



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΔΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕ ΤΗ**  
**ΜΕΘΟΔΟ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΕΠΙΧΩΣΗΣ**  
**ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΣΤΗΝ**  
**ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΙΚΡΗΣ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗΣ**  
**ΠΑΤΡΩΝ**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ:  
ΜΑΝΟΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ  
ΓΑΛΑΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ  
ΜΠΕΡΛΗΣ ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΗΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΛΟΥΚΙΝΑΣ

ΠΑΤΡΑ - ΜΑΪΟΣ 2010

**ΘΕΜΑ:**  
**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΔΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕ ΤΗ**  
**ΜΕΘΟΔΟ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΕΠΙΧΩΣΗΣ**  
**ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΣΤΗΝ**  
**ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΙΚΡΗΣ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗΣ**  
**ΠΑΤΡΩΝ**



**ΕΠΙΜΕΛΗΤΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:**  
ΜΑΝΟΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ  
ΓΑΛΑΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ  
ΜΠΕΡΛΗΣ ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΗΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Μικρή Περιμετρική αποτελεί κύριο οδικό άξονα της περιοχής και έχει χαρακτηριστεί ως πρωτεύουσα αρτηρία.

Από την αρχή του Cut & Cover Χ.Θ. 0+986 και μέχρι την αρχή του κόμβου εξόδου η χάραξη επιτρέπει την ανάπτυξη σχετικά υψηλών ταχυτήτων 60(70) χλμ/ώρα.

Με την αρ. πρωτ. 2874/8-4-02 απόφαση της Διευθύνουσας Υπηρεσίας τροποποιείται η τυπική διατομή της Μικρής Περιμετρικής, οπότε από τη Χ.Θ. 1+005 είσοδος Cut & Cover έως τη Χ.Θ. 1+716 αρχή κόμβου εξόδου η διατομή που εφαρμόζεται είναι αστικού τύπου με δύο λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, πλάτους 7,00 μέτρων (3,50+3,50), λωρίδα έκτακτης ανάγκης πλάτους 2,25 μέτρων και κεντρική νησίδα συνολικού πλάτους 3,50 μέτρων.

Η κεντρική νησίδα αποτελείται από πεζοδρόμιο πλάτους 2,0 μέτρων (1,0+1,0) και από πλάτος εσωτερικής λωρίδας καθοδήγησης 1,50 μέτρο (0,75+0,75). Στα ερείσματα διαμορφώνονται πεζοδρόμια πλάτους 1,50μ.

Το σημαντικότερο έργο που απαιτείται στα προτεινόμενα έργα είναι η σήραγγα που αναπτύσσεται από τη Χ.Θ. 2+315 έως τη Χ.Θ. 2+332 της Μικρής Περιμετρικής.

Η κατασκευή του παραπάνω τεχνικού έργου επιτρέπει την άμεση σύνδεση και επικοινωνία των οικοδομικών τετραγώνων που βρίσκονται νότια και βόρεια της Μικρής Περιμετρικής και ταυτόχρονα δίνει τη δυνατότητα στήριξης και ανάδειξης του τμήματος του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου, που βρέθηκαν κατά την ανασκαφική έρευνα.

Λόγω της παρουσίας τμήματος τείχους του αρχαίου ρωμαϊκού υδραγωγείου η χάραξη της οδοποιίας υποβιβάζεται ώστε να διέρχεται υπογείως αυτού. Εξ αιτίας της μορφολογίας του εδάφους, των υφισταμένων οδών, των δομημένων επιφανειών εκατέρωθεν της χάραξης και της εγκεκριμένης οριστικής μελέτης οδοποιίας προβλέπεται η κατασκευή υπογείων τεχνικών έργων μήκους 147.41μ (Χ.Θ. 2+273.74 έως την Χ.Θ. 2+421.15). Στο τμήμα από Χ.Θ. 2+205 έως Χ.Θ. 2+273.74 προβλέπεται αμφίπλευρη κατασκευή αντιστήριξης (ανοικτό έργο).

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></b> .....	<b>7</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>7</b>
1.1. Αντικείμενο.....	8
1.2. Ανάθεση.....	8
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup></b> .....	<b>9</b>
<b>2. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ</b> .....	<b>9</b>
2.1. Σήραγγες.....	10
2.2. Σκοπός και ταξινόμηση των σηράγγων.....	10
2.3. Ιστορική αναδρομή των σηράγγων .....	12
2.4. Γεωτεχνική Έρευνα.....	16
2.5. Σκοπός της μελέτης.....	16
2.6. Σύλληψη, σχεδίαση και εκτέλεση των σηράγγων .....	17
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></b> .....	<b>19</b>
<b>3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ</b> .....	<b>19</b>
3.1. Μέθοδος με μηχανήμα διάνοιξης σηράγγων (TBM) .....	20
3.1.1. Μεθοδολογία κατασκευής .....	21
3.1.2. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....	22
3.2. Συμβατική μέθοδος εκσκαφής σηράγγων (NATM).....	22
3.2.1. Μεθοδολογία κατασκευής .....	23
3.3. Μέθοδος ανοιχτού ορύγματος (Cut And Cover) .....	26
3.3.1. Μεθοδολογία κατασκευής .....	27
3.4. Μέθοδος επικάλυψης - εκσκαφής ( Top - Down) .....	29
3.4.1. Μεθοδολογία κατασκευής .....	29
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup></b> .....	<b>31</b>
<b>4. ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ</b> .....	<b>31</b>
4.1. Μέθοδοι ανάλυσης και σχεδιασμού υπόγειων κατασκευών .....	32
4.2. Αλληλεπίδραση εδάφους - κατασκευής.....	33
4.3. Αντισεισμικός σχεδιασμός σηράγγων κατά Kuesel (1969).....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup></b> .....	<b>37</b>
<b>5. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΟΥ</b> .....	<b>37</b>
5.1. Θέση – Περιγραφή Έργου .....	38

