μετρήσεων	129
7.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΜΕ LASER SCANNER	129
7.4.1 Επεξεργασία των μετρήσεων	129
7.4.2 Αξιολόγηση μετρήσεων	139
<b>8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>146</b>
8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	146
8.2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	146
8.3 ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	147
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>150</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	<b>152</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 1.1:</b> Είσοδος μεταλλευτικής σήραγγας	16
<b>Σχήμα 1.2:</b> Σήραγγα που θα χρησιμοποιηθεί ως αγωγός υδάτων	16
<b>Σχήμα 1.3:</b> α) Σήραγγα οδοποιίας β) Διάβαση πεζών	16
<b>Σχήμα 1.4:</b> α) TBM κατά την έξοδο του από τη σήραγγα σε βραχώμαζα β) TBM που χρησιμοποιήθηκε στο Μετρό Αθηνών	18
<b>Σχήμα 1.5:</b> Τυπική σχηματική διάταξη μηχανήματος ολομέτωπου κοπής	19
<b>Σχήμα 1.6:</b> Φάσεις λειτουργίας TBM	19
<b>Σχήμα 1.7:</b> Αριστερά: Μηχάνημα σημειακής κοπής. Δεξιά: Πνευματικό σφυρί	20
<b>Σχήμα 1.8:</b> Κατασκευαστικά στάδια μεθόδου ανοικτού ορύγματος	21
<b>Σχήμα 1.9:</b> Φάσεις κατασκευής κατά την μέθοδο Επικάλυψης-Εκσκαφής	22
<b>Σχήμα 1.10:</b> Διάτρηση και τοποθέτηση υποστυλώματος κατά την μέθοδο επικάλυψης-εκσκαφής	23
<b>Σχήμα 1.11:</b> Μέθοδος Cover & Cut. Διακρίνονται τα πλευρικά τοιχεία, η άνω πλάκα καθώς και το επίχωμα	23
<b>Σχήμα 1.12:</b> Εκσκαφή σήραγγας σε δύο φάσεις	26
<b>Σχήμα 1.13:</b> Πτωχή ποιότητα βραχώμαζα – μικρό βήμα εκσκαφής	26
<b>Σχήμα 1.14:</b> Τοποθέτηση οπλισμού ανεστραμμένου τόξου	27
<b>Σχήμα 1.15:</b> Σήραγγα χωρίς ανεστραμμένο τόξο	28
<b>Σχήμα 1.16:</b> Εφαρμογή δοκών προπορείας (Κατασκευή ομπρέλας)	29
<b>Σχήμα 1.17:</b> Δοκοί προπορείας στο στόμιο της σήραγγας T1, Τέμπη	29
<b>Σχήμα 1.18:</b> Μηκοτομή δοκών προπορείας	30
<b>Σχήμα 1.19:</b> Οριζοντιογραφία δοκών προπορείας (έντονες κόκκινες γραμμές)	30
<b>Σχήμα 1.20:</b> Τρισδιάστατο προοπτικό δοκών προπορείας	31
<b>Σχήμα 1.21:</b> Αριστερά: Χαλύβδινες νευρώσεις, Δεξιά: Δικτυωτό πλαίσιο	33
<b>Σχήμα 1.22:</b> Άποψη της τελικής επένδυσης στο τμήμα Cut & Cover. Εγνατία Οδός, Σήραγγα Δωδώνης	33
<b>Σχήμα 1.23:</b> Διάτρηση με διατρητικό τύπου Jumbo	34
<b>Σχήμα 1.24:</b> Γόμωση εκρηκτικών υλών	35
<b>Σχήμα 1.25:</b> Η στιγμή της έκρηξης	35
<b>Σχήμα 1.26:</b> Απομάκρυνση αδρανών υλικών	36



<b>Σχήμα 1.27:</b> Ξεσκάρωμα	36
<b>Σχήμα 1.28:</b> Τοποθέτηση χαλύβδινου πλαισίου	37
<b>Σχήμα 1.29:</b> Ρήξη εκτοξευόμενου σκυροδέματος	37
<b>Σχήμα 1.30:</b> Σχηματική παράσταση της Νέας Αυστριακής Μεθόδου	38
<b>Σχήμα 2.1:</b> Οριζοντιογραφία ορίων εκσκαφής (κόκκινη γραμμή). Επίσης, φαίνονται οι κλίσεις των πρανών και η τάφος οφρύος	40
<b>Σχήμα 2.2:</b> Διαμόρφωση μετώπου σήραγγας σε τελικό στάδιο.	41
<b>Σχήμα 2.3:</b> Φωτογραφίες τριγωνομετρικών βάθρων	41
<b>Σχήμα 2.4:</b> Τριγωνομετρικά βάθρα στην περίμετρο του μετώπου. Διαπιστώνεται ξεκάθαρα η δυνατότητα αμοιβαίων σκοπεύσεων	42
<b>Σχήμα 2.5:</b> Τριγωνομετρικό και υψομετρικό βάθρο	42
<b>Σχήμα 2.6:</b> Χρήση ψηφιακού χωροβάτη κατά την διαδικασία γεωμετρικής χωροστάθμησης	43
<b>Σχήμα 2.7:</b> Στάση με αγκυρωμένες ράβδους χάλυβα κι ενεματώσεις τσιμέντου	44
<b>Σχήμα 2.8:</b> Βάθρα από σωλήνα PVC πληρωμένου με τσιμέντο	44
<b>Σχήμα 2.9:</b> Στάση πακτωμένη στην τελική επένδυση α) στον τοίχο β) στην βάση	45
<b>Σχήμα 2.10:</b> Οριζοντιογραφία όδευσης επιλυμένης και ενταγμένης σε σύστημα αναφοράς	46
<b>Σχήμα 2.11:</b> Σκαρίφημα δύο ανεξάρτητων οδεύσεων κατά μήκος των δύο κλάδων σήραγγας	47
<b>Σχήμα 2.12:</b> Ανοικτή πλήρως εξαρτημένη όδευση	47
<b>Σχήμα 2.13:</b> Πέρας διάνοιξης σήραγγας	48
<b>Σχήμα 2.14:</b> Δίνοντας τη σωστή κατεύθυνση των δοκών προπορείας	49
<b>Σχήμα 2.15:</b> Σωστή εφαρμογή δοκών προπορείας, οι οποίες εφάπτονται στο πλαίσιο	49
<b>Σχήμα 2.16:</b> Έλεγχος γεωμετρίας πλαισίου. Φαίνεται δικτυωτό πλαίσιο Lattice/Girder	50
<b>Σχήμα 2.17:</b> Παραλαβή πλαισίου και εκσκαφής	51
<b>Σχήμα 2.18:</b> Έλεγχος της διατομής εκσκαφής	52
<b>Σχήμα 2.19:</b> Ενημέρωση του χειριστή της πρέσσας	52
<b>Σχήμα 2.20:</b> Φάσεις χάραξης γραμμής διάτρησης. Διακρίνεται η κόκκινη γραμμή εκσκαφής	53
<b>Σχήμα 2.21:</b> Έλεγχος εκσκαφής και ποδαρικών στην Β' Φάση	54
<b>Σχήμα 2.22:</b> Μεταλλότυπος θόλου	54

<b>Σχήμα 2.23:</b> Ταυτόχρονος γεωμετρικός έλεγχος μεταλλότυπου και στα δύο άκρα του	55
<b>Σχήμα 2.24:</b> Το καλούπι με τον φέροντα οπλισμό του	55
<b>Σχήμα 2.25:</b> Γεωμετρικός έλεγχος της τελικής επένδυσης του στομίου της σήραγγας	56
<b>Σχήμα 2.26:</b> Σταθμοί σύγκλισης σε πυκνή διάταξη διατομών ελέγχου	57
<b>Σχήμα 2.27:</b> Παρακολούθηση των παραμορφώσεων σήραγγας με χρήση γεωδαιτικού σταθμού	58
<b>Σχήμα 2.28:</b> Σχηματική διάταξη εγκατάστασης οπτικών στόχων	58
<b>Σχήμα 2.29:</b> Βασικοί τύποι ανακλαστήρων (άνω: πρισματικός, κάτω: επίπεδος πλαστικός)	59
<b>Σχήμα 2.30:</b> Σχεδιάγραμμα μετακινήσεων σταθμού συγκλίσεων	59
<b>Σχήμα 2.31:</b> α) Καταγραφή απολύτων μετακινήσεων των σημείων ελέγχου σήραγγας σε τρεις διαστάσεις β) Κατακόρυφη και οριζόντια σύγκλιση της διατομής.	61
<b>Σχήμα 3.1:</b> Λεπτομέρεια διατομής. Διακρίνονται τα μεγέθη $d_{1,2,4}$	65
<b>Σχήμα 3.2:</b> Διατομή που περιλαμβάνει 2 διαφορετικές ακτίνες (ροζ και κόκκινο χρώμα) και ευθείες γραμμές (πράσινο χρώμα)	66
<b>Σχήμα 3.3:</b> Μετρήσεις με την χρήση κονταριού αλουμινίου	69
<b>Σχήμα 3.4:</b> Εκσκαφή (κόκκινο χρώμα) σε σύγκριση με την τυπική γραμμή εκσκαφής (μαύρο χρώμα)	70
<b>Σχήμα 3.5:</b> Παραλαβή διατομής εκσκαφής (μπλε χρώμα)	71
<b>Σχήμα 3.6:</b> Πραγματική διατομή Gunite	72
<b>Σχήμα 3.7:</b> Αποτύπωση διατομής Gunite	72
<b>Σχήμα 3.8:</b> Διάγραμμα χωματισμών	75
<b>Σχήμα 4.1:</b> Σχεδιάγραμμα αυτόματης χάραξης σημείων	79
<b>Σχήμα 4.2:</b> Αριστερά: Οριοθέτηση πεζοδρομίων, Δεξιά: Τοποθέτηση αγωγών αερίου	79
<b>Σχήμα 4.3:</b> Αριστερά: Σχεδιάγραμμα τοποθέτησης μεταλλότυπου ανεστραμμένου τόξου, Δεξιά: Μεταλλότυπος ανεστραμμένου τόξου	80
<b>Σχήμα 4.4:</b> Τοποθέτηση μεταλλότυπου θόλου	80
<b>Σχήμα 4.5:</b> Τοποθέτηση αποστραγγιστικής μεμβράνης	81
<b>Σχήμα 4.6:</b> Αυτόματη χάραξη κανάβου διάτρησης	81
<b>Σχήμα 4.7:</b> Προβολή καμπύλης εκσκαφής	82
<b>Σχήμα 4.8:</b> (α) Χάραξη σημείων διάτρησης (β) προσανατολισμός στελέχους	82
<b>Σχήμα 4.9:</b> Χάραξη άξονα σήραγγας	83

<b>Σχήμα 4.10:</b> Χάραξη κανάβου τοποθέτησης μέτρων υποστήριξης	83
<b>Σχήμα 4.11:</b> Αριστερά: Σχεδιάγραμμα χάραξης καμπύλης εκσκαφής, Δεξιά: Διάτρηση εγκαρσίου διαδρόμου	84
<b>Σχήμα 4.12:</b> Ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM 1101 Plus	85
<b>Σχήμα 4.13:</b> Εισαγωγή στοιχείων οριζοντιογραφίας	87
<b>Σχήμα 4.14:</b> Διατομή εκσκαφής σε σύγκριση με την θεωρητική γραμμή	87
<b>Σχήμα 4.15:</b> Υπολογισμός στρώσης gunita	88
<b>Σχήμα 4.16:</b> Υπολογισμός γεωλογικής υπερεκσκαφής	88
<b>Σχήμα 4.17:</b> α) Διατομή κάθετη στον άξονα β) Πλευρική παραλαβή διατομής	89
<b>Σχήμα 4.18:</b> α) Διατομή κάθετη στον άξονα β) Πλευρική παραλαβή διατομής	89
<b>Σχήμα 4.19:</b> α) Διατομή κάθετη στον άξονα β) Πλευρική παραλαβή διατομής	90
<b>Σχήμα 4.20:</b> α) Διατομή κάθετη στον άξονα β) Πλευρική παραλαβή διατομής	90
<b>Σχήμα 4.21:</b> Παράμετροι αποτύπωσης	91
<b>Σχήμα 4.22:</b> Έλεγχος ανοχής κατά την αποτύπωση και επανασκόπευση	92
<b>Σχήμα 4.23:</b> Αποτύπωση διατομών σε συγκεκριμένες χιλιομετρικές θέσεις	92
<b>Σχήμα 4.24:</b> Βέλτιστο εύρος αποτύπωσης	93
<b>Σχήμα 4.25:</b> Γωνιακό εύρος σάρωσης του ScanStation 2	95
<b>Σχήμα 4.26:</b> Ο σαρωτής laser ScanStation 2 της Leica Geosystems AG	95
<b>Σχήμα 5.1:</b> Χάρτης προσανατολισμού-Νομός Λαρίσης	97
<b>Σχήμα 5.2:</b> Πορεία παραλλαγής από την ανοικτή οδοποιία στην σήραγγα T1	99
<b>Σχήμα 5.3:</b> Οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών	101
<b>Σχήμα 5.4:</b> Οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών	103
<b>Σχήμα 5.5:</b> Μηκοτομή αριστερού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπών	105
<b>Σχήμα 5.6:</b> Μηκοτομή δεξιού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπών	105
<b>Σχήμα 5.7:</b> Τυπικές διατομές χρησιμοποιούμενες στη σήραγγα T1. Άνω αριστερά: 4A, Άνω δεξιά: 5A Κάτω αριστερά: 6A, Κάτω δεξιά: 7A	107
<b>Σχήμα 5.8:</b> Τυπική διατομή τελικής επένδυσης	108
<b>Σχήμα 5.9:</b> Λεπτομέρεια τυπικής διατομής τελικής επένδυσης	109
<b>Σχήμα 5.10:</b> Γεωλογική οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών	111
<b>Σχήμα 5.11:</b> Γεωλογική μηκοτομή αριστερού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπών	112
<b>Σχήμα 5.12:</b> Γεωλογική μηκοτομή δεξιού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπών	112
<b>Σχήμα 6.1:</b> Περιοχή αποτύπωσης διατομών	113

<b>Σχήμα 6.2:</b> Εγκάρσιος διάδρομος προσπέλασης στην περιοχή ενδιαφέροντος	114
<b>Σχήμα 6.3:</b> Στήσιμο σαρωτή laser	116
<b>Σχήμα 6.4:</b> Απόκλιση σημείου από την θεωρητική θέση της διατομής	117
<b>Σχήμα 6.5:</b> Τοποθέτηση στόχου HDS σε τυχαίο σημείο και σε στάση	118
<b>Σχήμα 7.1:</b> Διατομή παραλαβής gunita	123
<b>Σχήμα 7.2:</b> Εξομαλυμένη γραμμή διατομής	124
<b>Σχήμα 7.3:</b> Υπολογισμός εμβαδού	125
<b>Σχήμα 7.4:</b> Διατομή TMS Profiler	126
<b>Σχήμα 7.5:</b> Τρισδιάστατη απεικόνιση αρχείων DXF	127
<b>Σχήμα 7.6:</b> Απομάκρυνση σημείων αεραγωγού	127
<b>Σχήμα 7.7:</b> Προσανατολισμός επίγειου σαρωτή laser	129
<b>Σχήμα 7.8:</b> Νέφος επίγειου σαρωτή laser	129
<b>Σχήμα 7.9:</b> Νέφος επίγειου σαρωτή laser	130
<b>Σχήμα 7.10:</b> Περιοχές εύρους 5cm σε κάθε διατομή	131
<b>Σχήμα 7.11:</b> Περιοχές εύρους 5cm σε κάθε διατομή (απομάκρυνση νέφους)	131
<b>Σχήμα 7.12:</b> Εισαγωγή χαρακτηριστικών σημείων και γραμμών στο AutoCAD	135
<b>Σχήμα 7.13:</b> Σχεδιασμός χαρακτηριστικών σημείων στην τυπική διατομή	136
<b>Σχήμα 7.14:</b> Σχεδιασμός χαρακτηριστικών σημείων στην τυπική διατομή	137
<b>Σχήμα 7.15:</b> Σχεδιασμός χαρακτηριστικών σημείων στην τυπική διατομή	137
<b>Σχήμα 7.16:</b> Προσανατολισμός στο τοπικό σύστημα αναφοράς	138
<b>Σχήμα 7.17:</b> Υπολογισμός εμβαδού διατομής Laser scanner	138

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 4.1:</b> Τεχνικά χαρακτηριστικά γεωδαιτικού σταθμού TCRM 1101	85
<b>Πίνακας 5.1:</b> Συνοπτικός πίνακας οριζοντίων γεωμετρικών στοιχείων σήραγγας T1	102
<b>Πίνακας 5.2:</b> Συνοπτικός πίνακας μηκοτομικών στοιχείων σήραγγας T1	106
<b>Πίνακας 7.1:</b> Έντυπο παραλαβής διατομής	122
<b>Πίνακας 7.2:</b> Συντεταγμένες ερυθράς κάθε διατομής	132
<b>Πίνακας 7.3:</b> Συντεταγμένες σημείων δεξιά του άξονα	133
<b>Πίνακας 7.4:</b> Συντεταγμένες σημείων αριστερά του άξονα	134
<b>Πίνακας 7.5:</b> Υπολογισμένα εμβαδά των διατομών για κάθε εφαρμοσμένη μέθοδο	140
<b>Πίνακας 7.6:</b> Πίνακας χωματισμών για κάθε εφαρμοσμένη μέθοδο	142

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εξέλιξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια έχει συνεισφέρει ουσιαστικά στην ανάπτυξη εφαρμομών οι οποίες σχετίζονται με την μελέτη και παρακολούθηση των τεχνικών έργων, ιδιαίτερα των σηράγγων. Ακόμη και σήμερα, σε πολλά έργα ο έλεγχος των σηράγγων γενικότερα (γεωμετρία, εκσκαφή, χάραξη άξονα) διεξάγεται με πεπαλαιωμένες -για την εποχή- μεθόδους. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη γεωδαιτικών σταθμών, μεθόδων και λογισμικών, εξασφαλίζει την δυνατότητα άμεσου ελέγχου οποιασδήποτε εργασίας εντός σήραγγας.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αποτύπωση διατομών εντός σήραγγας με τον γεωδαιτικό σταθμό TCRM 1101 (με τη χρήση λογισμικών Οδοποιίας και TMS Profiler) και με τον επίγειο σαρωτή laser ScanStation2. Για τον λόγο αυτό, επιλέχθηκε μία κοινή περιοχή ενδιαφέροντος εντός σήραγγας για την μετέπειτα επεξεργασία δεδομένων και εξαγωγής συμπερασμάτων που αφορούν στην ορθότητα και αξιοπιστία κάθε μεθόδου αποτύπωσης. Πρέπει να αναφερθεί ότι το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας (και ειδικότερα η χρήση γεωδαιτικού σταθμού) είναι εφαρμοσμένο, επομένως κρίθηκε απαραίτητη η παράθεση πλουσίου φωτογραφικού υλικού, ώστε να γίνει όσο το δυνατό πιο κατανοητό.

Στο Πρώτο Κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά στις πιο διαδεδομένες μεθόδους διάνοιξης σηράγγων, ενώ αναλύεται περαιτέρω η μέθοδος NATM, η οποία αποτελεί και σημείο ενδιαφέροντος της εργασίας αυτής.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο περιγράφονται οι εργασίες του Τοπογράφου Μηχανικού εντός της σήραγγας, για παράδειγμα η εγκατάσταση πολυγωνομετρικού και υψομετρικού δικτύου, ο γεωμετρικός έλεγχος της σήραγγας, η παρακολούθηση των παραμορφώσεων και άλλες.

Στο Τρίτο Κεφάλαιο αναλύονται κάποιες βασικές αρχές που αφορούν στην λήψη διατομών, περιγράφονται οι φάσεις στις οποίες γίνεται η λήψη διατομών και εν τέλει, γίνεται μία μικρή αναφορά στους χωματισμούς.

Στο Τέταρτο Κεφάλαιο αναφέρονται γενικά οι δυνατότητες των δύο ομάδων οργάνων αποτύπωσης που χρησιμοποιήθηκαν, του γεωδαιτικού σταθμού και του επίγειου σαρωτή laser και, στη συνέχεια περιγράφεται ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM 1101 και ο επίγειος σαρωτής Leica Scan Station2.

Στο Πέμπτο Κεφάλαιο περιγράφεται το έργο (επωνυμία, γεωγραφική θέση, τεχνικά χαρακτηριστικά σήραγγας, γεωμετρικά χαρακτηριστικά αξόνων) στο οποίο διεξήχθησαν οι μετρήσεις.

Στο Έκτο Κεφάλαιο αναφέρονται οι παράμετροι αποτύπωσης. Επίσης, περιγράφονται οι μεθοδολογίες της λήψης δεδομένων με κάθε μέθοδο αποτύπωσης.

Στο Έβδομο Κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων. Λόγω του μεγάλου όγκου πληροφοριών αλλά και σχεδίων που απαιτούνται, περιγράφεται η μέθοδος κι επεξεργασία μίας διατομής από κάθε μέθοδο αποτύπωσης, ενώ τα υπόλοιπα αποτελέσματα παρατίθενται στο παράρτημα.

Τέλος, στο Όγδοο Κεφάλαιο, αναφέρονται τα τελικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη των αποτελεσμάτων και αφορούν στην ακρίβεια των μεθόδων αποτύπωσης.

# 1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ – ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

## 1.1 Γενικά

Τι είναι σήραγγα;

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

Μία σήραγγα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ποικίλους σκοπούς: να εξυπηρετεί πεζούς ή ποδηλάτες, για οδική κυκλοφορία γενικά, για την μεταφορά υδάτων για υδρευτικούς, αρδευτικούς ή υδροηλεκτρικούς σκοπούς. Άλλες σήραγγες χρησιμοποιούνται για την αποχέτευση όμβριων υδάτων ή λυμάτων, καθώς και για την εγκατάσταση καλωδίων επικοινωνίας. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεταλλευτικούς σκοπούς.

## 1.2 Τύποι σηράγγων

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

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





Σχήμα 1.1: Είσοδος μεταλλευτικής σήραγγας

Figure 1.1: Mine shaft entrance

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



Σχήμα 1.2: Σήραγγα που θα χρησιμοποιηθεί ως αγωγός υδάτων

Figure 1.2: Tunnel to be used in water transport

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



(α)

(β)

Σχήμα 1.3: α) Σήραγγα οδοποιίας β) Διάβαση πεζών

Figure 1.3: a) Highway tunnel b) Crossing for pedestrians

### 1.3 Μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων

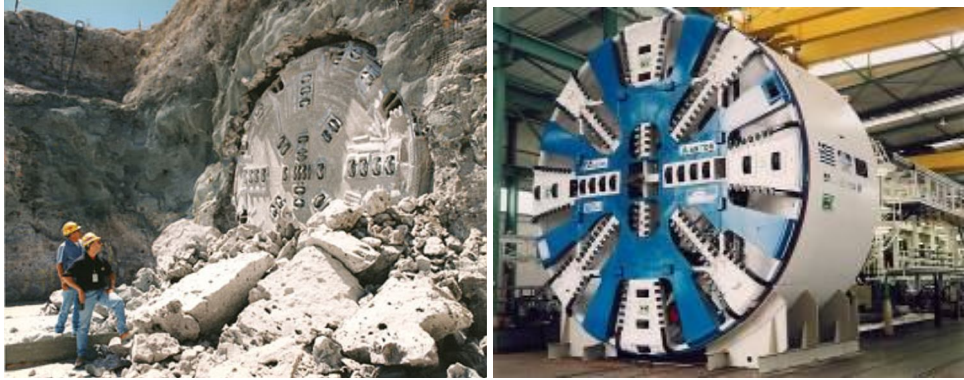
Οι μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στις συμβατικές μεθόδους, όπου ανήκει η μέθοδος Drill & Blast και, στις μηχανικές μεθόδους, όπου ανήκουν οι μέθοδοι ολομέτωπης και τμηματικής εκσκαφής.

Στη συνέχεια παρατίθενται όσο πιο συνοπτικά οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι διάνοιξης. Γίνεται μία αναφορά στα μηχανήματα κοπής που χρησιμοποιούνται στις μηχανικές μεθόδους, ενώ περιγράφονται επίσης και οι μέθοδοι διάνοιξης «Ανοικτού ορύγματος» (Cut and Cover) και «Επικάλυψης-Εκσκαφής» (Cover and Cut). Τέλος, γίνεται μία πιο εκτεταμένη αναφορά στην Νέα Αυστριακή μέθοδο διάνοιξης σηράγγων (NATM), εφόσον αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

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

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

Τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (Tunnel boring machines, TBM και οι ασπίδες, shields) χρησιμοποιούνται για την διάνοιξη σηράγγων μέσα σε διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς (σχήμα 1.4). Μπορεί να χρησιμοποιηθούν το ίδιο αποτελεσματικά για τη διάνοιξη μέσα από σκληρά ή χαλαρά πετρώματα ή εδάφη. Οι διάμετροι διάνοιξης κυμαίνονται από 1m έως και 15m (με τάση να φθάσουν τα 19 m) και οι ταχύτητες προχώρησης ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες από μερικά εκατοστά/εβδομάδα έως και 130 μέτρα/εβδομάδα.



Σχήμα 1.4: α) TBM κατά την έξοδο του από τη σήραγγα σε βραχώμαζα β) TBM που χρησιμοποιήθηκε στο Μετρό Αθηνών

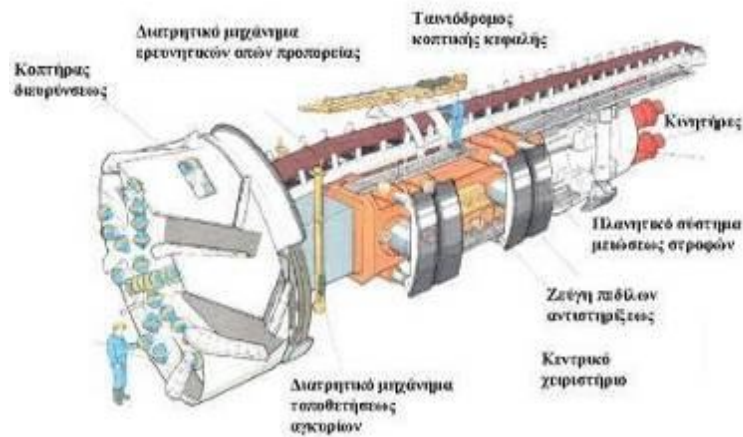
Figure 1.4: a) TBM during exit from rockmass b) TBM used at the Athens Metro, Greece

Ένα TBM (σχήμα 1.5) συνήθως αποτελείται από ένα ή δυο ασπίδες, μεταλλικούς κυλίνδρους και από συστήματα υποστήριξης. Στο ένα άκρο της ασπίδας τοποθετείται η κοπτική κεφαλή. Η επιλογή της κοπτικής κεφαλής εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους. Πίσω από τον θάλαμο βρίσκονται μια σειρά υδραυλικών γρύλων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την προώθηση του μηχανήματος. Οι γρύλοι τοποθετούνται στην επένδυση της σήραγγας που βρίσκεται πίσω από το μηχάνημα και εν συνεχεία το ωθούν προς την αντίθετη κατεύθυνση.

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

- Μηχανές χωρίς ασπίδα (Gripper TBM). Ένα Gripper TBM είναι κατάλληλο για εξόρυξη βραχομαζών που η ευστάθεια του μετώπου και του ανυποστύλωτου τμήματος της σήραγγας μπορεί να επιτευχθεί με προσωρινά μέσα υποστύλωσης όπως κοχλίες, μεταλλικά πλαίσια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
- TBM με ασπίδα. Τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής με ασπίδα χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που η βραχώμαζα λόγω της μικρής της αντοχής δεν μπορεί να παραλάβει τις δυνάμεις στήριξης της μηχανής TBM, που είναι απαραίτητες για την μετάδοση των δυνάμεων πρόωσης.

- Μηχάνημα με ισορροπία πίεσης γαιών (Earth Pressure Balance, EPB). Τα μηχανήματα EPB χρησιμοποιούνται σε τμήματα σήραγγος που βρίσκονται σε έδαφος και πέτρωμα μαζί. Εφαρμόζονται επίσης σε μεταβαλλόμενες γεωλογικές συνθήκες ή σε μικτές γεωλογίες μετώπων και σε πολύ αποσαθρωμένα πετρώματα.

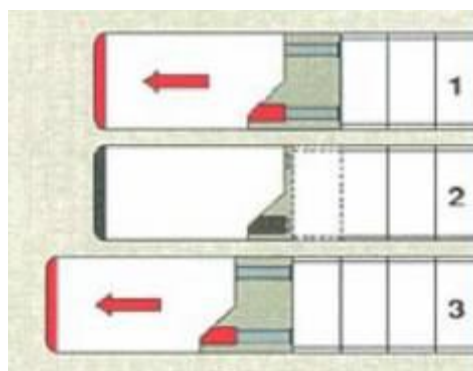


Σχήμα 1.5: Τοπική σχηματική διάταξη μηχανήματος ολομετώπου κοπής

Fig 1.5: Typical TBM schematic provision

Συνοπτικά, ο κύκλος λειτουργίας των μηχανημάτων αυτής της κατηγορίας, είναι ο εξής (σχήμα 1.6):

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

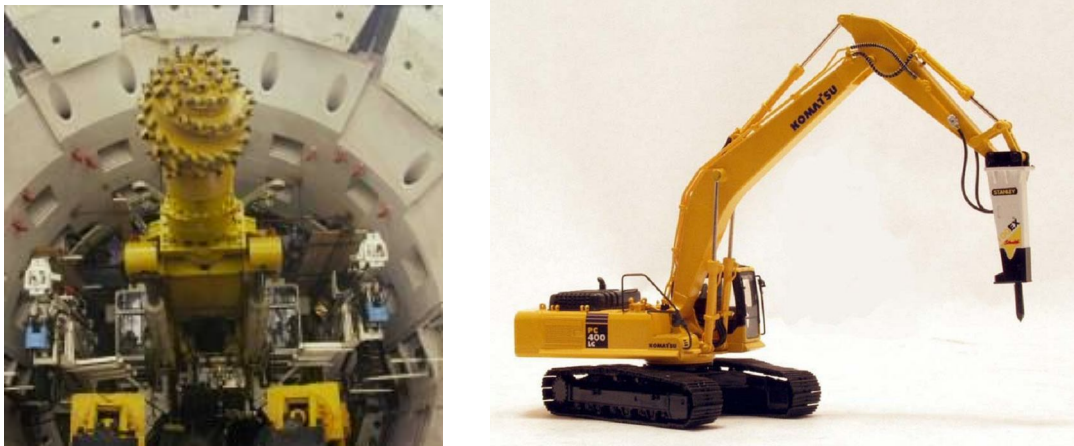


Σχήμα 1.6: Φάσεις λειτουργίας TBM

Figure 1.6: TBM operation phases

Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, στην κατηγορία αυτή των μηχανικών μεθόδων κατατάσσεται και η μέθοδος τμηματικής εκσκαφής, στην οποία χρησιμοποιούνται

μηχανήματα σημειακής κοπής ή αλλιώς roadheaders (σχήμα 1.7) και υδραυλικά ή πνευματικά σφυριά (σχήμα 1.7).



Σχήμα 1.7: Αριστερά: Μηχάνημα σημειακής κοπής. Δεξιά: Πνευματικό σφυρί  
Figure 1.7: Left: Roadheader Right: Pneumatic hammer

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

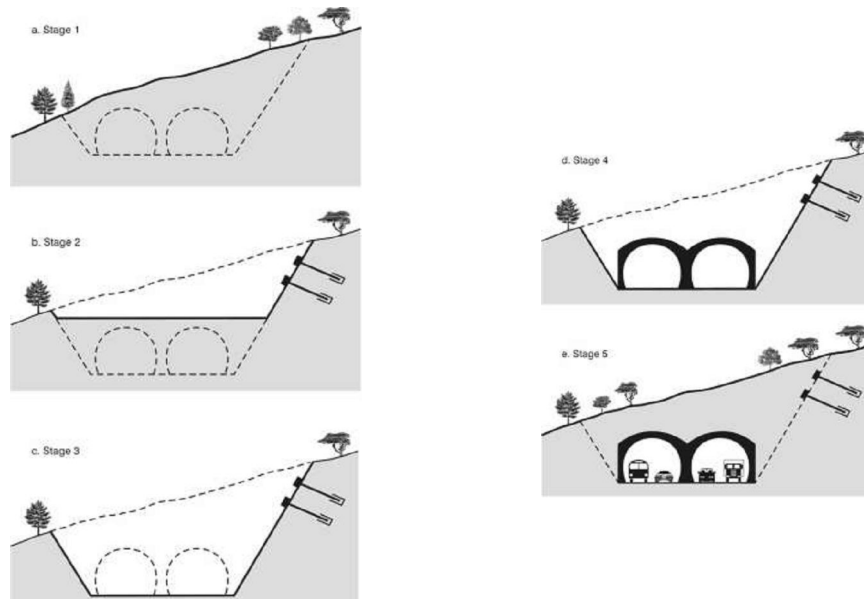
### **1.3.2 Μέθοδος ανοικτού ορύγματος (Cut & Cover)**

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

Η βασική ιδέα είναι η εκσκαφή μίας τάφρου η οποία πρέπει να σκεπαστεί και η επί τόπου σκυροδέτηση της σήραγγας η οποία, εν τέλει, θα καλυφθεί με υλικά επιχωμάτωσης (σχήμα 1.8).

Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει σταδιακή εκσκαφή κι εφαρμογή της υποστήριξης των παρειών των εκσκαφών με προσωρινούς τοίχους και συστήματα σύσφιξης. Σε περιπτώσεις

εξαιρετικά δυσμενών γεωτεχνικών όρων, η προενίσχυση κρίνεται απαραίτητη προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν ή να αποφευχθούν τα προβλήματα σταθερότητας κατά τη διάρκεια της φάσης ανασκαφής. Μόλις επιτευχθεί το επίπεδο θεμελίωσης, ξεκινούν οι διαδικασίες σκυροδέτησης της σήραγγας, ακολουθούμενες από τη στεγανοποίηση και την τοποθέτηση της τελικής επιχωμάτωσης.



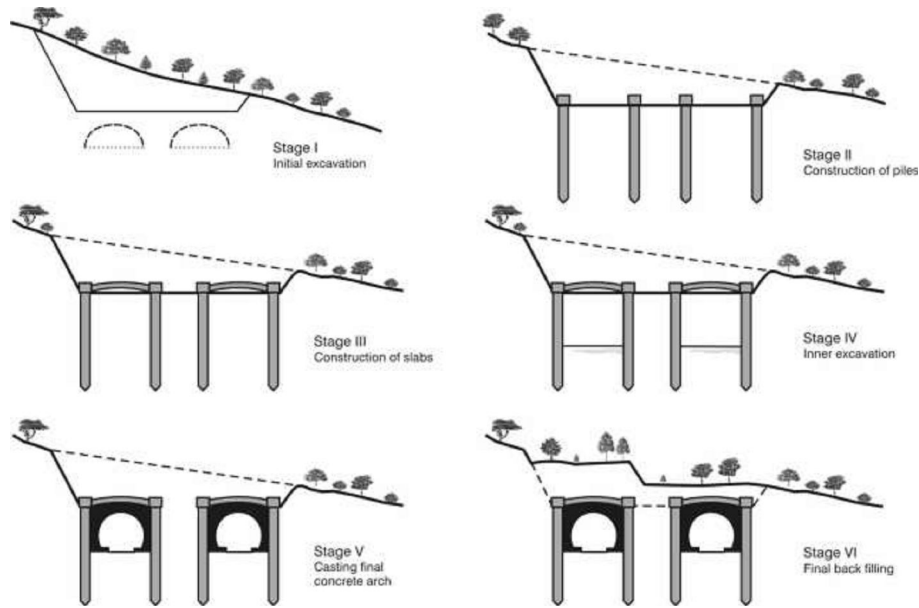
Σχήμα 1.8: Κατασκευαστικά στάδια μεθόδου ανοικτού ορύγματος

Figure 1.8: Cut & cover method construction stages

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

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

Η διαδικασία κατασκευής περιλαμβάνει έξι ευδιάκριτα στάδια, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών χωματουργικών έργων, διάτρηση και ρήψη των υποστυλωμάτων, κατασκευή πλακών, απομάκρυνση γαιών και επιχωμάτωση (Σχήμα 1.9).



Σχήμα 1.9: Φάσεις κατασκευής κατά την μέθοδο Επικάλυψης-Εκσκαφής

Figure 1.9: Cover and cut method construction stages

- Στάδιο I: Εκτελείται η αρχική ανασκαφή και βαθμονόμηση. Το επίπεδο ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέψει την πρόσβαση και τη μετακίνηση του εξοπλισμού για τη διάτρηση υποστυλώσεων και την κατασκευή πλακών.
- Στάδιο II: Κατασκευάζεται μία σειρά υποστυλωμάτων από κάθε πλευρά του τμήματος σήραγγας (σχήμα 1.10).
- Στάδιο III: Τοποθετούνται οι αντηρίδες που ενώνουν τα υποστυλώματα και κατασκευάζεται η άνω πλάκα.
- Στάδιο IV: Εκτελείται η «κάτω» εκσκαφή, απολύτως προστατευμένη από τα υποστυλώματα/ άνω πλάκα. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ίνες εφαρμόζεται στην επιφάνεια βράχου, στα διαστήματα μεταξύ των υποστυλωμάτων.
- Στάδιο V: Κατασκευάζεται η εσωτερική επένδυση της σήραγγας.
- Στάδιο VI: Πραγματοποιούνται οι διαδικασίες επιχωμάτωσης για περιβαλλοντικούς, γεωτεχνικούς ή για λόγους αποκατάστασης δικτύων.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ο μειωμένος χρόνος εκτεταμένων εργασιών καταλήψεων και η ταχύτητα αποκατάστασης και απόδοσης σε χρήση της περιοχής (οδική κυκλοφορία, πλατείες, κλπ), και τελικώς η αποφυγή μακρόχρονης

όχλησης των λειτουργιών της πόλης. Τα μειονεκτήματα της είναι, κυρίως, το αυξημένο κόστος και η πολυπλοκότερη κατασκευαστική διαδικασία.



**Σχήμα 1.10:** Διάτρηση και τοποθέτηση υποστύλωματος κατά την μέθοδο επικάλυψης-εκσκαφής  
**Figure 1.10:** Pile Drilling and casting during the Cover & Cut method

Στο επόμενο **σχήμα 1.11**, παρουσιάζεται η είσοδος της σήραγγας Σ2 της Εγνατίας Οδού, στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος Cover & Cut λόγω κατάρρευσης του μετώπου της σήραγγας.



**Σχήμα 1.11:** Μέθοδος Cover & Cut. Διακρίνονται τα πλευρικά τοιχεία, η άνω πλάκα καθώς και το επίχωμα  
**Figure 1.11:** Cover & Cut method. The lateral low walls, the slab and the embankment are distinguished



### 1.3.4 Νέα Αυστριακή Μέθοδος (New Austrian Tunneling Method ή NATM)

#### 1.3.4.α Γενικά

Η λεγόμενη "Νέα Αυστριακή Μέθοδος Διάνοιξης Σηράγγων" (New Austrian Tunneling Method-NATM<sup>1</sup>) ουσιαστικώς δεν αποτελεί μια "μέθοδο" αλλά περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών διάνοιξης και υποστήριξης σηράγγων οι οποίες εφαρμόστηκαν συστηματικά κατά τη διάνοιξη σηράγγων στις Αυστριακές Άλπεις στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Οι τεχνικές αυτές είχαν εφαρμοσθεί και πριν το 1960 τόσο στην Αυστρία όσο και σε άλλα μέρη του κόσμου αλλά η συστηματοποίηση και ονομασία τους (NATM) έγινε από Αυστριακούς Μηχανικούς (Rabcewicz, Mueller, Brunner και Pacher) περί το 1960. Έτσι, αν και η "Μέθοδος NATM" όταν προτάθηκε δεν ήταν ούτε "Νέα" ούτε "Αυστριακή" (αφού είχε εφαρμοσθεί και στο παρελθόν σε άλλες χώρες) αλλά ούτε και "Μέθοδος" (αφού ουσιαστικά αποτελείται από ένα σύνολο τεχνικών οι οποίες μάλιστα αλλάζουν με την πρόοδο της τεχνολογίας), διατήρησε διεθνώς μέχρι σήμερα το όνομά της.