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup></b> .....	<b>40</b>
<b>6. ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ</b> .....	<b>40</b>
6.1. Έλεγχος εδάφους – Ξεσκάρωμα.....	41
6.2. Μέτρα άμεσης υποστήριξης.....	41
6.3. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα – Μεταλλικά πλαίσια.....	42
6.4. Προενίσχυση εδάφους και προδιάταξη στοιχείων άμεσης υποστήριξης.....	43
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup></b> .....	<b>45</b>
<b>7. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ</b> .....	<b>45</b>
7.1. Παρατηρήσεις για το έργο.....	46
7.2. Αυτοψία του έργου.....	47
7.3. Θέματα καθιζήσεων και δονήσεων .....	55
7.3.1. Καθιζήσεις.....	55
7.3.2. Δονήσεις .....	55
7.4. Προτάσεις βελτίωσης.....	56
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup></b> .....	<b>58</b>
<b>8. ΕΝΟΡΓΑΝΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ</b> .....	<b>58</b>
8.1. Γενικά.....	59
8.2. Πρόγραμμα ενόργανης παρακολούθησης.....	59
8.3. Προδιαγραφές οργάνων ενόργανης παρακολούθησης.....	60
8.3.1. Σύστημα χωροσταθμικών μετρήσεων.....	60
8.3.2. Σύστημα τρισδιάστατων τοπογραφικών μετρήσεων.....	61
8.4. Εγκατάσταση ρηγματομέτρων .....	62
8.5. Δονησιμετρικοί έλεγχοι.....	63
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup></b> .....	<b>65</b>
<b>9. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</b> .....	<b>65</b>
9.1. Γενικά.....	66
9.2. Μέθοδος κατασκευής σήραγγας.....	66
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10<sup>ο</sup></b> .....	<b>68</b>
<b>10. ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ</b> .....	<b>68</b>
10.1. Φάση 1 – Κατασκευή πασσάλων.....	70
10.2. Φάση 2 – Προκαταρτικές εργασίες .....	71
10.3. Φάση 3 – Κατασκευή δοκών προπορείας και διαμόρφωση στομίου σήραγγας. ....	71
10.4. Φάση 4 – Διάνοιξη σήραγγας .....	73

<i>10.5. Φάση 5 – Κατασκευή τελικής επένδυσης σήραγγας.....</i>	<i>74</i>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11<sup>ο</sup> .....</b>	<b>77</b>
<i>11. ΣΗΡΑΓΓΑ ΜΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ.....</i>	<i>77</i>
<i>11.1. Γενικά.....</i>	<i>78</i>
<i>11.2. Προσωρινή αντιστήριξη – Διάνοιξη – Άμεση υποστήριξη .....</i>	<i>78</i>
<i>11.3. Τελική επένδυση .....</i>	<i>81</i>
<i>11.3.1. Θεμελίωση – Κατασκευή πυθμένα.....</i>	<i>81</i>
<i>11.3.2. Κατακόρυφα στοιχεία.....</i>	<i>82</i>
<i>11.3.3. Φορέας ανωδομής .....</i>	<i>82</i>
<i>11.3.4. Τελική Επένδυση .....</i>	<i>82</i>
<i>11.3.4.1. Πλήρωση κενών.....</i>	<i>83</i>
<i>11.3.4.2. Εκτέλεση διεργασίας τσιμεντενέσεων.....</i>	<i>83</i>
<i>11.3.4.3. Προστασία στραγγιστηρίων.....</i>	<i>84</i>
<i>11.3.4.4. Αποκατάσταση και καθαρισμός.....</i>	<i>84</i>
<i>11.3.5. Τελική φάση κατασκευής .....</i>	<i>84</i>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>86</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>87</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

---

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>**

### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

#### **1.1. Αντικείμενο**

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η περιγραφή των μεθόδων προστασίας αρχαιοτήτων της Μικρής Περιμετρικής Πατρών μέσω της υπάρχουσας Οριστικής Μελέτης και οι ενδεχόμενες προτάσεις (συμπληρώσεις, τροποποιήσεις κλπ.) όσων αφορά ειδικώς την πληρέστερη προστασία των αρχαιοτήτων (κατάλοιπα Ρωμαϊκού Υδραγωγείου Πατρών) που βρέθηκαν στην νέα Μικρή Περιμετρική Οδό των Πατρών, στη Χ.Θ. 2+315,90 έως 2+332,50 στον Κόμβο Εξόδου.

Σε αυτή τη θέση, και επί μήκους λίγο μεγαλύτερου των 15m, η υπό κατασκευή Μικρή ΠΟΠ διασταυρώνεται (υπό γωνία περίπου 60°) με τμήμα του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου.

Έτσι, σε αυτή τη θέση, η Οριστική Μελέτη Τεχνικών Έργων της Μικρής ΠΟΠ ορθώς προβλέπει την κατασκευή του έργου υπόγειας εκσκαφής – σήραγγας με διάτρηση (σε μικρό βάθος), αναλόγως και των λοιπών στοιχείων χάραξης της Μικρής ΠΟΠ.

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του έργου είναι η διάτρηση και κατασκευή της τελικής/μόνιμης δίδυμης σήραγγας υπό συνθήκες πολύ μικρού πάχους υπερκείμενων γαιών, δηλ, σε μικρό ως μηδενικό (πρακτικώς) βάθος κάτω από αρχαιότητες.

Έτσι, κρίθηκε απαραίτητος ο πρόσθετος έλεγχος της Οριστικής Μελέτης του έργου από τους μελετητές, ειδικώς όσο αφορά θέματα καθιζήσεων και δονήσεων σε σχέση με τις αρχαιότητες, τόσο κατά κατασκευή όσο και κατά την λειτουργία του έργου.

#### **1.2. Ανάθεση**

Η ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΗΣ ΜΙΚΡΗΣ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗΣ ΠΑΤΡΩΝ, ανατέθηκε με βάση την 8083/1-12-2000 απόφαση της ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ – Δ/ση Δημοσίων Έργων στα συμπράττοντα γραφεία μελετών: ΓΕΩΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ Ε.Π.Ε.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

---

## ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### **2. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ**

#### **2.1. Σήραγγες**

Σήραγγα είναι ένα υπόγειο πέρασμα. Ειδικότερα, σήραγγα είναι μια αμφίστομη θολωτή δίοδος προς συνέχιση συγκοινωνιακών αρτηριών, έργων ύδρευσης ή αποχέτευσης, είτε για άλλους σκοπούς. Ο ορισμός του τι συνιστά μια σήραγγα δεν έχει συμφωνηθεί διεθνώς ακόμα. Ωστόσο, οι σήραγγες γενικά είναι διπλάσιες σε μήκος από ότι σε πλάτος. Επιπλέον, θα πρέπει να είναι πλήρως κλειστές από όλες τις πλευρές, εκτός από τα ανοίγματα σε κάθε άκρο. Ορισμένοι σχεδιαστές έχουν καθορίσει μια σήραγγα ως 0,1μίλια (0,16χλμ.) σε μήκος ή περισσότερο, ενώ οτιδήποτε μικρότερο από αυτό θα πρέπει να ονομάζεται διάβαση. Για παράδειγμα, η υπόγεια διάβαση κάτω από τον σταθμό Yahata στην Kitakyushu της Ιαπωνίας έχει μήκος μόνο 0,08μίλια (0,13χλμ) και συνεπώς δεν πρέπει να θεωρείται σήραγγα.

#### **2.2. Σκοπός και ταξινόμηση των σηράγγων**

Η διάνοιξη και γενικά η κατασκευή σηράγγων, είναι ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο μηχανικός.

Η σήραγγα μπορεί να είναι για τους πεζούς και τους ποδηλάτες, για γενική οδική κυκλοφορία, για τις σιδηροδρομικές μεταφορές, ή για ένα κανάλι. Μερικές είναι υδραγωγεία, κατασκευασμένα αποκλειστικά για τη μεταφορά νερού - για την κατανάλωση, για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ή ως υπόνομοι - ενώ άλλες εξυπηρετούν άλλες υπηρεσίες, όπως την προστασία καλωδίων τηλεπικοινωνίας. Ορισμένες μυστικές σήραγγες επίσης έχουν κατασκευαστεί ως μέθοδοι εισόδου ή διαφυγής από μια περιοχή, όπως οι σήραγγες Cu Chi ή οι σήραγγες που συνδέουν τη Λωρίδα της Γάζας με την Αίγυπτο. Ορισμένες σήραγγες δεν είναι καν για μεταφορές αλλά χρησιμοποιούνται ως οχυρώσεις, για παράδειγμα στο Mittelwerk και στο Cheyenne Mountain.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο η σήραγγα πεζών ή μια υπόγεια διάβαση κάτω από ένα δρόμο καλείται μετρό. Ο όρος χρησιμοποιήθηκε κατά το παρελθόν στις Ηνωμένες Πολιτείες, αλλά τώρα αναφέρεται σε υπόγεια συστήματα ταχείας διέλευσης.

Το κεντρικό τμήμα ενός δικτύου ταχείας διέλευσης είναι χτισμένο συνήθως σε σήραγγες. Για να αποφύγουμε να έχουμε ισόπεδες διασταυρώσεις μερικές γραμμές κατασκευάζονται σε μεγαλύτερου βάθους σήραγγες. Σιδηροδρομικοί

σταθμοί με μεγάλη επισκεψιμότητα, συνήθως παρέχουν σήραγγες πεζών από τη μία πλατφόρμα στην άλλη, ενώ άλλα χρησιμοποιούν γέφυρες.

Η μεγάλη τεχνολογική και επιστημονική πρόοδος επέτρεψε την εισαγωγή και χρησιμοποίηση στον τομέα της διάνοιξης σηράγγων, νέων μεθόδων υλικών και μηχανημάτων, των οποίων η εφαρμογή προκάλεσε αληθινή επανάσταση στο όλο θέμα κατασκευής, με αποτέλεσμα την ποιοτική βελτίωση της κατασκευής, την αξιόλογη μείωση του χρόνου και γενικά την καλύτερη τεχνικοοικονομική ανταπόκριση δαπανηρών κατασκευών όπως είναι οι σήραγγες.

Οι σήραγγες κατασκευάζονται κάτω από πόλεις, ανάμεσα σε βουνά, κάτω από ποτάμια και τη θάλασσα.

Αναλυτικότερα οι σήραγγες κατασκευάζονται:

- Ø Για την εξόρυξη ορυκτού πλούτου από μεγάλα βάθη.
- Ø Για την εξυπηρέτηση των συγκοινωνιακών αναγκών (σιδηροδρομικό και οδικό δίκτυο, υπόγειες διαβάσεις πεζών).
- Ø Για την αποχέτευση των υδάτων, λημμάτων κ.τ.λ. Αυτές χωρίζονται σε σήραγγες για τη ροή των υδάτων με τη βοήθεια της βαρύτητας (Gravity Flow Tunnels) και σε σήραγγες για τη μεταφορά των υδάτων κάτω από πίεση (Pressure Tunnels).
- Ø Για στρατιωτικές ανάγκες.
- Ø Για την εξυπηρέτηση υπόγειων θαλάμων και κοιλοτήτων.
- Ø Για ευρύτερες χρήσεις όπως, μεταφορά ενέργειας, τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, προστασία πληθυσμού από πυρηνικές εκρήξεις, κ.α.

Ο μηχανικός που ασχολείται με την κατασκευή σηράγγων αναλαμβάνει έργο πολυδάπανο και επικίνδυνο. Η μελέτη και κατασκευή σηράγγων που εκτείνονται σε πολλά χιλιόμετρα παρουσιάζει πολλά ιδιότυπα προβλήματα.

Η θέση που θα κατασκευαστεί το τεχνικό έργο περιορίζεται σε μικρή επιφάνεια της γης. Για οικονομικούς λόγους πρέπει να γίνει λεπτομερειακή έρευνα και μελέτη. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι έρευνες αυτές αποκαλύπτουν καταστάσεις, που ο μηχανικός δεν μπορεί να τις προβλέψει.

Ο προϋπολογισμός για τη δαπάνη ειδικά όταν πρόκειται για μεγάλες σήραγγες και ειδικά σε περιοχές όπου το γεωλογικό υπόβαθρο είναι πολύπλοκο, μπορεί να είναι πολύ μακριά από το πραγματικό επειδή είναι άγνωστη η κατάσταση του υπεδάφους.

Οι μηχανικοί που θα αναλάβουν τον προγραμματισμό και τη σχεδίαση των σηράγγων, πρέπει να μελετήσουν τη γεωλογία, τη γεωφυσική, την εδαφομηχανική της περιοχής και τη μηχανική των πετρωμάτων. Με αυτό τον τρόπο γνωρίζουν κατά προσέγγιση τις καταστάσεις που επικρατούν στο χώρο της κατασκευής και επομένως μπορούν να τη χαράξουν αποφεύγοντας όσο είναι δυνατό τις επικίνδυνες συνθήκες, που μπορούν να ανεβάσουν το κόστος της.

Η δυνατότητα να γίνουν γνωστές οι υπόγειες γεωλογικές συνθήκες πριν από τη διάνοιξη, εξαρτάται βασικά από την απλότητά τους και από τις πληροφορίες που έχουμε συγκεντρώσει γι' αυτές.