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

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

---

<sup>1</sup> Η ονομασία "New Austrian Tunneling Method - NATM" εμφανίσθηκε για πρώτη φορά το 1964 σε μια σειρά τριών άρθρων του L. von Rabcewicz στο περιοδικό Water Power. Στα άρθρα αυτά αναφέρεται η κατασκευή μιας σήραγγας στη Βενεζουέλα κατά την περίοδο 1957-58 όπου εφαρμόσθηκε υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και αγκύρια.

#### 1.3.4.β Χαρακτηριστικά της μεθόδου NATM

Η βασική αρχή της μεθόδου NATM είναι ότι η διάνοιξη της σήραγγας και η κατασκευή της άμεσης υποστήριξης γίνονται κατά τρόπο ώστε να ενεργοποιηθεί η αντοχή της περιβάλλουσας βραχώμαζας (μέσω της ελεγχόμενης σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας) σε ικανό βαθμό ώστε να μειωθούν αρκετά οι πιέσεις επί της άμεσης υποστήριξης αλλά όχι τόσο ώστε να προκληθεί αποδιοργάνωση της βραχώμαζας με συνέπεια την αύξηση των πιέσεων στην άμεση υποστήριξη και τελικώς την κατάρρευση της διατομής της σήραγγας. Δεδομένου ότι ένα σημαντικό ποσοστό της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας συμβαίνει εμπρός από το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή πριν η εκσκαφή φθάσει στη συγκεκριμένη θέση) και επιπλέον ότι η σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας αυξάνει με ταχείς ρυθμούς στην περιοχή του μετώπου εκσκαφής, προκύπτει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η αντοχή της βραχώμαζας έχει ενεργοποιηθεί επαρκώς πολύ κοντά στο μέτωπο της εκσκαφής και συνεπώς η άμεση υποστήριξη θα πρέπει να κατασκευασθεί κατά το δυνατόν πλησιέστερα στο μέτωπο εκσκαφής.

Η παραπάνω αρχή της μεθόδου NATM εξειδικεύεται ως εξής:

1. Η εκσκαφή της διατομής της σήραγγας συνήθως γίνεται σε περισσότερες της μιας φάσεις όπως φαίνεται στο [σχήμα 1.12](#) Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η επιφάνεια του μετώπου της εκσκαφής κάθε φάσης και συνεπώς μειώνεται η συνολική σύγκλιση του τοιχώματος (σε σχέση με την εκσκαφή της διατομής σε μια φάση) και βελτιώνεται η ευστάθεια της διατομής αποφεύγοντας την αποδιοργάνωση της περιβάλλουσας βραχώμαζας.



Σχήμα 1.12: Εκσκαφή σήραγγας σε δύο φάσεις

Figure 1.12: Tunnel excavation in two faces

2. Κατασκευή της άμεσης υποστήριξης της διατομής σε μικρή απόσταση από το μέτωπο της εκσκαφής ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και να αποφευχθεί η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας. Τούτο επιτυγχάνεται με την προώθηση της κάθε φάσης εκσκαφής σε μικρά βήματα της τάξεως των 1-2 μέτρων αναλόγως της ποιότητας της βραχώμαζας. Το μήκος του βήματος εκσκαφής μειώνεται όσο πτωχότερη είναι η ποιότητα της βραχώμαζας (επειδή στις περιπτώσεις αυτές η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας είναι ταχύτερη) (σχήμα 1.13).



Σχήμα 1.13: Πτωχή ποιότητα βραχώμαζας – μικρό βήμα εκσκαφής

Figure 1.13: Poor rock mass quality – small excavation step

3. Η άμεση υποστήριξη της διατομής θα πρέπει να αναλάβει φορτία κατά το δυνατόν ταχύτερα ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και συνεπώς η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πλεονεκτεί ως προς την άποψη αυτή επειδή βρίσκεται σε απόλυτη επαφή με την περιβάλλουσα βραχώμαζα (και συνεπώς η παραμικρή σύγκλιση του τοιχώματος προκαλεί τη φόρτισή του) και επιπλέον έχει μικρό χρόνο πήξεως (μερικές ώρες). Η χρήση αγκυρίων βράχου σε κανονικό κάναβο οπλίζει την περιβάλλουσα βραχώμαζα και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της λειτουργίας τόξου στη βραχώμαζα.
4. Ολοκλήρωση του δακτυλίου του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο σύνολο της διατομής (δηλαδή και στο δάπεδο). Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας κλειστός δακτύλιος με πολύ μικρή παραμορφωσιμότητα ώστε να περιορίζονται οι περαιτέρω συγκλίσεις του τοιχώματος. Η δημιουργία κλειστού δακτυλίου με την ταχεία σκυροδέτηση του δαπέδου (early invert closure) συντελεί τα μέγιστα στη μείωση της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας και στην ευστάθεια της διατομής (σχήμα 1.14).



Σχήμα 1.14: Τοποθέτηση οπλισμού ανεστραμμένου τόξου

Figure 1.14: Casting of invert area

Σημειώνεται ότι στην περίπτωση βραχώμαζας με καλά μηχανικά χαρακτηριστικά συχνά δεν είναι απαραίτητο να ολοκληρώνεται ο δακτύλιος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, δηλαδή δεν επενδύεται με σκυρόδεμα το δάπεδο της σήραγγας (σχήμα 1.15).



Σχήμα 1.15: Σήραγγα χωρίς ανεστραμμένο τόξο

Fig 1.15: Tunnel section without invert closure

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

#### Δοκοί προπορείας (Forepoling)

Η τοποθέτηση δοκών προπορείας αποτελεί μία πολλή σημαντική διαδικασία για την ενίσχυση του μετώπου σε περιπτώσεις εδαφών με πτωχές μηχανικές ιδιότητες. Η τοποθέτησή τους μπορεί να λάβει χώρα είτε εντός της σήραγγας (σχήμα 1.16) σε περίπτωση που συναντηθεί ασθενές πέτρωμα, είτε στο στόμιο της σήραγγας (σχήμα 1.17), όπου η εφαρμογή τους κρίνεται απαραίτητη.

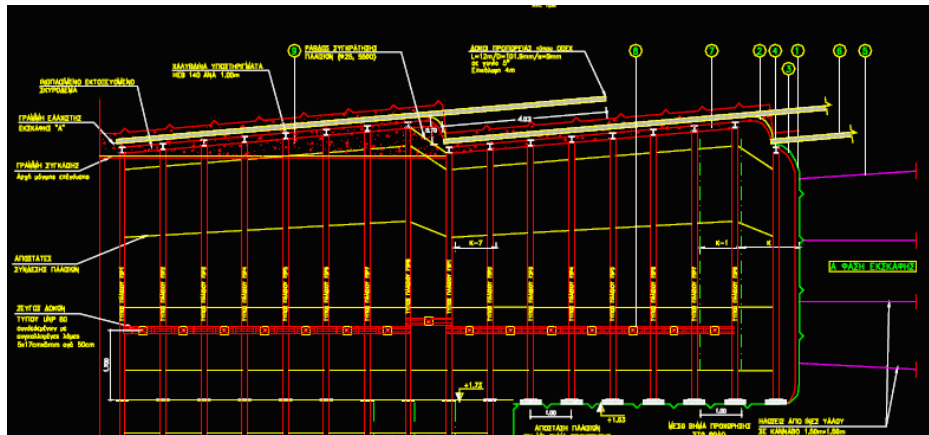


**Σχήμα 1.16:** Εφαρμογή δοκών προπορείας (Κατασκευή ομπρέλας)  
**Figure 1.16:** Forepoling implementation inside the tunnel (Umbrella construction)

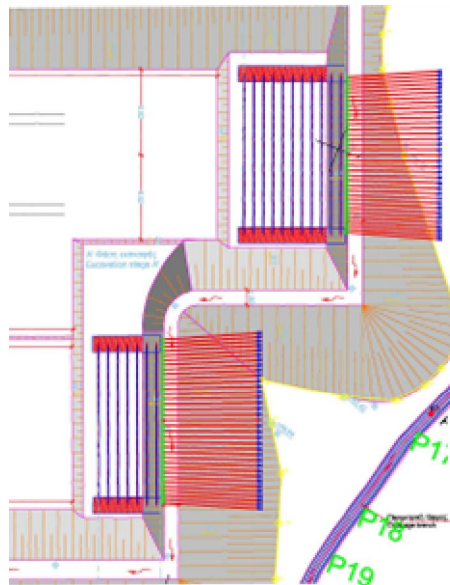


**Σχήμα 1.17:** Δοκοί προπορείας στο στόμιο της σήραγγας T1, Τέμπη  
**Figure 1.17:** Forepoling elements at the portal of the tunnel T1, Tempri

Η γεωμετρία των δοκών μηκτομικά είναι ανοδική, όπως φαίνεται στο [σχήμα 1.18](#), ενώ οριζοντιογραφικά, οι δοκοί αναπτύσσονται σαν «βεντάλια», δηλαδή παρεκκλίνουν σταδιακά από τον άξονα ([σχήμα 1.19](#)).



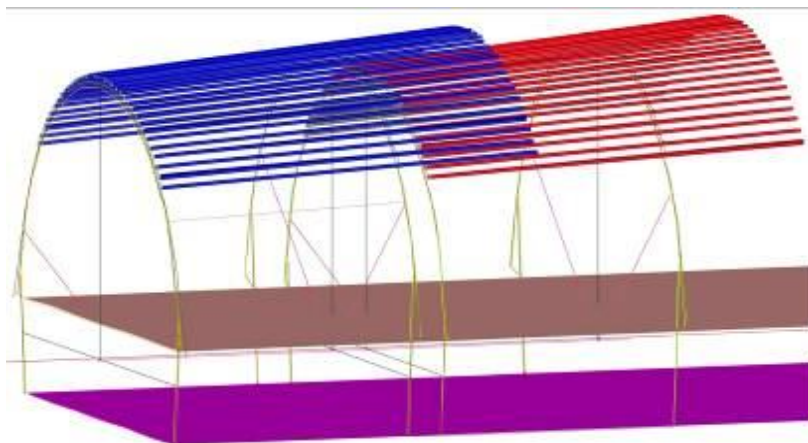
Σχήμα 1.18: Μηκοτομή δοκών προπορείας  
 Figure 1.18: Longitudinal profile of forepoling elements



Σχήμα 1.19: Οριζοντιογραφία δοκών προπορείας (έντονες κόκκινες γραμμές)  
 Figure 1.19: Plan view of forepoling elements (bold red lines)

Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η μορφή των δοκών προπορείας, στο επόμενο [σχήμα 1.20](#) παρουσιάζεται ένα τρισδιάστατο προοπτικό, στο οποίο είναι ορατές δύο ομάδες δοκών προπορείας. Η δεύτερη ομάδα πάντοτε ξεκινά μερικά μέτρα πριν το τέλος αυτής που προηγείται.

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



Σχήμα 1.20: Τρισδιάστατο προοπτικό δοκών προπορείας

Figure 1.20: Three dimensional perspective of forepoling elements

*Η πυκνότητα των μέτρων άμεσης υποστήριξης προσαρμόζεται στις επιτόπου συνθήκες. Ειδικότερα, η μέθοδος NATM βασίζεται σε μετρήσεις της συμπεριφοράς του τμήματος της σήραγγας που έχει ήδη διανοιχθεί (όπως μετρήσεις της σύγκλισης του τοιχώματος). Με τον τρόπο αυτό, οποιαδήποτε απόκλιση από την προηγούμενη συμπεριφορά θα πρέπει να αξιολογείται και να ερμηνεύεται, στη συνέχεια δε να αντιμετωπίζεται με κατάλληλη προσαρμογή των μέτρων άμεσης υποστήριξης.*

#### 1.3.4.γ Μέτρα άμεσης υποστήριξης

##### A. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (shotcrete/ gunitite)

Ο όρος χρησιμοποιείται για σκυροδέματα που συνίστανται από τσιμέντο, νερό και λεπτόκοκκα αδρανή (συνήθως έως 10 mm) τα οποία εφαρμόζονται με εκτόξευση (με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα).

Η αντοχή και η πλαστιμότητα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος μπορούν να αυξηθούν με την προσθήκη μεταλλικών ινών οι οποίες δρουν ως οπλισμός. Η προσθήκη μεταλλικών ινών ως οπλισμού του εκτοξευόμενου σκυροδέματος τείνει να αντικαταστήσει την όπλιση με μεταλλικά πλέγματα.

##### B. Αγκύρια βράχου



Τα αγκύρια βράχου διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

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

#### Γ. Χαλύβδινες νευρώσεις

Οι χαλύβδινες νευρώσεις λειτουργούν κυρίως ως οπλισμός του εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την αύξηση της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητάς του αλλά και για τη βελτίωση της δυνατότητας ανάληψης φορτίων. Οι χαλύβδινες νευρώσεις τοποθετούνται κατά τη διατομή της σήραγγας και είναι των εξής τύπων:

1. Τυποποιημένες διατομές, συνήθως πλατύπελμες HEB100-160 (σχήμα 1.21).
2. Δικτυωτά πλαίσια (lattice girders) που αποτελούνται από ράβδους οπλισμού και συνδετήρες με τη μορφή χωροδικτυώματος (σχήμα 1.21).
3. Συστοιχίες χαλύβδινων ράβδων οπλισμού (π.χ. 4-6 ράβδοι Φ28 σε παράλληλη διάταξη συνδεδεμένες με εγκάρσιους συνδετήρες σε αποστάσεις της τάξεως του μέτρου).



Σχήμα 1.21: Αριστερά: Χαλύβδινες νευρώσεις, Δεξιά: Δικτυωτό πλαίσιο

Figure 1.21: Left: Steel arches, Right: Lattice girder

Στις περισσότερες περιπτώσεις η άμεση υποστήριξη της σήραγγας ακολουθείται από την κατασκευή της τελικής επένδυσης η οποία αναλαμβάνει μέρος (ή το σύνολο) των φορτίων της περιβάλλουσας βραχώμαζας. Η τελική επένδυση (σχήμα 1.22) συνήθως κατασκευάζεται μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης του συνόλου του μήκους της σήραγγας αλλά οπωσδήποτε αφού η σήραγγα σταθεροποιηθεί με την άμεση υποστήριξη, δηλαδή αφού πρακτικώς μηδενισθούν οι ρυθμοί εξέλιξης των συγκλίσεων, εντάσεων κλπ.



Σχήμα 1.22: Άποψη της τελικής επένδυσης στο τμήμα Cut & Cover. Εγνατία Οδός, Σήραγγα Δωδώνης

Figure 1.22: Final Lining view at the Cut & Cover section. Egnatia motorway, Dodoni Tunnel

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

1. Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβαλλόμενες γεωτεχνικές συνθήκες.

2. Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβολές της γεωμετρίας της διατομής και στη διάνοιξη μή-κυκλικών διατομών.
3. Περιλαμβάνει μηχανικό εξοπλισμό σχετικώς μικρού κόστους και συνεπώς πλεονεκτεί οικονομικά σε σήραγγες μικρού μήκους.
4. Επιτρέπει ευκολότερη στεγάνωση της σήραγγας με συνθετική μεμβράνη (η οποία συνήθως τοποθετείται μεταξύ της άμεσης και της τελικής επένδυσης).

#### **1.3.4.δ Φάσεις εκσκαφής**

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

1. Εκσκαφή μετώπου-βαθμίδας (top heading and bench). Η εκσκαφή της σήραγγας γίνεται από πάνω προς τα κάτω. Η πρώτη φάση εκσκαφής (top heading) μπορεί να εκσκαφεί και σε περισσότερες υποφάσεις κατά το πλάτος της σήραγγας. Κατά την πρώτη φάση, η εκσκαφή είναι δυνατό να διεξαχθεί είτε με την μέθοδο Διάτρησης κι Έκρηξης (Drill & Blast) είτε με μηχανικά μέσα (σχήμα 1.23).



**Σχήμα 1.23:** Διάτρηση με διατρητικό τύπου Jumbo

**Figure 1.23:** Drilling with Jumbo type drill

2. Γόμωση των εκρηκτικών. Η διαδικασία αυτή διεξάγεται από εξουσιοδοτημένο προσωπικό και πάντοτε υπό την επίβλεψη έμπειρου πυροτεχνουργού. Η ποσότητα εκρηκτικών που χρησιμοποιείται στην γόμωση εξαρτάται από την κατηγορία και την

ποιότητα του πετρώματος. Σε χαλαρή βραχώμαζα για παράδειγμα, εφαρμόζεται μικρή ποσότητα εκρηκτικών (σχήμα 1.24).



Σχήμα 1.24: Γόμωση εκρηκτικών υλών  
Figure 1.24: Filling of explosives

3. Ανατίναξη. Κατά την ανατίναξη απαγορεύεται η παρουσία οποιουδήποτε εντός της σήραγγας, λόγω κινδύνου καταπτώσεων εξαιτίας των δονήσεων που προκαλούνται από την έκρηξη (σχήμα 1.25).



Σχήμα 1.25: Η στιγμή της έκρηξης  
Figure 1.25: The exact moment of the explosion

4. Όρυξη προϊόντων εκσκαφής. Για την απομάκρυνση των αδρανών (ξεμπάζωμα) χρησιμοποιείται συνήθως φορτωτής και φορτηγά (Σχήμα 1.26).



Σχήμα 1.26: Απομάκρυνση αδρανών υλικών

Figure 1.26: Removal of inactive materials

5. Ξεσκάρωμα. Σε αυτή τη φάση γίνεται απομάκρυνση υλικών (βράχια, πέτρες) τα οποία βρίσκονται προσκολλημένα στο μέτωπο ή στις παρειές αλλά με μικρή συνοχή, έχοντας πολλές πιθανότητες να καταρρεύσουν. Η απομάκρυνση γίνεται με σκαπτικό μηχάνημα τύπου «Δρακουμέλ» το οποίο φέρει ειδικό νύχι (σχήμα 1.27).



Σχήμα 1.27: Ξεσκάρωμα

Figure 1.27: Partial rocks removal

6. Τοποθέτηση πλαισίου κι έλεγχος εκσκαφής. Η διαδικασία αυτή, η οποία απαιτεί την παρουσία τοπογράφου, θα αναφερθεί σε επόμενο κεφάλαιο (σχήμα 1.28).



Σχήμα 1.28: Τοποθέτηση χαλύβδινου πλαισίου

Figure 1.28: Steel arc placement

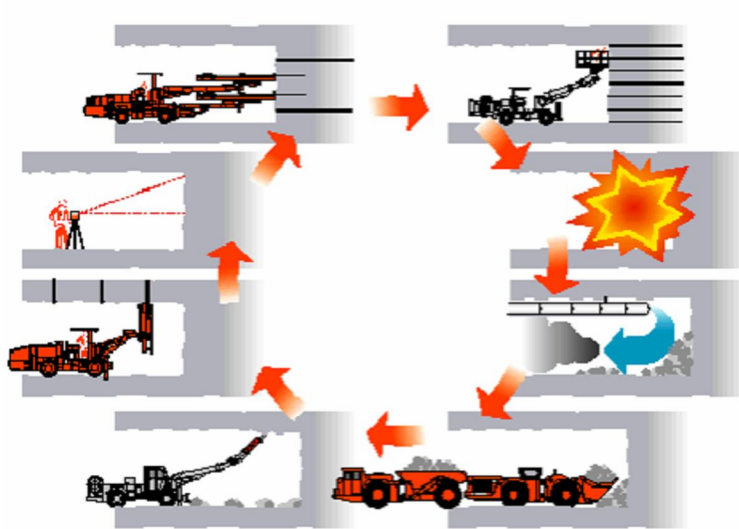
7. Ρίψη εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Με το πέρας των παραπάνω εργασιών, έπεται η ρίψη του εκτοξευόμενου σκυροδέματος (guniting) με χρήση ειδικής πρέσσας (σχήμα 1.29).



Σχήμα 1.29: Ρήψη εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Figure 1.29: Shotcrete implementation

Η παραπάνω διαδικασία αποτελεί ουσιαστικά την μέθοδο διάνοιξης Drill & Blast σε συνδυασμό με τις τεχνικές υποστήριξης της Νέας Αυστριακής Μεθόδου και μπορεί να συνοψιστεί στο ακόλουθο σχήμα 1.30.



Σχήμα 1.30: Σχηματική παράσταση της Νέας Αυστριακής Μεθόδου

Figure 1.30: Schematic provision of the New Austrian Method

## **2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ**

### **2.1 Τοπογραφικά στοιχεία - Προδιαγραφές**

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

#### **Προδιαγραφές**

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

### **2.2 Γεωδαιτικές εργασίες σήραγγας**

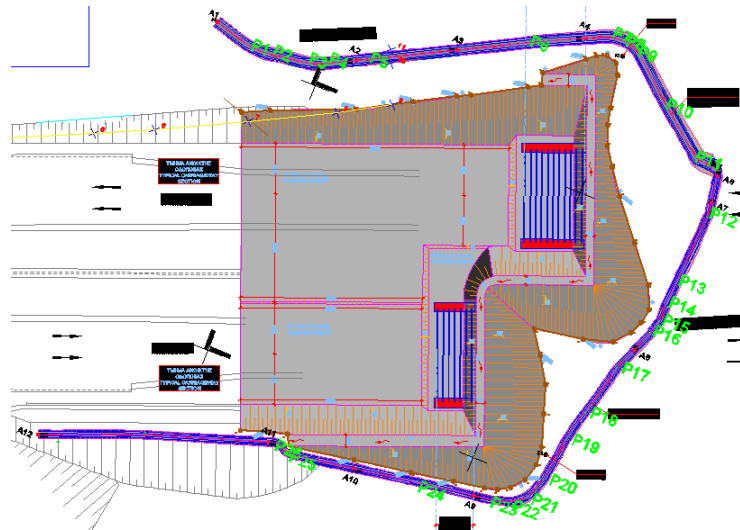
Ο Τοπογράφος Μηχανικός είναι ο κύριος υπεύθυνος για την άρτια γεωμετρία ενός υπόγειου έργου καθώς επίσης και για την πιστοποίηση αυτής. Η παρουσία του κρίνεται απαραίτητη από την αρχή του έργου έως το πέρας αυτού. Στη συνέχεια, παρατίθενται οι εργασίες πεδίου στις οποίες απαιτούνται οι υπηρεσίες του Τοπογράφου Μηχανικού. Η σειρά με την οποία παρατίθενται αντικατοπτρίζει και την σειρά με την οποία αυτές



διεξάγονται στο εργοτάξιο, αν και πολλές εργασίες ενδέχεται να επαναληφθούν περισσότερες από δύο φορές.

### A. Οριοθέτηση του μετώπου της σήραγγας

Μία από τις πρώτες εργασίες που απασχολεί τον τοπογράφο είναι η χάραξη και οριοθέτηση της εκσκαφής, ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη θέση του μετώπου εισόδου, το οποίο έχει οριστεί από την μελέτη. Κατά τη φάση των εργασιών, δύο θέματα που χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής είναι α) τα όρια της εκσκαφής, δηλαδή από πού θα ξεκινήσει η εκσκαφή να κινείται προς τα κάτω και, β) η τήρηση των κλίσεων των πρανών ώστε αυτές να κατασκευαστούν σύμφωνα με τη μελέτη (σχήμα 2.1).



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

Figure 2.1: Plan view of excavation boundaries (red line). Also, the pitches of the slopes and the drainage trench are visible

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



Σχήμα 2.2: Διαμόρφωση μετώπου σήραγγας σε τελικό στάδιο.

Figure 2.2: Final stages of portals' landscaping.

## Β. Εγκατάσταση τριγωνομετρικού δικτύου

Με την περάτωση των εργασιών διαμόρφωσης των μετώπων και του περιβάλλοντα χώρου, η επόμενη και αρκετά σημαντική εργασία είναι η ίδρυση τριγωνομετρικού δικτύου. Έτσι λοιπόν, αρχικά ιδρύονται τουλάχιστον δύο τριγωνομετρικά βάθρα (σχήμα 2.3) στην περιοχή μετώπων της σήραγγας, από τα οποία εξασφαλίζονται αμοιβαίες σκοπεύσεις (σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.3: Φωτογραφίες τριγωνομετρικών βάθρων

Figure 2.3: Photos of trigonometric pillars



Σχήμα 2.4: Τριγωνομετρικά βάρθρα στην περίμετρο του μετώπου. Διαπιστώνεται ξεκάθαρα η δυνατότητα αμοιβαίων σκοπεύσεων

Figure 2.4: Trigonometric pillars at the portals. The feasibility of mutual measurements is quite clear

Επίσης, εκτός από οριζοντιογραφικό δίκτυο, πρέπει να ιδρυθεί και υψομετρικό δίκτυο, το οποίο αποτελείται είτε από τις ίδιες στάσεις του οριζοντιογραφικού δικτύου, είτε από επιπλέον υψομετρικά βάρθρα, είτε και από τα δύο συνδυασμένα (σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5: Τριγωνομετρικό και υψομετρικό βάρθρο

Figure 2.5: Trigonometric and elevation pillar

Επιπλέον, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε όλα τα τριγωνομετρικά να μπορούν να χωροσταθμηθούν. Αν και σε τέτοιες περιπτώσεις είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί τριγωνομετρική υψομετρία, ωστόσο, προτιμάται η χωροστάθμιση (σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Χρήση ψηφιακού χωροβάτη κατά την διαδικασία γεωμετρικής χωροστάθμησης

Figure 2.6: Digital level operation during leveling procedure

### Γ. Ίδρυση πολυγωνομετρικού δικτύου εντός της σήραγγας

#### Στάσεις

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

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

α) Με πάκτωση στα τοιχώματα της σήραγγας (σχήμα 2.7). Ο τρόπος αυτός είναι αρκετά σίγουρος διότι επιτρέπει την ίδρυση στάσεων όσο το δυνατόν μακριά από την κυκλοφορία των οχημάτων που κινούνται κατά μήκος της σήραγγας. Η διάτρηση για την τοποθέτηση των ράβδων διεξάγεται με το διατρητικό τύπου Jumbo, επομένως η αγκύρωσή τους μπορεί να γίνει σε μεγάλο μήκος (συνήθως 2m). Παρ' όλα αυτά, οι στάσεις αυτές δεν είναι απολύτως ασφαλείς, αφού ενδέχεται να χτυπηθούν από μηχανήματα ή φορτηγά τα οποία πραγματοποιούν τοπικούς ελιγμούς.



Σχήμα 2.7: Στάση με αγκυρωμένες ράβδους χάλυβα κι ενεματώσεις τσιμέντου

Figure 2.7: Station made of embedded steel bars filled with cement

β) Με βάθρα από τσιμέντο (σχήμα 2.8). Η κατασκευή τσιμεντένιων βάθρων στον πυθμένα της σήραγγας εξασφαλίζει μεγαλύτερες ορατότητες και μεγαλύτερη διάρκεια χρήσης, έχοντας όμως το μειονέκτημα να είναι πιο ευάλωτες σε καταστροφή από πρόσκρουση κάποιου μηχανήματος ή οχήματος.

Μία μέθοδος που εφαρμόζεται για την αποφυγή δύσκολων καταστάσεων, είναι η κατασκευή βάθρων μικρού ύψους (σχήμα 2.8β). Με αυτόν τον τρόπο, τα εργοταξιακά μηχανήματα (τα οποία, σημειωτέον, έχουν αρκετά μεγάλο ύψος) μπορούν να περάσουν ακόμη και από πάνω τους –αν και δεν ενδείκνυται- χωρίς να προκαλέσουν ζημιές.



(α)

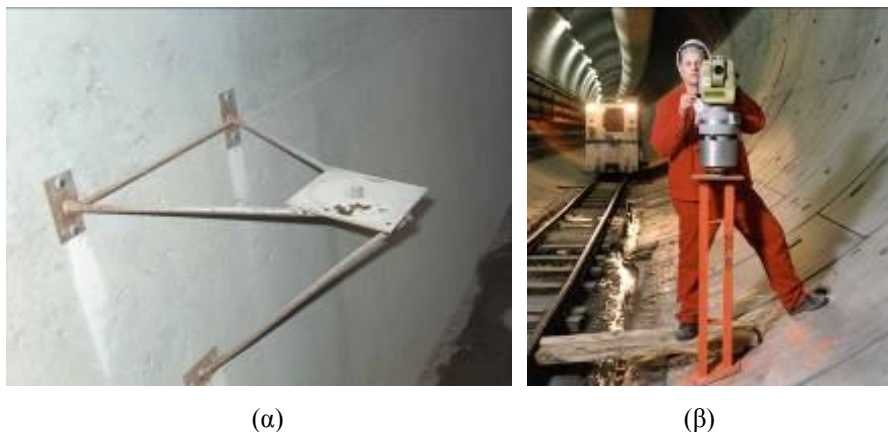


(β)

Σχήμα 2.8: Βάθρα από σωλήνα PVC πληρωμένου με τσιμέντο

Figure 2.8: Trigonometric pillars made of a PVC Pipe filled with cement

γ) Στην τελική επένδυση της σήραγγας (σχήμα 2.9). Η τελική επένδυση αποτελεί και το τελικό στάδιο στις φάσεις διάνοιξης μίας σήραγγας. Επομένως, οι στάσεις στην τελική επένδυση θα είναι και οι τελευταίες που εγκαθίστανται, από όλες τις φάσεις ίδρυσης πολυγωνομετρικού δικτύου.



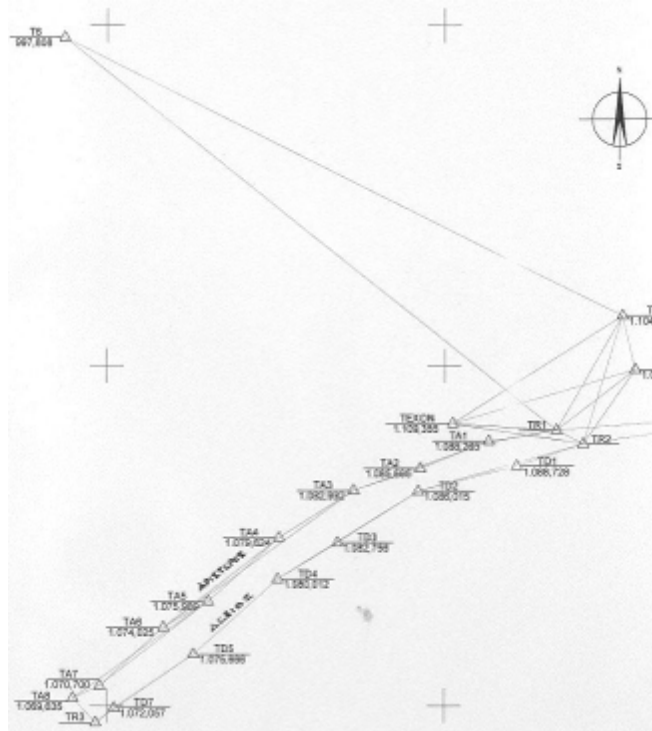
Σχήμα 2.9: Στάση πακτωμένη στην τελική επένδυση α) στον τοίχο β) στην βάση  
Figure 2.9: Station fixed at the final lining a) on the wall b) on the bench

### Οδεύσεις

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

Υπολογισμός της όδευσης είναι η επίλυση κι ένταξη των συντεταγμένων όλων των σημείων (κορυφών) της όδευσης στο σύστημα αναφοράς της χώρας (λ.χ. ΕΓΣΑ '87), ή ένα ανεξάρτητο σύστημα συντεταγμένων (σχήμα 2.10). Μετά τον υπολογισμό της, η όδευση αποτελεί τον βασικό άξονα πάνω στον οποίο οι μετρήσεις των σημείων λεπτομερειών του εδάφους και της σήραγγας, για τον προσδιορισμό τους ως προς το σύστημα αναφοράς.

Η εγκατάσταση και ο υπολογισμός της όδευσης αποτελεί επομένως κύριο μέλημα του Τοπογράφου Μηχανικού.



Σχήμα 2.10: Οριζοντιογραφία όδευσης επιλυμένης και ενταγμένης σε σύστημα αναφοράς

Figure 2.10: Plan view of and integrated into a coordination system

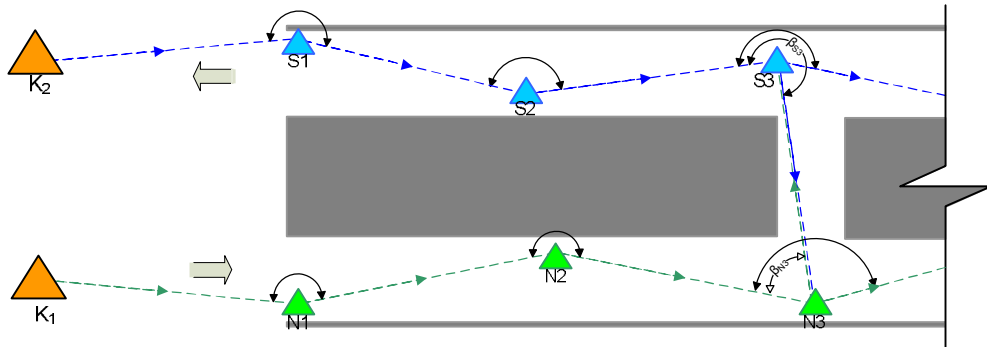
Υπάρχουν πολλές κατηγορίες οδεύσεων από τις οποίες όμως δύο είναι αυτές οι οποίες βρίσκουν πλήρη εφαρμογή στα υπόγεια έργα. Οι δύο αυτές οδεύσεις είναι:

α) Ανοικτή εξαρτημένη όδευση με προσανατολισμό στο ένα άκρο (σχήμα 2.11)

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

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

Ο μοναδικός έλεγχος που είναι δυνατό να διεξαχθεί και, μάλιστα όχι σε κάθε σήραγγα (μόνο σε δίδυμες σήραγγες οι οποίες διαθέτουν εγκάρσιους διάδρομους), αφορά στην αμοιβαία σκόπευση πολυγωνομετρικών σημείων τα οποία βρίσκονται εκατέρωθεν εγκαρσίων διαδρόμων (σχήμα 2.11).



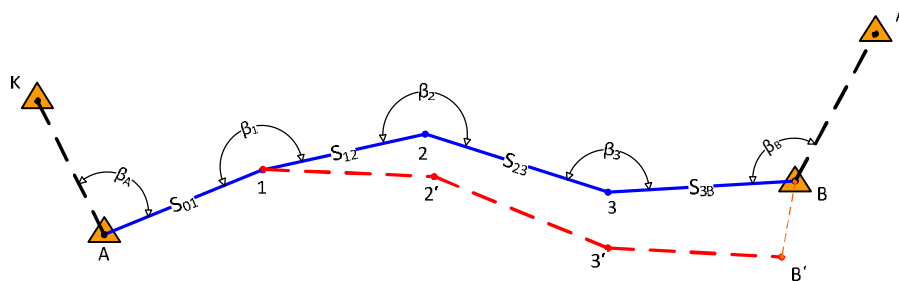
Σχήμα 2.11: Σκαρίφημα δύο ανεξάρτητων οδεύσεων κατά μήκος των δύο κλάδων σήραγγας  
 Figure 2.11: Schematic provision of two independent traverses along the two tunnel branches

β) Ανοικτή εξαρτημένη οδευση με προσανατολισμό στα δύο άκρα (σχήμα 2.12)

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

Η επίλυση των οδεύσεων αυτών επιτρέπει:

- α) Τον έλεγχο των γωνιομετρήσεων
- β) Τον υπολογισμό της γραμμικής μετατόπισης του τελευταίου σημείου της οδευσης (ολικό σφάλμα BB')



Σχήμα 2.12: Ανοικτή πλήρως εξαρτημένη οδευση  
 Figure 2.12: Open fully dependent traverse



Επειδή όμως εξαρτάται και από τα δύο της άκρα, η πραγματοποίησή της είναι δυνατή μόνο όταν τελειώσει η διάνοιξη της σήραγγας ή ξετρύπημα (σχήμα 2.13), όπως συνηθίζεται να λέγεται.



Σχήμα 2.13: Πέρασ διάνοιξης σήραγγας

Figure 2.13: Completion of tunneling

Η επίλυση μίας τέτοιας όδευσης γίνεται κυρίως για δύο λόγους:

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

### Δ. Χάραξη πορείας των δοκών προπορείας (Forepoling)

Όπως έχει προαναφερθεί, οι δοκοί προπορείας χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση του μετώπου σε μη συνεκτικά εδάφη, τα οποία έχουν κακές μηχανικές ιδιότητες. Η τοποθέτησή τους γίνεται συνήθως στις εισόδους της σήραγγας αλλά, αναλόγως με τις γεωλογικές συνθήκες και εντός της σήραγγας (βλ. σχήματα 1.16, 1.17).

Κατά την εφαρμογή δοκών προπορείας, ο τοπογράφος έχει την ευθύνη ώστε να κατευθύνει το διατρητικό μηχάνημα (cazagrande), προκειμένου οι δοκοί προπορείας να έχουν την καθορισμένη κατεύθυνση (σχήμα 2.14).



Σχήμα 2.14: Δίνοντας τη σωστή κατεύθυνση των δοκών προπορείας

Figure 2.14: Regulating the correct direction of the forepoling tubes

Η σωστή εφαρμογή της ομπρέλας είναι απαραίτητη, τόσο από γεωλογικής και μελετητικής πλευράς, αλλά και κατασκευαστικά, αφού κατά την τοποθέτηση των πλαισίων θα πρέπει να μπορεί να επιτευχθεί η γεωμετρία τους (σχήμα 2.15).



Σχήμα 2.15: Σωστή εφαρμογή δοκών προπορείας, οι οποίες εφάπτονται στο πλαίσιο

Figure 2.15: Correct implementation of the forepoling tubes, which lean against the arches

### Ε. Έλεγχος γεωμετρίας πλαισίων και ταυτόχρονη χάραξη άξονα

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

Κατά τις εργασίες τοποθέτησης ενός πλαισίου, ο τοπογράφος ελέγχει την απόκλιση του πλαισίου σε σχέση με την θεωρητική του θέση από την μελέτη εφαρμογής (σχήμα 2.16). Σήμερα, με την βοήθεια σύγχρονων γεωδαιτικών οργάνων τα οποία παρέχουν τη

δυνατότητα εισαγωγής και επεξεργασίας δεδομένων σε λογισμικά, μειώνεται σημαντικά ο χρόνος και ο βαθμός δυσκολίας της διαδικασίας, η οποία πλέον είναι αρκετά απλουστευμένη στην πράξη.



Σχήμα 2.16: Έλεγχος γεωμετρίας πλαισίου. Φαίνεται δικτυωτό πλαίσιο Lattice/Girder

Figure 2.16: Geometric control of arch. The Lattice/Girder arch is visible

Έπειτα από την τοποθέτηση του πλαισίου, η τελευταία εργασία που απομένει είναι η παραλαβή του πλαισίου και της εκσκαφής. Στην ουσία η διαδικασία της παραλαβής αποτελεί την αποτύπωση του πλαισίου και της εκσκαφής σε σχέση με την θεωρητική θέση του πλαισίου (σχήμα 2.17).

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



Σχήμα 2.17: Παραλαβή πλαισίου και εκσκαφής

Figure 2.17: Arch and excavation point check

### ΣΤ. Έλεγχος γεωμετρίας εκσκαφής, χωρίς πλαίσιο.

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

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

Έτσι λοιπόν, κρίνεται αναγκαία η παρουσία του τοπογράφου (σχήμα 2.18), κατά το τελευταίο στάδιο της φάσης του ξεσκάρωματος αφού τότε είναι δυνατή η αποτύπωση της εκσκαφής (η έντονη παρουσία σκόνης κατά την μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής καθιστά αδύνατο τον έλεγχο).



Σχήμα 2.18: Έλεγχος της διατομής εκσκαφής

Figure 2.18: Geometric control of the excavation

Κατά τον έλεγχο της διατομής ο χειριστής του σκαπτικού μηχανήματος «δράκου» ενημερώνεται και κινείται αναλόγως, απομακρύνοντας τα χαλαρά τμήματα της βραχώμαζας όπου κρίνεται απαραίτητο. Επίσης, ο χειριστής της πρέσσας (σχήμα 2.19) ενημερώνεται για την εκσκαφή, ώστε να επιτευχθεί το απαιτούμενο στατικό πάχος σύμφωνα με τη μελέτη. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η εισχώρηση της εκσκαφής μέσα στην γραμμή του Gunite και, κατά συνέπεια, η εισχώρηση του gunite στην τελική επένδυση. Αποφεύγονται έτσι προβλήματα που θα μπορούσαν να εμφανιστούν αρκετά αργότερα και να προκαλέσουν έντονες επιπλοκές.



Σχήμα 2.19: Ενημέρωση του χειριστή της πρέσσας

Figure 2.19: Updating the Shotcrete Pump operator

### **I. Χάραξη γραμμής διάτρησης**

Μετά την διάστρωση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, το μέτωπο εκσκαφής (καθρέπτης) είναι έτοιμο για την επόμενη διάτρηση. Όπως αναφέρθηκε όμως, σε αντίθεση με τα πλαίσια εδώ ο χειριστής δεν γνωρίζει ποια τα όρια της, έτσι, χαράσσονται τα όρια της διατομής της ανάλογης κατηγορίας εκσκαφής ώστε να είναι δυνατή η πρόοδος των επιμέρους εργασιών (σχήμα 2.20).



Σχήμα 2.20: Φάσεις χάραξης γραμμής διάτρησης. Διακρίνεται η κόκκινη γραμμή εκσκαφής  
Figure 2.20: Phases of drawing the drilling line. The red line indicates the excavation boundary

### **Θ. Γεωμετρικός έλεγχος της εκσκαφής Β΄ φάσης**

Όλες οι εργασίες που αναφέρθηκαν μέχρι στιγμής, αφορούν εργασίες στην Α΄ φάση εκσκαφής. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η διάνοιξη διεξάγεται σε δύο ή περισσότερες φάσεις, στις οποίες επίσης, είναι απαραίτητη η παρουσία Τοπογράφου Μηχανικού.

Το αντικείμενο δεν διαφέρει ιδιαίτερα από αυτό της Α΄ Φάσης, δηλαδή ελέγχεται η εκσκαφή των παρειών, η σωστή τοποθέτηση των απολήξεων των πλαισίων “ποδαρικά” (σχήμα 2.21) καθώς και αν επιτυγχάνεται η επιθυμητή στάθμη του πυθμένα (ταμπάνι).



Σχήμα 2.21: Έλεγχος εκσκαφής και ποδαρικών στην Β' Φάση  
Figure 2.21: Geometric control of excavation at B' Phase

### I. Γεωμετρικός έλεγχος μεταλλότυπου θόλου

Ο μεταλλότυπος θόλου (σχήμα 2.22) είναι ουσιαστικά το καλούπι το οποίο χρησιμοποιείται για την σκυροδέτηση της τελικής επένδυσης. Είναι λοιπόν αυτονόητο ότι η γεωμετρία του καλουπιού πρέπει να ταιριάζει με αυτή της θεωρητικής τελικής επένδυσης. Κι εδώ πάλι, ο τοπογράφος μηχανικός καλείται – ελέγχοντας τις αποκλίσεις από τις θεωρητικές τιμές – να υλοποιήσει την βέλτιστη θέση τοποθέτησής του (στήσιμο).



Σχήμα 2.22: Μεταλλότυπος θόλου  
Figure 2.22: Metal formwork

Επίσης, κατά την αρχική τοποθέτηση του μεταλλότυπου διεξάγεται ταυτόχρονος έλεγχος και στα δύο άκρα του, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η συνολική ταύτιση του με την γεωμετρία της τυπικής διατομής (σχήμα 2.23).



Σχήμα 2.23: Ταυτόχρονος γεωμετρικός έλεγχος μεταλλότυπου και στα δύο άκρα του  
Figure 2.23: Simultaneous geometric control of the metal formwork at its both ends

Μετά και τον τελικό γεωμετρικό έλεγχο, ο μεταλλότυπος μετακινείται στην κατάλληλη θέση και μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία σκυροδέτησης (σχήμα 2.24).



Σχήμα 2.24: Το καλούπι με τον φέροντα οπλισμό του  
Figure 2.24: The metal formwork with its bearing reinforcement



### **Κ. Γεωμετρικός έλεγχος τελικής επένδυσης**

Μετά την φάση της σκυροδέτησης της τελικής επένδυσης, κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχος της (σχήμα 2.25). Ο έλεγχος αυτός θα υποδείξει κατά πόσο η γεωμετρία κατασκευής (as built) ταυτίζεται με τη θεωρητική γραμμή ή αν υπάρχουν αποκλίσεις να παρθούν μέτρα για την εξάλειψη ή βελτίωση αυτών.



Σχήμα 2.25: Γεωμετρικός έλεγχος της τελικής επένδυσης του στομίου της σήραγγας

Figure 2.25: Geometric control of the tunnel's portal final lining

## **2.3 Εφαρμογή γεωδαιτικών μεθόδων στην παρακολούθηση μικρομετακινήσεων σηράγγων**

### **2.3.1 Μέθοδος μετρήσεων**

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

και καταγράφονται οι συντεταγμένες τους. Διατομές ελέγχου ορίζονται σε αποστάσεις που κυμαίνονται από 5 ως 100m ανάλογα με τις συνθήκες και απαιτήσεις του έργου (σχήμα 2.26).



Σχήμα 2.26: Σταθμοί σύγκλισης σε πυκνή διάταξη διατομών ελέγχου

Figure 2.26: Convergence stations at close range

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

### 2.3.1.α Στάσεις του οργάνου και θέσεις στόχων σκόπευσης

#### Στάσεις

Οι δύο μέθοδοι μετρήσεων που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις μικρομετακινήσεων είναι α) το στήσιμο σε στάση, μηδενισμός σε προηγούμενη στάση και σκόπευση των σταθμών και, β) η μέτρηση των σταθμών συγκλίσεων από ελεύθερη στάση (σχήμα 2.27).

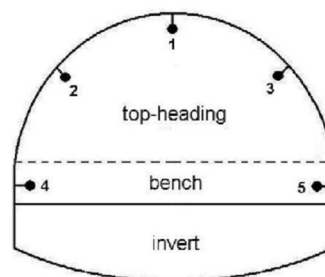


Σχήμα 2.27: Παρακολούθηση των παραμορφώσεων σήραγγας με χρήση γεωδαιτικού σταθμού

Figure 2.27: Monitoring of tunnel deformations with the use of total station

### Θέσεις στόχων σκόπευσης

Αμέσως μετά την τοποθέτηση της προσωρινής αντιστήριξης και σε μικρό χρονικό διάστημα από τη διάνοιξη σε κάθε διατομή ελέγχου, εγκαθίστανται τρεις οπτικοί στόχοι (ανακλαστήρες) ένας στην κλείδα και δύο εκατέρωθεν αυτής στις παρειές της . Κατά την εκσκαφή της β' φάσης τοποθετούνται δύο ακόμη ανακλαστήρες χαμηλότερα στις παρειές και κοντά στον πυθμένα για την παρακολούθηση ολόκληρης της διατομής (σχήμα 2.28).



Σχήμα 2.28: Σχηματική διάταξη εγκατάστασης οπτικών στόχων

Figure 2.28: Schematic provision of optical target implementation

### 2.3.1.β Γεωδαιτικά Όργανα

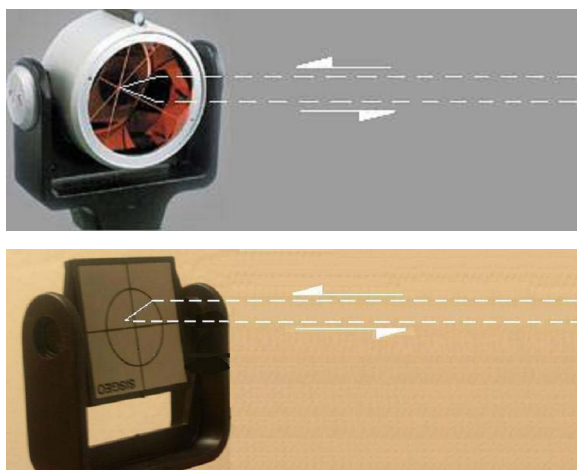
#### i. Total Stations

Για τη διάνοιξη σήραγγων χρησιμοποιούνται συνήθως ηλεκτρονικοί θεοδόλιχοι (total station) ακρίβειας. Τα τελευταία χρόνια δε, τα γεωδαιτικά όργανα νέας γενιάς (Ρομποτικά – Robotic Total Station, RTS) βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε σήραγγες, κυρίως για την

παρακολούθηση των παραμορφώσεων της επιφάνειας του εδάφους πάνω από σήραγγες Μετρό σε αστικό περιβάλλον. Επίσης, σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί που δεν απαιτούν τη χρήση ανακλαστήρων (reflectorless; non prism total stations) έχουν κάνει την εμφάνισή τους σε υπόγεια έργα.

### ii. Ανακλαστήρες

Οι διάφοροι ανακλαστήρες που είναι διαθέσιμοι διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με την οπτική τους λειτουργία: i) τους πρισματικούς και ii) τους επίπεδους (σχήμα 2.29).



Σχήμα 2.29: Βασικοί τύποι ανακλαστήρων (άνω: πρισματικός, κάτω:επίπεδος πλαστικός)

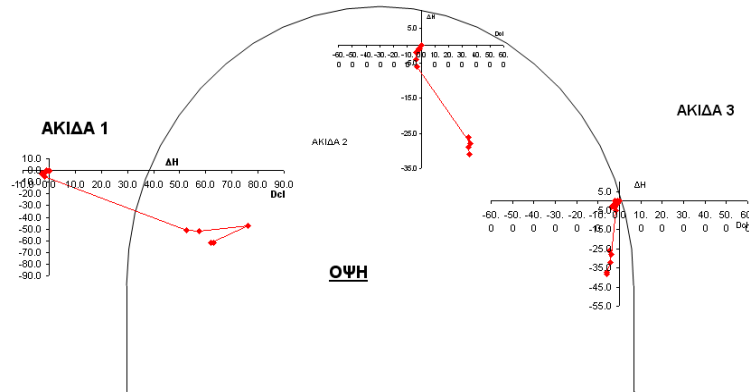
Figure 2.29: Basic reflector types (up: prismatic, down: flat, plastic)

Στις περισσότερες περιπτώσεις μετρήσεων σε σήραγγες κυρίως μη-πρισματικοί αυτοκόλλητοι ή πλαστικοί στόχοι διαστάσεων 3-4cm.

### 2.3.1.γ Συχνότητα Μετρήσεων

Οι μετρήσεις ξεκινούν λίγο μετά τη διάνοιξη μιας διατομής και επαναλαμβάνονται καθημερινά μέχρι τη χρονική στιγμή που δεν παρατηρείται επιπλέον μεταβολή των συντεταγμένων των στόχων. Μετά από το παραπάνω διάστημα συνήθως εξακολουθούν οι μετρήσεις αλλά με πολύ χαμηλότερη συχνότητα ώστε να καταγράφονται πιθανές (μικρές) μετακινήσεις από φαινόμενα ερπυσμού κλπ. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται περίπου με

εβδομαδιαία ως μηνιαία συχνότητα. Στο [σχήμα 2.30](#) παρουσιάζεται ένα διάγραμμα μετρήσεων μικρομετακινήσεων.



Σχήμα 2.30: Σχεδιάγραμμα μετακινήσεων σταθμού συγκλίσεων

Figure 2.30: Convergence diagram

Ωστόσο, οι μετακινήσεις που σημειώνονται από τη στιγμή της διάνοιξης μέχρι την εγκατάσταση στόχων παρατήρησης δεν μπορούν να εκτιμηθούν με γεωδαιτικές μεθόδους.

### 2.3.1.δ Συνθήκες μετρήσεων - Προβλήματα και δυσκολίες

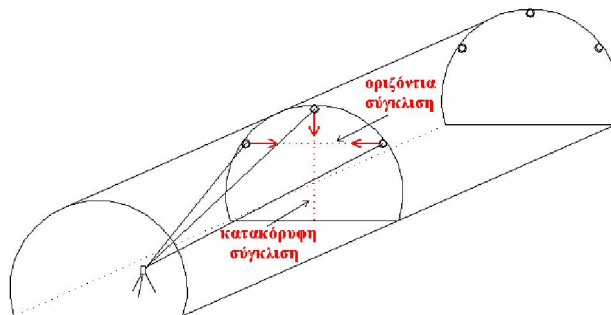
#### ι. Συνθήκες μετρήσεων στο εσωτερικό σήραγγων

Η δυσκολία των μετρήσεων στις σήραγγες οφείλεται στις συνθήκες του περιβάλλοντος στο εσωτερικό τους (καπνός, μειωμένη ορατότητα, κακός φωτισμός, σκόνη, υγρασία, λάσπη, θόρυβος) και στη συνεχή κίνηση οχημάτων και προσωπικού. Συχνά προκαλείται καθυστέρηση στις μετρήσεις από τις δονήσεις των σκαπτικών μηχανημάτων που δουλεύουν σε αποστάσεις λίγων μέτρων. Τέλος, σε πολλές περιπτώσεις, διαρροές νερού, λάσπη ή αστάθεια του πυθμένα δημιουργούν προβλήματα στη σήμανση των στάσεων και στη διεξαγωγή των μετρήσεων. Για παράδειγμα, στην οδική σήραγγα της Μεσοχώρας, στο νομό Τρικάλων, πριν τη διάνοιξη ολόκληρης της σήραγγας ήταν αδύνατη η προσπέλαση στη σήραγγα από τη μια είσοδο (και για μήκος ~50m) λόγω κατάκλυσης από νερό σε ύψος

>1m (Ι. Θανόπουλος, 2003). Τέλος, προβλήματα εμφανίζονται από την καταστροφή των στόχων (από το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, την πρόσκρουση μηχανημάτων κλπ.).

### 2.3.2 Καταγραφή μετακινήσεων στις σήραγγες

Στο παρελθόν, η μέτρηση των παραμορφώσεων της διατομής σήραγγας βασιζόνταν στη χρήση μηκυνσιόμετρων ακριβείας, μια μέθοδος χρονοβόρα και δύσχρηστη, που παρέχει μόνο σχετικές μεταβολές των μετρούμενων αποστάσεων. Σήμερα η παρακολούθηση των παραμορφώσεων βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στη χρήση γεωδαιτικών οργάνων και μεθοδολογιών, που παρέχουν απόλυτες μεταβολές των θέσεων των σημείων ελέγχου σε τρεις διαστάσεις x,y,z και γενικά είναι πιο οικονομικές και εύχρηστες. Από τις μετρήσεις των συντεταγμένων υπολογίζονται οι παραμορφώσεις της διατομής κάθετα στον άξονα, ως οριζόντια και κατακόρυφη σύγκλιση. Η κατακόρυφη σύγκλιση ορίζεται ως η (απόλυτη) κατακόρυφη μετακίνηση του κεντρικού κατόπτρου δεδομένου ότι στις συνήθεις σήραγγες η κατασκευή άκαμπτης πλάκας σκυροδέματος στο κάτω μέρος της διατομής – invert – δεν επιτρέπει ανύψωση του πυθμένα. Η οριζόντια σύγκλιση ορίζεται ως η σχετική μεταβολή της απόστασης των πλευρικών ανακλαστήρων (σχήμα 2.31).



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

Figure 2.31: a) Recording of absolute convergences in three dimensions  
b) Vertical and lateral convergence of the cross section

Η ορολογία που χρησιμοποιείται για τη γεωδαιτική μέθοδο παρακολούθησης των παραμορφώσεων σήραγγας από διάφορους ερευνητές ή προμηθευτές των οργάνων ποικίλει. Για παράδειγμα, αναφέρεται γενικά ως ‘Convergence Measurements’ (Dalgic,

2002 κ.α.), που όμως σε άλλες περιπτώσεις με τον ίδιο όρο προσδιορίζεται η μέθοδος με μηκονσιόμετρα (π.χ. Lunardi, 2000), ως ‘Surveying Method’ ή ‘Optical 3-D Monitoring’ (Kaiser, 1993; Schubert and Vavrovsky, 1994; Interfels, 1998, GEODATA, 2004 κ.α.) ή ως ‘Geodetic Monitoring’ (Leica Geosystems, 2005; Schäfer and Weithe, 2002 κ.α.). Επίσης, αναφέρεται ως ‘Γεωδαιτική Μέθοδος Παρακολούθησης των Παραμορφώσεων’ (‘Geodetic Monitoring’).

### 2.4 Πιστοποίηση κατασκευής

#### Εσωτερικός έλεγχος

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

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

#### Εξωτερικός έλεγχος

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

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

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

- Για την βεβαίωση της σωστής και σύμφωνα με τις προδιαγραφές κατασκευής του έργου

- Για την εξέταση και αξιολόγηση των στοιχείων και την εν συνεχεία παροχή προτάσεων ή λύσεων σε τυχόν προκύπτοντα προβλήματα
- Για την χρηματική αποζημίωση του κατασκευαστή στο ποσοστό που του αναλογεί
- Για τον έλεγχο ψευδούς κατάθεσης της κατασκευαστικής προόδου



### 3. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ - ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ

#### 3.1 Βασικές αρχές

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

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

#### Διαστάσεις εκσκαφής – Ανοχές ασφαλείας

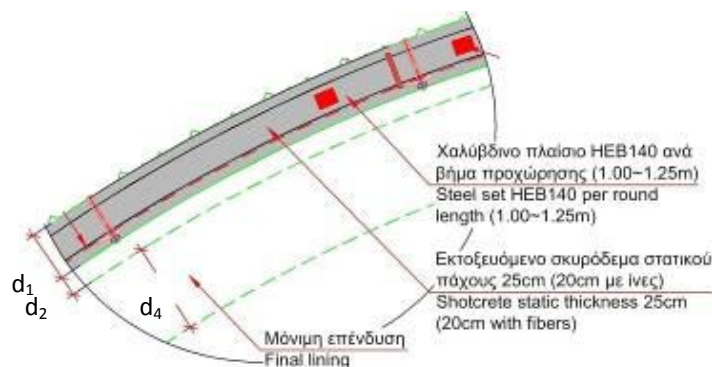
Η εκσκαφή των διατομών της σήραγγας πρέπει να γίνεται με ελάχιστη υπερεκσκαφή, στις γραμμές, και διαστάσεις που ορίζονται στα σχέδια της εγκεκριμένης **οριστικής μελέτης εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης**, με τις τυχόν αναγκαίες τροποποιήσεις της μελέτης εφαρμογής, η οποία συντάσσεται κατά την φάση των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

Κατά την διαστασιολόγηση κατηγορίας εκσκαφής της σήραγγας έχουν ορισθεί λεπτομερώς τα στοιχεία εκείνα τα οποία καθορίζουν την γεωμετρία των χαρακτηριστικών

γραμμών της διατομής της σήραγγας, τα οποία είναι τα παρακάτω και διαφέρουν για κάθε κατηγορία πετρώματος:

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

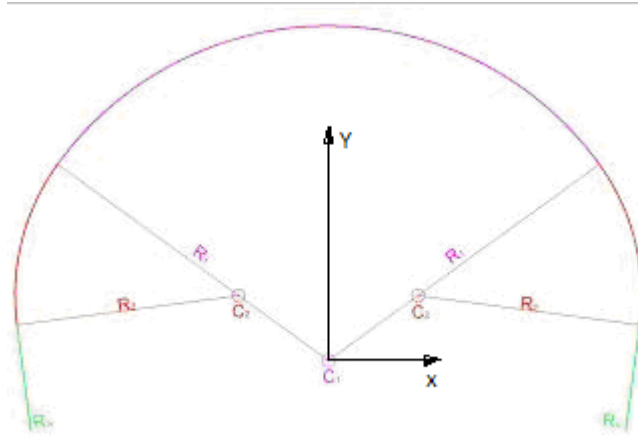
- R: Ακτίνα διατομής χρήσης
- $d_1$ : Το στατικώς απαιτούμενο πάχος της άμεσης υποστήριξης (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και σιδηρά πλαίσια)
- $d_2$ : Την πρόβλεψη για σύγκλιση
- $d_3$ : Το συνολικό πάχος την στρώσης εξομάλυνσης (μη οπλισμένο με ίνες εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, στεγανωτική μεμβράνη)
- $d_4$ :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



Σχήμα 3.1: Λεπτομέρεια διατομής. Διακρίνονται τα μεγέθη  $d_{1,2,4}$

Figure 3.1: Cross-section in detail. The constants  $d_{1,2,4}$  are distinguished

Πολλές φορές, σε μία διατομή ενδέχεται να χρησιμοποιούνται παραπάνω από μία ακτίνες ή ακόμη και ευθείες γραμμές για τον σχεδιασμό και την διαστασιολόγησή της (σχήμα 3.2). Αυτό συνεπάγεται και τα παραπάνω στοιχεία  $d_{1,2,4}$ , να διαφοροποιούνται αναλόγως. Επίσης, το μέγεθος  $d_3$  συνήθως ταυτίζεται με τα μεγέθη  $d_1$  και  $d_2$ , δηλαδή ισχύει  $d_3=d_1+d_2$ . Συμπεράνεται λοιπόν ότι το πάχος της στρώσης εξομάλυνσης δεν υπερβαίνει το όριο της σύγκλισης.



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

Figure 3.2: Cross-section involving multiple radii (colors red and magenta) and straight lines (color green)

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 την μελέτη γεωμετρία του θεωρητικού άξονα της σήραγγας (οριζοντιογραφικά και υψομετρικά). Έτσι λοιπόν, αναφέρεται ότι ισχύουν (εάν δεν ορίζεται διαφορετικά) σαν μέγιστες δυνατές αποκλίσεις, οι ακόλουθες:

Για σήραγγες μήκους  $L < 500\text{m}$

- Μέγιστη οριζοντιογραφική απόκλιση άξονα  $\pm 0,05\text{m}$
- Μέγιστη μηκοτομική απόκλιση άξονα  $\pm 0.03\text{m}$

Για σήραγγες μήκους  $L > 500\text{m}$

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

#### 3.2 Εργασίες πεδίου

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

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

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

- α) Η μέθοδος με την οποία θα γίνει η λήψη των στοιχείων, δηλαδή η επιλογή οργάνου (π.χ. Γεωδαιτικός σταθμός, Laser scanner)
- β) Ο τρόπος με τον οποίο θα διεξαχθεί η αποτύπωση, για παράδειγμα με την χρήση πρίσματος, δεσμίδας laser, αυτοματοποιημένη (profiler).

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

1. Έτσι λοιπόν, βασική προϋπόθεση της διαδικασίας που θα επιλεγεί αποτελεί το πεδίο συλλογής πληροφοριών που πρόκειται να αποτυπωθεί, το οποίο δεν είναι άλλο από την 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 αφού μεγάλο πεδίο συλλογής δεδομένων συνεπάγεται και μεγαλύτερο όγκο δεδομένων, άρα και ανάγκη για ταχύτερη μέθοδο αποτύπωσης.

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

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



Σχήμα 3.3: Μετρήσεις με την χρήση κονταριού αλουμινίου

Figure 3.3: Measuring with the use of aluminum boom

### 3.3 Φάσεις αποτύπωσης διατομών σηράγγων

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

Φάση 1<sup>η</sup>: Αποτύπωση διατομής εκσκαφής

Φάση 2<sup>η</sup>: Αποτύπωση διατομής πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος (Gunitite)

Φάση 3<sup>η</sup>: Αποτύπωση διατομής εκτοξευόμενου σκυροδέματος μετά την εξομάλυνση (δεύτερη στρώση)

Φάση 4<sup>η</sup>: Αποτύπωση της τελικής επένδυσης

#### Αποτύπωση διατομής εκσκαφής

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

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



Σχήμα 3.4: Εκσκαφή (κόκκινο χρώμα) σε σύγκριση με την τυπική γραμμή εκσκαφής (μαύρο χρώμα)  
Figure 3.4: Excavation (red color) compared to theoretical excavation line (black color)

Αφού ελεγχθεί και διαπιστωθεί ότι η εκσκαφή δεν επιδέχεται διορθώσεις, το επόμενο βήμα είναι η αποτύπωσή της.

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



Σχήμα 3.5: Παραλαβή διατομής εκσκαφής (μπλε χρώμα)

Figure 3.5: Manual collection of excavation points (blue color).

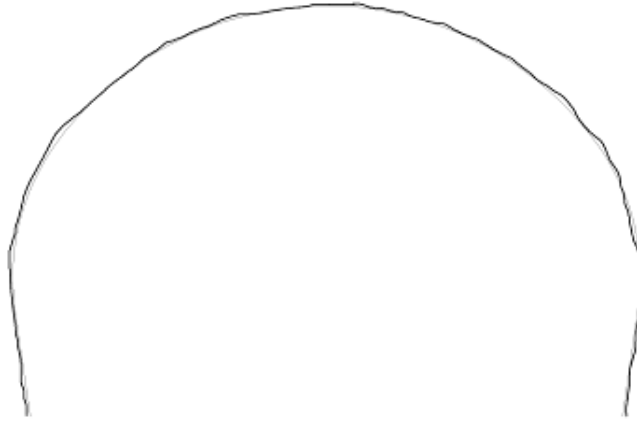
### Αποτύπωση διατομής εκτοξευόμενου σκυροδέματος

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

Σε αυτή τη φάση και, εάν όλοι οι άλλοι παράγοντες (εγκατεστημένες κοντινές στάσεις, απουσία σκόνης, ελάχιστη κυκλοφορία οχημάτων ή προσωπικού) είναι ικανοποιητικοί, η παραλαβή διεξάγεται αρκετά πιο γρήγορα. Ο κύριος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι η επιφάνεια του Gunite είναι εκ των πραγμάτων αρκετά πιο ομαλή (σχήμα 3.6) από αυτή της εκσκαφής και, κατά συνέπεια, δεν υπάρχει τόση ανησυχία για το ποιο σημείο χρειάζεται αποτύπωση και ποιο όχι.

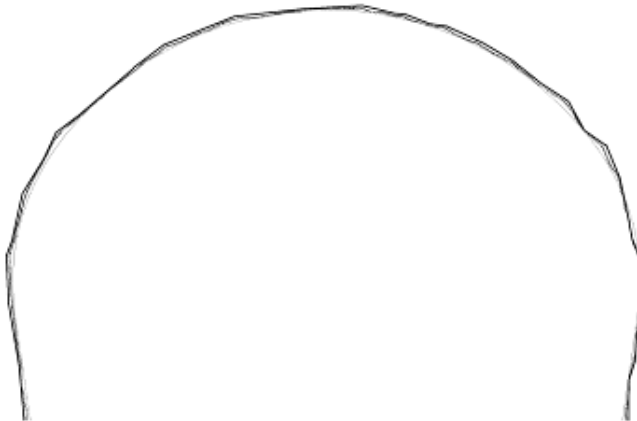
Βέβαια, αυτό δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχουν περιπτώσεις όπου για διάφορους λόγους (απροσεξία του χειριστή, αδυναμία να αντιληφθεί τις ποσότητες που εκτοξεύονται, μικρή εκσκαφή) ακόμη και το Gunite να εισχωρήσει στην θεωρητική γραμμή εφαρμογής του, προκαλώντας έτσι προβλήματα μεγάλης ή μικρής βαρύτητας.





Σχήμα 3.6: Πραγματική διατομή Gunitite  
Figure 3.6: Actual gunitite cross-section

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



Σχήμα 3.7: Αποτύπωση διατομής Gunitite  
Figure 3.7: Mapping of gunitite cross-section

**Αποτύπωση εξομάλυνσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος και σκυροδέματος τελικής επένδυσης**

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

Τόσο κατά την παραλαβή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος μετά την εξομάλυνση, όσο και κατά την παραλαβή της τελικής επένδυσης, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί αυτόματη

μέθοδος αποτύπωσης της διατομής, λόγω της ομαλής κι ενιαίας καμπύλης επιφάνειας που δημιουργείται.

### 3.3 Υπολογισμοί Εμβαδού - Όγκων

#### 3.3.1 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 την ακρίβεια που απαιτείται υπάρχουν διάφορες μέθοδοι υπολογισμού εμβαδού. Αυτές κατατάσσονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

1. Αναλυτικές μέθοδοι, οι οποίες στηρίζονται σε μαθηματικές πράξεις μεταξύ μεγεθών που μετρήθηκαν άμεσα στο πεδίο, στις οποίες εντάσσεται ο υπολογισμός εμβαδού με διαίρεση σε γεωμετρικά σχήματα και ο υπολογισμός εμβαδού με τη μέθοδο ορθογωνίων συντεταγμένων
2. Ημιγραφικές μέθοδοι, είναι μέθοδοι που εκφράζουν το εμβαδό μιας επιφάνειας σαν συνάρτηση συνδυασμού μεγεθών που μετρήθηκαν άμεσα στο έδαφος και μεγεθών που μετρήθηκαν στο χαρτί σχεδίασης.
3. Γραφικές μέθοδοι, οι οποίες είναι μέθοδοι στηριζόμενες αποκλειστικά σε μαθηματικούς υπολογισμούς μεγεθών μετρημένων στο χαρτί σχεδίασης. Βασικό τους πλεονέκτημα είναι α) ο ταχύτερος υπολογισμός εμβαδού, β) Δυνατότητα υπολογισμού εμβαδού όταν υπάρχει τοπογραφικό διάγραμμα υπό κατάλληλη κλίμακα και, γ) Δυνατότητα μέτρησης εμβαδού όταν οι οριογραμμές είναι μη

γεωμετρικές καμπύλες. Οι πιο διαδεδομένοι τρόποι γραφικού υπολογισμού είναι η μέθοδος των τετραγωνιδίων και η μέθοδος των λωρίδων.

4. Μηχανική μέθοδος, η οποία αποτελεί μία μέθοδο παρόμοιας ακρίβειας με αυτή των γραφικών και στηρίζεται στη χρήση εμβαδομέτρου για την μέτρηση του εμβαδού πάνω στο χαρτί σχεδίασης.
5. Υπολογιστικές μέθοδοι. Με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και κατάλληλων σχεδιαστικών λογισμικών (π.χ. AutoCAD)

#### 3.3.2 Όγκοι

##### Γενικά

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

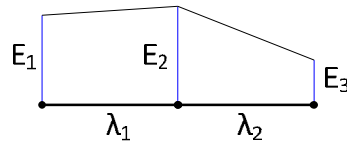
Στην προκειμένη περίπτωση, δηλαδή στην εκσκαφή της σήραγγας η οποία αποτελεί υπόγειο έργο, ο υπολογισμός όγκου αφορά στην επιμέτρηση του όγκου των υλικών που εξορύσσονται κατά την φάση διάνοιξης της σήραγγας αλλά κυρίως:

- 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 την φάση σκυροδέτησης της τελικής επένδυσης της σήραγγας

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

**Μέθοδοι υπολογισμού όγκων**

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



Σχήμα 3.8: Διάγραμμα χωματισμών

Figure 3.8: Embankment diagram

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

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

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

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

## 4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

### 4.1 Εισαγωγικά

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

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

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

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1970 κατασκευάζονται ηλεκτρονικοί θεοδολίχοι, όπου η μέτρηση των οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών γίνεται με ηλεκτρονικό τρόπο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η Γεωδαισία και η Τοπογραφία είναι επιστήμες που ωφελήθηκαν και ωφελούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη της Ηλεκτρονικής κατά τα τελευταία πενήντα χρόνια. Είναι επίσης από τις πρώτες επιστήμες που χρησιμοποίησαν τις δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τόσο για τη γρήγορη εκτέλεση υπολογισμών, όσο και για την πλήρως αυτοματοποιημένη παραγωγή σχεδίων και χαρτών με τη βοήθεια κατάλληλων προγραμμάτων (CAD) και περιφερειακών συσκευών. Η αυτοματοποίηση των εργασιών πεδίου και γραφείου οδήγησε στην κατασκευή καταγραφικών συσκευών υπαίθρου, συσκευών στις οποίες αποθηκεύονται οι μετρήσεις και στη συνέχεια μεταφέρονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία. Οι αποτυπώσεις αρχίζουν να γίνονται με έναν συνδυασμό κλασικού (μηχανικού) ή

ηλεκτρονικού θεοδολίχου και ενός ηλεκτρονικού οργάνου μέτρησης αποστάσεων με καταγραφικό (ηλεκτρονικό ταχύμετρο). Η ταχύτητα μετρήσεων και υπολογισμών είναι πλέον πολύ μεγάλη.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 όλες οι μετρήσεις γωνιών και μηκών γίνονται από ένα και μόνο ολοκληρωμένο ηλεκτρονικό όργανο που ονομάστηκε Γεωδαιτικός Σταθμός. Το όργανο αυτό είναι το τελευταίο στη σειρά οργάνων μέτρησης για τοπογραφικούς σκοπούς. Τα εργοστάσια κατασκευάζουν σήμερα σχεδόν αποκλειστικά ηλεκτρονικά όργανα και κυρίως γεωδαιτικούς σταθμούς. Οι γεωδαιτικοί σταθμοί εξελίσσονται συνεχώς μέχρι σήμερα με προσθήκες και καινοτομίες, όπως μικροεπεξεργαστές και λειτουργικό σύστημα παρόμοιο και συμβατό με αυτά των ηλεκτρονικών υπολογιστών, προγράμματα για εκτέλεση υπολογισμών στο πεδίο, αυτόματη κίνηση του οργάνου με σερβοκινητήρες, αυτόματη αναζήτηση στόχου για μέτρηση, ενσωματωμένη αποθήκευση χιλιάδων σημείων μέτρησης κ.ά.

## 4.2 Γεωδαιτικά όργανα

### 4.2.1 Γεωδαιτικός σταθμός (Total Station)

#### Γενικά

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

Οι γωνίες και οι αποστάσεις μετρώνται από τον γεωδαιτικό σταθμό προς οποιοδήποτε υπό παρατήρηση σημείο και, υπολογίζονται οι συντεταγμένες αυτού (ορθογώνιες και υψόμετρο) ως προς τον σταθμό με την χρήση τριγωνομετρίας. Τα δεδομένα μπορούν να

μεταφερθούν σε υπολογιστή και με κατάλληλα λογισμικά να υποστούν επεξεργασία και να παραχθεί το τελικό αποτέλεσμα (π.χ. ο χάρτης μίας περιοχής).

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

Οι μετρήσεις αποστάσεων πραγματοποιούνται με διαμορφωμένο μικροκύμα ή με υπέρυθρο μεταφορικό σήμα το οποίο ανακλάται από πρίσμα ή άλλο αντικείμενο. Κατόπιν, η διαμορφωμένη διάταξη του επιστρεφόμενου σήματος λαμβάνεται και ερμηνεύεται από το όργανο. Ένα τυπικό όργανο μετρά αποστάσεις με ακρίβεια  $1.5\text{mm} + 2\text{ppm}$  σε απόσταση έως 1500 μέτρων.

Μετρήσεις χωρίς ανακλαστήρα (πρίσμα), είναι δυνατό να διεξαχθούν σχεδόν σε οποιαδήποτε ανοιχτόχρωμη επιφάνεια, εντός ολίγων εκατοντάδων μέτρων.

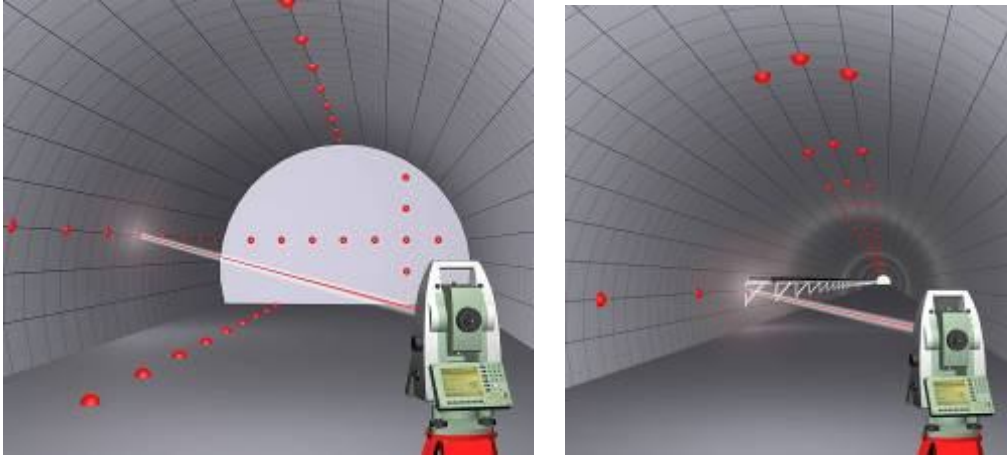
Τέλος, οι αυτόματοι συνολικοί σταθμοί επιτρέπουν στο χειριστή να ελέγχει το όργανο μέσω τηλεχειρισμού. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για επιπλέον προσωπικό, δεδομένου ότι ο χειριστής κρατά τον ανακλαστήρα και ελέγχει τον γεωδαιτικό σταθμό εξ αποστάσεως.

### **Πεδίο εφαρμογών**

Όσο αυξάνεται η κατασκευαστική πολυπλοκότητα, τόσο αυξάνονται και οι ανάγκες για ακόμη πιο εξειδικευμένο εξοπλισμό. Οι γεωδαιτικοί σταθμοί και ειδικότερα οι νέας γενιάς, παρέχουν πληθώρα λειτουργιών μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η σωστή, ακριβής και, κυρίως, γρήγορη περάτωση εργασιών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο έγινε μία αναφορά στις εργασίες Τοπογράφου Μηχανικού. Στη συνέχεια, περιγράφονται συνοπτικά μερικές εφαρμογές, οι οποίες καθόρισαν σε μεγάλο βαθμό την εξέλιξη των γεωδαιτικών σταθμών.

1. Αυτόματη διάταξη μονών ή πολλαπλών σημείων, σε σχέση με τον άξονα ή με την τυπική διατομή σχεδιασμού της σήραγγας (σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1: Σχεδιάγραμμα αυτόματης χάραξης σημείων

Figure 4.1: Multiple point automatic setting-out

Με αυτόν τον τρόπο είναι εύκολη η οριοθέτηση για παράδειγμα, πεζοδρομίων, αγωγών καλωδίων, αποχετεύσεων ή ακόμη και του αγωγού εξαερισμού (σχήμα 4.2).