### 2.3. Ιστορική αναδρομή των σήραγγων

○ Η παλαιότερη υποθαλάσσια σήραγγα του κόσμου φημολογείται ότι είναι η Terelek kaya tüneli κάτω από τον ποταμό Kizil, λίγο νότια από τις πόλεις Boyabat και Duragan στην Τουρκία. Εκτιμάται ότι έχει χτιστεί πριν από 2000 χρόνια και πάνω (πιθανώς 5000) και χρησιμοποιούνταν για αμυντικούς σκοπούς (Εικόνες 1,2,3).



**Εικόνα 1.** Είσοδος Terelek kaya tüneli



**Εικόνα 2.** Εσωτερικό Terelek kaya tüneli



**Εικόνα 3.** Έξοδος Terelek kaya tüneli

○ Η σήραγγες γνωστές ως qanat ή karez (Εικόνες 4,5) στην Περσία είναι ένα σύστημα διαχείρισης των υδάτων που χρησιμοποιούνται για να παρέχουν μια αξιόπιστη παροχή νερού στους οικισμούς και για άρδευση σε θερμά, ξηρά και ημι-άνυδρα κλίματα. Το παλαιότερο και μεγαλύτερο γνωστό qanat είναι στην ιρανική πόλη της Gonabad η οποία μετά από 2700 χρόνια εξακολουθεί να

παρέχει νερό για ύδρευση και άρδευση σε σχεδόν 40.000 ανθρώπους. Το βάθος του κύριου πηγαδιού είναι πάνω από 360μ (1180ft) και το μήκος του είναι 45χλμ. (28μίλια).



**Εικόνα 4.** Qanat στην Περσία



**Εικόνα 5.** Κοιτώντας από πάνω ένα φρεάτιο ενός qanat διακρίνουμε τη ροή του νερού μέσα στη σήραγγα.

ο Το Ευπαλίνειο υδραγωγείο στο νησί της Σάμου (Βόρειο Αιγαίο, Ελλάδα) χτισμένο το 520 π.Χ. από την αρχαίο Έλληνα μηχανικό Ευπαλίνο. Ο Ευπαλίνος ο Μεγαρεύς διοργάνωσε το έργο, έτσι ώστε η σήραγγα να ξεκινήσει και από τις δύο πλευρές του όρους Κάστρο. Οι δύο ομάδες προχωρούσαν ταυτόχρονα και συναντήθηκαν στη μέση με εξαιρετική ακρίβεια, κάτι που ήταν πολύ δύσκολο εκείνη την εποχή. Το υδραγωγείο ήταν υψίστης αμυντικής σημασίας, αφού βρισκόταν υπόγεια και δεν ήταν εύκολο να ανακαλυφθεί από έναν εχθρό που θα μπορούσε διαφορετικά να διακόψει την παροχή νερού στο Πυθαγόρειο, την αρχαία πρωτεύουσα της Σάμου. Η ακριβής θέση της σήραγγας έγινε γνωστή κατά το 19ο αιώνα από Γερμανούς αρχαιολόγους. Το μήκος της σήραγγας είναι 1.030μ. (3380ft) και οι επισκέπτες μπορούν να εισέρχονται ακόμα στην Ευπαλίνειο Σήραγγα. (Εικόνες 6,7)



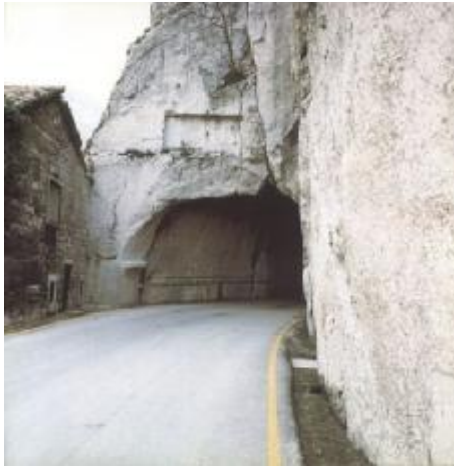
**Εικόνα 6.** Είσοδος Ευπαλίνειας σήραγγας



**Εικόνα 7.** Εσωτερικό Ευπαλίνειας σήραγγας



ο Η Via Flaminia, ένας σημαντικός ρωμαϊκός δρόμος, διαπερνούσε το πέρασμα Furlo στα Απέννινα μέσω μιας σήραγγας (Εικόνες 8,9) που μετά από παραγγελία του αυτοκράτορα Βεσπασιανού χτίστηκε το 76-77. Ένας σύγχρονος δρόμος, εξακολουθεί να χρησιμοποιεί το ίδιο πέρασμα, που περνούσε η παλιά σήραγγα που χρονολογείται από τον 3ο αιώνα π.Χ. Απομεινάρια της αρχαίας αυτής σήραγγας (μία από τις πρώτες οδικές σήραγγες) είναι επίσης ακόμα ορατά.



**Εικόνα 8.** Είσοδος στο πέρασμα Furlo



**Εικόνα 9.** Εξοδος της σήραγγας στο πέρασμα Furlo

ο Η σήραγγα Sapperton Canal (Εικόνα 10) στην Αγγλία, σκαμμένη μέσα από λόφους, η οποία άνοιξε το 1789, ήταν 3,5χλμ (2,2 μίλια) σε μήκος και επέτρεπε τη μεταφορά κάρβουνου και άλλων αγαθών. Πάνω από αυτή υπάρχει η σήραγγα Sapperton Long (Εικόνα 11) την οποία διαπερνά η σιδηροδρομική γραμμή Golden Valley μεταξύ Swindon και Gloucester.



**Εικόνα 10.** Βόρεια άκρη του Sapperton Canal



**Εικόνα 11.** Sapperton Long Tunnel

ο Crown Street Station, Liverpool, 1829. Χτισμένο από τον George Stephenson, μια σήραγγα μονής γραμμής (Εικόνα 12) με μήκος 265 μέτρα είχε σκαφτεί από το Edge Hill μέχρι την Crown Street για να εξυπηρετεί τον πρώτο επιβατικό σιδηροδρομικό σταθμό του κόσμου. Ο σταθμός εγκαταλείφθηκε το 1836 επειδή ήταν πολύ μακριά από το κέντρο της πόλης Λίβερπουλ, με την περιοχή να έχει μετατραπεί προς χρήση εμπορευμάτων. Η σήραγγα είναι εγκαταλελειμμένη από το 1972. Ωστόσο, είναι η αρχαιότερη σιδηροδρομική σήραγγα του κόσμου που λειτουργούσε κάτω από δρόμο.



**Εικόνα 12.** Νότιο άκρο του Crown Street Tunnel

ο Η σήραγγα Wapping με μήκος 1,26μίλια (2.03χλμ) στο Λίβερπουλ της Αγγλίας (Εικόνα 13), ήταν η πρώτη σιδηροδρομική σήραγγα που σκάφτηκε κάτω από μια μητρόπολη, είναι εγκαταλελειμμένη από το 1972. Έχοντας δύο γραμμές, το τούνελ ξεκινάει από το Edge Hill στα ανατολικά της πόλης και καταλήγει στο νότιο άκρο του Λίβερπουλ. Οι αποβάθρες χρησιμοποιούνται μόνο για εμπορευματικές μεταφορές. Η σήραγγα παραμένει σε άριστη κατάσταση και εξετάζεται για επαναχρησιμοποίηση από την εταιρεία σιδηροδρομικού συστήματος ταχείας διαμετακόμισης Merseyrail, με ίσως ένα υπόγειο σταθμό επιπλέον. Αν ξαναχρησιμοποιηθεί θα είναι η παλαιότερη υπόγεια σιδηροδρομική σήραγγα του κόσμου που χρησιμοποιείται ακόμα και με το παλαιότερο τμήμα οποιουδήποτε υπόγειου μετρό.



**Εικόνα 13.** Η εγκαταλελειμμένη σήραγγα Wapping, Λίβερπουλ, Αγγλία

## 2.4. Γεωτεχνική Έρευνα

Η πιο σημαντική φάση των προκατασκευαστικών εργασιών για τη διάνοιξη σήραγγων, είναι η λεπτομερής και προσεκτική αναγνώριση και μελέτη του πετρώματος και γενικότερα η μελέτη του γεωλογικού περιβάλλοντος, μέσα στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η διάνοιξη της σήραγγας. Γιατί αυτό είναι που επηρεάζει τις ασκούμενες πιέσεις και την επιλογή της καταλλήλου μεθόδου διάνοιξης.

Είναι σημαντικό οποιαδήποτε μελέτη σήραγγας να ξεκινά με μια ολοκληρωμένη διερεύνηση των συνθηκών του εδάφους. Τα αποτελέσματα της έρευνας θα επιτρέψουν τη σωστή επιλογή των μηχανών και των μεθόδων για την ανασκαφή και υποστήριξη του εδάφους, και θα μειώσει τον κίνδυνο αντιμετώπισης απρόβλεπτων συνθηκών. Στα αρχικά στάδια της μελέτης, η οριζόντια και κατακόρυφη ευθυγράμμιση θα πρέπει να αποτυπωθεί ώστε να γίνει η όσο το δυνατόν καλύτερη χρήση των συνθηκών του εδάφους και των υδάτων.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι συμβατικές μελέτες γραφείου και οι μελέτες επί της τοποθεσίας του έργου δεν παράγουν επαρκείς πληροφορίες για να εκτιμηθούν πλήρως οι συνθήκες, για παράδειγμα, η φύση των πετρωμάτων μπορεί να είναι τέτοια που να εμποδίζει την διέλευση της σήραγγας, ή σε κάποιες άλλες περιπτώσεις να έχουμε μαλακότερο έδαφος. Αυτό μπορεί να έχει ιδιαίτερη σημασία σε σήραγγες μεγάλης διαμέτρου. Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, μια 'πυλοτική' σήραγγα, μπορεί να προηγηθεί της κύριας. Αυτή η μικρότερης διαμέτρου σήραγγα θα είναι πιο εύκολο να υποστηριχθεί όταν συναντούμε απρόβλεπτες συνθήκες, η οποία αργότερα θα ενσωματωθεί στην κύρια σήραγγα. Εναλλακτικά, χρησιμοποιούνται οριζόντιες γεωτρήσεις που προηγούνται της κύριας διάνοιξης.

## 2.5. Σκοπός της μελέτης

- Ο καθορισμός της προέλευσης και της κατασκευής στην οποία βρίσκεται το πέτρωμα ή τα πετρώματα της περιοχής.
- Ο καθορισμός των φυσικών, χημικών και μηχανικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων κατά μήκος του άξονα της σήραγγας.
- Ο έλεγχος τυχόν υπαρχόντων γεωλογικών ανωμαλιών που είναι δυνατόν να επηρεάσουν το μέγεθος των ασκούμενων πιέσεων πάνω στη σήραγγα.

Η εξακρίβωση των παραπάνω προϋποθέτει την εκτέλεση σημαντικού αριθμού ερευνητικών γεωτρήσεων, που πρέπει να φτάνουν 20μ πιο κάτω από το επίπεδο που θα περάσει το δάπεδο της σήραγγας. Οι αποστάσεις μεταξύ των



γεωτρήσεων κυμαίνονται μεταξύ 50 και 150μ ανάλογα με την ομοιογένεια των πετρωμάτων και τη γεωλογική εικόνα.

Η όρυξη ερευνητικού φρέατος ή φρεάτων κατά μήκος του άξονα της σήραγγας παρέχει σοβαρά πλεονεκτήματα για τη μελέτη του προβλήματος, είναι όμως δαπανηρή και δεν εφαρμόζεται παρά μόνο σε περιπτώσεις σοβαρών και μεγάλου μήκους κατασκευών όπου το φρέαρ ή τα φρεάτια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για λόγους αερισμού, ανέλκυσης των εξορυσσομένων πετρωμάτων και ασφάλειας (δεύτερη έξοδο).

Κατά την κατασκευή σηράγγων μεγάλων διαστάσεων η προχώρηση των οποίων δε γίνεται κατά κανόνα απ' ευθείας σε όλη τη διατομή τους, ορύσσεται μικρή εκσκαφή η οποία βρίσκεται συνεχώς σε προπορεία και αποτελεί ερευνητικό 'οδηγό'. Εφ' όσον από την εκσκαφή 'οδηγό' ή των συμπληρωματικών υπόγειων γεωτρήσεων προκύψουν νέα στοιχεία είναι δυνατό να γίνουν μικροτροποποιήσεις στη σχεδίαση της σήραγγας, κυρίως όμως να ληφθούν εκ των προτέρων τα κατάλληλα μέτρα προς αποφυγή κάθε αιφνιδιασμού.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι ο θεμελιώδης σκοπός της γεωλογικής αναγνώρισης και έρευνας και σε συνέχεια η εκτέλεση των απαραίτητων γεωτρήσεων ή άλλων ερευνητικών εκσκαφών είναι η απόκτηση της όσο το δυνατόν πληρέστερης και καθαρότερης εικόνας, για τη γεωλογική δομή της περιοχής, ώστε να καθοριστεί η καταλληλότερη μέθοδος ορύξεως της σχεδιαζόμενης σήραγγας.