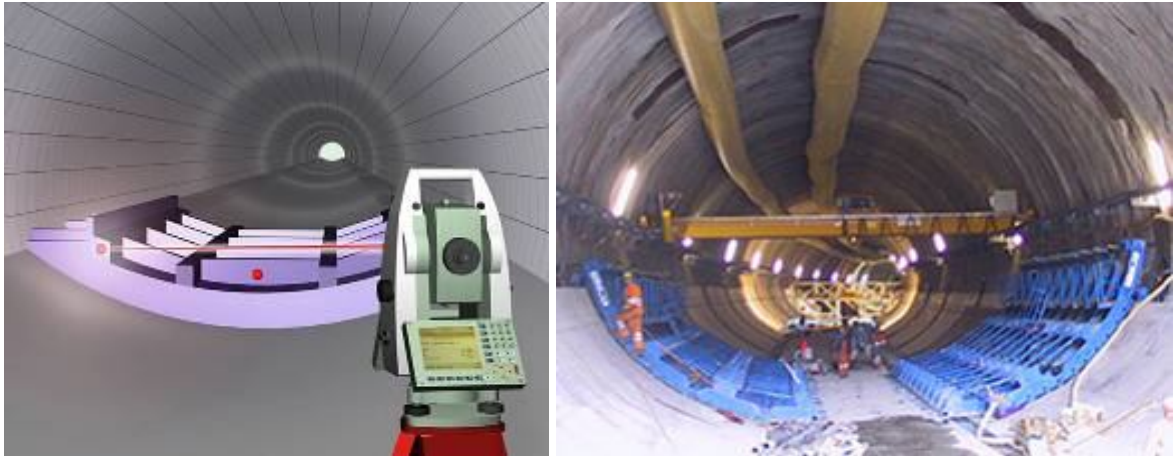


Σχήμα 4.2: Αριστερά: Οριοθέτηση πεζοδρομίων Δεξιά: Τοποθέτηση αγωγών αερίου

Figure 4.2: Left: Pavement marking Right: Implementation of gas pipes

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

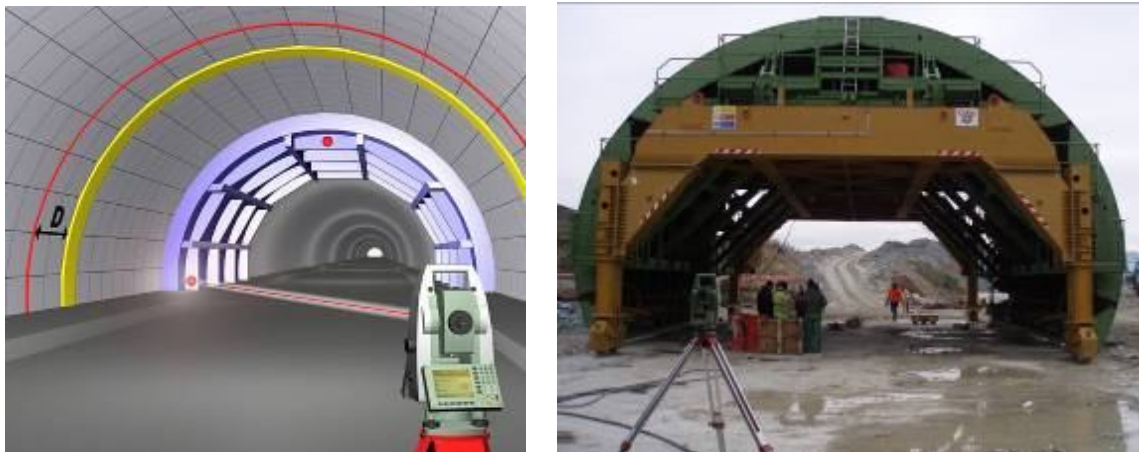




Σχήμα 4.3: Αριστερά: Σχεδιάγραμμα τοποθέτησης μεταλλότυπου ανεστραμμένου τόξου Δεξιά:  
Μεταλλότυπος ανεστραμμένου τόξου

Figure 4.3: Left: Base formwork installation Right: Base formwork

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



Σχήμα 4.4: Τοποθέτηση μεταλλότυπου θόλου

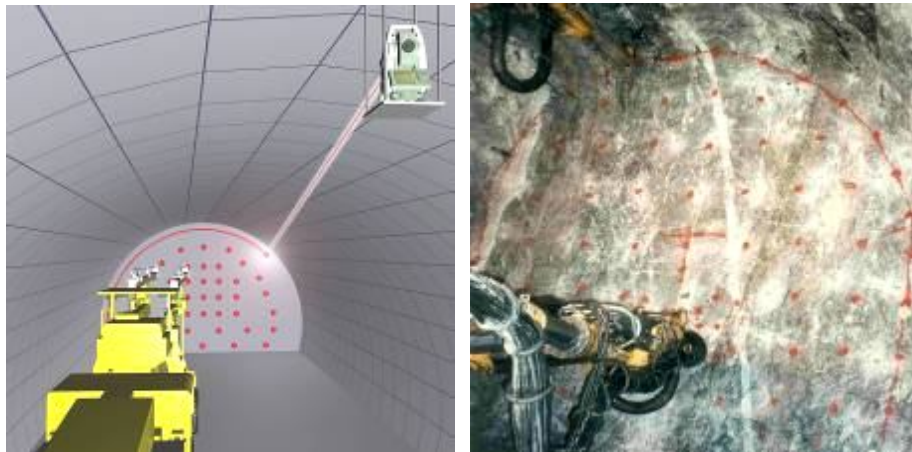
Figure 4.4: Metal formwork installment



Σχήμα 4.5: Τοποθέτηση αποστραγγιστικής μεμβράνης

Figure 4.5: Membrane installation

4. Για την καθοδήγηση του διατρητικού στην μέθοδο Drill & Blast, όπου το όργανο είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους:
- α) Με την αυτόματη, χειροκίνητη ή χρονομετρημένη προβολή κανάβου στον καθρέπτη της σήραγγας, ώστε το διατρητικό να τρυπά ακριβώς σύμφωνα με το πρότυπο (σχήμα 4.6).



Σχήμα 4.6: Αυτόματης χάραξη κανάβου διάτρησης

Figure 4.6: Display of drilling grid

β) Την προβολή της καμπύλης εκσκαφής, ώστε το διατρητικό να τρυπά με πιο τυχαία διάταξη στο μέτωπο, αλλά μέσα από τη γραμμή εκσκαφής (σχήμα 4.7).



Σχήμα 4.7: Προβολή καμπύλης εκσκαφής

Figure 4.7: Contour display

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



(α)

(β)

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

Figure 4.8: (a) Setting-out of drilling points (b) boom orientation

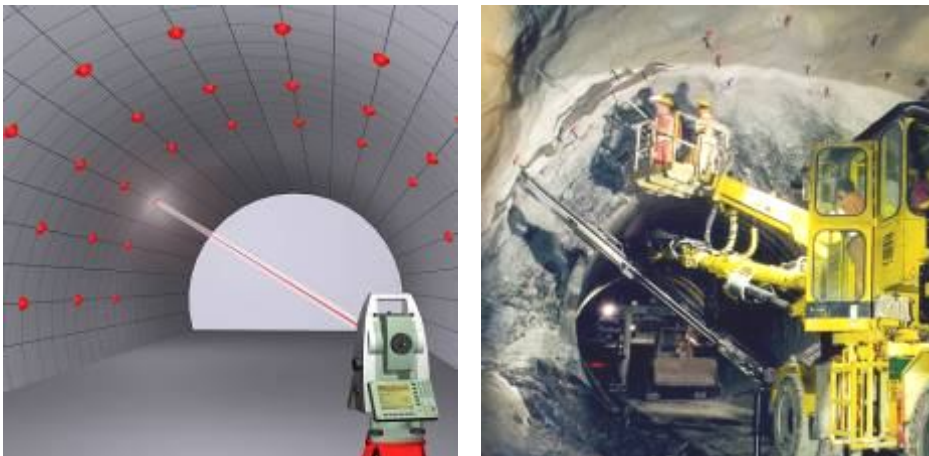
6. Στην χάραξη του άξονα της σήραγγας (σχήμα 4.9). Αυτή η λειτουργία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε σήραγγες κυκλικής διατομής, οι οποίες όμως διανοίγονται με συμβατικές μεθόδους.



Σχήμα 4.9: Χάραξη άξονα σήραγγας

Figure 4.9: Setting-out of tunnel axis

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



Σχήμα 4.10: Χάραξη κανάβου τοποθέτησης μέτρων υποστήριξης

Figure 4.10: Setting-out of support measures pattern

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



Σχήμα 4.11: Αριστερά: Σχεδιάγραμμα χάραξης καμπύλης εκσκαφής Δεξιά: Διάτρηση εγκάρσιου διαδρόμου  
Figure 4.11: Left: Setting-out of cross passage Right: Drilling of cross passage

#### 4.2.1.a Ο γεωδαιτικός σταθμός TCRM 1101 plus

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τις τοπογραφικές εργασίες και για την αποτύπωση των διατομών είναι ο γεωδαιτικός σταθμός της εταιρείας LEICA GEOSYSTEMS AG, σειρά TPS 1100, τύπος TCRM 1101 Plus (σχήμα 4.12).

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

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

Το όργανο διαθέτει υποδοχή κάρτας μνήμης αλλά, λόγω της παλαιότητας του (εν συγκρίσει με την αλματώδη πρόοδο της τεχνολογίας) υποστηρίζει μνήμη μέχρι 32Mb. Επίσης, το όργανο περιέχει λογισμικό Οδοποιίας με το οποίο καθίσταται δυνατή η χάραξη σημείων, είτε αυτά ανήκουν στον άξονα είτε σε οριογραμμή και κυρίως, ο υψομετρικός

καθορισμός τους, αφού το λογισμικό επιδέχεται την εισαγωγή μηκοτομικών, οριζοντιογραφικών και στοιχείων επικλίσεων. Η πιο σημαντική λειτουργία που παρέχει όμως είναι η δυνατότητα μέτρησης χωρίς πρίσμα, αφού έτσι είναι δυνατή η αποτύπωση δυσπρόσιτων σημείων.



Σχήμα 4.12: Ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM 1101 Plus

Figure 4.12: The Leica TCRM 1101 Plus Total Station

Στη συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας 4.1, με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου.

Πίνακας 4.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά γεωδαιτικού σταθμού TCRM 1101

Table 4.1: Total Station TCRM 1101 technical characteristics

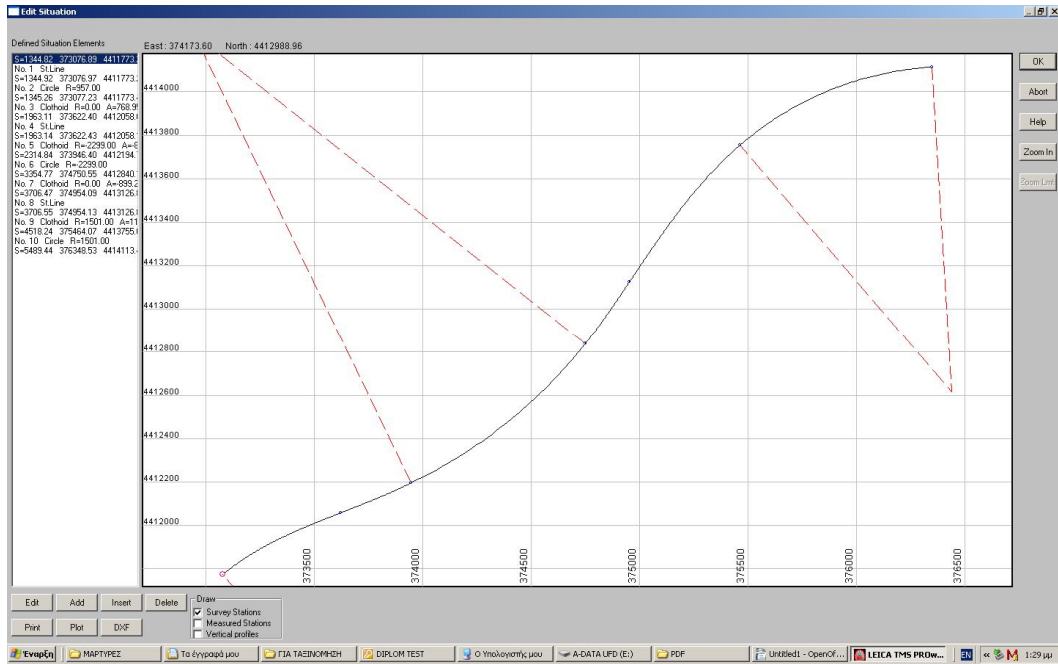
Αποστάσεις με πρίσμα	Τυπική μέτρηση	2 mm + 2 ppm 1 sec.
	Γρήγορη μέτρηση	5 mm + 2 ppm 0.5 sec.
	Λειτουργία TRK	5 mm + 2 ppm 0.3 sec.

	Λειτουργία fast mode tracking	10 mm + 2 ppm <0.15 sec
	Απόδοση	1 mm
Αποστάσεις χωρίς πρίσμα	Εμβέλεια χωρίς πρίσμα	170 m
	Τυπική μέτρηση	3 mm + 2 ppm 3 - 6 sec
	Λειτουργία TRK	10 mm + 2 ppm 3 - 6 sec.
	Μέγεθος κουκίδας laser	10mm x 20 mm/50m
Γωνίες	Ακρίβεια	1.5 "
	Απόδοση	1"

#### 4.2.1.β Το λογισμικό TMS (Tunnel Measuring System)

##### Βασικές λειτουργίες

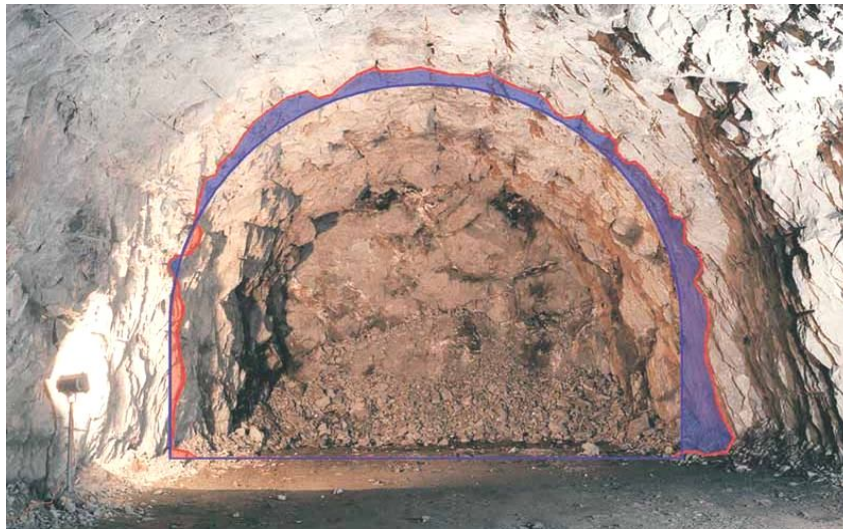
Το λογισμικό TMS PROwin της Leica Geosystems είναι ένα πολυχρηστικό εργαλείο για τον Τοπογράφο Μηχανικό, το οποίο αναπτύχθηκε με γνώμονα την εύκολη και γρήγορη περάτωση πληθώρας εργασιών εντός της σήραγγας. Το λογισμικό παρέχει την δυνατότητα εισαγωγής μηκοτομικών και οριζοντιογραφικών στοιχείων, καθώς και θεωρητικών διατομών (σχήμα 4.13). Η διαδικασία εισαγωγής δεδομένων περιγράφεται στο παράρτημα.



Σχήμα 4.13: Εισαγωγή στοιχείων οριζοντιογραφίας

Figure 4.13: Horizontal alignment elements input

Το βασικότερο προτέρημά του είναι η λήψη διατομών εντός σήραγγας και η δυνατότητα άμεσης εξαγωγής αποτελεσμάτων για την αξιολόγησή τους (σχήμα 4.14).



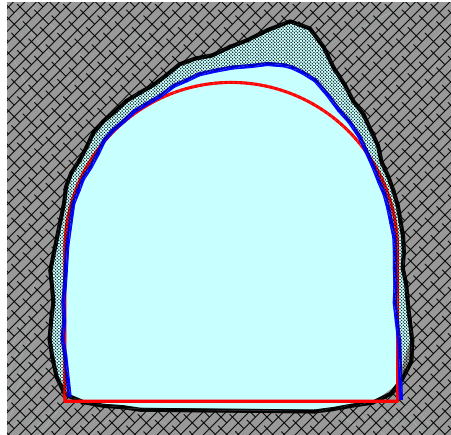
Σχήμα 4.14: Διατομή εκσκαφής σε σύγκριση με την θεωρητική γραμμή

Figure 4.14: Excavation cross-section in comparison with the theoretical excavation line

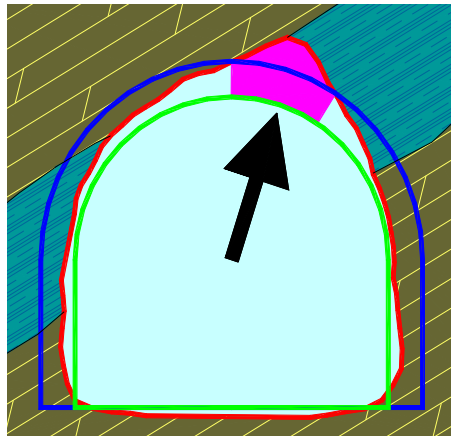
Μερικές από τις λειτουργίες που προσφέρει το λογισμικό TMS PROwin και σχετίζονται άμεσα με τις εργασίες σε σήραγγα είναι οι εξής:



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



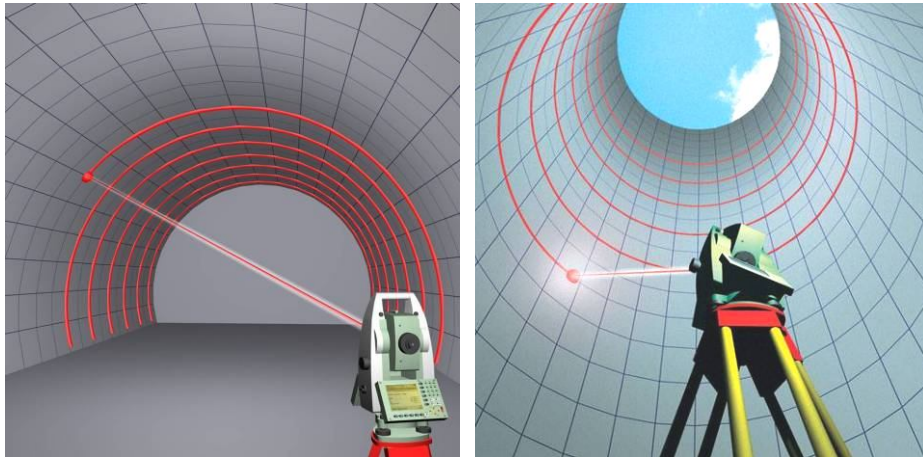
Σχήμα 4.15: Υπολογισμός στρώσης gunite  
Figure 4.15: Gunite thickness computation



Σχήμα 4.16: Υπολογισμός γεωλογικής υπερεκσκαφής  
Figure 4.16: Geological over-break calculation

Με το λογισμικό είναι δυνατή επίσης η αποτύπωση είτε μεμονωμένων σημείων, επιλέγοντας δηλαδή ο χειριστής τα σημεία, είτε πολλαπλών σημείων σε συγκεκριμένες θέσεις, επιλέγοντας την αυτόματη μέθοδο. Η μετρήσεις διεξάγονται χωρίς πρίσμα αλλά με

δεσμίδα laser (σχήμα 4.17α), ενώ είναι δυνατή η αποτύπωση σε διατομή κάθετη στον άξονα της σήραγγας (σχήμα 4.17α) καθώς και πλευρική διατομή, παράλληλη δηλαδή με τον άξονα (σχήμα 4.17β). Η δεύτερη χρησιμοποιείται συνήθως στην αποτύπωση φρεατίων.



(α)

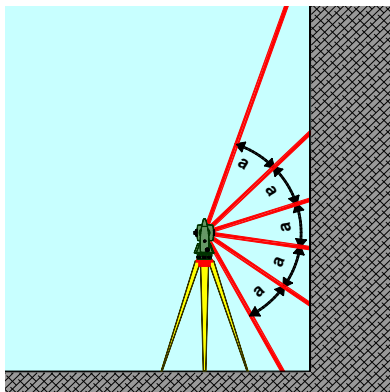
(β)

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

Figure 4.17: a) Cross-section perpendicular to the axis b) Lateral profiling

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

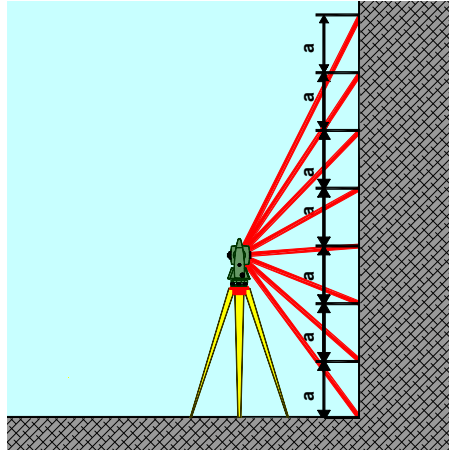
1. Μπορούν να αποτυπωθούν σημεία με βάση την γωνιακή διάταξη (ή αραίωση), δηλαδή το όργανο μπορεί να στρέφεται κατά μία συγκεκριμένη γωνία κάθε φορά ανάμεσα από την αποτύπωση κάθε σημείου (σχήμα 4.18).



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

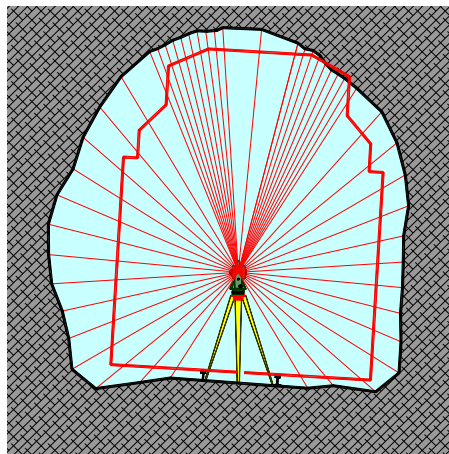
Figure 4.18: a) Cross-section perpendicular to the axis b) Lateral profiling

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



Σχήμα 4.19: α) Διατομή κάθετη στον άξονα β) Πλευρική παραλαβή διατομής  
Figure 4.19: a) Cross-section perpendicular to the axis b) Lateral profiling

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



Σχήμα 4.20: α) Διατομή κάθετη στον άξονα β) Πλευρική παραλαβή διατομής  
Figure 4.20: a) Cross-section perpendicular to the axis b) Lateral profiling

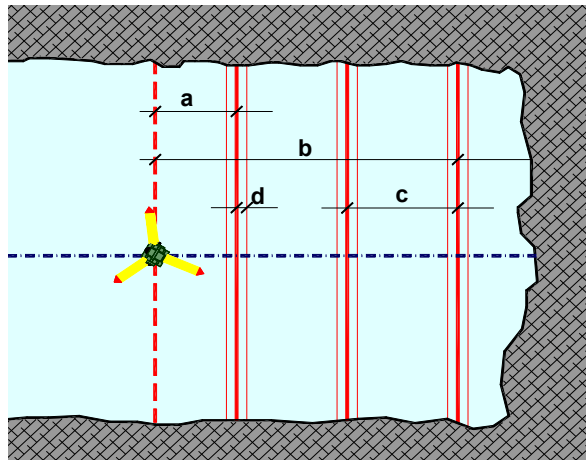
### Παράμετροι αποτύπωσης

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

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

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

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



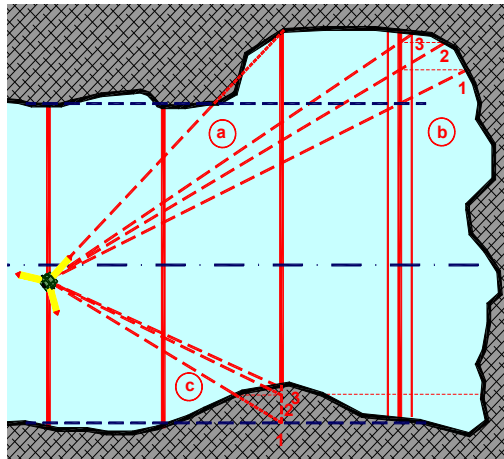
Σχήμα 4.21: Παράμετροι αποτύπωσης

Figure 4.21: Profiling parameters

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

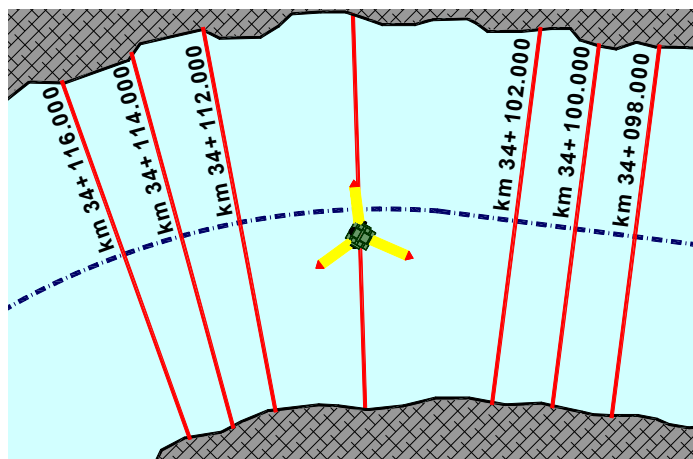
- α) Συστηματικό έλεγχο της ανοχής (tolerance), δηλαδή της απόστασης κάθε σημείου από την θέση της θεωρητικής διατομής
- β) Αυτόματη επανασκόπευση εάν το σημείο υπερβεί το όριο ανοχής

Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται τυχόν λάθη παραποίησης της πραγματικής εικόνας της διατομής. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στο [σχήμα 4.22](#).



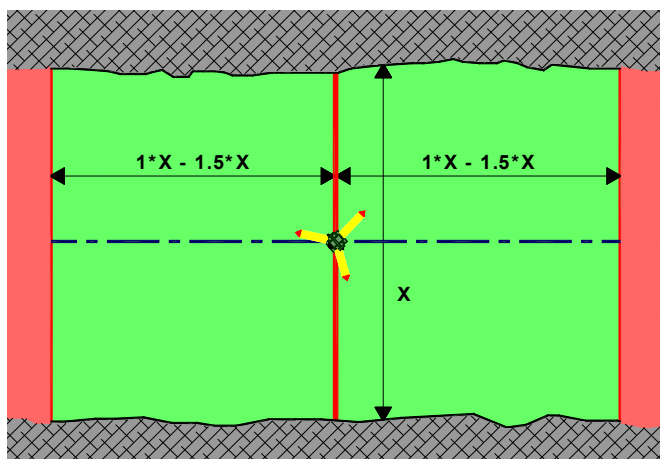
Σχήμα 4.22: Έλεγχος ανοχής κατά την αποτύπωση και επανασκόπευση  
 Figure 4.22: Tolerance check during profiling and re-scanning

Επίσης, όλες οι διατομές αποτυπώνονται κάθετες ως προς τον κεντρικό άξονα και σε συγκεκριμένες χιλιομετρικές θέσεις ([σχήμα 4.23](#)).



Σχήμα 4.23: Αποτύπωση διατομών σε συγκεκριμένες χιλιομετρικές θέσεις  
 Figure 4.23: Measurement of profiles at selected exact stationing

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



Σχήμα 4.24: Βέλτιστο εύρος αποτύπωσης

Figure 4.24.: Optimal scanning range

### Επεξεργασία στοιχείων

Κλείνοντας, η εισαγωγή κι εξαγωγή στοιχείων από και προς το λογισμικό γίνεται είτε με απευθείας σύνδεση του οργάνου με τον υπολογιστή μέσω σειριακής θύρας, είτε μέσω της κάρτας μνήμης του οργάνου, η οποία εισέρχεται σε ειδική θύρα στον υπολογιστή.

Τα στοιχεία είναι δυνατό να εισαχθούν από αρχεία gsi, ASCII και dxf και μπορούν αν εξαχθούν σε αρχεία ASCII και dxf. Και πάλι, όσον αφορά στην επεξεργασία, αυτή διεξάγεται με πολύ κατανοητό και ευέλικτο τρόπο. Τα αποτελέσματα που είναι δυνατό να εξαχθούν είναι εμβαδά, όγκοι, γεωλογικές εκσκαφές κ.α.

#### 4.2.2 Σαρωτής Laser (Laser scanner)

##### Γενικά

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές laser είναι ένα νέο και αρκετά υποσχόμενο είδος οργάνων. Μπορούν να προσδιορίζουν τις θέσεις σημείων σε τρεις διαστάσεις ως προς ένα τοπικό σύστημα αναφοράς, μετρώντας την απόσταση, την κατακόρυφη και την οριζόντια γωνία προς αυτά. Η λειτουργία τους είναι παρόμοια με αυτή ενός γεωδαιτικού σταθμού, με τη διαφορά ότι απουσιάζει η οπτική διάταξη σκόπευσης αφού η σάρωση διεξάγεται πλήρως αυτοματοποιημένα.

Το πλήθος των σημείων που λαμβάνονται σε μία σάρωση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κυρίως όμως από το γωνιακό βήμα με το οποίο οι κινητήρες του οργάνου περιστρέφουν την μετρητική κεφαλή κατά τον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονα, από την ανάλυση του δίσκου κάθε άξονα, καθώς και από το γωνιακό εύρος στο οποίο είναι ικανή να κινηθεί η κεφαλή επί οριζοντίου και καθέτου άξονα. Ο αριθμός των σημείων που μπορεί να μετρήσει ένας σύγχρονος σαρωτής, ξεκινά από μερικές εκατοντάδες χιλιάδες και φτάνει έως μερικά εκατομμύρια σημεία ανά στάση σάρωσης.

Εξαιτίας του μεγάλου όγκου δεδομένων που συλλέγει ο σαρωτής, προκειμένου να γίνει επεξεργασία αυτών, απαιτούνται ιδιαίτερα αυξημένες υπολογιστικές δυνατότητες. Για το λόγο αυτό μόλις τα τελευταία χρόνια έγινε δυνατή η κατασκευή τέτοιων οργάνων, σε συνδυασμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας H/Y.

Οι κυριότερες εφαρμογές της τεχνολογίας τρισδιάστατης σάρωσης laser σχετίζονται κυρίως με αποτυπώσεις τεχνικών έργων όπως σήραγγες και γέφυρες, μηχανολογικών εγκαταστάσεων, αρχιτεκτονικών μνημείων, εσωτερικών χώρων, ενώ τελευταία έχει εφαρμοστεί επιτυχώς και σε χώρους εγκλημάτων.

##### Ο σαρωτής ScanStation 2

Το όργανο διαθέτει κινούμενη κεφαλή με δυνατότητα περιστροφής 360° γύρω από τον οριζόντιο άξονα και 270° γύρω από τον κατακόρυφο άξονα (σχήμα 4.25).



Σχήμα 4.25: Γωνιακό εύρος σάρωσης του ScanStation 2

Figure 4.25: ScanStation 2 angular amplitude

Έχει επίσης την δυνατότητα μέγιστης πυκνότητας σάρωσης ενός χιλιοστού (1mm). Η μέγιστη εμβέλεια σάρωσης είναι 300 μέτρα και παρέχεται η επιλογή πολλαπλών τύπων σάρωσης και πυκνότητας σάρωσης σημείων. Ο ρυθμός σάρωσης ανέρχεται στα 50000 σημεία/ δευτερόλεπτο. Στο [σχήμα 4.26](#) εικονίζεται η διάταξη του οργάνου.



Σχήμα 4.26: Ο σαρωτής laser ScanStation 2 της Leica Geosystems AG

Figure 4.26: The ScanStation 2 laser scanner by Leica Geosystems AG



## **5. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ**

### **5.1 Βασικά χαρακτηριστικά του έργου**

#### **5.1.1 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 Μαλλιακός-Κλειδί» και βρίσκεται στο «Υποτμήμα πέρας κόμβου Τεμπών - Αρχή κόμβου Ραψάνης».

#### **5.1.2 Γεωγραφική θέση-Διοικητική υπαγωγή**

Η νέα χάραξη καθ' όλο το μήκος της διασχίζει τους νομούς Λαρίσης και Πιερίας, οπότε ένα μέρος της υπάγεται στον νομό Λαρίσης κι ένα μέρος της στον νομό Πιερίας αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, η νέα χάραξη του τμήματος Τεμπών βρίσκεται στον 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 5.1](#).

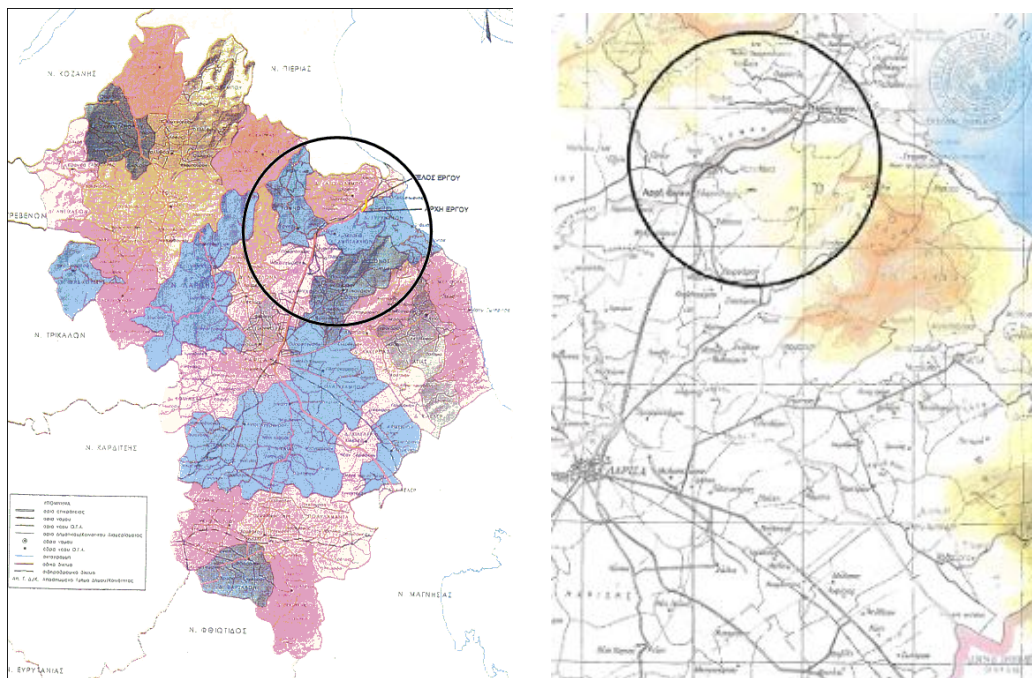
#### **5.1.3 Σκοπιμότητα του έργου**

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 σύνδεση 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 την 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 την 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 Νότιο 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. Ας μην ξεχνάμε άλλωστε τα τραγικά συμβάντα του 1999 και 2003, με τους οπαδούς του ΠΑΟΚ και των 21 μαθητών.



Σχήμα 5.1: Χάρτης προσανατολισμού-Νομός Λαρίσης

Figure 5.1: Orientation map-Name of Larissa

## 5.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά της σήραγγας

### 5.2.1 Γενικά

Πρόκειται για έργο οδοποιίας που εντάσσεται στα έργα και τις δραστηριότητες της Ομάδας I 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 χλμ/ώρα.

Η σήραγγα T1 είναι διπλής κατευθύνσεως, συνίσταται από δύο κλάδους έναν ανά κατεύθυνση, συνολικού μήκους 1900 μέτρων έκαστος. Ανά 300 μέτρα 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 την 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, η οποία έχει περιγραφεί στο πρώτο κεφάλαιο (βλ. παρ. 1.3.4) και, συνοπτικά είναι η εξής:

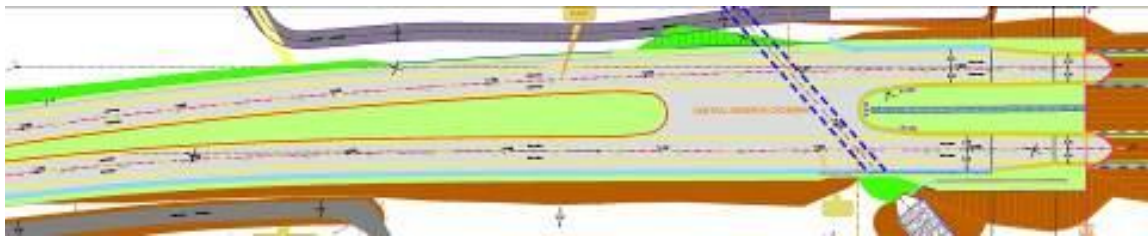
- Διάτρηση
- Γόμωση-πυροδότηση
- Φόρτωση-μεταφορά προϊόντων εκσκαφής
- Έλεγχος πετρώματος-ξεσκάρωμα
- Ενσωμάτωση πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος (το πάχος διαμορφώνεται ανά κατηγορία βραχώμαζας, σύμφωνα με την οριστική μελέτη)
- Γεωλογική χαρτογράφηση
- Διάτρηση-τοποθέτηση αγκυρίων
- Τοποθέτηση-τοπογραφικός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

### 5.2.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά αξόνων

Όπως προαναφέρθηκε, η σήραγγα T1 αποτελείται από δύο κλάδους, έναν ανά κατεύθυνση, οι οποίοι απέχουν μεταξύ τους αξονική απόσταση περίπου 25 μέτρων. 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 στην χιλιομετρική θέση 1+916,40, ενώ η είσοδος της σήραγγας του αριστερού κλάδου στην 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 μέτρων μεταξύ των δύο κλάδων. Άλλωστε, η αξονική απόσταση μεταξύ δύο κλάδων στην ανοικτή οδοποιία είναι περίπου 12 μέτρα (σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.2: Πορεία παραλλαγής από την ανοικτή οδοποιία στην σήραγγα T1

Figure 5.2: Diversion course from open motorway into the tunnel T1

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

### Οριζοντιογραφικά στοιχεία

Από την Χ.Θ. 1+940,05 (είσοδος) μέχρι και την 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. 2314.92 αποτελεί μέρος κλωθοειδούς μήκους 351.87m με παραμέτρους  $A=899.61$ , εκτροπή ( $\epsilon$  ή  $D_r$ )=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.

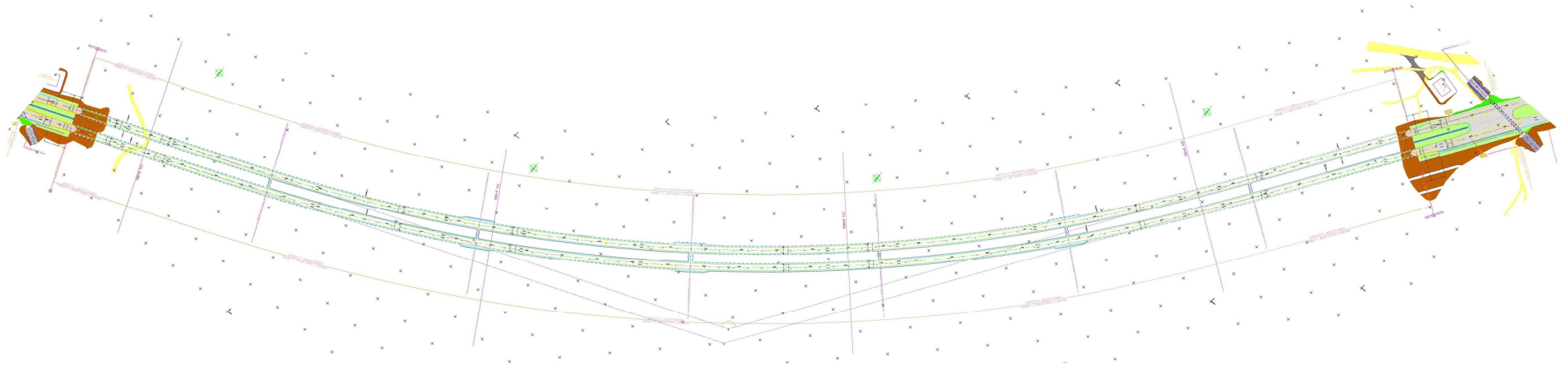
Το τόξο συναρμογής είναι της μορφής κλωθοειδής καμπύλη-κυκλικό τόξο-κλωθοειδής καμπύλη και, το συνολικό μήκος του είναι  $L=1744.11m$ .