Η διάνοιξη της σήραγγας απλοποιείται και γίνεται περισσότερο οικονομική όσο περισσότερο ομοιογενές και ευσταθές είναι το πέτρωμα.

## **2.6. Σύλληψη, σχεδίαση και εκτέλεση των σηράγγων**

Επειδή υπάρχει ένα πλήθος παραγόντων που ασκούν επίδραση στη σύλληψη, στα φορτία, στην εγκατάσταση και στις συνθήκες κατασκευής των σηράγγων, οι διάφορες μέθοδοι κατασκευής αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια πολλών ετών. Ανάμεσα στους παράγοντες αυτούς, σημειώνουμε τους πιο σπουδαίους που είναι: οι γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες το σχήμα και οι διαστάσεις του προφίλ, καθώς και ο προορισμός της σήραγγας.

Η πραγματοποίηση κάθε υπόγειου έργου οφείλει να περάσει από τα παρακάτω στάδια:

- I. εκσκαφή,
- II. υποστήριξη,
- III. απομάκρυνση των υλικών,
- IV. επένδυση, εργασίες στεγανότητας, άντληση των υδάτων, αερισμός.

Η σύνδεση των διαφόρων αυτών φάσεων διαφέρει ανάλογα με την επίδραση των προαναφερομένων παραγόντων που παρεμβάλλονται στις εργασίες μας κατά τρόπο άμεσο. Η φάση της εκσκαφής και της απομάκρυνσης των προκυπτόντων υλικών οφείλουν να γίνουν σε όλες τις περιπτώσεις χωρίς εξαίρεση. Εκείνο που μπορεί να αλλάξει από τη μια περίπτωση στην άλλη είναι τα εργαλεία και οι εγκαταστάσεις μεταφοράς (τρόποι μεταφοράς) των προκυπτόντων υλικών. Οι εργασίες υποστήριξης των σηράγγων καθώς και εκείνες που περιέχονται στο στάδιο IV δεν είναι πολύ καλά ορισμένες και επομένως επιδέχονται κάποιας αλλαγής. Κατά συνέπεια, τα διάφορα στάδια των εργασιών που απαριθμήσαμε παραπάνω θα πραγματοποιούνται ανάλογα με τις διάφορες μεθόδους που ταξινομούνται σε 5 κύριες κατηγορίες:

- I. Προώθηση (να προχωρούμε σκάβοντας όλο το πλάτος της σήραγγας) καθ' όλη τη διατομή, χωρίς υποστήριξη.
- II. Κλασικές μέθοδοι εκσκαφής και μέθοδοι χρησιμοποιούμενες στα ορυχεία.
- III. Διαδικασίες κατασκευής συνδυασμένες με εργασίες επιφανείας.
- IV. Μέθοδοι κατασκευής δια προσαράξεως (ακουμπάμε στον πυθμένα) ή δημιουργίας κοιλοτήτων.
- V. Μέθοδος της συσκευής υποστηρίξεως των μαλακών εδαφών κατά την εκσκαφή τους.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

---

## ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### 3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

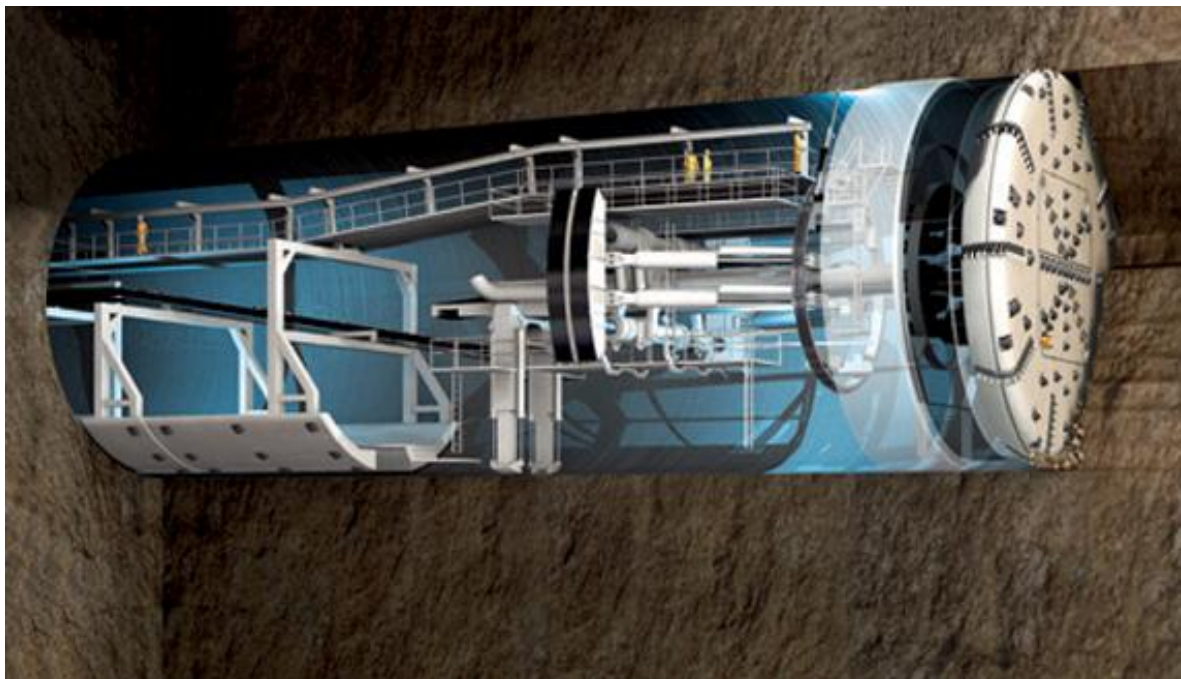
#### 3.1. Μέθοδος με μηχάνημα διάνοιξης σηράγγων (TBM)

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

Οι μηχανές ολομέτωπης κοπής διακρίνονται σε:

Ø Μηχανές χωρίς ασπίδα, για σκληρά πετρώματα:

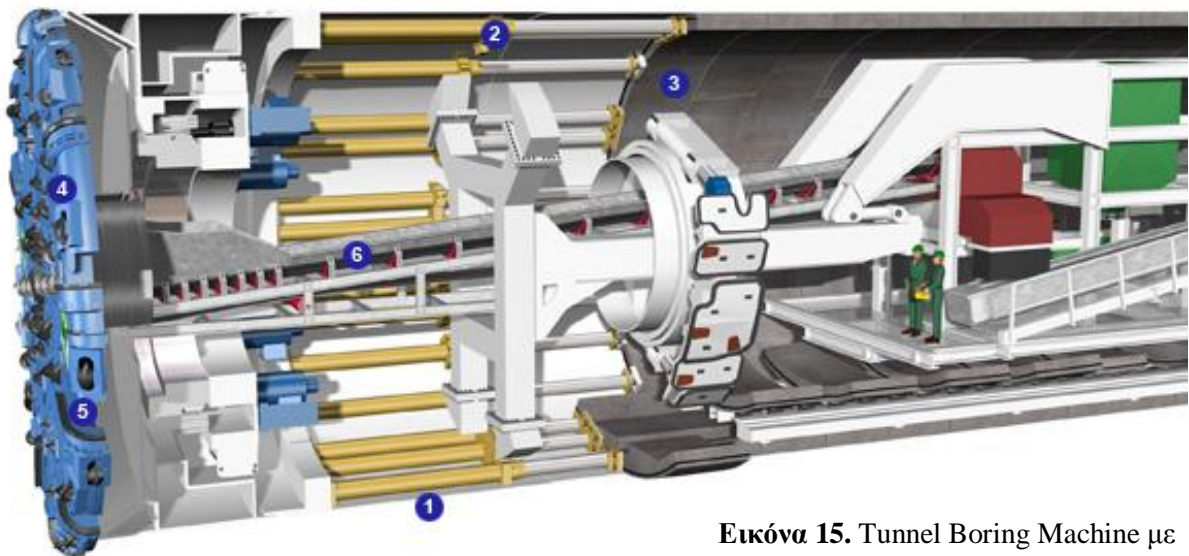
Οι μηχανές της συγκεκριμένης αυτής κατηγορίας δεν έχουν ασπίδα, δηλαδή είναι ανοιχτές, εφ' όσον δεν απαιτείται η τοποθέτηση δακτυλίων αντιστηρίξεως στο πέτρωμα (Εικόνα 14). Το μηχάνημα στηρίζεται στα πλευρικά τοιχώματα της σήραγγας με υδραυλικά έμβολα και η προώθηση της κοπτικής κεφαλής γίνεται από μια ή περισσότερες σειρές τηλεσκοπικών κυλίνδρων.



**Εικόνα 14.** Tunnel Boring Machine χωρίς ασπίδα

### Ø Μηχανές με ασπίδα για μέσης ή μικρής αντοχής πετρώματα:

Η εκσκαφή και η αντιστήριξη της σήραγγας γίνονται μέσα στην προστατευμένη περιοχή της ασπίδας. Η αντιστήριξη εξασφαλίζεται με την τοποθέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων (δακτυλίων) από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι δακτύλιοι μπορούν να τοποθετηθούν έτσι, ώστε να αποτελέσουν την τελική επένδυση της σήραγγας ή να θεωρηθούν ως προσωρινή υποστήριξη ακολουθούμενοι από τη σκυροδέτηση της διατομής στην τελική φάση. Σε σύγκριση με τα μηχανήματα ανοιχτού τύπου, η προώθηση των μηχανών με ασπίδα περιορίζεται από την ταχύτητα τοποθέτησης των δακτυλίων αντιστηρίξεως.



**Εικόνα 15.** Tunnel Boring Machine με ασπίδα

Τα κύρια τμήματα που αποτελούν ένα TBM με ασπίδα (Εικόνα 15) είναι:

1. Η ασπίδα προστασίας
2. Οι κύλινδροι ώθησης
3. Οι δακτύλιοι οπλισμένου σκυροδέματος για την αντιστήριξη
4. Η κεφαλή πάνω στα οποία είναι προσαρμοσμένα τα κοπτικά εργαλεία.
5. Τα δοχεία υποδοχής του εξορυγμένου πετρώματος
6. Το σύστημα αποκομιδής του εξορυγμένου πετρώματος μέσω ταινιών μεταφοράς

### 3.1.1. Μεθοδολογία κατασκευής

- Ø Το TBM στηρίζεται με την βοήθεια των πεδίων στα πλευρά της στοάς. Η κεφαλή περιστρέφεται και ωθείται από τους κινητήρες στο μέτωπο.
- Ø Με την πίεση και την περιστροφή το πέτρωμα θραύεται.



- Ø Η θραύση του πετρώματος επιτυγχάνεται με την βοήθεια κοπτικών δίσκων ή κοπτικών σφηνών από σκληρό μέταλλο.
- Ø Τα τεμάχια του πετρώματος συγκεντρώνονται μέσω ανοιγμάτων στην κεφαλή.
- Ø Τα θραυσμένα τεμάχια μεταφέρονται με μεταφορική ταινία στο πίσω μέρος του TBM.

### 3.1.2. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Η μηχανική όρυξη παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα αφού:

- Η ταχύτητα προχώρησης είναι μεγάλη
- Η διαδικασία είναι πλήρως αυτοματοποιημένη
- Επιτυγχάνεται ελάχιστη διαταραχή στα περιβάλλοντα πετρώματα
- Επιτυγχάνεται απολύτως το επιθυμητό μέγεθος της διατομής με ελάχιστη υπερεκσκαφή (overbreak)
- Έχουμε μεγαλύτερη ασφάλεια

Από την άλλη η μέθοδος έχει και ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα που την καθιστούν μη συμφέρουσα καθώς:

- Απαιτείται μεγάλο κεφάλαιο αρχικής επένδυσης
- Το μηχάνημα κατασκευάζεται κατά παραγγελία και για συγκεκριμένες συνθήκες
- Υπάρχει δυσκολία προσαρμογής σε μεταβαλλόμενες συνθήκες
- Δεν εφαρμόζεται σε όλα τα πετρώματα
- Διανοίγει μόνο κυκλικές διατομές

### 3.2. Συμβατική μέθοδος εκσκαφής σηράγγων (NATM)

Η λεγόμενη "Νέα Αυστριακή Μέθοδος Διάνοιξης Σηράγγων" (New Austrian Tunnelling Method - NATM) ουσιαστικώς δεν αποτελεί μια "μέθοδο" αλλά περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών διάνοιξης και υποστήριξης σηράγγων οι οποίες εφαρμόστηκαν συστηματικά κατά τη διάνοιξη σηράγγων στις Αυστριακές Άλπεις στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Οι τεχνικές αυτές είχαν εφαρμοσθεί και πριν το 1960 τόσο στην Αυστρία όσο και σε άλλα μέρη του κόσμου αλλά η συστηματοποίηση και ονομασία τους (NATM) έγινε από Αυστριακούς Μηχανικούς (Rabcewicz, Mueller, Brunner και Pacher) περί το 1960. 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 σπηραγγών με εκτεθειμένο το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή χωρίς την εφαρμογή πίεσης με μηχανικά μέσα) και υποστήριξη του τοιχώματος της σπηραγγας με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (απλό ή οπλισμένο) ή/και αγκύρια βράχου.