Ο άξονας του **δεξιού κλάδου** ακολουθεί την λογική του αριστερού. Αρχικά, δηλαδή, από την είσοδο της σήραγγας στην Χ.Θ. 1+916.40 έως την 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 την Χ.Θ. 1+971.55 έως την Χ.Θ. 2+319.28 και, από την Χ.Θ. 3+344.36 έως 3+692.09, ο άξονας κινείται εντός κλωθοειδών με γεωμετρικά στοιχεία: παράμετρο  $A=899.16$ , εκτροπή ( $\epsilon$  ή  $D_r$ )=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 την Χ.Θ. 3+692.09 έως την έξοδο της σήραγγας στην 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 5.3](#), φαίνεται η οριζοντιογραφία της σήραγγας T1 σε κάρναβο, ενώ στο [σχήμα 5.4](#), φαίνεται η οριζοντιογραφία της σήραγγας προσανατολισμένη σε αεροφωτογραφία της περιοχής των Γεμπών.



Σχήμα 5.3: Οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών

Figure 5.3: Tempi tunnel T1 plan view

Ακολουθεί ο πίνακας 5.1, στον οποίο παρουσιάζονται τα οριζοντιογραφικά στοιχεία των δύο κλάδων της σήραγγας T1.

Πίνακας 5.1: Συνοπτικός πίνακας οριζοντίων γεωμετρικών στοιχείων σήραγγας T1

Table 5.1: All-inclusive table of tunnel T1 horizontal geometric characteristics

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



Σχήμα 5.4: Οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών

Figure 5.4: Tempì tunnel T1 plan view

### Μηκοτομικά στοιχεία

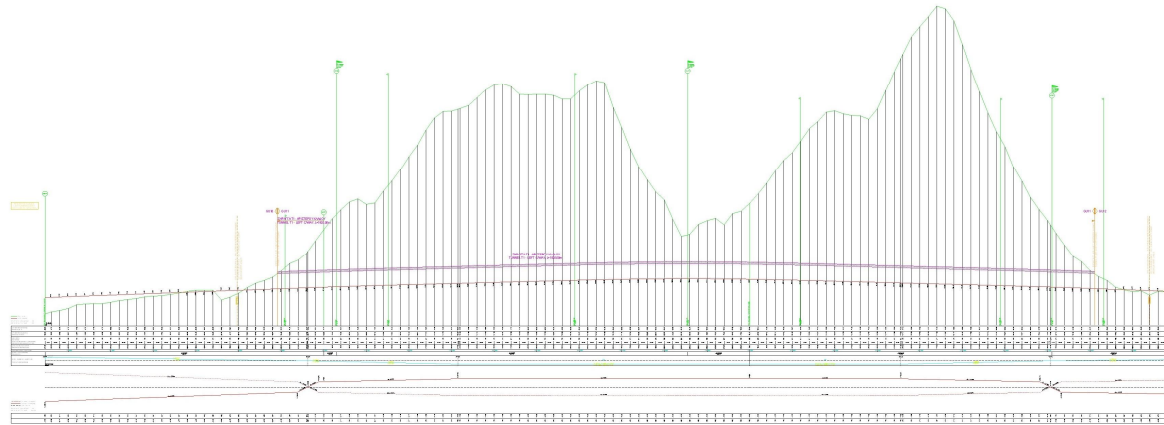
Όσον αφορά στον αριστερό κλάδο, από την είσοδο της η σήραγγα κινείται σε κατακόρυφο τόξο συναρμογής, με ακτίνα  $R=110000\text{m}$ ,  $t=121.00\text{m}$  και  $f=0.07\text{m}$  μέχρι την Χ.Θ. 2+151. Στη συνέχεια, βρίσκεται σε ευθυγραμμία με ανωφέρεια 0,53% για μήκος  $L=438.74\text{m}$ , μέχρι την Χ.Θ. 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 την Χ.Θ. 3+119.74. Εξερχόμενος απ' το κυκλικό τόξο και μέχρι την 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 την Χ.Θ. της εισόδου, ο άξονας ακολουθεί ανηφορική ευθεία με κλίση  $j=0.75\%$  μέχρι και την Χ.Θ. 2+565.35, απ' όπου στη συνέχεια κινείται επί κατακόρυφου τόξου με ακτίνα  $R=40000$ ,  $T=300.00$  και  $f=1.12$ ,

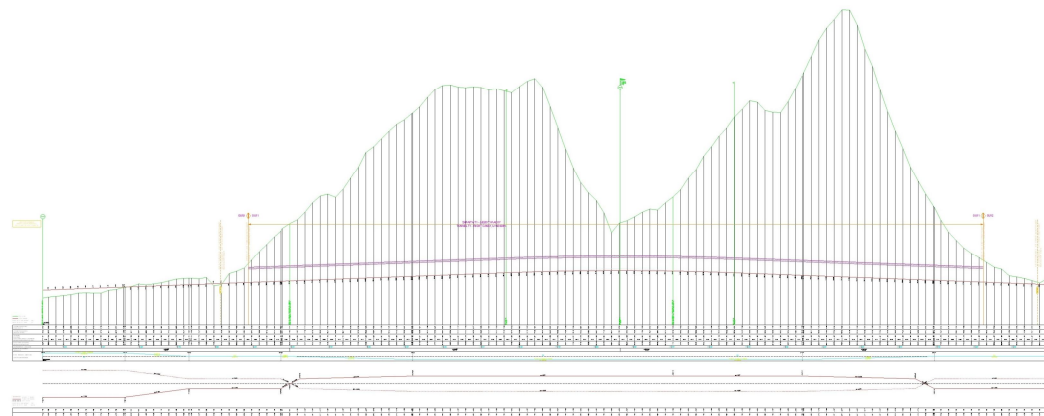


έως την Χ.Θ. 3+165.35. Τέλος, μέχρι την έξοδο της σήραγγας στην Χ.Θ. 3+821.14, ο άξονας κινείται σε ευθύγραμμη κατωφέρεια με κλίση  $j=-0.75\%$ .

Στα [σχήματα 5.5](#) και [5.6](#) παρουσιάζονται οι μηκοτομές του αριστερού και του δεξιού κλάδου αντιστοίχως.



Σχήμα 5.5: Μηκοτομή αριστερού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπών  
Figure 5.5: Longitudinal profile of the T1 tunnel left carriageway



Σχήμα 5.6: Μηκοτομή δεξιού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπών  
Figure 5.6: Longitudinal profile of the T1 tunnel right carriageway

Στον πίνακα 5.2 που ακολουθεί, παρουσιάζονται συνοπτικά τα μηκοτομικά στοιχεία των δύο κλάδων.

Πίνακας 5.2: Συνοπτικός πίνακας μηκοτομικών στοιχείων σήραγγας T1

Table 5.2: All-inclusive table of tunnel T1 longitudinal characteristics

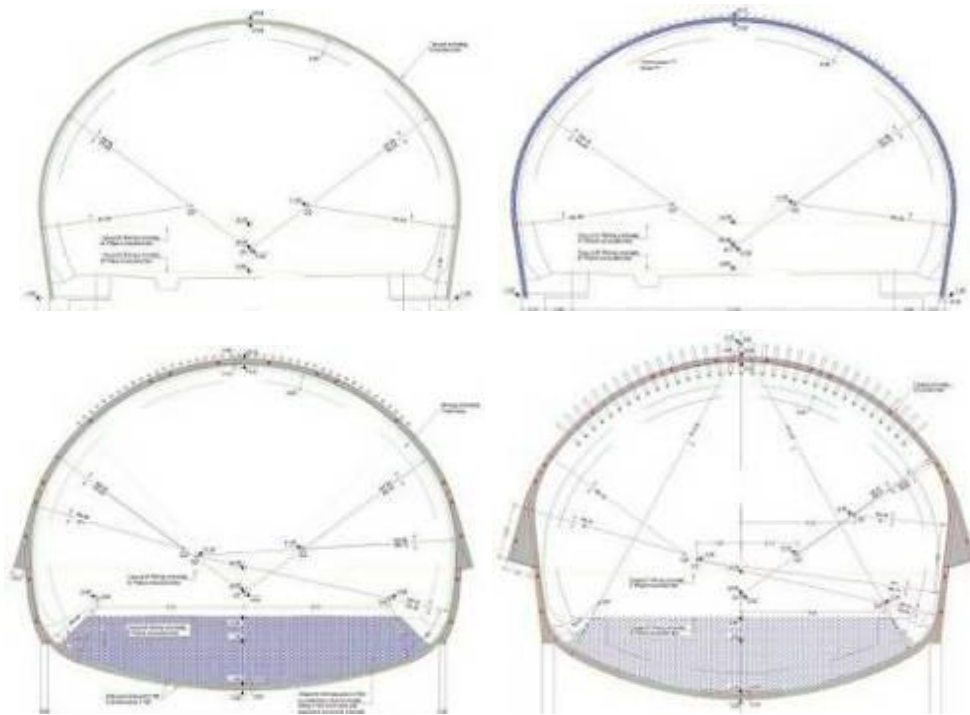
Αριστερός κλάδος		Χ.Θ.				
		1+940.05 έως 2+151.00	2+151.00 έως 2+589.74	2+589.74 έως 3+119.74	3+119.74 έως 3+811.00	3+707.16 έως 3+811.00
ΤΥΠΟΣ	ΕΥΘΕΙΑ	-	j=0.53% L=438.74	-	j=-0.53% L=469.66	
	ΚΥΚΛΙΚΟ	Κυρτό R=110000		Κυρτό R=50000		Κοίλο R=110000
	ΤΟΞΟ	t=121.00 f=0.07	-	t=265.00 f=0.70	-	t=121.00 f=0.07

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	ΕΥΘΕΙΑ	j=0.75% L=438.74	-	j=0.75% L=438.74
	ΚΥΚΛΙΚΟ		Κυρτό R=40000	
	ΤΟΞΟ	-	t=300.00 f=1.12	-

### 5.2.3 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 την διαστασιολόγηση της σήραγγας έχουν ορισθεί λεπτομερώς τα στοιχεία εκείνα που καθορίζουν την 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 5.7).

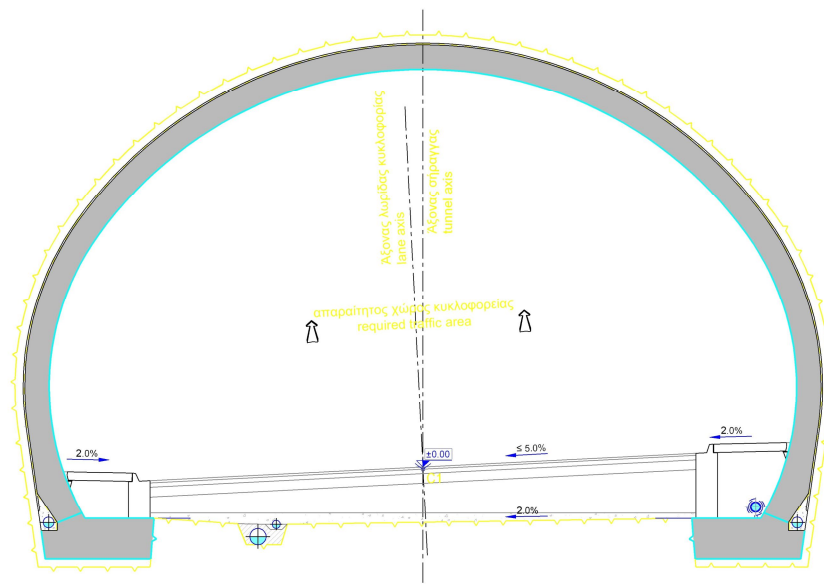


Σχήμα 5.7: Τυπικές διατομές χρησιμοποιούμενες στη σήραγγα T1. Άνω αριστερά: 4A, Άνω δεξιά: 5A  
Κάτω αριστερά: 6A, Κάτω δεξιά: 7A

Figure 5.7: Typical cross sections used at the T1 tunnel. Upper left: Category 4A, Upper right: Category 5A,  
Down left: Category 6A, Down right: Category 7A

Η εκσκαφή στην κατηγορία 7 πραγματοποιείται με μηχανικά μέσα προκειμένου να μην διαταραχθεί 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,6,A και 7A γίνεται εκτεταμένη εφαρμογή μέτρων υποστήριξης (δοκοί προπορείας, ηλώσεις, κατασκευή ανεστραμμένου τόξου) όπως φαίνεται και στα αντίστοιχα σχήματα. Στην κατηγορία 4A δεν απαιτείται η χρήση πολλών μέτρων υποστήριξης, παρά μόνον η εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος και η τοποθέτηση ηλώσεων σε αραιό κάναβο.

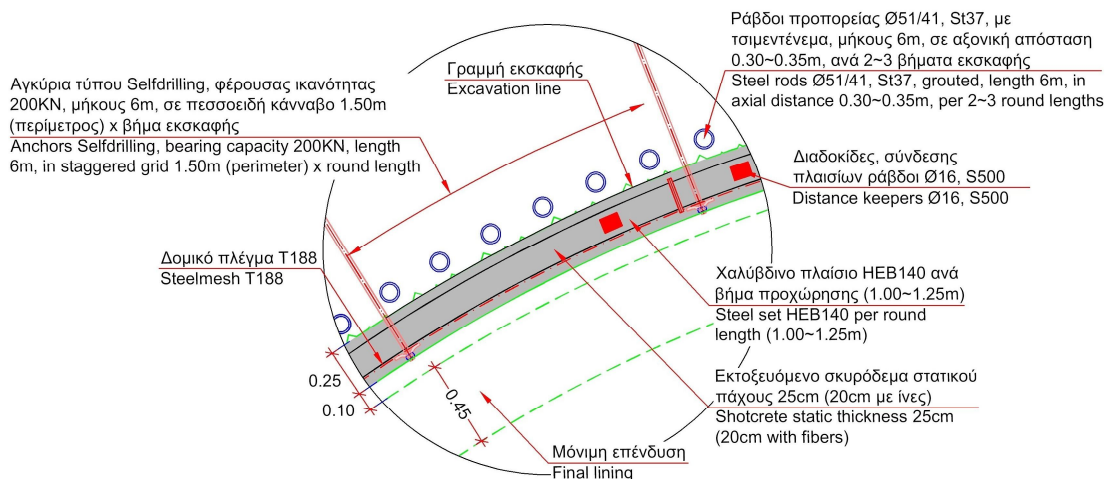
Τέλος, στο παρακάτω [σχήμα 5.8](#), παρουσιάζεται η τυπική διατομή της τελικής επένδυσης η οποία πρόκειται να εφαρμοσθεί στην σήραγγα. Τόσο ο άξονας της σήραγγας όσο και άξονας της οδοποιίας είναι ορατά. Επιλέχθηκε εσκεμμένα τυπική διατομή με το οδόστρωμα σε επίκλιση ώστε να είναι ορατός και άξονας της οδοποιίας, δεδομένου ότι οι δύο δεν συμπίπτουν. Επίσης, διακρίνονται φαίνονται και τα πεζοδρόμια αριστερά και δεξιά του οδοστρώματος.



Σχήμα 5.8: Τυπική διατομή τελικής επένδυσης

Figure. 5.8: Final lining typical cross section

Επιπροσθέτως του σχήματος, στο [σχήμα 5.9](#) παρουσιάζεται λεπτομέρεια διατομής, όπου φαίνονται οι γραμμές εκσκαφής και εκτοξευόμενου σκυροδέματος, το πλαίσιο, η γραμμή σύγκλισης, δηλαδή το περιθώριο που δίνεται από τους μελετητές για να από τυχόν παραμορφώσεις της σήραγγας, καθώς και η γραμμή της τελικής επένδυσης. Η εσωτερική γραμμή της τελικής επένδυσης καλείται εσωράχιο, ενώ η εξωτερική εξωράχιο.



Σχήμα 5.9: Λεπτομέρεια τυπικής διατομής τελικής επένδυσης

Figure 5.9: Detail of final lining typical cross section

## 5.2.4 Γεωλογικές συνθήκες σήραγγας

### 5.2.4.α Εισαγωγή

Παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές γεωλογικές συνθήκες της σήραγγας T1 τόσο από πλευράς τύπων πετρωμάτων όσο και δομής των. Υπογραμμίζεται η ανάγκη γνώσης της γεωλογικής “λογικής” της ευρύτερης κάθε φορά περιοχής για την σωστή διάγνωση θεμελιωδών προβλημάτων που μπορεί να προκύπτουν. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δίδεται στην ανάγκη καθορισμού, κάθε φορά, του ακριβούς τύπου βραχώμαζας που τότε μόνο θα μπορεί να επιτρέψει την σωστή επιλογή των απαραίτητων γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού. Τέλος, υπήρξαν περιπτώσεις σε άλλα μεγάλα έργα, όπου οι γεωλογικές συνθήκες και οι γεωτεχνικές δυσκολίες που προέκυπταν επέβαλαν αλλαγές στη χάραξη, παραλλαγές και ειδικούς σχεδιασμούς των έργων. Πολλές φορές επρόκειτο για έγκαιρη διάγνωση καταστάσεων που απέτρεψε επιλογές, που θα είχαν προβλήματα ίσως πολύ δύσκολα να ξεπεραστούν, στην κατασκευή και λειτουργία της οδού.

#### 5.2.4.β Μορφολογία της περιοχής διέλευσης

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

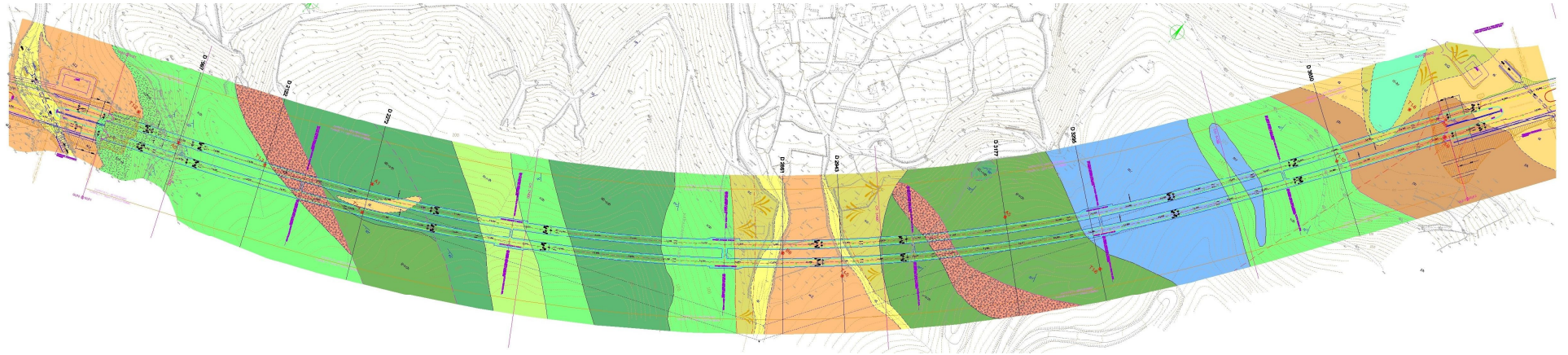
Η γεωμορφολογική εξέλιξη της κοιλάδας των Τεμπών επέδρασε καθοριστικά στην διαμόρφωση του ανάγλυφου και των συνθηκών ευστάθειας της περιοχής. Στο σύνολο της η περιοχή χαρακτηρίζεται από αστάθεια των τεχνητών και φυσικών κλιτύων, η οποία οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην έντονη και γρήγορη μορφολογική εξέλιξη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

#### 5.2.4.γ Γεωλογικές συνθήκες-Στρωματολογία

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

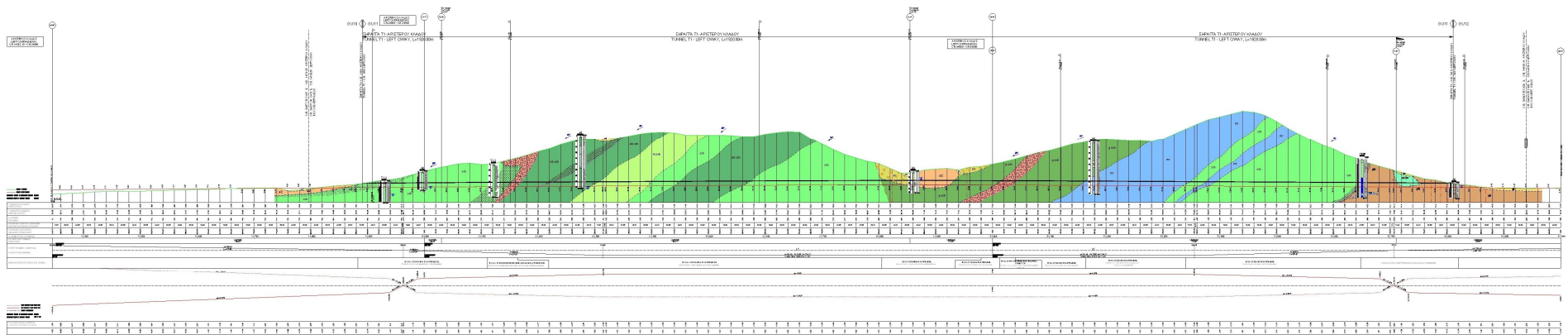
Η ενότητα της Όσσας, η οποία συναντάται και στο μεγαλύτερο τμήμα της κοιλάδας αποτελείται κυρίως από φυλλίτες και από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, ενώ η ενότητα των Αμπελακίων συναντάται στο αρχικό τμήμα της κοιλάδας και σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Αποτελείται κυρίως από σχιστόλιθους, αμφιβολίτες και αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους με ενστρώσεις μαρμάρων. Στην ενότητα αυτή εντοπίζεται επίσης ένα ετερογενές σύμπλεγμα σχιστόλιθων, μαρμάρων και περιδοτιτών, που ευρίσκονται 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 5.10](#), 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 την Χ.Θ. 3+155 του δεξιού κλάδου ([σχήμα 5.11](#)) και 3+160 του αριστερού ([σχήμα 5.12](#)), εισέρχεται στην ενότητα της Όσσας, όπου συναντά διαδοχικά σχηματισμούς κρυσταλλικών μαρμάρων, σχιστόλιθου κι εν τέλει, φυλλίτη.



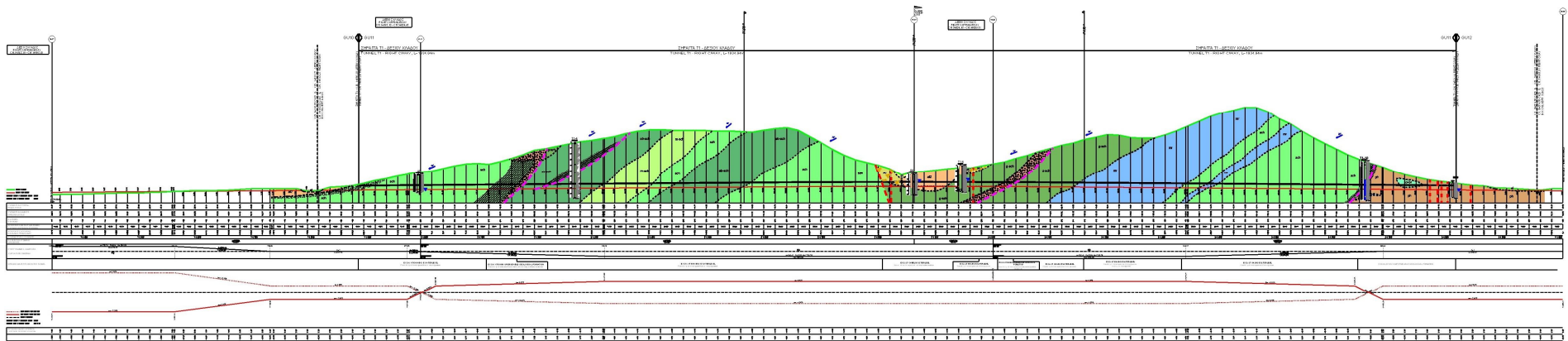
Σχήμα 5.10: Γεωλογική οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών  
Figure 5.10: Tempi Tunnel T1 plan view of geological formation





Σχήμα 5.11: Γεωλογική μηκτομή αριστερού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπών

Figure 5.11: Longitudinal profile of the T1 tunnel left carriageway



Σχήμα 5.12: Γεωλογική μηκτομή δεξιού κλάδου σήραγγας T1 Τεμπών

Figure 5.12: Longitudinal profile of the T1 tunnel right carriageway

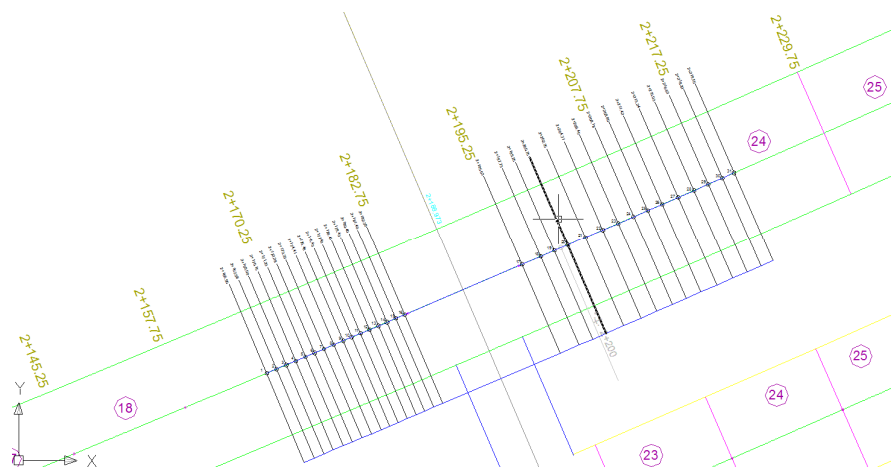
## 6. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

### 6.1 Παράμετροι αποτύπωσης

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε αυτή την εργασία προέρχονται από τον αριστερό κλάδο της σήραγγας T1 των Τεμπών, η οποία όπως αναφέρθηκε κατασκευάζεται στα πλαίσια σύνδεσης της Βορείου και Νοτίου Ελλάδος, παρακάμπτοντας τα επικίνδυνα στενά της κοιλάδας των Τεμπών.

Στην παρούσα εφαρμογή, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία των διατομών, αποφασίστηκε και για τις τρεις μεθόδους αποτύπωσης ώστε τα όργανα να εγκατασταθούν ακριβώς κάτω από τον αεραγωγό εξαερισμού. Με τον τρόπο αυτό, επιτεύχθηκε η μέγιστη περιοχή σάρωσης.

Επίσης, η λήψη διατομή διεξήχθη σε δύο διαφορετικά κομμάτια της σήραγγας και συγκεκριμένα από την Χ.Θ. 2+166.90 μέχρι την Χ.Θ. 2+188.39 (σχήμα 6.1), καθώς και από την Χ.Θ. 2+195.63 έως την Χ.Θ. 2+219.55, με το εξής σκεπτικό:



Σχήμα 6.1: Περιοχή αποτύπωσης διατομών

Figure 6.1: Area of cross-sections mapping

Μεταξύ των δύο αυτών περιοχών απαντώνται διαφορετικοί τύποι πετρωμάτων και κατ' επέκταση, χρησιμοποιούνται διαφορετικές κατηγορίες διατομών. Κατηγορία 5Α στην

πρώτη περιοχή που αναφέρθηκε και κατηγορία 4A στην δεύτερη κατηγορία. Αναφέρεται ότι στην πρώτη περιοχή όπου χρησιμοποιήθηκε η κατηγορία 5A, ο τύπος πετρώματος που συναντήθηκε ήταν Μαρμαρυγιακός αμφιβολιτικός σχιστόλιθος (sch) ενώ στην κατηγορία 4A, ο τύπος πετρώματος ήταν Αμφιβολιτικός σχιστόλιθος με αμφιβολίτες (ab-sch).

Η αποτύπωση επελέγη να διεξαχθεί σε δύο περιοχές για δύο λόγους:

Πρώτον, αυτό επέτρεψε την αποτύπωση περιοχών διαφορετικής γεωμετρίας, ώστε τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν στη συνέχεια να μην είναι μονόπλευρα.

Δεύτερον, ανάμεσα από τις δύο περιοχές μελέτης που επελέγησαν, παρεμβάλλεται εγκάρσιος διάδρομος προσπέλασης. Έτσι, ήταν δυνατή η διεξαγωγή των πειραμάτων χωρίς ιδιαίτερη όχληση από οχήματα, μηχανήματα και προσωπικό που διέρχονταν πλησίον των οργάνων (σχήμα 6.2).



Σχήμα 6.2: Εγκάρσιος διάδρομος προσπέλασης στην περιοχή ενδιαφέροντος

Figure 6.2: Cross passage at the area of interest

### **Μέθοδος αποτύπωσης Total Station**

Όσον αφορά στις παραμέτρους που επελέγησαν για την διεξαγωγή των μετρήσεων με την μέθοδο Total Station, αυτές ήταν οι εξής:

- Η στάση του οργάνου, η οποία όπως αναφέρθηκε αποφασίστηκε να είναι κάτω από τον αεραγωγό
- Η αναγνώριση της συνολικής προς αποτύπωση περιοχής ώστε να επιλεγεί ο απαιτούμενος αριθμός των στάσεων του οργάνου. Η παράμετρος αυτή καθόρισε σε

μεγάλο βαθμό την ακρίβεια αλλά και τον χρόνο που απαιτήθηκε για την ολοκλήρωση του πειράματος.

- Το επόμενο βήμα ήταν η επιλογή του πλήθους των σημείων που θα επρόκειτο να αποτυπωθούν, παράγοντας ο οποίος παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων αλλά και στο χρονικό κόστος της διαδικασίας.
- Τέλος, η τελευταία παράμετρος ήταν η ανοχή απόκλισης κάθε σημείου από την θεωρητική χιλιομετρική θέση του άξονα όπου θα γινόταν η αποτύπωση

### **Μέθοδος αποτύπωσης TMS Profiler**

Οι παράμετροι που εφαρμόστηκαν σε αυτή την μέθοδο δεν διαφέρουν ιδιαίτερα από την προηγούμενη. Έτσι λοιπόν, έχουμε:

- Η στάση του οργάνου αποφασίστηκε να είναι κάτω από τον αεραγωγό
- Ομοίως, το επόμενο βήμα ήταν να επιλεγεί ο απαιτούμενος αριθμός των στάσεων του οργάνου, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια των μετρήσεων
- Έπειτα, η επόμενη επιλογή ήταν το μήκος (interval) βάση του οποίου θα αυξάνεται ή θα μειώνεται η χιλιομετρική θέση κάθε διατομής
- Στη συνέχεια, επελέγη το διάστημα (step) μεταξύ των σημείων τα οποία αποτυπώθηκαν
- Όπως και στην προηγούμενη μέθοδο, επιλέχθηκε η ανοχή (tolerance), δηλαδή η απόσταση του κάθε σημείου από την θεωρητική χιλιομετρική θέση της διατομής

Η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων ουσιαστικά είναι ότι στη μία υπεισέρχεται ο παράγοντας παρατηρητής (μέθοδος Total Station) ενώ στην άλλη όχι, λόγω της αυτοματοποιημένης φύσης της μεθόδου (μέθοδος TMS Profiler). Βέβαια το γεγονός αυτό παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

### **Μέθοδος αποτύπωσης Laser scanner**

Δεδομένης της δυνατότητας λήψης σημείων με μεγάλη πυκνότητα και της εμβέλειας του σαρωτή:

- Αποφασίστηκε η περιοχή να σαρωθεί από δύο στάσεις του οργάνου (σχήμα 6.3).

- Για την διαδικασία σάρωσης επελέγη το εύρος της περιστροφής γύρω από τους δύο άξονες του οργάνου, δηλαδή η περιστροφή επί του οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα.
- Τέλος, η μόνη παράμετρος που έμενε να επιλεγεί ήταν η πυκνότητα λήψης σημείων



Σχήμα 6.3: Στήσιμο σαρωτή laser

Figure 6.3: Stationing of the laser scanner

## 6.2 Συλλογή δεδομένων πεδίου

Ο απώτερος σκοπός της αποτύπωσης των παραπάνω περιοχών είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ κάθε μεθόδου. Προκειμένου αυτό να είναι εφικτό, τα όργανα έπρεπε να είναι προσανατολισμένα και ενταγμένα στο ίδιο πολυγωνομετρικό δίκτυο.

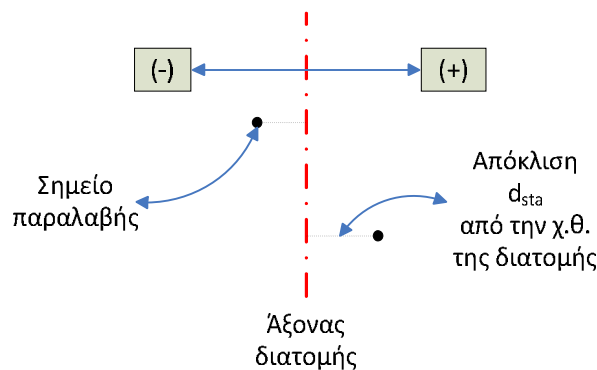
Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά οι διαδικασίες προσανατολισμού των οργάνων, καθώς και οι τιμές των παραμέτρων που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

### Μέθοδος αποτύπωσης Total Station

Προκειμένου να ξεκινήσει αυτή η διαδικασία, όπως και οι υπόλοιπες άλλωστε, πρώτο στάδιο αποτελεί ο προσανατολισμός του οργάνου. Αυτό ήταν εφικτό με την σκόπευση από ελεύθερη στάση, στάσεων με γνωστές συντεταγμένες.

Στη συνέχεια ο προσδιορισμός της θέσης των διατομών έγινε αυτόματα, με την χρήση του λογισμικού οδοποιίας Roadplus που διαθέτει ο γεωδαιτικός σταθμός TCRM 1101.

Το λογισμικό αυτό παρέχει την δυνατότητα εισαγωγής οριζοντιογραφικών και μηκοτομικών στοιχείων, όπως και το TMS, με την διαφορά ότι εμφανίζει στα αποτελέσματα μόνο αποκλίσεις κατά τον οριζόντιο (dX) και κατακόρυφο (dY) άξονα από το σημείο αναφοράς της χιλιομετρικής θέσης. Επίσης ένα ακόμη αποτέλεσμα που εμφανίζει είναι η ένδειξη  $d_{sta}$ , δηλαδή η αρνητική ή θετική απόκλιση από την θεωρητική χιλιομετρική θέση της διατομής (σχήμα 6.4).



Σχήμα 6.4: Απόκλιση σημείου από την θεωρητική θέση της διατομής  
Figure 6.4: Point deviation from cross-section's theoretical chainage

Κατά την αποτύπωση με αυτή την μέθοδο, τα σημεία είχαν απόσταση μεταξύ τους περίπου 1.5m. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την εξαγωγή περίπου 30 σημείων ανά διατομή.

Επίσης, η απόκλιση  $d_{sta}$  από την θέση της διατομής δεν υπερέβαινε τα 40cm.

### **Μέθοδος αποτύπωσης TMS Profiler**

Επειδή αυτή η μέθοδος διεξήχθη με τον ίδιο γεωδαιτικό σταθμό (TCRM 1101) αλλά με την χρήση διαφορετικού λογισμικού, η διαδικασία προσανατολισμού ήταν απολύτως όμοια με της προηγούμενης μεθόδου.

Για την αποτύπωση των διατομών επιλέχθηκε βήμα (interval) περίπου 1-1.5m. Η απόσταση μεταξύ των σημείων ορίστηκε στα 0.50m ενώ η ανοχή (tolerance) επελέγη να είναι 0.10m.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών εξάγονται επίσης με την μορφή σχετικών συντεταγμένων ( $dX$ ,  $dY$ )

### **Μέθοδος αποτύπωσης Laser scanner**

Ο επίγειος σαρωτής ScanStation 2 δεν έχει την δυνατότητα κέντρωσης, οπότε τα σημεία που λαμβάνονται δεν ανήκουν σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς, αλλά σε ένα άλλο, αυτό του σαρωτή. Πιο συγκεκριμένα, τα σημεία αυτά που αποτυπώνονται έχουν πολικές συντεταγμένες ως προς τη θέση του οργάνου. Προκειμένου λοιπόν το νέφος των σημείων να μπορεί να υποστεί επεξεργασία, κρίνεται αναγκαίο να μετασχηματιστούν οι συντεταγμένες αυτές σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς.

Για να επιτευχθεί αυτό εφαρμόζεται μία μέθοδος όμοια με αυτές της πολυγωνομετρίας στις τοπογραφικές αποτυπώσεις. Έτσι λοιπόν, αρχικά τοποθετούνται τουλάχιστον δύο στόχοι (HDS targets) σε σημείο τέτοιο ώστε να μπορούν να αποτυπωθούν από τον σαρωτή. Στη συνέχεια, οι στόχοι αυτοί λαμβάνουν συντεταγμένες με τη βοήθεια ενός γεωδαιτικού σταθμού (σχήμα), και κατόπιν, σαρώνεται από το laser scanner.

Να σημειωθεί εδώ ότι ο στόχος μπορεί να τοποθετηθεί είτε με τρίποδα σε τυχαίο σημείο (σχήμα 6.5α), είτε πάνω σε στάση με γνωστές συντεταγμένες (σχήμα 6.5β).



(α)



(β)

Σχήμα 6.5: Τοποθέτηση στόχου HDS σε τυχαίο σημείο και σε στάση

Figure 6.5: Placement of HDS target a) at random position and b) on a station bracket

Κατά τη διάρκεια της αρχικής επεξεργασίας του νέφους, τα σημεία σκόπευσης των στόχων είναι αρκετά ξεκάθαρα λόγω της υψηλής ανακλάστικότητάς τους. Έτσι λοιπόν, έχοντας γνωστές (και κυρίως, ενταγμένες σε ενιαίο σύστημα αναφοράς) τις συντεταγμένες των στόχων, καθίσταται δυνατός ο προσανατολισμός του νέφους στο ενιαίο σύστημα.

Τέλος, όσον αφορά στην διαδικασία αποτύπωσης, επιλέχθηκε η δυνατότητα πλήρους κίνησης της κεφαλής, τόσο επί οριζόντιου άξονα (εύρος  $H_z=0-360^\circ$ ), όσο και επί κατακόρυφου άξονα (εύρος  $-20^\circ$  έως  $90^\circ$ ). Επίσης η πυκνότητα των σημείων αποφασίστηκε να είναι 0.05m στα 20m. Με αυτόν τον τρόπο, προέκυψαν περίπου 2000 σημεία ανά διατομή.



## 7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 7.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο περιλαμβάνει συνοπτική περιγραφή των αποτελεσμάτων των μεγεθών που μετρήθηκαν με κάθε μέθοδο. Η ανάλυση που ακολουθεί χωρίζεται σε τρεις βασικές ενότητες, με βάση την μέθοδο αποτύπωσης που εφαρμόστηκε.

- **Μέθοδος αποτύπωσης με Total Station**
  - Επεξεργασία μετρήσεων
  - Ανάλυση μετρήσεων
- **Μέθοδος αποτύπωσης με TMS Profiler**
  - Επεξεργασία μετρήσεων
  - Ανάλυση μετρήσεων
- **Μέθοδος αποτύπωσης με επίγειο σαρωτή laser (Laser Scanner)**
  - Επεξεργασία μετρήσεων
  - Ανάλυση μετρήσεων

Εδώ να αναφερθεί ότι η εισαγωγή κι επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD. Επίσης, λόγω του όγκου των μετρήσεων και κατά συνέπεια των αποτελεσμάτων, για κάθε μέθοδο αποτύπωσης θα αναφέρεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, ενώ το σύνολο των μετρήσεων παρουσιάζεται στο Παράρτημα.

Λόγω της ύπαρξης φερτών υλικών στις παρειές της σήραγγας, δεν ήταν δυνατή η ολοκληρωμένη αποτύπωση της πραγματικής διατομής. Για τον λόγο αυτό, ορίστηκε ως επιμετρητικός ορίζοντας η στάθμη  $dH=-1.00$ .

## **7.2 Μέθοδος αποτύπωσης με Γεωδαιτικό σταθμό (Total Station)**

### **7.2.1 Επεξεργασία των μετρήσεων**

Όπως έχει αναφερθεί, κατά την αποτύπωση με αυτή την μέθοδο, κάθε σημείο που λαμβάνεται είναι μοναδικό αφού έχει μοναδικές καρτεσιανές συντεταγμένες (X,Y,Z), οι οποίες στη συνέχεια, μετατρέπονται με τη βοήθεια λογισμικού που έχει ενσωματωμένο το όργανο σε σχετικές, με βάση τον άξονα και τη μηκοτομή της σήραγγας .

Έτσι λοιπόν, για κάθε σημείο  $\underline{v}$  (X<sub>v</sub>/Y<sub>v</sub>/Z<sub>v</sub>) μίας διατομής, λαμβάνονται τα αντίστοιχα μεγέθη  $\Delta X_v/\Delta Y_v/d_{sta}$ , όπου:

$\Delta X_v$  : η οριζόντια απόσταση του σημείου  $\underline{v}$  από το κέντρο των αξόνων (0,0)

$\Delta Y_v$  : η κατακόρυφη απόσταση του σημείου  $\underline{v}$  από το κέντρο των αξόνων (0,0)

$d_{sta}$  : η αύξουσα ή φθίνουσα απόκλιση του σημείου  $\underline{v}$  από την θεωρητική χιλιομετρική θέση

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

Έτσι λοιπόν, για κάθε διατομή προκύπτει ένας πίνακας όμοιος με τον [Πίνακα 7.1](#) που παρουσιάζεται στην συνέχεια. Τα στοιχεία που απαρτίζουν τον πίνακα παραλαβής διατομών είναι τα εξής:

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

**7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Πίνακας 7.1. Έντυπο παραλαβής διατομής

Table 7.1: Cross-section mapping form

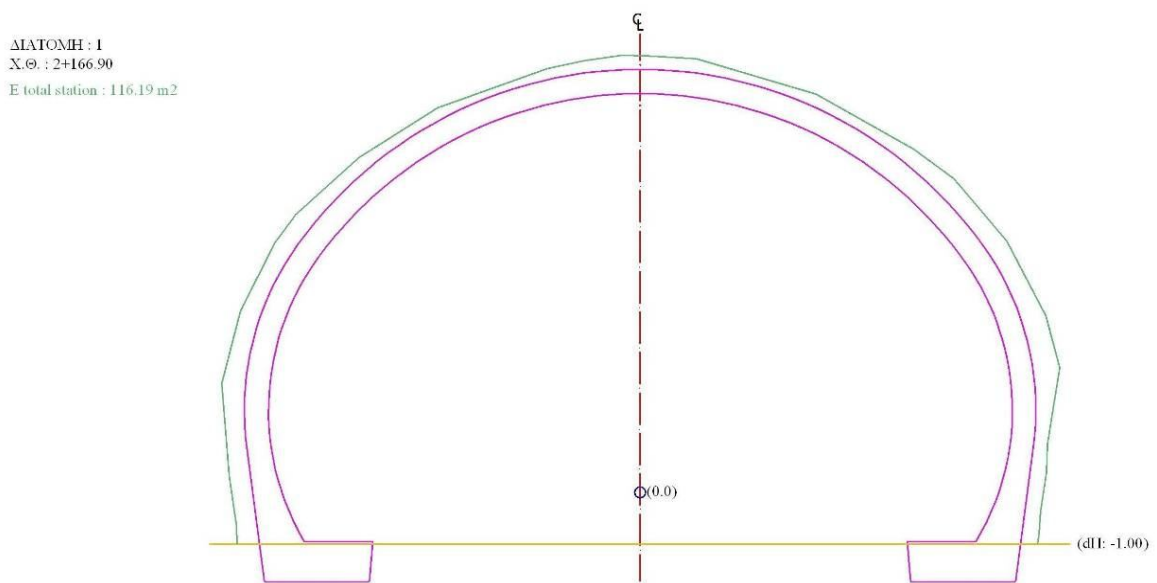
		<b>ΔΙΑΤΟΜΗ 1</b>			
		<b>Χ.Θ.</b>	<b>2166.90</b>		
<b>ΣΗΜΕΙΟ</b>	<b>Χ.Θ.</b>	<b>ΔX</b>	<b>ΔH</b>	<b>dsta</b>	
1	2166.98	-7.496	-1.352	-0.08	
2	2167.03	-7.500	-0.656	-0.13	
3	2166.89	-7.637	0.274	0.01	
4	2166.77	-7.717	1.289	0.13	
5	2166.92	-7.778	1.980	-0.02	
6	2166.73	-7.429	3.322	0.17	
7	2167.06	-6.792	4.586	-0.16	
8	2166.92	-6.398	5.116	-0.02	
9	2166.98	-5.228	6.178	-0.08	
10	2166.88	-3.766	7.097	0.02	
11	2166.63	-1.724	7.825	0.27	
12	2166.60	-1.038	7.969	0.30	
13	2166.63	-0.335	8.070	0.27	
14	2166.81	0.098	8.062	0.09	
15	2167.02	1.046	8.003	-0.12	
16	2166.94	3.273	7.352	-0.04	
17	2167.21	5.083	6.332	-0.31	
18	2167.21	5.833	5.785	-0.31	
19	2166.54	6.813	4.630	0.36	
20	2166.64	7.542	3.227	0.26	
21	2166.97	7.796	2.278	-0.07	
22	2166.74	7.568	0.849	0.16	
23	2167.23	7.558	0.336	-0.33	
24	2167.09	7.448	-0.390	-0.19	
25	2166.82	7.418	-0.796	0.08	
26	2167.18	7.387	-1.732	-0.28	

### 7.2.2 Αξιολόγηση μετρήσεων

Έχοντας τα παραπάνω στοιχεία, είναι δυνατή η εισαγωγή κι επεξεργασία τους στο AutoCAD.

Το πρώτο βήμα είναι η επιλογή της θεωρητικής τυπικής διατομής, βάσει της οποίας θα γίνει ο υπολογισμός της επιφάνειας. Στην προκειμένη περίπτωση ορίστηκε το εξωράχιο τελικής επένδυσης.

Στη συνέχεια, ραπορτάροντας τα σημεία 1 έως 26 του προηγούμενου πίνακα, λαμβάνουμε στο AutoCAD μία τεθλασμένη γραμμή (polyline) η οποία φαίνεται στο ακόλουθο [σχήμα 7.1](#). Επίσης, στο σχήμα είναι ορατά το εξωράχιο και εσωράχιο της μόνιμης επένδυσης της σήραγγας, καθώς και ο επιμετρητικός ορίζοντας (dH= -1.00) με κίτρινη γραμμή.



Σχήμα 7.1: Διατομή παραλαβής gunite

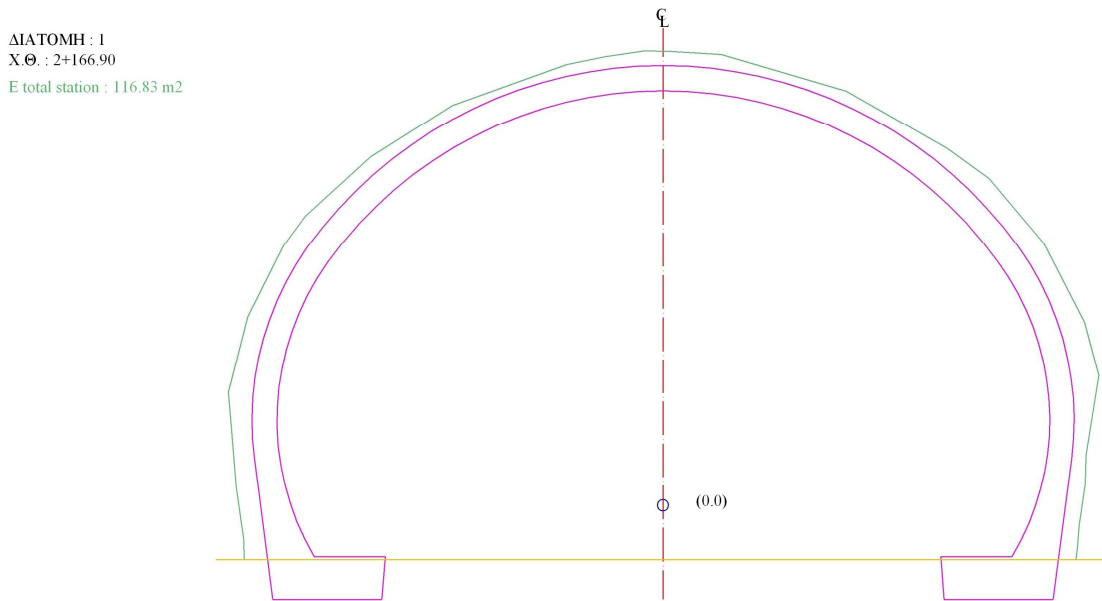
Figure 7.1: Cross-section of gunite profiling

Από αυτή την διαδικασία, μπορεί να υπολογισθεί το εμβαδό της Διατομής 1 το οποίο περικλείεται από την τεθλασμένη γραμμή και την γραμμή του ορίζοντα. Έτσι λοιπόν, προκύπτει ότι το εμβαδό με αυτή την μέθοδο είναι  $E_{Total St} = 116.19m^2$ .

Επειδή όμως, όπως έχει αναφερθεί, η τεθλασμένη γραμμή που σχηματίζεται δεν μπορεί να είναι απολύτως αντιπροσωπευτική, έτσι και το εμβαδό που προκύπτει, δεν μπορεί να αντικατοπτρίζει πλήρως την πραγματικότητα. Έτσι, για να είναι πιο αξιόπιστος ο

υπολογισμός του εμβαδού, η παραπάνω γραμμή της διατομής μετασχηματίζεται σε μία ομαλή καμπύλη (Pedit, Fit), η οποία όμως διέρχεται από τα αποτυπωμένα σημεία.

Προκύπτει επομένως το [σχήμα 7.2](#), όπου φαίνεται η γραμμή αποτύπωσης, πιο ομαλή πλέον και αποτελούμενη από διαδοχικά τόξα που ενώνουν κάθε κορυφή της προηγούμενης τεθλασμένης γραμμής.

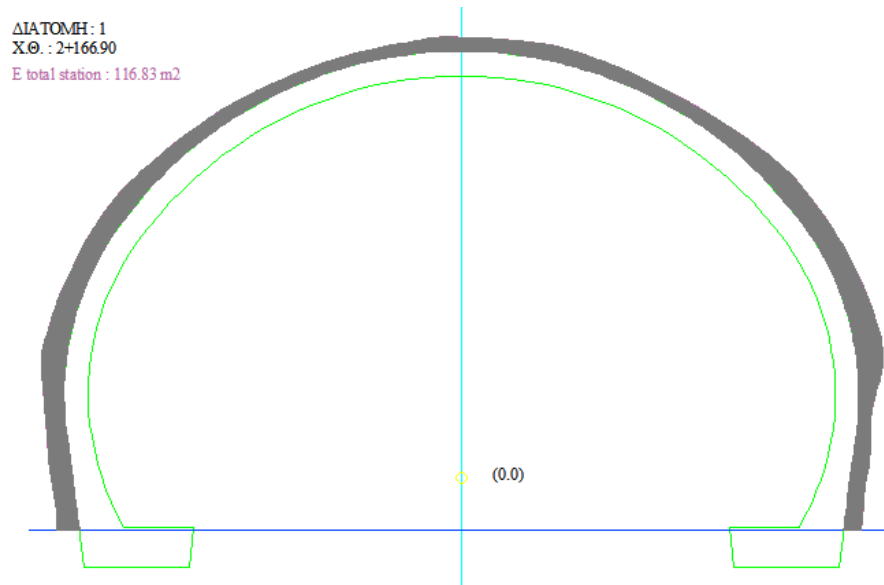


**Σχήμα 7.2:** Εξομαλυμένη γραμμή διατομής

**Figure 7.2:** Smoothed line profiling

Το εμβαδό που προέκυψε από το παραπάνω σχέδιο είναι ίσο με  $E_{Total\ St} = 116.83m^2$ . Διαφορά από την μή εξομαλυμένη γραμμή  $0.64m^2$ .

Το πραγματικό ενδιαφέρον της διαδικασίας αυτής, εντοπίζεται στον υπολογισμό του εμβαδού που περικλείεται μεταξύ της αποτυπωμένης γραμμής gunita και του εξωραχίου τελικής επένδυσης ([σχήμα 7.3](#)).



Σχήμα 7.3: Υπολογισμός εμβαδού

Figure 7.3: Area calculation

Ο υπολογισμός αυτού γίνεται πολύ εύκολα, εάν από το εμβαδό που υπολογίστηκε αφαιρεθεί το εμβαδό του εξωραχίου τελικής επένδυσης, το οποίο είναι για όλες τις διατομές ίδιο και ισούται με  $E_{\text{ΕξωρΤελΕπεν}} = 108.19\text{m}^2$ . Συγκεκριμένα:

$$E_{\text{τελ}} = E_{\text{Παραλαβής}} - E_{\text{ΕσωρΤελΕπεν}} \Rightarrow$$

$$E_{\text{τελ}} = 116,83 - 108,19 \Rightarrow$$

$$E_{\text{τελ}} = 8.64\text{m}^3$$

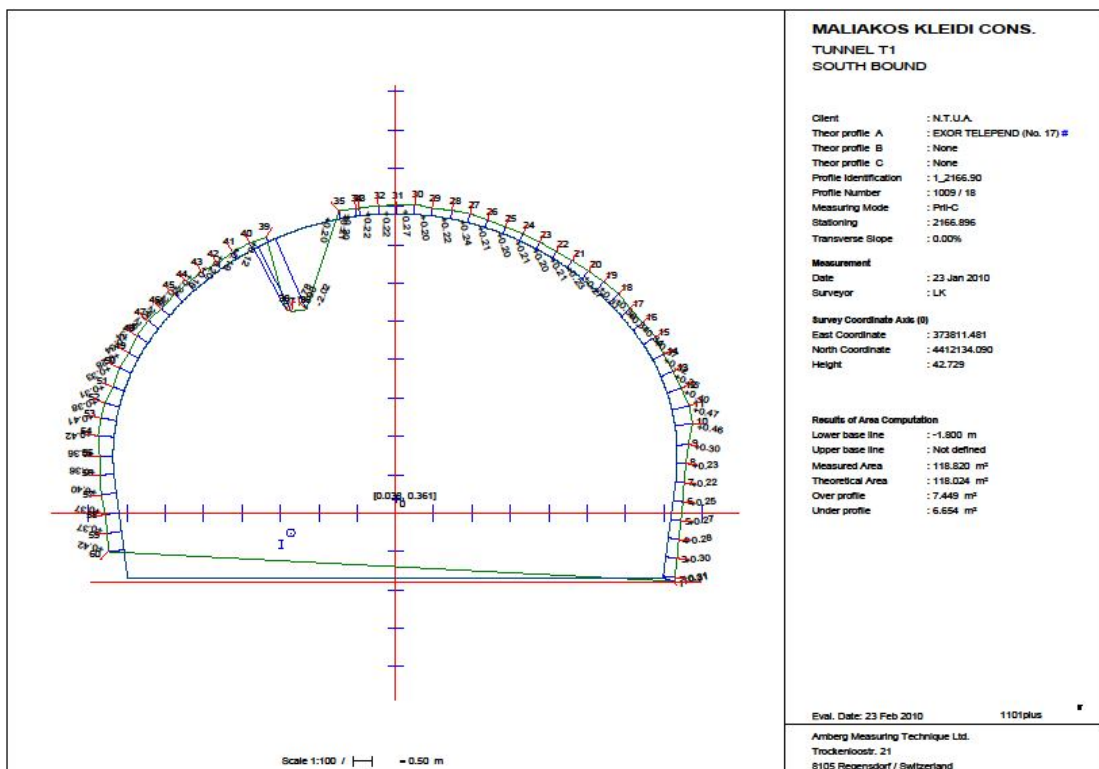
Τέλος, όπως παρατηρείται από όλα τα σχήματα καθώς και από τους πίνακες παραλαβών, υπάρχει απουσία των σημείων που να καταδεικνύουν την ύπαρξη αεραγωγού εξαερισμού. Αυτό οφείλεται αυστηρά και μόνο στο γεγονός ότι ήταν στην κρίση του παρατηρητή-χειριστή του οργάνου να μην αποτυπώσει κανένα σημείου του αεραγωγού.

### 7.3 Μέθοδος αποτύπωσης με TMS PROwin

#### 7.3.1 Επεξεργασία των μετρήσεων

Οι παράμετροι αποτύπωσης με αυτή την μέθοδο έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

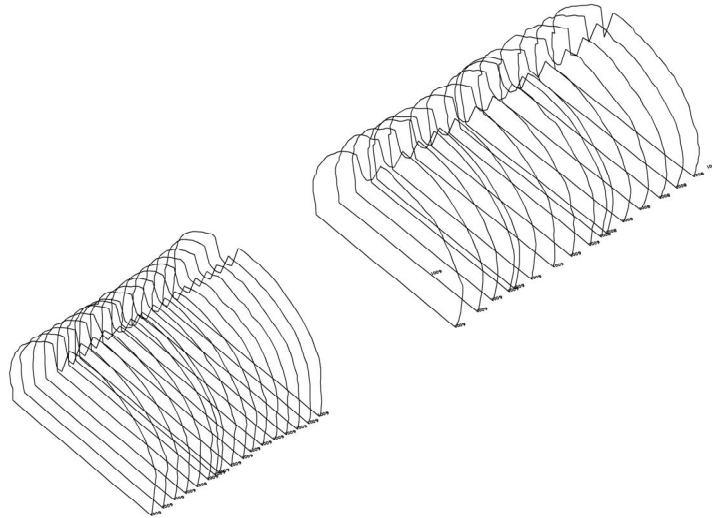
Στη συνέχεια, με το πέρας των εργασιών αποτύπωσης και την εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό TMS PROwin 7, λαμβάνονται τα σημεία κάθε διατομής που αποτυπώθηκε, χωριστά. Στην διατομή που σχεδιάζεται, εμφανίζονται και τα σημεία αποτύπωσης του αεραγωγού, τα οποία θα πρέπει να αφαιρεθούν κατά τον υπολογισμό της επιφάνειας (σχήμα 7.4).



Σχήμα 7.4: Διατομή TMS Profiler

Figure 7.4: TMS Profiler cross-section

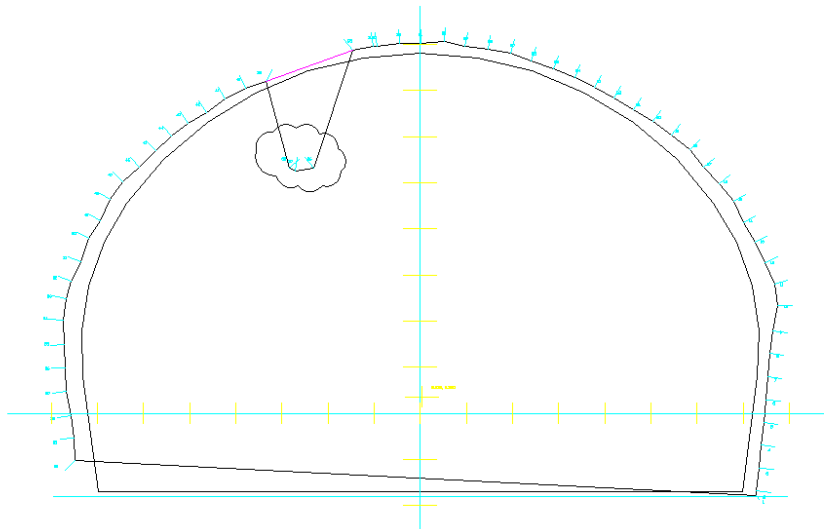
Εν συνεχεία, τα στοιχεία αυτά εξάγονται σε μορφή DXF (σχήμα 7.5).



Σχήμα 7.5: Τρισδιάστατη απεικόνιση αρχείων DXF

Figure 7.5: 3D perspective DXF files

Προκειμένου να απεικονίζεται σωστά η αποτυπωθείσα διατομή, τα σημεία του αεραγωγού απομακρύνονται από το σχέδιο και ενώνονται τα δύο τελευταία σημεία της διατομής που βρίσκονται αριστερά και δεξιά του αεραγωγού (Σχήμα 7.6).



Σχήμα 7.6: Απομάκρυνση σημείων αεραγωγού

Figure 7.6: Ventilation points removal



Από αυτό το σημείο και μετά, είναι εύκολη η εξαγωγή της διατομής σε αρχείο DWG για την εισαγωγή κι επεξεργασία στο AutoCAD, όπου η τεθλασμένη γραμμή μετατρέπεται (χρήση εντολής Pedit-> fit) σε μία ομαλή καμπύλη η οποία προσδίδει με πιστότητα την επιφάνεια που αποτυπώθηκε.

### **7.3.2 Αξιολόγηση μετρήσεων**

Η αξιολόγηση των διατομών που λαμβάνονται, διεξάγεται επίσης στο AutoCAD και η διαδικασία είναι ακριβώς ίδια με αυτή της μεθόδου Total Station.

Αρχικά λοιπόν υπολογίζεται το εμβαδόν της διατομής, και στη συνέχεια αφαιρείται το τυπικό εμβαδό της διατομής του εξωραχίου της τελικής επένδυσης.

## **7.4 Μέθοδος αποτύπωσης με Laser scanner**

### **7.4.1 Επεξεργασία των μετρήσεων**

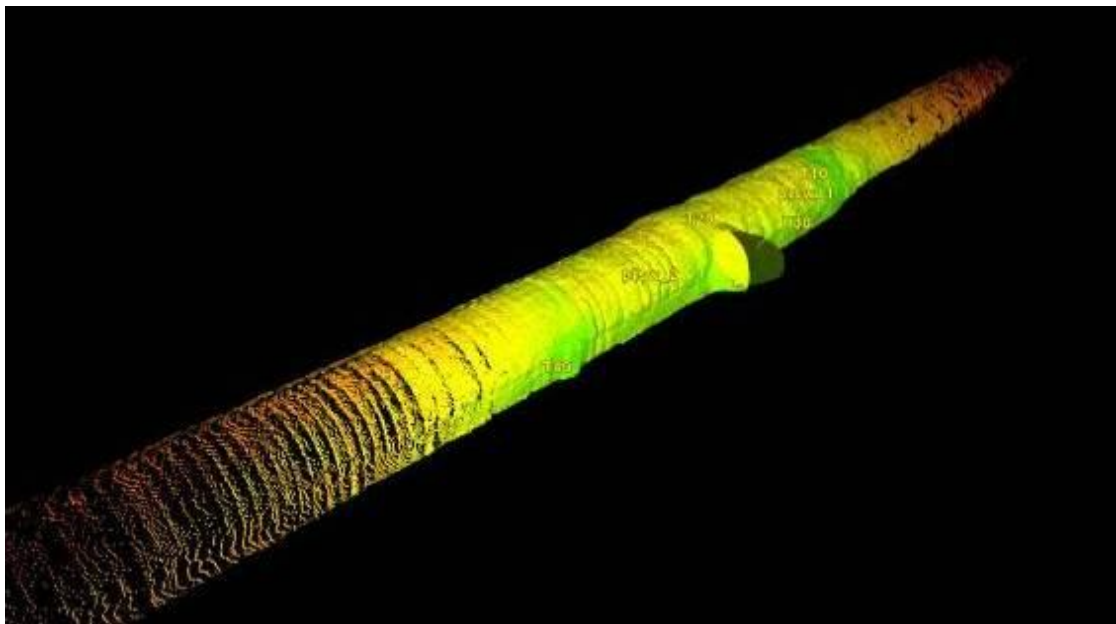
Όπως και στις προηγούμενες μεθόδους, έτσι κι εδώ, προκειμένου να διεξαχθούν οι μετρήσεις με τον σαρωτή laser, έπρεπε πρώτα το όργανο να προσανατολιστεί, ώστε οι συντεταγμένες του νέφους που ελήφθησαν να είναι κι αυτές ενταγμένες στο ίδιο δίκτυο αναφοράς. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, τοποθετήθηκαν γύρω από την θέση όπου εγκαταστάθηκε το όργανο τρίποδες, στους οποίους εφαρμόστηκαν στόχοι στους οποίους το laser scanner έχει ικανότητα σκόπευσης. Εν συνεχεία, στόχοι αυτοί μετρήθηκαν με γεωδαιτικό σταθμό ώστε να δοθούν συντεταγμένες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην πορεία για τον προσανατολισμό του οργάνου εντός της σήραγγας (σχήμα 7.7).



Σχήμα 7.7: Προσανατολισμός επίγειου σαρωτή laser

Figure 7.7: Laser scanner orientation

Στο πέρας της διαδικασίας σάρωσης της σήραγγας και μετά την επεξεργασία των δεδομένων στο λογισμικό Cyclone, προέκυψε ένα νέφος σημείων με πυκνότητα 5cm (σχήματα 7.8, 7.9).



Σχήμα 7.8: Νέφος επίγειου σαρωτή laser

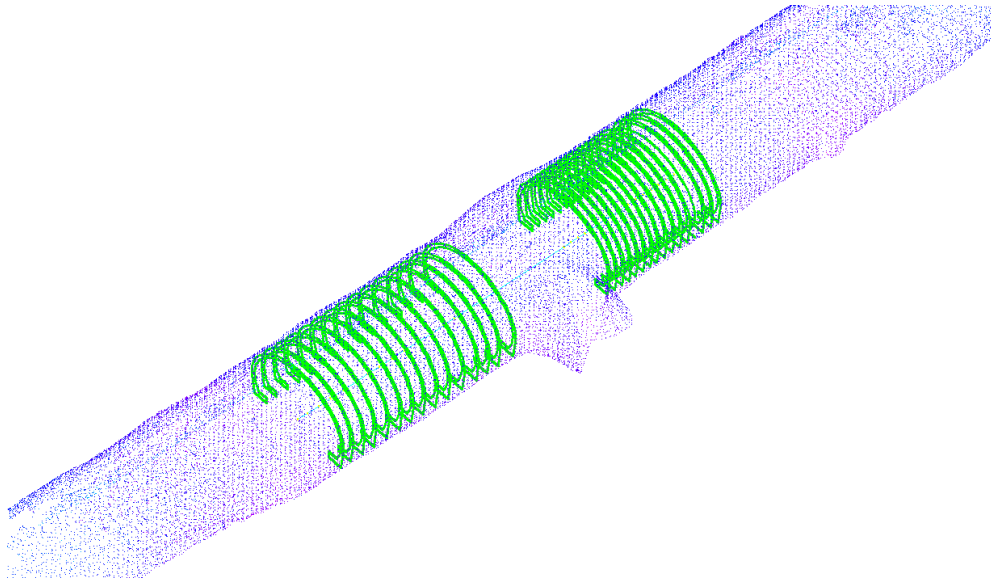
Figure 7.8: Laser scanner cloud



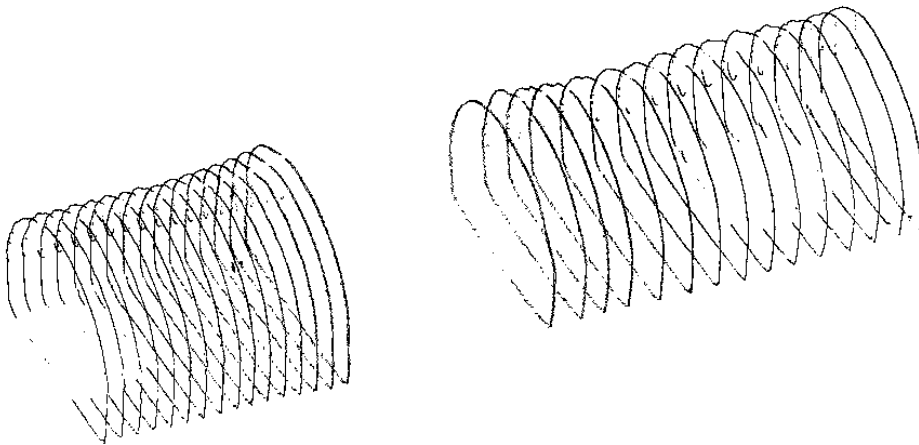
Σχήμα 7.9: Νέφος επίγειου σαρωτή laser

Figure 7.9: Laser scanner cloud

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω σχήματα, η απόδοση του ανάγλυφου της σήραγγας με την μέθοδο αυτή γίνεται με μεγάλη λεπτομέρεια. Ωστόσο, παρ' όλη την πληθώρα σημείων που είναι διαθέσιμα, δεν είναι δυνατή η εξαγωγή οποιουδήποτε συμπεράσματος. Θα πρέπει λοιπόν, τα σημεία αυτά του νέφους να αναχθούν σε ένα τοπικό σύστημα αναφοράς στο οποίο θα μπορούν να υποστούν επεξεργασία, να αξιολογηθούν και, εν τέλει, να εξαχθούν τα όποια συμπεράσματα. Επίσης, προκειμένου να μειωθεί το πλήθος των σημείων και να καταστεί δυνατή η επεξεργασία τους, το νέφος τμήθηκε με κατακόρυφα επίπεδα εύρους 5cm στις αντίστοιχες χιλιομετρικές θέσεις των διατομών, βάσει της οριζοντιογραφίας (σχήματα 7.10 και 7.11).



Σχήμα 7.10: Περιοχές εύρους 5cm σε κάθε διατομή  
Figure 7.10: 5cm width slices at each cross-section



Σχήμα 7.11: Περιοχές εύρους 5cm σε κάθε διατομή (απομάκρυνση νέφους)  
Figure 7.11: 5cm width slices at each cross-section (cloud removal)

Επειδή ο κύριος σκοπός είναι να συγκριθούν οι διατομές της σήραγγας σε συγκεκριμένες θέσεις, έπρεπε να γίνει μετασχηματισμός των νέων αυτών περιοχών σε συντεταγμένες του συστήματος αναφοράς των διατομών.

Για να γίνει αυτό, το πρώτο βήμα ήταν να υπολογισθούν από την οριζοντιογραφία και την μηκοτομή οι συντεταγμένες (X/Y/Z) κάθε διατομής, βάσει της χιλιομετρικής θέσης της (πίνακας 7.2).

## 7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πίνακας 7.2: Συντεταγμένες ερυθράς κάθε διατομής

Table 7.2: Road level coordinates of each cross-section

ΣΗΜΕΙΟ ΑΞΟΝΑ	X	Y	Η ΕΡΥΘΡΑΣ
1	373811.487	4412134.092	42.729
2	373812.482	4412134.512	42.734
3	373813.504	4412134.944	42.740
4	373814.480	4412135.357	42.745
5	373815.475	4412135.778	42.750
6	373816.442	4412136.187	42.756
7	373817.409	4412136.597	42.761
8	373818.403	4412137.019	42.766
9	373819.397	4412137.441	42.772
10	373820.262	4412137.808	42.776
11	373821.183	4412138.199	42.781
12	373822.103	4412138.591	42.786
13	373823.023	4412138.982	42.791
14	373823.916	4412139.362	42.796
15	373824.835	4412139.755	42.801
16	373825.746	4412140.143	42.806
17	373837.914	4412145.362	42.875
18	373839.842	4412146.194	42.888
19	373841.237	4412146.797	42.897
20	373842.614	4412147.392	42.906
21	373844.449	4412148.187	42.918
22	373846.247	4412148.968	42.929
23	373847.843	4412149.661	42.940
24	373849.429	4412150.352	42.949
25	373850.914	4412150.999	42.957
26	373852.399	4412151.647	42.965
27	373854.058	4412152.372	42.974
28	373855.697	4412153.089	42.983
29	373857.163	4412153.732	42.991
30	373858.628	4412154.375	42.999
31	373859.845	4412154.910	43.006

## 7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ταυτόχρονα, υπολογίστηκαν τα σημεία 10m δεξιά του άξονα στο υψόμετρο της ερυθράς (πίνακας 7.3) και, τα σημεία 10m αριστερά του άξονα σε υψόμετρο 5m πάνω από την ερυθρά (πίνακας 7.4).

Πίνακας 7.3: Συντεταγμένες σημείων δεξιά του άξονα

Table 7.3: Coordinates of points on the right side of the axis

ΣΗΜΕΙΟ ΔΕΞΙΑ ΠΑΡΕΙΑ	X	Y	Η ΕΡΥΘΡΑΣ
10m			
D1	373815.374	4412124.879	42.729
D2	373816.372	4412125.300	42.734
D3	373817.397	4412125.733	42.740
D4	373818.376	4412126.147	42.745
D5	373819.373	4412126.569	42.750
D6	373820.342	4412126.979	42.756
D7	373821.312	4412127.390	42.761
D8	373822.309	4412127.813	42.766
D9	373823.305	4412128.236	42.772
D10	373824.173	4412128.604	42.776
D11	373825.095	4412128.996	42.781
D12	373826.018	4412129.389	42.786
D13	373826.941	4412129.782	42.791
D14	373827.836	4412130.163	42.796
D15	373828.758	4412130.556	42.801
D16	373829.671	4412130.945	42.806
D17	373841.873	4412136.179	42.875
D18	373843.806	4412137.013	42.888
D19	373845.206	4412137.618	42.897
D20	373846.587	4412138.215	42.906
D21	373848.427	4412139.013	42.918
D22	373850.230	4412139.795	42.929
D23	373851.831	4412140.491	42.940
D24	373853.422	4412141.183	42.949
D25	373854.912	4412141.833	42.957
D26	373856.401	4412142.483	42.965

**7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

<b>D27</b>	<b>373858.065</b>	<b>4412143.210</b>	<b>42.974</b>
<b>D28</b>	<b>373859.710</b>	<b>4412143.930</b>	<b>42.983</b>
<b>D29</b>	<b>373861.180</b>	<b>4412144.574</b>	<b>42.991</b>
<b>D30</b>	<b>373862.649</b>	<b>4412145.219</b>	<b>42.999</b>
<b>D31</b>	<b>373863.871</b>	<b>4412145.756</b>	<b>43.006</b>

Πίνακας 7.4: Συντεταγμένες σημείων αριστερά του άξονα

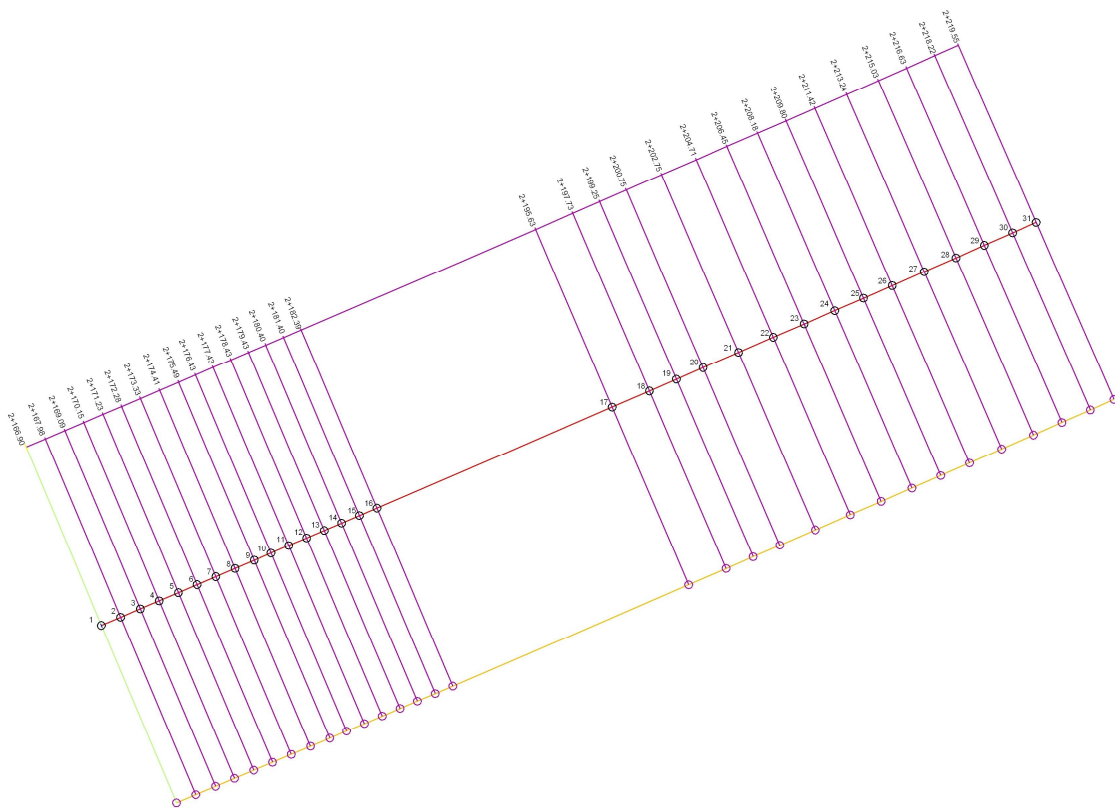
Table 7.4: Coordinates of points on the left side of the axis

<b>ΣΗΜΕΙΟ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΠΑΡΕΙΑ 10Μ</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>H+5m</b>
<b>1</b>	<b>373807.600</b>	<b>4412143.306</b>	<b>47.729</b>
<b>2</b>	<b>373808.592</b>	<b>4412143.724</b>	<b>47.734</b>
<b>3</b>	<b>373809.611</b>	<b>4412144.155</b>	<b>47.740</b>
<b>4</b>	<b>373810.584</b>	<b>4412144.567</b>	<b>47.745</b>
<b>5</b>	<b>373811.577</b>	<b>4412144.987</b>	<b>47.750</b>
<b>6</b>	<b>373812.542</b>	<b>4412145.395</b>	<b>47.756</b>
<b>7</b>	<b>373813.506</b>	<b>4412145.804</b>	<b>47.761</b>
<b>8</b>	<b>373814.497</b>	<b>4412146.225</b>	<b>47.766</b>
<b>9</b>	<b>373815.489</b>	<b>4412146.646</b>	<b>47.772</b>
<b>10</b>	<b>373816.351</b>	<b>4412147.012</b>	<b>47.776</b>
<b>11</b>	<b>373817.271</b>	<b>4412147.402</b>	<b>47.781</b>
<b>12</b>	<b>373818.188</b>	<b>4412147.793</b>	<b>47.786</b>
<b>13</b>	<b>373819.105</b>	<b>4412148.182</b>	<b>47.791</b>
<b>14</b>	<b>373819.996</b>	<b>4412148.562</b>	<b>47.796</b>
<b>15</b>	<b>373820.912</b>	<b>4412148.954</b>	<b>47.801</b>
<b>16</b>	<b>373821.821</b>	<b>4412149.341</b>	<b>47.806</b>
<b>17</b>	<b>373833.955</b>	<b>4412154.545</b>	<b>47.875</b>
<b>18</b>	<b>373835.878</b>	<b>4412155.375</b>	<b>47.888</b>
<b>19</b>	<b>373837.268</b>	<b>4412155.976</b>	<b>47.897</b>
<b>20</b>	<b>373838.641</b>	<b>4412156.569</b>	<b>47.906</b>
<b>21</b>	<b>373840.471</b>	<b>4412157.362</b>	<b>47.918</b>
<b>22</b>	<b>373842.264</b>	<b>4412158.141</b>	<b>47.929</b>
<b>23</b>	<b>373843.855</b>	<b>4412158.831</b>	<b>47.940</b>
<b>24</b>	<b>373845.436</b>	<b>4412159.520</b>	<b>47.949</b>
<b>25</b>	<b>373846.916</b>	<b>4412160.165</b>	<b>47.957</b>

## 7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

26	373848.397	4412160.811	47.965
27	373850.051	4412161.534	47.974
28	373851.684	4412162.248	47.983
29	373853.146	4412162.890	47.991
30	373854.607	4412163.531	47.999
31	373855.819	4412164.064	48.006

Τα ανωτέρω υπολογισθέντα σημεία, εισάγονται στο AutoCAD ως polyline (σχήμα 7.12)



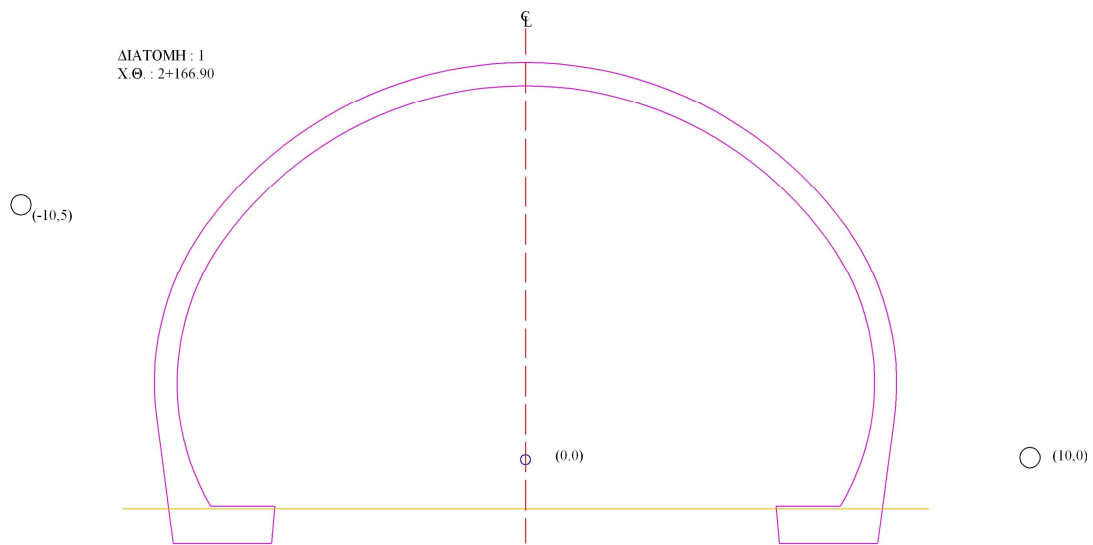
Σχήμα 7.12: Εισαγωγή χαρακτηριστικών σημείων και γραμμών στο AutoCAD

Figure 7.12: Input of characteristic points and lines in AutoCAD

Στη συνέχεια, εισάγονται στον άξονα τα σημεία των νέων περιοχών εύρους 5cm.

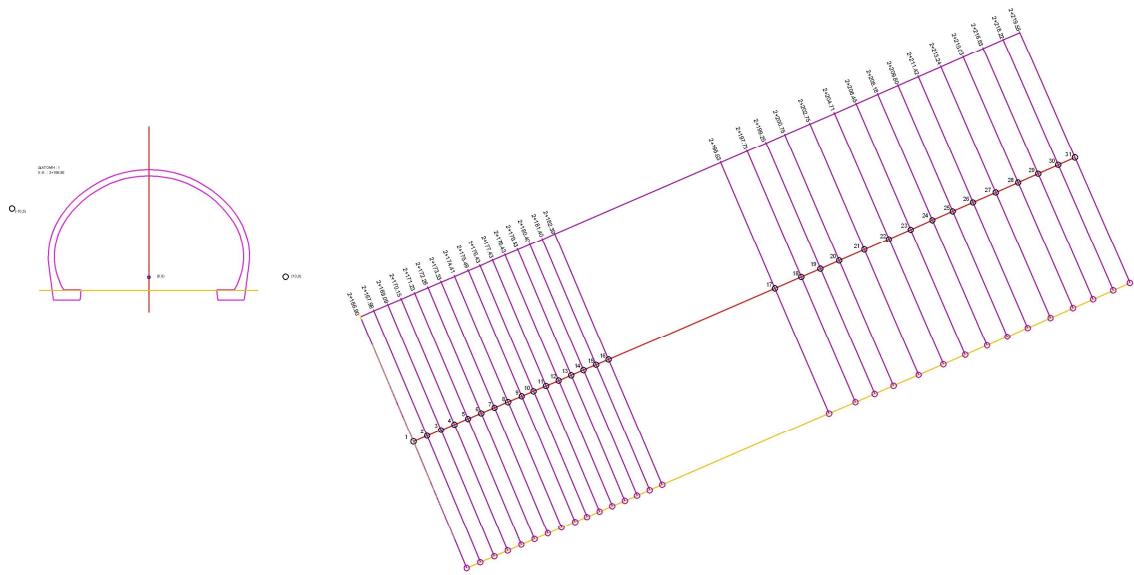
Στην τυπική διατομή της σήραγγας, σχεδιάζονται τα χαρακτηριστικά σημεία με σχετικές συντεταγμένες (0, 0), (10, 0) και (-10, 5) όπως φαίνεται στο σχήμα 7.13. Στη συνέχεια, το σχέδιο αυτό εισάγεται στο σχήμα 7.14 και έπειτα προσανατολίζεται (σχήματα 7.15, 7.16)



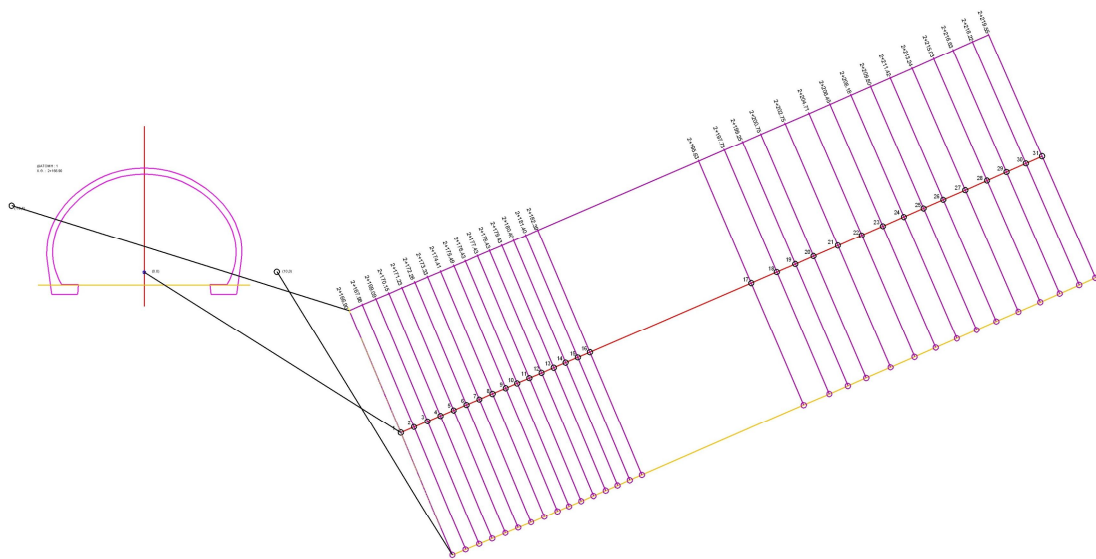


Σχήμα 7.13: Σχεδιασμός χαρακτηριστικών σημείων στην τυπική διατομή  
Figure 7.13: Drawing of characteristic points in typical cross-section

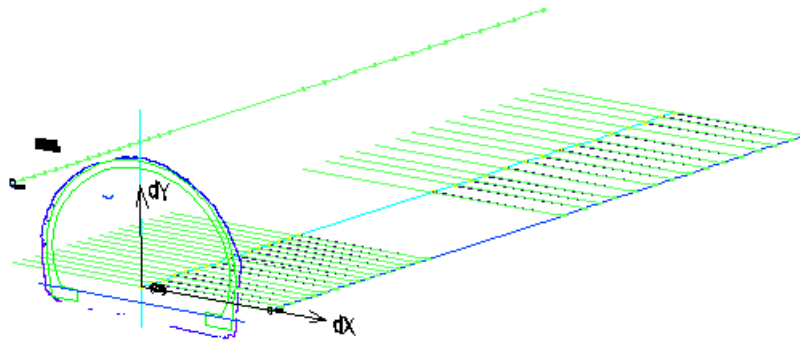
Γίνεται η μετατροπή του συστήματος αναφοράς από ΕΓΣΑ '87 σε τοπικό σύστημα αναφοράς (UCS, new UCS, 3 point) με την επιλογή τριών σημείων. Ως αρχή των αξόνων (0, 0) επιλέγεται το σημείο ερυθράς της διατομής (σχήμα 7.4.11). Σε αυτό το σημείο καθίσταται πλέον δυνατή η σχεδίαση των σημείων του νέφους (τα οποία έχουν αναχθεί σε τοπικό δυσδιάστατο σύστημα αναφοράς) σε 2D polyline (σχήμα 7.4.12).



Σχήμα 7.14: Σχεδιασμός χαρακτηριστικών σημείων στην τυπική διατομή  
Figure 7.14: Drawing of characteristic points in typical cross-section



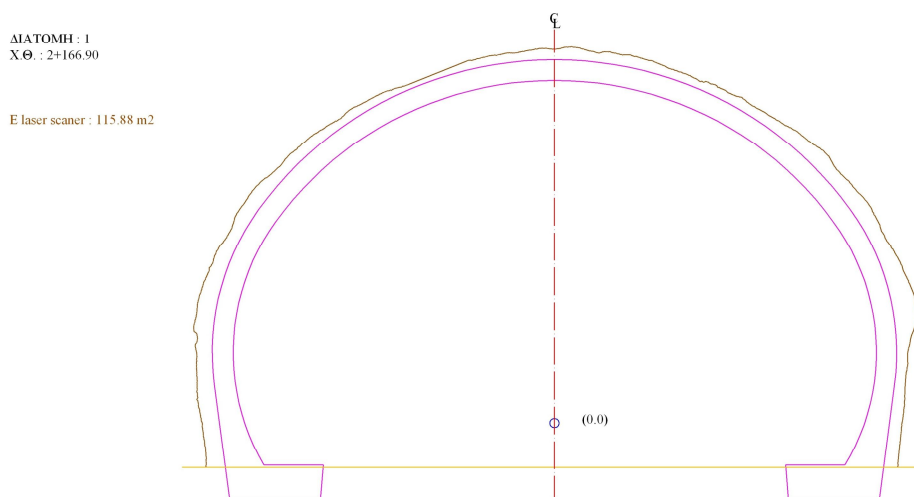
Σχήμα 7.15: Σχεδιασμός χαρακτηριστικών σημείων στην τυπική διατομή  
Figure 7.15: Drawing of characteristic points in typical cross-section



Σχήμα 7.16: Προσανατολισμός στο τοπικό σύστημα αναφοράς  
 Figure 7.16: Orientation to the local reference system

#### 7.4.2 Αξιολόγηση μετρήσεων

Τέλος, ο υπολογισμός των εμβαδών είναι πλέον εύκολος εφόσον έχει ήδη περιγραφεί αυτή η διαδικασία. Υπολογίζεται δηλαδή αρχικά το εμβαδό της αποτυπωμένης διατομής, εν συνεχεία το εμβαδό του εξωραχίου τελικής επένδυσης και τελικά, η διαφορά των δύο, όπως και στις προηγούμενες μεθόδους (Σχήμα 7.17).



Σχήμα 7.17: Υπολογισμός εμβαδού διατομής Laser scanner  
 Figure 7.17: Laser scanner cross-section area calculation

### **7.5 Συνολική αξιολόγηση των μετρήσεων**

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται συνολικά τα εμβαδά και οι όγκοι που υπολογίστηκαν για κάθε μέθοδο. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η αντιπαραβολή των μεγεθών που εξάγονται από τις μεθόδους που εφαρμόστηκαν για την τελική εξαγωγή συμπερασμάτων.

Έτσι, αρχικά προκύπτει ο ακόλουθος [πίνακας 7.5](#), όπου παρουσιάζονται τα εμβαδά κάθε διατομής, υπολογισμένα με τις μεθόδους Total Station, TMS profiler και Laser scanner. Επίσης, σε αυτόν τον πίνακα εμφανίζονται και οι διαφορές που παρουσιάζει κάθε μέθοδος από το θεωρητικό.

**7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Πίνακας 7.5: Υπολογισμένα εμβαδά των διατομών για κάθε εφαρμοσμένη μέθοδο

Table 7.5: Cross-section areas, for each implemented method

ΔΙΑΤΟΜΗ	Χ.Θ.	ΕΜΒΑΔΟΝ	ΕΜΒΑΔΟΝ	ΕΜΒΑΔΟΝ	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ	ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΑΞΥ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΚΑΙ		
		TOTAL STATION	TMS PROFILER	LASER SCANNER		ΕΜΒΑΔΟΝ	ΕΜΒΑΔΟΝ	ΕΜΒΑΔΟΝ
						TOTAL STATION	TMS PROFILER	LASER SCANNER
1	2166.90	116.83	115.64	115.88	108.19	8.64	7.45	7.69
2	2167.98	117.39	116.40	116.50	108.19	9.20	8.21	8.31
3	2169.09	115.23	114.68	114.90	108.19	7.04	6.49	6.71
4	2170.15	116.47	115.86	116.10	108.19	8.28	7.67	7.91
5	2171.23	114.99	114.55	114.58	108.19	6.80	6.36	6.39
6	2172.28	116.63	116.19	116.33	108.19	8.44	8.00	8.14
7	2173.33	115.68	114.85	114.97	108.19	7.49	6.66	6.78
8	2174.41	116.67	115.87	116.13	108.19	8.48	7.68	7.94
9	2175.49	115.25	114.04	114.32	108.19	7.06	5.85	6.13
10	2176.43	117.47	116.70	116.88	108.19	9.28	8.51	8.69
11	2177.43	117.97	116.70	116.94	108.19	9.78	8.51	8.75
12	2178.43	117.71	117.08	117.34	108.19	9.52	8.89	9.15
13	2179.43	118.77	117.96	118.09	108.19	10.58	9.77	9.90
14	2180.40	120.61	119.85	119.96	108.19	12.42	11.66	11.77
15	2181.40	124.18	123.12	123.22	108.19	15.99	14.93	15.03
16	2182.39	127.22	126.45	126.68	108.19	19.03	18.26	18.49

**7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

17	2195.63	119.87	119.03	119.11	108.19	11.68	10.84	10.92
18	2197.73	119.20	119.32	119.31	108.19	11.01	11.13	11.12
19	2199.25	118.59	117.54	117.68	108.19	10.40	9.35	9.49
20	2200.75	117.01	116.55	116.60	108.19	8.82	8.36	8.41
21	2202.75	117.50	116.60	116.62	108.19	9.31	8.41	8.43
22	2204.71	116.14	115.23	115.27	108.19	7.95	7.04	7.08
23	2206.45	116.56	116.27	116.24	108.19	8.37	8.08	8.05
24	2208.18	120.09	119.52	119.52	108.19	11.90	11.33	11.33
25	2209.80	123.39	122.39	122.41	108.19	15.20	14.20	14.22
26	2211.42	122.23	121.20	121.27	108.19	14.04	13.01	13.08
27	2213.24	121.75	121.11	121.20	108.19	13.56	12.92	13.01
28	2215.03	119.45	118.82	118.93	108.19	11.26	10.63	10.74
29	2216.63	118.76	117.62	117.68	108.19	10.57	9.43	9.49
30	2218.22	118.51	117.75	117.71	108.19	10.32	9.56	9.52
31	2219.55	119.67	118.83	118.95	108.19	11.48	10.64	10.76

Τελικώς, υπολογίζεται ο όγκος κάθε περιοχής για κάθε μέθοδο αποτύπωσης που εφαρμόστηκε, με την μέθοδο των εφαρμοστέων μηκών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον [πίνακα 7.6](#). Ενδεικτικά αναφέρεται ένα αριθμητικό παράδειγμα, με βάση τα εφαρμοστέα για τις διατομές 5 έως 8.

**7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Πίνακας 7.6: Πίνακας χωματισμών για κάθε εφαρμοσμένη μέθοδο

Table 7.6: Volume computation table for each implemented method

ΛΙΑΤΟΜΗ	Χ.Θ.	ΕΦΑΡΜ ΜΗΚΟΣ	ΕΜΒΑΔΟΝ	ΕΜΒΑΔΟΝ	ΕΜΒΑΔΟΝ	ΟΓΚΟΣ	ΟΓΚΟΣ	ΟΓΚΟΣ
			TOTAL STATION	TMS PROFILER	LASER SCANNER	TOTAL STATION	TMS PROFILER	LASER SCANNER
1	2166.90	0.54	8.64	7.45	7.69	4.67	4.02	4.15
2	2167.98	1.10	9.20	8.21	8.31	10.08	8.99	9.10
3	2169.09	1.09	7.04	6.49	6.71	7.64	7.04	7.28
4	2170.15	1.07	8.28	7.67	7.91	8.86	8.21	8.47
5	2171.23	1.07	6.80	6.36	6.39	7.24	6.78	6.81
6	2172.28	1.05	8.44	8.00	8.14	8.86	8.40	8.55
7	2173.33	1.06	7.49	6.66	6.78	7.98	7.10	7.22
8	2174.41	1.08	8.48	7.68	7.94	9.16	8.30	8.58
9	2175.49	1.01	7.06	5.85	6.13	7.13	5.91	6.19
10	2176.43	0.97	9.28	8.51	8.69	9.00	8.26	8.43
11	2177.43	1.00	9.78	8.51	8.75	9.78	8.51	8.75
12	2178.43	1.00	9.52	8.89	9.15	9.52	8.89	9.15
13	2179.43	0.99	10.58	9.77	9.90	10.42	9.63	9.75
14	2180.40	0.99	12.42	11.66	11.77	12.24	11.49	11.60
15	2181.40	0.99	15.99	14.93	15.03	15.91	14.86	14.96
16	2182.39	0.49	19.03	18.26	18.49	9.42	9.04	9.15
Σ	15.49	15.49				<b>147.92</b>	<b>135.42</b>	<b>138.15</b>

**7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

17	2195.63	1.05	11.68	10.84	10.92	12.27	11.38	11.47
18	2197.73	1.81	11.01	11.13	11.12	19.93	20.15	20.13
19	2199.25	1.51	10.40	9.35	9.49	15.71	14.12	14.33
20	2200.75	1.75	8.82	8.36	8.41	15.44	14.63	14.72
21	2202.75	1.98	9.31	8.41	8.43	18.44	16.66	16.70
22	2204.71	1.85	7.95	7.04	7.08	14.71	13.03	13.10
23	2206.45	1.73	8.37	8.08	8.05	14.53	14.02	13.97
24	2208.18	1.68	11.90	11.33	11.33	19.94	18.98	18.98
25	2209.80	1.62	15.20	14.20	14.22	24.63	23.01	23.04
26	2211.42	1.72	14.04	13.01	13.08	24.15	22.38	22.50
27	2213.24	1.81	13.56	12.92	13.01	24.48	23.32	23.49
28	2215.03	1.70	11.26	10.63	10.74	19.09	18.02	18.21
29	2216.63	1.59	10.57	9.43	9.49	16.86	15.04	15.14
30	2218.22	1.46	10.32	9.56	9.52	15.07	13.96	13.90
31	2219.55	0.67	11.48	10.64	10.76	7.64	7.08	7.16
Σ	23.92	23.92				262.87	245.79	246.83



## Υπολογισμός όγκων με την μέθοδο εφαρμοστέων μηκών

Μέθοδος αποτύπωσης Total Station

$$V = E_5 \frac{\lambda_{56}}{2} + E_6 \left( \frac{\lambda_{56}}{2} + \frac{\lambda_{67}}{2} \right) + E_7 \left( \frac{\lambda_{67}}{2} + \frac{\lambda_{78}}{2} \right) + E_8 \left( \frac{\lambda_{78}}{2} + \frac{\lambda_{89}}{2} \right) \Rightarrow$$
$$V = 6.80 \cdot 1.07 + 8.44 \cdot 1.05 + 7.49 \cdot 1.06 + 8.48 \cdot 1.08 \Rightarrow$$
$$V = 33.25 \text{m}^3$$

Μέθοδος αποτύπωσης TMS profiler

$$V = E_5 \frac{\lambda_{56}}{2} + E_6 \left( \frac{\lambda_{56}}{2} + \frac{\lambda_{67}}{2} \right) + E_7 \left( \frac{\lambda_{67}}{2} + \frac{\lambda_{78}}{2} \right) + E_8 \left( \frac{\lambda_{78}}{2} + \frac{\lambda_{89}}{2} \right) \Rightarrow$$
$$V = 6.36 \cdot 1.07 + 8.00 \cdot 1.05 + 6.66 \cdot 1.06 + 7.68 \cdot 1.08 \Rightarrow$$
$$V = 30.57 \text{m}^3$$

Μέθοδος αποτύπωσης Laser scanner

$$V = E_5 \frac{\lambda_{56}}{2} + E_6 \left( \frac{\lambda_{56}}{2} + \frac{\lambda_{67}}{2} \right) + E_7 \left( \frac{\lambda_{67}}{2} + \frac{\lambda_{78}}{2} \right) + E_8 \left( \frac{\lambda_{78}}{2} + \frac{\lambda_{89}}{2} \right) \Rightarrow$$
$$V = 6.39 \cdot 1.07 + 8.14 \cdot 1.05 + 6.78 \cdot 1.06 + 7.94 \cdot 1.08 \Rightarrow$$
$$V = 31.16 \text{m}^3$$

## **8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

### **8.1 Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό παραθέτονται βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την σύγκριση των τριών μεθόδων αποτύπωσης που εφαρμόστηκαν: Total Station, TMS Profiler και Laser Scanner.

Ειδικότερα, οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα αφορούν:

- Εξοπλισμό
- Προσωπικό
- Ποιότητα μετρήσεων
- Εφαρμογή των μεθόδων
- Κόστος

### **8.2. Γενικά συμπεράσματα**

**Ως προς τον εξοπλισμό:**

Για την μέθοδο αποτύπωσης με Total Station απαιτείται ένας γεωδαιτικός σταθμός ο οποίος να έχει ενσωματωμένο λογισμικό οδοποιίας και την δυνατότητα μέτρησης χωρίς πρίσμα (reflectorless).

Για την μέθοδο TMS Profiler απαιτήθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM 1101 ο οποίος έχει εγκατεστημένο το λογισμικό TMS PROwin για την λήψη κι επεξεργασία των στοιχείων.

Για την μέθοδο Laser scanner απαιτείται ένας επίγειος σαρωτής καθώς και λογισμικό επεξεργασίας του νέφους . Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο σαρωτής Leica ScanStation 2 και το λογισμικό επεξεργασίας Cyclone.

### **Ως προς τον χρόνο**

Με τον τρόπο που διεξήχθη η αποτύπωση με την μέθοδο Total Station (περίπου 30 σημεία), ο απαιτούμενος χρόνος ανά διατομή ήταν περίπου 12 λεπτά ενώ για την επεξεργασία των στοιχείων, απαιτήθηκαν περίπου επιπλέον 10 λεπτά ανά διατομή.

Για την μέθοδο TMS Profiler απαιτείται χρόνος λήψης μίας διατομής με πλήθος περίπου 60 σημείων, ίσος με 7 λεπτά. Η επεξεργασία των στοιχείων για κάθε διατομή δεν υπερέβη τα 5 λεπτά.

Για την μέθοδο Laser scanner, για την λήψη των στοιχείων απαιτήθηκε χρόνος περίπου 30 λεπτών, για το μέγιστο εύρος αποτύπωσης, με κλίμακα 5cm. Για την επεξεργασία των στοιχείων απαιτήθηκε χρόνος περίπου 2 ωρών ανά διατομή. Παρ'όλα αυτά, ο παραπάνω χρόνος θα μπορούσε να μειωθεί σημαντικά εφόσον η όλη διαδικασία αυτή γινόταν αυτοματοποιημένα.

Να σημειωθεί ότι το συνολικό μήκος αποτύπωσης των διατομών με συμβατικές μεθόδους ήταν 39.41 μέτρα, ενώ το μήκος σάρωσης με Laser Scanner ήταν περίπου 100 μέτρα.

### **Ως προς την ποιότητα των μετρήσεων**

Η ποιότητα των μετρήσεων είναι άμεσα εξαρτώμενη από τον βαθμό λεπτομέρειας της αποτύπωσης. Έτσι ο βαθμός λεπτομέρειας στην δεύτερη μέθοδο είναι διπλάσιος σε σχέση με την πρώτη (περίπου 60 σημεία), ενώ στην τρίτη μέθοδο (laser scanner) το πλήθος των σημείων αγγίζει τις 2000/διατομή.

Στην πρώτη μέθοδο η αποτύπωση των διατομών υπόκειται στην υποκειμενική κρίση του παρατηρητή (επιλογή σκόπευσης σημείων), ενώ στην δεύτερη και τρίτη μέθοδο η αποτύπωση είναι ανεξάρτητη του χειριστή.

## **8.3 Τελικά συμπεράσματα**

Από τον πίνακα των εμβαδών και των χωματισμών του προηγούμενου κεφαλαίου προκύπτει ότι τα αποτελέσματα είναι παραπλήσια (παρουσιάζουν μεταξύ τους αποκλίσεις

της τάξης 1%), ενώ αυτά της μεθόδου Total Station παρουσιάζουν αποκλίσεις της τάξης του 6%.

Οι διαφορές αυτές σε επιμέτρηση όγκων, για παράδειγμα σε σήραγγα μήκους 2km όπως η σήραγγα T1 στα Τέμπη, θα έδιναν διαφορές της τάξης του  $1.5\text{m}^3/\text{m}$ , δηλαδή μία συνολική διαφορά  $3000\text{m}^3$ , το οποίο μεταφράζεται σε κόστος περίπου 300000€, με μία μέση τιμή σκυροδέματος  $100\text{€}/\text{m}^3$ . Επομένως, η αποτύπωση των διατομών ακολουθώντας μία από τις μεθόδους αποτύπωσης, έχει άμεσο αντίκτυπο στα οικονομικά μεγέθη.

### **Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα**

Στη συνέχεια αναφέρονται επιγραμματικά τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του εξοπλισμού που απαιτείται και χρησιμοποιείται για κάθε μέθοδο αποτύπωσης.

#### **Total Station**

##### Πλεονεκτήματα

- Χαμηλό κόστος αγοράς
- Δυνατότητα χρήσης σε πολλαπλές εργασίες πεδίου
- Επίδραση ανθρώπινου παράγοντα (επιλογή σημείων σκόπευσης, παράβλεψη στοιχείων που δεν ανήκουν στην διατομή πχ αεραγωγός, καλώδια κτλ)

##### Μειονεκτήματα

- Επίδραση ανθρώπινου παράγοντα (υποκειμενική σκόπευση σημείων)
- Χρονοβόρο στην αποτύπωση διατομών

#### **TMS Profiler**

##### Πλεονεκτήματα

- Ανεξάρτητο λογισμικό
- Άμεση αντίληψη της διατομής σε πραγματικό χρόνο
- Εύκολη-άμεση επεξεργασία δεδομένων

### Μειονεκτήματα

Υψηλό σχετικά κόστος αγοράς

### **Laser scanner**

### Πλεονεκτήματα

Μεγάλη ταχύτητα αποτύπωσης (ελάχιστος χρόνος)

Μέγιστη ακρίβεια

Μεγάλος όγκος δεδομένων

Αξιοπιστία

Με μία σάρωση παρέχεται δυνατότητα λήψης διατομών σε όποια θέση και όσο πυκνά απαιτείται

Παρέχει ποιοτική και ποσοτική αναπαράσταση της γεωμετρίας της σήραγγας συμπεριλαμβανομένων τμημάτων με ειδικά χαρακτηριστικά όπως εγκάρσιοι διάδρομοι (by-pass)

### Μειονεκτήματα

Υψηλό κόστος αγοράς

Μεγάλος όγκος του εξοπλισμού

Μεγάλος όγκος δεδομένων απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ

Μονόπλευρη χρήση – As built σάρωση

Μεγάλος χρόνος επεξεργασίας δεδομένων

Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι και οι τρεις μέθοδοι παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα, τα οποία όμως μεταβάλλονται ανάλογα με τον τύπο εργασίας, και την ποσότητα δεδομένων που απαιτούνται ή το φόρτο εργασίας που ενδέχεται να προκύψει.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ξενόγλωσση**

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

### **Ελληνική**

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

8. Καλιαμπάκος Δ (1999). Εκμετάλλευση μεταλλείων Ι, Μηχανές Ολομέτωπης κοπής, Σημειώσεις μαθήματος, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων - Μεταλλουργών
9. Καββαδάς Μ (2004). Διάνοιξη σηράγγων με την μέθοδο NATM, Ηλεκτρονικές σημειώσεις, Τμήμα Πολιτικών μηχανικών, ΕΜΠ
10. Κωμοδρόμος Α (2006). Σήραγγες και υπόγεια έργα, Σημειώσεις και παρουσίαση παράδοσης μαθημάτων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,
11. Αποστολάκης, Κ (1991). Τοπογραφία. Εκδόσεις Α. Σταμούλης,
12. Παπαδιαμάντης, Χ (2005). Η συμβολή του Τοπογράφου Μηχανικού στην κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων, Ηλεκτρονική παρουσίαση.

# **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**





ΔΙΑΤΟΜΗ 1					ΔΙΑΤΟΜΗ 2				
Χ.Θ.		2166.90			Χ.Θ.		2167.98		
ΣΗΜΕΙΟ					ΣΗΜΕΙΟ				
1	2171.48	-7.599	-1.021	-0.25	1	2172.30	-7.595	-1.057	-0.02
2	2171.47	-7.637	-0.349	-0.24	2	2172.59	-7.625	-0.546	-0.31
3	2171.21	-7.656	0.241	0.02	3	2172.39	-7.622	0.027	-0.11
4	2171.12	-7.639	0.789	0.11	4	2172.47	-7.624	0.687	-0.19
5	2170.87	-7.570	1.164	0.36	5	2172.13	-7.697	1.771	0.15
6	2171.26	-7.647	1.851	-0.03	6	2172.23	-7.719	2.558	0.05
7	2171.35	-7.647	2.251	-0.12	7	2172.36	-7.503	3.059	-0.08
8	2170.98	-7.500	2.938	0.25	8	2172.61	-7.276	3.691	-0.33
9	2171.41	-7.213	3.755	-0.18	9	2172.19	-6.913	4.477	0.09
10	2171.02	-6.706	4.676	0.21	10	2172.13	-6.007	5.578	0.15
11	2171.20	-6.218	5.299	0.03	11	2172.38	-5.193	6.378	-0.10
12	2171.00	-5.045	6.403	0.23	12	2172.09	-4.116	6.995	0.19
13	2170.97	-3.743	7.149	0.26	13	2172.05	-3.385	7.305	0.23
14	2171.53	-1.466	7.817	-0.30	14	2172.58	-1.003	7.970	-0.30
15	2170.91	0.010	7.933	0.32	15	2172.07	-0.096	8.102	0.21
16	2171.36	1.924	7.701	-0.13	16	2172.13	0.323	8.096	0.15
17	2171.45	2.983	7.264	-0.22	17	2172.09	1.940	7.875	0.19
18	2171.02	6.063	5.365	0.21	18	2172.49	3.214	7.328	-0.21
19	2171.22	7.018	4.102	0.01	19	2172.01	3.979	7.052	0.27
20	2171.11	7.629	2.863	0.12	20	2172.28	4.955	6.483	0.00
21	2170.89	7.557	1.624	0.34	21	2172.24	5.574	6.052	0.04
22	2171.15	7.558	0.597	0.08	22	2172.51	6.078	5.646	-0.23
23	2171.41	7.491	-0.408	-0.18	23	2172.35	6.619	4.954	-0.07
24	2171.34	7.421	-0.817	-0.11	24	2172.30	6.926	4.598	-0.02
25	2170.92	7.365	-1.130	0.31	25	2172.52	7.060	4.055	-0.24
					26	2172.27	7.397	3.267	0.01
					27	2171.96	7.618	2.893	0.32
					28	2172.53	7.641	2.440	-0.25
					29	2172.47	7.468	1.178	-0.19
					30	2172.39	7.536	0.264	-0.11
					31	2172.05	7.445	-0.410	0.23
					32	2172.13	7.326	-1.066	0.15

ΔΙΑΤΟΜΗ 7					ΔΙΑΤΟΜΗ 8				
Χ.Θ.		2173.33			Χ.Θ.		2174.41		
ΣΗΜΕΙΟ					ΣΗΜΕΙΟ				
1	2173.26	-7.566	-1.206	0.07	1	2174.75	-7.581	-1.164	-0.34
2	2173.30	-7.637	-0.665	0.03	2	2174.40	-7.628	-0.493	0.01
3	2173.59	-7.664	-0.053	-0.26	3	2174.36	-7.652	0.099	0.05
4	2173.36	-7.622	0.774	-0.03	4	2174.13	-7.665	1.083	0.28
5	2173.31	-7.622	1.402	0.02	5	2174.67	-7.634	1.513	-0.26
6	2173.34	-7.651	2.090	-0.01	6	2174.21	-7.749	2.248	0.20
7	2173.37	-7.477	2.952	-0.04	7	2174.21	-7.644	2.786	0.20
8	2173.41	-6.922	4.194	-0.08	8	2174.48	-7.119	3.808	-0.07
9	2173.05	-6.159	5.217	0.28	9	2174.18	-6.723	4.239	0.23
10	2173.63	-5.473	6.018	-0.30	10	2174.73	-6.555	4.973	-0.32
11	2173.06	-3.741	7.178	0.27	11	2174.57	-5.841	5.812	-0.16
12	2173.37	-1.507	7.862	-0.04	12	2174.56	-5.268	6.275	-0.15
13	2173.35	-0.437	7.999	-0.02	13	2174.71	-4.606	6.606	-0.30
14	2173.13	0.291	8.076	0.20	14	2174.42	-3.758	7.185	-0.01
15	2173.38	1.078	7.982	-0.05	15	2174.75	-1.135	7.979	-0.34
16	2173.20	2.508	7.588	0.13	16	2174.65	0.375	8.084	-0.24
17	2173.39	4.273	6.867	-0.06	17	2174.14	1.753	7.926	0.27
18	2173.39	5.731	5.756	-0.06	18	2174.15	2.893	7.529	0.26
19	2173.60	6.768	4.537	-0.27	19	2174.09	4.323	6.999	0.32
20	2173.05	7.255	3.749	0.28	20	2174.35	4.774	6.470	0.06
21	2173.67	7.415	3.093	-0.34	21	2174.43	5.887	5.755	-0.02
22	2173.05	7.607	2.098	0.28	22	2174.08	6.496	5.014	0.33
23	2173.34	7.463	1.218	-0.01	23	2174.60	6.761	4.617	-0.19
24	2173.57	7.559	0.568	-0.24	24	2174.45	7.052	3.850	-0.04
25	2173.38	7.464	-0.035	-0.05	25	2174.10	7.312	3.268	0.31
26	2173.28	7.415	-0.674	0.05	26	2174.04	7.678	2.433	0.37
27	2173.63	7.331	-1.290	-0.30	27	2174.40	7.586	1.611	0.01
					28	2174.54	7.560	0.789	-0.13





ΔΙΑΤΟΜΗ 17					ΔΙΑΤΟΜΗ 18				
Χ.Θ. 2195.63					Χ.Θ. 2197.73				
ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta	ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta
1	2195.52	-7.529	-1.378	0.11	1	2197.56	-7.409	-1.222	0.17
2	2195.87	-7.535	-1.084	-0.24	2	2197.43	-7.409	-0.690	0.30
3	2195.38	-7.554	-0.886	0.25	3	2197.51	-7.629	0.457	0.22
4	2195.73	-7.597	-0.220	-0.10	4	2197.63	-7.740	1.503	0.10
5	2195.30	-7.632	-0.027	0.33	5	2197.72	-7.519	2.696	0.01
6	2195.96	-7.674	0.362	-0.33	6	2197.49	-7.060	4.335	0.24
7	2195.82	-7.772	0.677	-0.19	7	2197.57	-6.379	5.415	0.16
8	2195.73	-7.855	1.168	-0.10	8	2197.70	-5.673	6.381	0.03
9	2195.75	-7.834	1.519	-0.12	9	2197.89	-4.358	7.174	-0.16
10	2195.40	-7.829	1.975	0.23	10	2198.05	-3.408	7.499	-0.32
11	2195.59	-7.659	2.522	0.04	11	2197.55	-0.657	8.180	0.18
12	2195.64	-7.452	2.883	-0.01	12	2197.97	0.288	8.201	-0.24
13	2195.64	-7.295	3.666	-0.01	13	2197.62	1.901	7.985	0.11
14	2195.76	-6.681	4.803	-0.13	14	2197.39	3.088	7.618	0.34
15	2195.50	-5.757	5.933	0.13	15	2197.55	3.817	7.351	0.18
16	2195.58	-5.065	6.606	0.05	16	2197.51	4.538	6.905	0.22
17	2195.38	-4.168	7.270	0.25	17	2197.56	5.276	6.164	0.17
18	2195.51	-3.018	7.715	0.12	18	2197.96	6.123	5.376	-0.23
19	2195.69	-0.590	8.189	-0.06	19	2197.71	6.675	4.579	0.02
20	2195.78	0.431	8.089	-0.15	20	2197.54	7.545	3.387	0.19
21	2195.45	1.250	7.830	0.18	21	2197.44	7.665	2.882	0.29
22	2195.76	2.314	7.687	-0.13	22	2197.37	7.760	2.454	0.36
23	2195.36	3.909	7.256	0.27	23	2197.88	7.738	1.868	-0.15
24	2195.39	5.001	6.725	0.24	24	2197.73	7.678	0.955	0.00
25	2195.59	5.720	6.108	0.04	25	2198.05	7.548	0.075	-0.32
26	2195.47	6.069	5.589	0.16	26	2197.58	7.404	-0.631	0.15
27	2195.73	6.559	4.955	-0.10	27	2197.76	7.346	-0.905	-0.03
28	2195.56	6.795	4.230	0.07	28	2197.73	7.317	-1.165	0.00
29	2195.50	7.430	3.578	0.13	29	2197.95	7.288	-1.410	-0.22
30	2195.44	7.938	2.727	0.19					
31	2195.52	7.919	1.639	0.11					
32	2195.39	7.811	0.860	0.24					
33	2195.47	7.738	0.045	0.16					
34	2195.41	7.593	-0.625	0.22					
35	2195.33	7.520	-0.915	0.30					
36	2195.42	7.502	-1.260	0.21					

ΔΙΑΤΟΜΗ 19					ΔΙΑΤΟΜΗ 20				
Χ.Θ. 2199.25					Χ.Θ. 2200.75				
ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta	ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta
1	2199.27	-7.312	-1.415	-0.02	1	2200.39	-7.342	-1.021	0.36
2	2199.50	-7.332	-0.960	-0.25	2	2200.74	-7.360	-0.892	0.01
3	2199.46	-7.389	-0.107	-0.21	3	2200.96	-7.416	-0.665	-0.21
4	2199.22	-7.588	0.963	0.03	4	2200.65	-7.427	-0.310	0.10
5	2199.01	-7.717	1.771	0.24	5	2200.50	-7.462	0.023	0.25
6	2199.17	-7.507	3.224	0.08	6	2200.80	-7.518	0.696	-0.05
7	2199.56	-6.948	4.565	-0.31	7	2200.79	-7.681	1.265	-0.04
8	2199.38	-6.228	5.487	-0.13	8	2201.01	-7.589	2.128	-0.26
9	2199.33	-5.681	6.083	-0.08	9	2200.98	-7.536	2.888	-0.23
10	2199.03	-4.667	6.688	0.22	10	2200.54	-7.164	3.694	0.21
11	2199.16	-4.013	7.325	0.09	11	2200.46	-6.952	4.375	0.29
12	2199.42	-2.917	7.864	-0.17	12	2200.51	-6.307	5.168	0.24
13	2199.08	-0.562	8.354	0.17	13	2200.39	-5.661	6.060	0.36
14	2199.11	0.747	8.273	0.14	14	2201.08	-4.719	6.506	-0.33
15	2198.91	1.630	8.011	0.34	15	2200.39	-3.225	7.609	0.36
16	2199.07	2.464	7.864	0.18	16	2200.99	-0.812	8.213	-0.24
17	2199.52	3.658	7.341	-0.27	17	2200.39	0.024	8.257	0.36
18	2198.96	4.869	6.639	0.29	18	2201.08	1.695	8.015	-0.33
19	2199.13	5.523	6.034	0.12	19	2200.95	3.146	7.510	-0.20
20	2199.08	6.280	4.972	0.17	20	2200.79	4.053	7.016	-0.04
21	2199.44	7.350	3.486	-0.19	21	2200.95	4.631	6.574	-0.20
22	2199.39	7.538	2.313	-0.14	22	2200.84	5.316	6.171	-0.09
23	2199.08	7.624	1.405	0.17	23	2200.73	5.712	5.685	0.02
24	2199.12	7.553	0.608	0.13	24	2201.09	6.540	4.743	-0.34
25	2199.56	7.400	-0.429	-0.31	25	2201.00	6.934	4.119	-0.25
26	2199.03	7.296	-0.936	0.22	26	2201.09	7.357	3.226	-0.34
27	2199.29	7.257	-1.345	-0.04	27	2201.05	7.703	2.314	-0.30
					28	2200.89	7.665	1.662	-0.14
					29	2200.97	7.624	0.861	-0.22
					30	2200.89	7.496	0.010	-0.14
					31	2200.85	7.419	-0.441	-0.10
					32	2200.81	7.326	-0.917	-0.06
					33	2200.77	7.240	-1.198	-0.02
					34	2200.73	7.144	-1.607	0.02

ΔΙΑΤΟΜΗ 21					ΔΙΑΤΟΜΗ 22				
Χ.Θ. 2202.75					Χ.Θ. 2204.71				
ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta	ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta
1	2202.82	-7.353	-1.278	-0.07	1	2205.01	-7.109	-1.452	-0.30
2	2202.47	-7.362	-1.045	0.28	2	2205.01	-7.137	-1.021	-0.30
3	2202.94	-7.427	-0.525	-0.19	3	2204.78	-7.283	-0.443	-0.07
4	2202.84	-7.622	0.785	-0.09	4	2204.97	-7.385	0.051	-0.26
5	2202.42	-7.743	1.676	0.33	5	2204.78	-7.545	0.857	-0.07
6	2203.07	-7.455	2.159	-0.32	6	2204.84	-7.685	1.595	-0.13
7	2202.53	-7.585	2.893	0.22	7	2204.62	-7.650	2.429	0.09
8	2202.71	-7.191	3.992	0.04	8	2204.90	-7.484	3.257	-0.19
9	2203.06	-6.381	5.129	-0.31	9	2204.93	-6.563	4.908	-0.22
10	2202.46	-5.431	6.079	0.29	10	2204.45	-5.913	5.612	0.26
11	2202.71	-4.003	7.025	0.04	11	2205.03	-4.866	6.471	-0.32
12	2202.93	-2.858	7.644	-0.18	12	2204.87	-3.608	7.207	-0.16
13	2202.82	-1.007	8.210	-0.07	13	2204.91	-2.905	7.606	-0.20
14	2202.44	0.255	8.210	0.31	14	2204.62	-0.777	8.205	0.09
15	2203.08	1.246	8.060	-0.33	15	2204.40	-0.020	8.230	0.31
16	2202.83	2.808	7.730	-0.08	16	2204.54	0.823	8.094	0.17
17	2202.89	3.972	7.069	-0.14	17	2204.48	2.014	7.784	0.23
18	2202.80	5.137	6.207	-0.05	18	2205.04	3.565	7.251	-0.33
19	2202.58	6.365	5.106	0.17	19	2204.64	4.272	6.793	0.07
20	2202.70	7.086	4.075	0.05	20	2204.35	5.277	6.099	0.36
21	2202.73	7.584	3.047	0.02	21	2204.59	6.056	5.246	0.12
22	2202.73	7.707	2.369	0.02	22	2204.40	6.672	4.774	0.31
23	2202.79	7.713	1.495	-0.04	23	2204.58	7.078	3.950	0.13
24	2202.76	7.576	0.627	-0.01	24	2204.55	7.177	3.522	0.16
25	2202.66	7.503	-0.139	0.09	25	2204.51	7.452	2.665	0.20
26	2202.97	7.449	-0.502	-0.22	26	2204.55	7.607	1.887	0.16
27	2202.84	7.394	-0.931	-0.09	27	2204.61	7.538	0.570	0.10
28	2202.97	7.348	-1.123	-0.22	28	2204.82	7.552	-0.054	-0.11
29	2202.89	7.303	-1.415	-0.14	29	2204.66	7.496	-0.913	0.05
					30	2204.40	7.441	-1.343	0.31

ΔΙΑΤΟΜΗ 23					ΔΙΑΤΟΜΗ 24				
Χ.Θ. 2206.45					Χ.Θ. 2208.18				
ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta	ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta
1	2206.35	-7.213	-1.471	0.10	1	2208.44	-7.326	-1.235	-0.26
2	2206.25	-7.291	-0.680	0.20	2	2208.04	-7.366	-1.004	0.14
3	2206.48	-7.535	0.016	-0.03	3	2208.26	-7.458	-0.572	-0.08
4	2206.65	-7.664	0.810	-0.20	4	2207.92	-7.591	0.240	0.26
5	2206.26	-7.822	1.716	0.19	5	2208.07	-7.694	0.876	0.11
6	2206.65	-7.875	2.391	-0.20	6	2208.34	-7.830	1.771	-0.16
7	2206.08	-7.569	3.097	0.37	7	2208.49	-7.799	2.314	-0.31
8	2206.19	-7.254	3.902	0.26	8	2208.47	-7.458	3.498	-0.29
9	2206.10	-6.781	4.542	0.35	9	2208.17	-6.904	4.574	0.01
10	2206.71	-5.659	5.683	-0.26	10	2208.08	-6.087	5.478	0.10
11	2206.28	-4.795	6.519	0.17	11	2208.01	-5.202	6.468	0.17
12	2206.18	-3.037	7.390	0.27	12	2207.91	-3.967	7.148	0.27
13	2206.44	-1.157	8.072	0.01	13	2208.04	-2.882	7.602	0.14
14	2206.57	0.305	8.156	-0.12	14	2208.13	-1.001	8.073	0.05
15	2206.35	0.994	7.971	0.10	15	2208.16	-0.027	8.220	0.02
16	2206.16	2.086	7.837	0.29	16	2208.04	0.709	8.251	0.14
17	2206.39	3.095	7.484	0.06	17	2208.38	1.451	8.173	-0.20
18	2206.31	3.716	7.098	0.14	18	2208.49	2.264	7.833	-0.31
19	2206.49	4.573	6.695	-0.04	19	2207.89	3.602	7.408	0.29
20	2206.67	5.363	6.141	-0.22	20	2207.84	5.329	6.388	0.34
21	2206.16	5.632	5.705	0.29	21	2208.41	6.332	5.514	-0.23
22	2206.78	6.674	4.882	-0.33	22	2207.94	7.204	4.414	0.24
23	2206.36	6.993	4.244	0.09	23	2208.42	7.569	3.259	-0.24
24	2206.75	7.346	3.338	-0.30	24	2208.09	7.820	2.244	0.09
25	2206.49	7.531	2.616	-0.04	25	2208.16	7.855	1.327	0.02
26	2206.61	7.666	1.911	-0.16	26	2208.28	7.683	0.247	-0.10
27	2206.49	7.598	1.357	-0.04	27	2208.23	7.617	-0.389	-0.05
28	2206.14	7.666	0.551	0.31	28	2207.94	7.576	-0.896	0.24
29	2206.39	7.598	-0.202	0.06	29	2208.05	7.493	-1.253	0.13
30	2206.22	7.494	-0.886	0.23					
31	2206.47	7.434	-1.377	-0.02					

ΔΙΑΤΟΜΗ 25					ΔΙΑΤΟΜΗ 26				
Χ.Θ. 2209.80					Χ.Θ. 2211.42				
ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta	ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta
1	2209.89	-7.399	-1.208	-0.09	1	2211.21	-7.325	-1.397	0.21
2	2209.80	-7.522	-0.720	0.00	2	2211.57	-7.530	-0.528	-0.15
3	2209.45	-7.618	-0.204	0.35	3	2211.70	-7.621	0.087	-0.28
4	2210.14	-7.731	0.475	-0.34	4	2211.29	-7.810	0.957	0.13
5	2209.61	-7.875	1.229	0.19	5	2211.64	-7.826	1.705	-0.22
6	2209.71	-7.956	1.902	0.09	6	2211.44	-7.755	2.100	-0.02
7	2209.51	-7.790	2.950	0.29	7	2211.38	-7.451	2.333	0.04
8	2209.52	-7.445	3.944	0.28	8	2211.25	-7.680	3.055	0.17
9	2209.73	-6.550	5.291	0.07	9	2211.66	-7.211	4.308	-0.24
10	2209.57	-5.519	6.338	0.23	10	2211.63	-6.347	5.428	-0.21
11	2210.02	-4.397	7.093	-0.22	11	2211.39	-5.559	6.224	0.03
12	2209.55	-3.482	7.459	0.25	12	2211.31	-3.823	7.268	0.11
13	2210.11	-0.242	8.159	-0.31	13	2211.23	-2.902	7.791	0.19
14	2209.53	0.968	8.159	0.27	14	2211.26	-0.789	8.167	0.16
15	2209.66	2.051	8.015	0.14	15	2211.32	0.319	8.062	0.10
16	2209.72	3.243	7.816	0.08	16	2211.66	1.449	8.125	-0.24
17	2209.65	4.507	7.203	0.15	17	2211.13	2.893	7.770	0.29
18	2209.82	5.573	6.283	-0.02	18	2211.26	4.064	7.289	0.16
19	2209.50	6.024	5.778	0.30	19	2211.16	4.859	6.788	0.26
20	2209.69	6.981	4.894	0.11	20	2211.51	5.528	6.140	-0.09
21	2209.87	7.613	3.902	-0.07	21	2211.73	6.553	5.450	-0.31
22	2210.07	7.956	2.729	-0.27	22	2211.54	7.202	4.510	-0.12
23	2209.55	8.065	1.593	0.25	23	2211.58	7.537	3.674	-0.16
24	2209.55	7.848	0.240	0.25	24	2211.57	7.871	3.089	-0.15
25	2209.46	7.720	-0.326	0.34	25	2211.54	8.102	2.232	-0.12
26	2209.64	7.587	-0.935	0.16	26	2211.16	8.039	1.188	0.26
27	2210.13	7.565	-1.117	-0.33	27	2211.07	7.850	0.226	0.35
28	2209.73	7.537	-1.461	0.07	28	2211.36	7.767	-0.254	0.06
					29	2211.14	7.638	-0.783	0.28
					30	2211.33	7.556	-1.123	0.09

ΔΙΑΤΟΜΗ 27					ΔΙΑΤΟΜΗ 28				
Χ.Θ. 2213.24					Χ.Θ. 2215.03				
ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta	ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta
1	2213.43	-7.278	-1.288	-0.19	1	2215.33	-7.392	-1.338	-0.30
2	2212.99	-7.426	-0.316	0.25	2	2214.92	-7.435	-0.745	0.11
3	2213.54	-7.666	1.115	-0.30	3	2214.74	-7.554	0.270	0.29
4	2213.52	-7.734	1.858	-0.28	4	2214.71	-7.640	1.360	0.32
5	2212.93	-7.362	2.377	0.31	5	2214.81	-7.651	2.083	0.22
6	2213.28	-7.365	3.551	-0.04	6	2214.70	-7.305	2.255	0.33
7	2213.22	-7.015	4.600	0.02	7	2214.77	-7.489	2.838	0.26
8	2213.08	-6.139	5.835	0.16	8	2215.37	-7.253	3.687	-0.34
9	2213.27	-5.419	6.452	-0.03	9	2215.36	-7.131	4.058	-0.33
10	2213.46	-4.475	6.935	-0.22	10	2214.71	-6.851	4.810	0.32
11	2213.07	-3.232	7.651	0.17	11	2215.24	-6.141	5.454	-0.21
12	2213.43	-0.786	8.172	-0.19	12	2215.02	-5.028	6.611	0.01
13	2213.21	0.508	8.298	0.03	13	2215.08	-4.168	6.886	-0.05
14	2213.14	1.497	8.046	0.10	14	2215.13	-3.256	7.583	-0.10
15	2212.90	2.522	7.920	0.34	15	2215.09	-1.246	8.271	-0.06
16	2212.99	3.960	7.315	0.25	16	2214.85	0.075	8.353	0.18
17	2213.02	4.948	6.838	0.22	17	2215.11	0.681	8.326	-0.08
18	2213.23	6.095	6.042	0.01	18	2215.22	1.892	8.023	-0.19
19	2213.55	7.016	4.865	-0.31	19	2215.00	2.526	7.913	0.03
20	2212.95	7.231	4.222	0.29	20	2215.21	3.572	7.308	-0.18
21	2213.22	7.750	3.167	0.02	21	2215.05	4.150	6.896	-0.02
22	2213.41	7.822	2.201	-0.17	22	2215.25	5.141	6.456	-0.22
23	2213.06	8.019	1.164	0.18	23	2215.16	5.782	5.785	-0.13
24	2212.92	7.822	0.270	0.32	24	2215.33	6.958	4.478	-0.30
25	2213.58	7.678	-0.446	-0.34	25	2214.94	7.355	3.668	0.09
26	2213.33	7.545	-0.851	-0.09	26	2214.80	7.532	3.026	0.23
27	2213.02	7.434	-1.152	0.22	27	2214.80	7.819	2.393	0.23
28	2213.40	7.370	-1.453	-0.16	28	2214.81	7.885	1.314	0.22
					29	2214.98	7.832	0.430	0.05
					30	2214.85	7.714	-0.178	0.18
					31	2214.99	7.494	-0.948	0.04
					32	2215.15	7.466	-1.127	-0.12

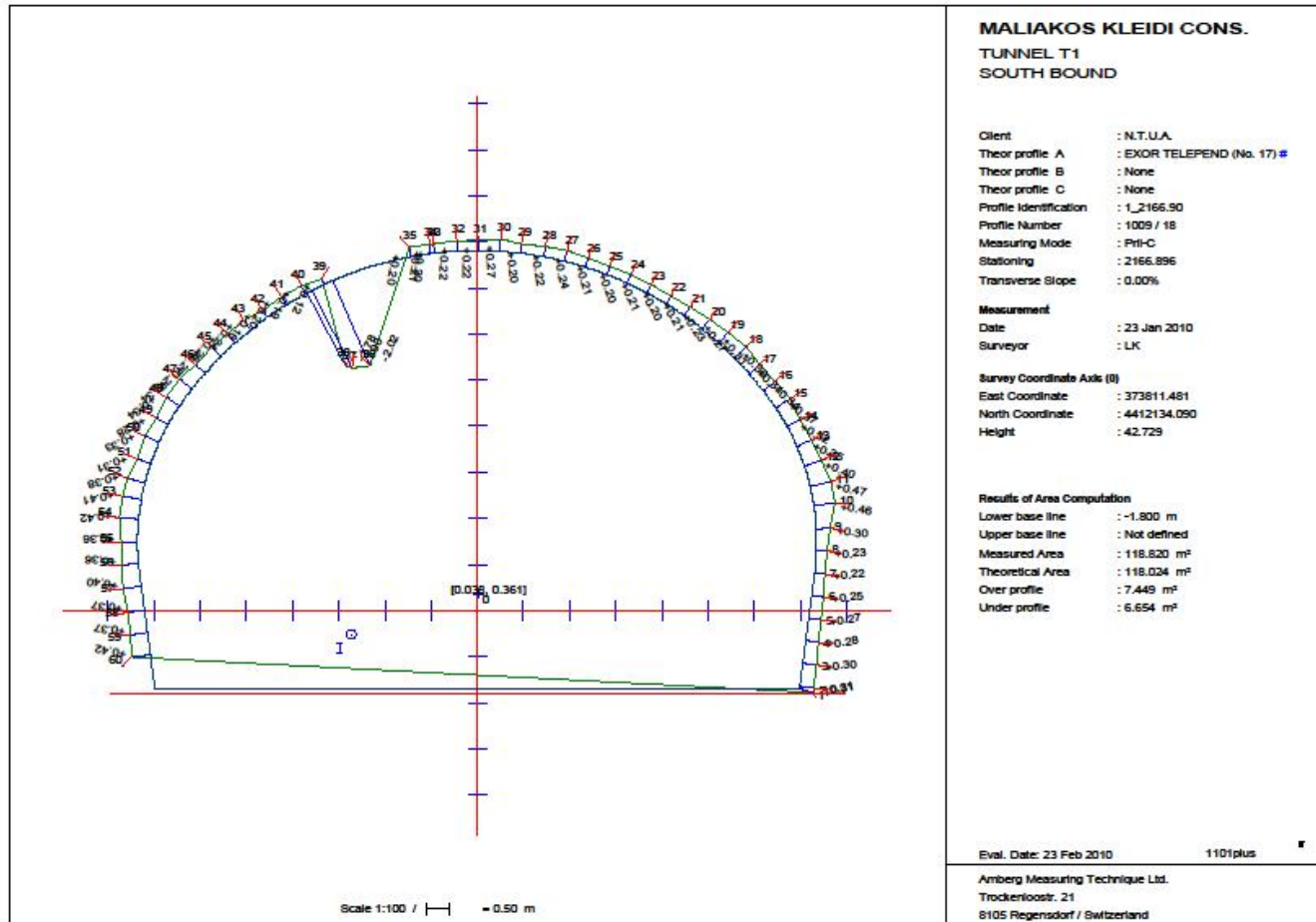
ΔΙΑΤΟΜΗ 29					ΔΙΑΤΟΜΗ 30				
Χ.Θ.		2216.63			Χ.Θ.		2218.22		
ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta	ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta
1	2216.41	-7.279	-1.329	0.22	1	2218.48	-7.241	-1.259	-0.26
2	2216.69	-7.413	-0.707	-0.06	2	2218.11	-7.376	-0.614	0.11
3	2216.92	-7.526	-0.074	-0.29	3	2217.86	-7.516	0.329	0.36
4	2216.35	-7.576	0.618	0.28	4	2218.09	-7.550	0.820	0.13
5	2216.76	-7.526	1.550	-0.13	5	2218.15	-7.642	1.953	0.07
6	2216.50	-7.576	1.965	0.13	6	2218.37	-7.238	2.321	-0.15
7	2216.60	-7.337	2.393	0.03	7	2218.08	-7.522	2.930	0.14
8	2216.33	-7.460	3.184	0.30	8	2218.50	-7.175	3.916	-0.28
9	2216.67	-6.679	4.857	-0.04	9	2218.40	-6.861	4.593	-0.18
10	2216.91	-5.946	5.545	-0.28	10	2218.30	-5.637	5.887	-0.08
11	2216.44	-5.277	6.327	0.19	11	2217.90	-3.830	7.308	0.32
12	2216.90	-4.448	6.841	-0.27	12	2217.96	-2.608	7.972	0.26
13	2216.72	-3.448	7.526	-0.09	13	2217.89	-0.504	8.385	0.33
14	2216.33	-2.705	7.897	0.30	14	2218.41	0.467	8.260	-0.19
15	2216.44	-0.361	8.354	0.19	15	2218.33	1.348	7.990	-0.11
16	2216.58	0.583	8.040	0.05	16	2218.31	2.732	7.721	-0.09
17	2216.89	1.841	7.954	-0.26	17	2218.24	3.272	7.326	-0.02
18	2216.41	3.373	7.331	0.22	18	2217.91	4.441	6.877	0.31
19	2216.48	4.253	6.896	0.15	19	2217.94	5.124	6.446	0.28
20	2216.45	5.877	5.720	0.18	20	2217.95	6.113	5.673	0.27
21	2216.73	6.669	4.830	-0.10	21	2218.24	6.634	5.045	-0.02
22	2216.64	7.432	3.735	-0.01	22	2218.54	6.958	4.147	-0.32
23	2216.51	7.557	2.775	0.12	23	2218.07	7.425	2.907	0.15
24	2216.70	7.930	1.567	-0.07	24	2218.47	7.644	2.326	-0.25
25	2216.61	7.859	0.590	0.02	25	2218.05	7.707	1.824	0.17
26	2216.67	7.575	-0.423	-0.04	26	2218.19	7.856	1.000	0.03
27	2216.27	7.486	-0.903	0.36	27	2218.24	7.790	0.506	-0.02
28	2216.69	7.282	-1.694	-0.06	28	2218.10	7.562	-0.346	0.12
					29	2218.17	7.423	-0.980	0.05
					30	2217.96	7.334	-1.317	0.26

ΔΙΑΤΟΜΗ 31				
Χ.Θ.		2219.55		
ΣΗΜΕΙΟ	Χ.Θ.	ΔΧ	ΔΗ	dsta
1	2219.63	-7.322	-1.219	-0.08
2	2219.52	-7.395	-0.564	0.03
3	2219.88	-7.429	0.047	-0.33
4	2219.30	-7.662	1.354	0.25
5	2219.44	-7.679	1.767	0.11
6	2219.48	-7.669	2.565	0.07
7	2219.25	-7.321	3.723	0.30
8	2219.33	-6.709	4.820	0.22
9	2219.82	-5.678	5.893	-0.27
10	2219.22	-4.236	7.035	0.33
11	2219.47	-2.893	7.761	0.08
12	2219.43	-1.071	8.366	0.12
13	2219.69	-0.606	8.361	-0.14
14	2219.72	0.261	8.309	-0.17
15	2219.74	1.004	8.184	-0.19
16	2219.49	2.807	7.760	0.06
17	2219.86	4.566	6.845	-0.31
18	2219.66	5.689	6.015	-0.11
19	2219.35	6.629	5.015	0.20
20	2219.76	7.130	4.027	-0.21
21	2219.26	7.337	3.413	0.29
22	2219.89	7.824	2.191	-0.34
23	2219.48	7.857	1.164	0.07
24	2219.26	7.654	0.043	0.29
25	2219.23	7.376	-1.088	0.32



## ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΑΡΧΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ TMS PROFILER



<b>MALIAKOS KLEIDI CONS.</b>					Page	: 1		
<b>TUNNEL T1</b>					Date	: 23 Feb 2010		
<b>SOUTH BOUND</b>					Time	: 16:27:07		
Client : N.T.U.A.					TMS PROWin 7.0			
Stationing : (1009) 2166.896					Amberg Measuring Technique Ltd.			
Station Identification : 1_2166.90					Trockenloostr. 21			
Instrument Type : 1101plus					8105 Regensdorf / Switzerland			
Theoretical Profile A : (1) P1_ESOR_PL					Tel + +41 1 870 92 22			
Date of Measurement : 23 Jan 2010 LK								
Upper Base Line : Not defined								
Lower Base Line : -1.800 m								
<b>List of coordinates</b>								
Point number	Stationing m	X-coord rel.to axis	Y-coord rel.to axis	Circumference	Easting (Y)-co-ordinate	Northing (X)-co-ordinate	Height (Z)-co-ordinate	Remarks
1	2166.846	7.278	-1.780	0.000	373814.265	4412127.365	40.949	
2	2166.843	7.290	-1.679	0.101	373814.267	4412127.353	41.049	
3	2166.853	7.352	-1.184	0.601	373814.300	4412127.299	41.545	
4	2166.868	7.393	-0.690	1.096	373814.330	4412127.268	42.038	
5	2166.875	7.448	-0.198	1.591	373814.357	4412127.220	42.531	
6	2166.874	7.500	0.294	2.086	373814.376	4412127.172	43.023	
7	2166.880	7.534	0.786	2.579	373814.396	4412127.142	43.515	
8	2166.904	7.583	1.294	3.089	373814.437	4412127.107	44.022	
9	2166.880	7.650	1.789	3.589	373814.441	4412127.035	44.518	
10	2166.869	7.753	2.338	4.147	373814.470	4412126.936	45.067	
11	2166.860	7.672	2.802	4.619	373814.431	4412127.007	45.531	
12	2166.816	7.466	3.263	5.124	373814.310	4412127.180	45.992	
13	2166.861	7.252	3.705	5.615	373814.269	4412127.396	46.434	
14	2166.841	7.002	4.142	6.118	373814.153	4412127.618	46.870	
15	2166.864	6.791	4.593	6.616	373814.092	4412127.821	47.322	
16	2166.898	6.477	4.971	7.108	373814.001	4412128.124	47.700	
17	2166.895	6.134	5.340	7.611	373813.865	4412128.438	48.068	
18	2166.872	5.843	5.729	8.096	373813.731	4412128.697	48.457	
19	2166.895	5.449	6.032	8.593	373813.600	4412129.069	48.761	
20	2166.898	5.050	6.322	9.087	373813.446	4412129.438	49.051	
21	2166.906	4.627	6.587	9.586	373813.289	4412129.831	49.315	
22	2166.916	4.206	6.833	10.074	373813.135	4412130.223	49.561	
23	2166.902	3.782	7.069	10.559	373812.958	4412130.608	49.798	
24	2166.886	3.344	7.292	11.051	373812.772	4412131.006	50.021	

MALIAKOS KLEIDI CONS.					Page	: 2		
TUNNEL T1					Date	: 23 Feb 2010		
SOUTH BOUND					Time	: 16:27:07		
Client : N.T.U.A. Stationing : (1009) 2166.896 Station Identification : L_2166.90 Instrument Type : 1101plus Theoretical Profile A : (1) P1_ESOR_PL Date of Measurement : 23 Jan 2010 LK Upper Base Line : Not defined Lower Base Line : -1.800 m					TMS PROwin 7.0  Amberg Measuring Technique Ltd. Trockenloostr. 21 8105 Regensdorf / Switzerland  Tel + +41 1 870 92 22			
List of coordinates								
Point number	Stationing m	X-coord rel.to axis	Y-coord rel.to axis	Circumference	Easting (Y)-co-ordinate	Northing (X)-co-ordinate	Height (Z)-co-ordinate	Remarks
25	2166.896	2.884	7.471	11.544	373812.603	4412131.433	50.200	
26	2166.891	2.411	7.647	12.048	373812.414	4412131.867	50.376	
27	2166.902	1.955	7.814	12.535	373812.247	4412132.291	50.543	
28	2166.927	1.481	7.897	13.016	373812.086	4412132.738	50.626	
29	2166.921	0.966	7.952	13.534	373811.880	4412133.210	50.681	
30	2166.923	0.513	8.062	13.999	373811.706	4412133.628	50.790	
31	2166.953	0.019	8.026	14.495	373811.542	4412134.095	50.755	
32	2166.937	-0.442	8.019	14.956	373811.348	4412134.513	50.748	
33	2166.911	-0.945	7.955	15.463	373811.128	4412134.967	50.684	
34	2166.912	-1.031	7.950	15.549	373811.096	4412135.046	50.679	
35	2166.962	-1.465	7.877	15.990	373810.882	4412135.427	50.605	
36	2166.914	-2.315	5.315	18.688	373810.598	4412136.231	48.044	
37	2166.919	-2.709	5.260	19.086	373810.450	4412136.595	47.989	
38	2166.934	-2.845	5.320	19.235	373810.411	4412136.726	48.049	
39	2166.967	-3.353	7.193	21.175	373810.244	4412137.208	49.922	
40	2166.964	-3.796	7.044	21.642	373810.068	4412137.614	49.773	
41	2166.965	-4.231	6.811	22.135	373809.901	4412138.015	49.540	
42	2166.901	-4.632	6.515	22.633	373809.686	4412138.360	49.244	
43	2166.967	-5.034	6.292	23.093	373809.498	4412138.717	49.020	
44	2166.975	-5.403	6.004	23.561	373809.455	4412139.099	48.733	
45	2166.954	-5.737	5.700	24.013	373809.305	4412139.399	48.429	
46	2166.899	-6.083	5.334	24.517	373809.120	4412139.696	48.062	
47	2166.864	-6.442	5.024	24.991	373808.948	4412140.014	47.752	
48	2166.884	-6.723	4.635	25.470	373808.857	4412140.280	47.364	

<b>MALIAKOS KLEIDI CONS.</b>		Page : 3
TUNNEL T1		Date : 23 Feb 2010
SOUTH BOUND		Time : 16:27:07
Client : N.T.U.A.		TMS PROwn 7.0
Stationing : (1009) 2166.896		Amberg Measuring Technique Ltd.
Station Identification : 1_2166.90		Trockenloostr. 21
Instrument Type : 1101plus		8105 Regensdorf / Switzerland
Theoretical Profile A : (1) P1_ESOR_PL		Tel + +41 1 870 92 22
Date of Measurement : 23 Jan 2010 LK		
Upper Base Line : Not defined		
Lower Base Line : -1.800 m		

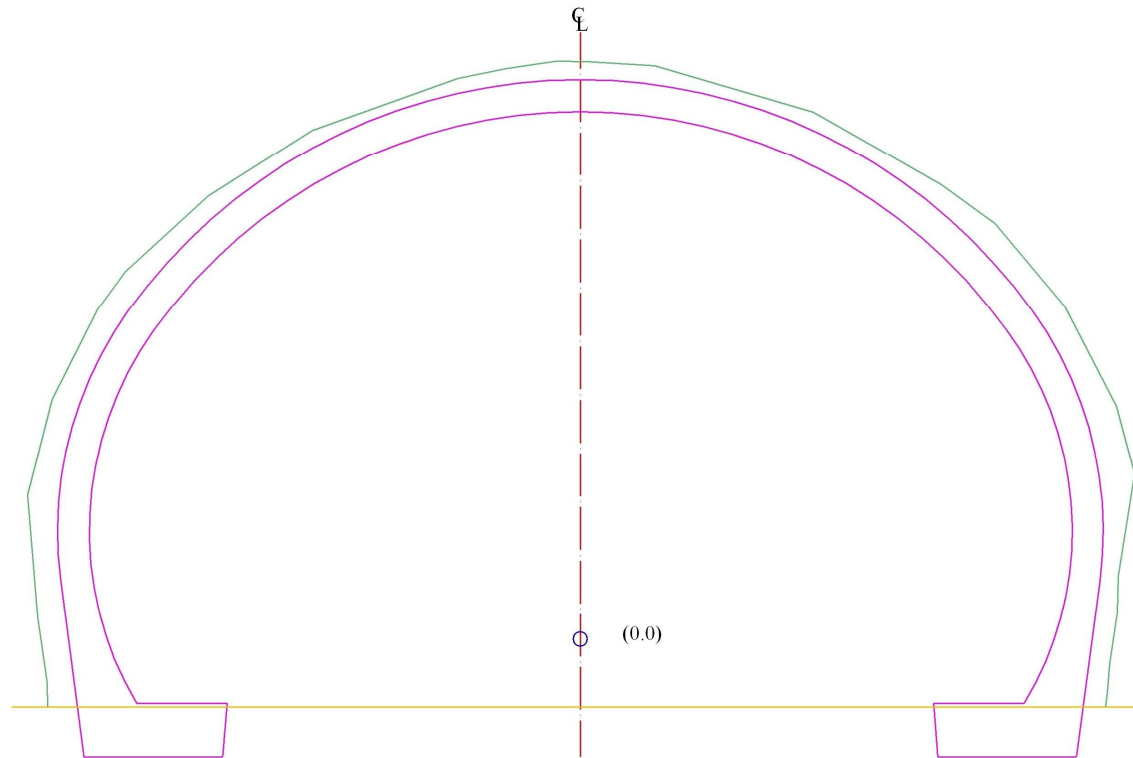
**List of coordinates**

Point number	Stationing m	X-coord rel.to axis	Y-coord rel.to axis	Circumference	Easting (Y)-co-ordinate	Northing (X)-co-ordinate	Height (Z)-co-ordinate	Remarks
49	2166.928	-6.936	4.179	25.974	373808.815	4412140.493	46.908	
50	2166.878	-7.186	3.790	26.436	373808.672	4412140.704	46.519	
51	2166.894	-7.361	3.288	26.968	373808.618	4412140.872	46.017	
52	2166.919	-7.566	2.869	27.434	373808.562	4412141.070	45.598	
53	2166.916	-7.675	2.482	27.837	373808.516	4412141.170	45.211	
54	2166.934	-7.748	2.025	28.299	373808.505	4412141.244	44.754	
55	2166.794	-7.712	1.495	28.831	373808.390	4412141.155	44.223	
56	2166.827	-7.693	0.988	29.338	373808.427	4412141.151	43.716	
57	2166.834	-7.672	0.475	29.851	373808.442	4412141.135	43.203	
58	2166.968	-7.570	-0.039	30.375	373808.605	4412141.093	42.690	
59	2166.916	-7.512	-0.526	30.866	373808.580	4412141.019	42.203	
60	2166.888	-7.492	-1.011	31.351	373808.562	4412140.990	41.717	
1	2166.846	7.278	-1.780	46.142	373814.265	4412127.365	40.949	

<b>MALIAKOS KLEIDI CONS.</b>					Page : 1				
TUNNEL T1					Date : 23 Feb 2010				
SOUTH BOUND					Time : 16:27:07				
Client : N.T.U.A.					TMS PROwin 7.0				
Stationing : (1009) 2166.896					Amberg Measuring Technique Ltd.				
Station Identification : 1_2166.90					Trockenlostr. 21				
Instrument Type : 1101plus					8105 Regensdorf / Switzerland				
Theoretical Profile A : (17) EXOR TELEPEND					Tel + +41 1 870 92 22				
Date of Measurement : 23 Jan 2010 LK									
Upper Base Line : Not defined									
Lower Base Line : -1.800 m									
<b>Results of distance computation</b>									
Point number	Stationing	Segment no Type	Computed distance	Analysis	Point number	Stationing	Segment no Type	Computed distance	Analysis
1	2166.896	6/Straight	0.31		25	2166.896	3/Circle	0.20	
2	2166.896	5/Straight	0.31		26	2166.896	3/Circle	0.21	
3	2166.896	5/Straight	0.30		27	2166.896	3/Circle	0.24	
4	2166.896	5/Straight	0.28		28	2166.896	3/Circle	0.22	
5	2166.896	5/Straight	0.27		29	2166.896	3/Circle	0.20	
6	2166.896	5/Straight	0.25		30	2166.896	3/Circle	0.27	
7	2166.896	4/Circle	0.22		31	2166.896	3/Circle	0.22	
8	2166.896	4/Circle	0.23		32	2166.896	3/Circle	0.22	
9	2166.896	4/Circle	0.30		33	2166.896	3/Circle	0.20	
10	2166.896	4/Circle	0.46		34	2166.896	3/Circle	0.21	
11	2166.896	4/Circle	0.47		35	2166.896	3/Circle	0.20	
12	2166.896	4/Circle	0.40		36	2166.896	3/Circle	-2.02	
13	2166.896	4/Circle	0.35		37	2166.896	3/Circle	-1.90	
14	2166.896	4/Circle	0.32		38	2166.896	3/Circle	-1.78	
15	2166.896	4/Circle	0.37		39	2166.896	3/Circle	0.12	
16	2166.896	3/Circle	0.34		40	2166.896	3/Circle	0.19	
17	2166.896	3/Circle	0.31		41	2166.896	3/Circle	0.20	
18	2166.896	3/Circle	0.36		42	2166.896	3/Circle	0.18	
19	2166.896	3/Circle	0.31		43	2166.896	3/Circle	0.24	
20	2166.896	3/Circle	0.27		44	2166.896	3/Circle	0.26	
21	2166.896	3/Circle	0.23		45	2166.896	3/Circle	0.27	
22	2166.896	3/Circle	0.21		46	2166.896	3/Circle	0.27	
23	2166.896	3/Circle	0.20		47	2166.896	3/Circle	0.34	
24	2166.896	3/Circle	0.21		48	2166.896	2/Circle	0.34	

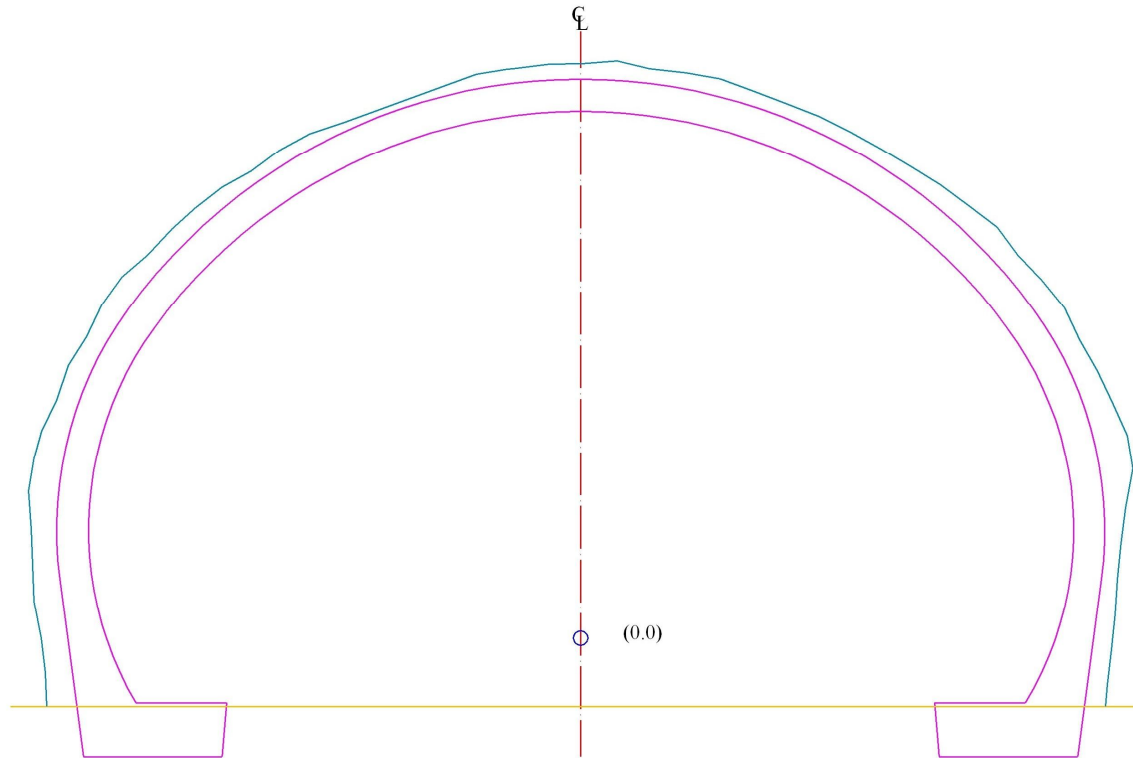
**ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ**  
**(TOTAL STATION, TMS PROFILER, LASER SCANNER)**

ΔΙΑΤΟΜΗ : 1  
X.Θ. : 2+166.90  
E total station : 116.83 m<sup>2</sup>



ΔΙΑΤΟΜΗ : 1  
X.Θ. : 2+166.90

E tms profiler : 115.64 m2



ΔΙΑΤΟΜΗ : 1  
X.Θ. : 2+166.90

E laser scanner : 115.88 m<sup>2</sup>