Η μέθοδος υπόγειας διάνοιξης σπηραγγών με συμβατικά μηχανικά μέσα είναι η δεύτερη κατασκευαστική διαδικασία που εφαρμόζεται διεθνώς για την κατασκευή σπηραγγών με υπόγεια μέθοδο διάνοιξης, μετά από αυτήν με μηχανήματα διάνοιξης σπηραγγών (TBM).

Στις αστικές περιοχές όπου κατασκευάζονται Μητροπολιτικοί Σιδηρόδρομοι (Μετρό) ενδιαφέρει πρωτίστως να μην διαταραχθούν οι λειτουργίες της πόλης, έστω και αν αυτό συνεπάγεται αύξηση του κόστους των έργων. Με τις υπόγειες μεθόδους κατασκευής σταθμών και σπηραγγών ελαχιστοποιείται η κατάληψη χώρων στην επιφάνεια (πλατειών, οδών, ιδιωτικών οικοπέδων, κλπ), οι μετατοπίσεις αγωγών κοινής ωφελείας (νερού, ηλεκτρισμού, τηλεφώνου, κλπ), οι παρακάμψεις της οδικής κυκλοφορίας και οι αρχαιολογικές ανασκαφές.

### **3.2.1. Μεθοδολογία κατασκευής**

Βασική αρχή της μεθόδου αυτής είναι να διατηρηθεί η αντοχή του περιβάλλοντος εδάφους στη σπηραγγα και να γίνει πλήρης αξιοποίησή της. Ελεγχόμενη παραμόρφωση του εδάφους παρουσία εύκαμπτης υποστήριξης - σε αντίθεση με τις παλαιότερες απόψεις περί «βαριάς» υποστήριξης - επιδρά θετικά και έχει ως αποτέλεσμα την ασφαλή ανάπτυξη της αντοχής του.

Η μεθοδολογία μελέτης / κατασκευής του έργου είναι η ακόλουθη:

Ø Εκτελείται γεωτεχνική/γεωλογική έρευνα και δοκιμές (επί τόπου και εργαστηριακές) για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του εδάφους στην περιοχή όπου έχει σχεδιασθεί να γίνει η διάνοιξη της σπηραγγας.

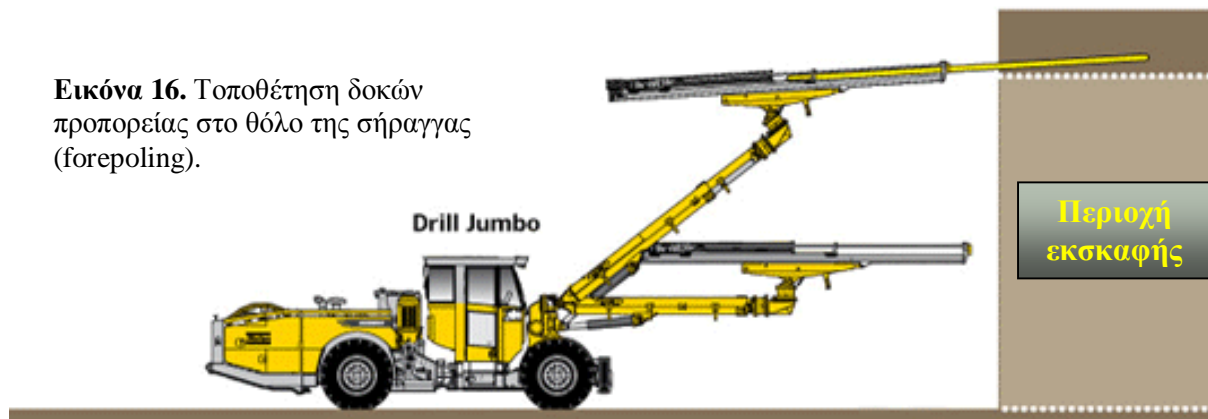
Ø Γίνεται η μελέτη (υπολογισμοί και σχέδια) εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης της σπηραγγας, βάσει των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών του εδάφους που προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο. Επίσης, γίνεται και η μελέτη της μόνιμης (τελικής) επένδυσης της σπηραγγας.

Ø Εκτελείται η εκσκαφή με συμβατικά μηχανικά μέσα (εκσκαφέας σημειακής κοπής, συμβατικός εκσκαφέας, κλπ) και ενίοτε γίνεται και άμεση

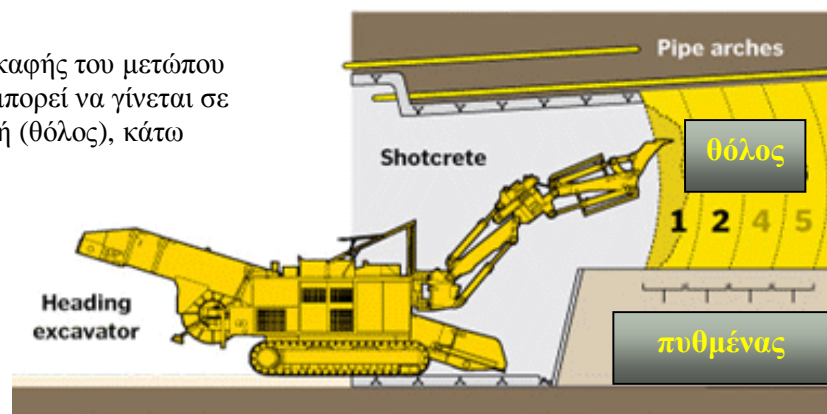
υποστήριξη του μετώπου εκσκαφής κατά φάσεις, ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους.

Ø Μετά την εκσκαφή, που γίνεται τμηματικά αναλόγως των χαρακτηριστικών των πετρωμάτων και του έργου, ακολουθεί η τοποθέτηση ενός συστήματος προσωρινής αντιστήριξης που αποτελείται από επένδυση εκτοξευομένου σκυροδέματος (gunite), μπουλόνια/αγκύρια (rockbolts), σιδηρά πλαίσια, κλπ. Σε περίπτωση εδαφών με φτωχά χαρακτηριστικά πριν από την εκσκαφή τοποθετούνται δοκοί προπορείας (forepoling) (Εικόνα 16) σε όλη την περιοχή πάνω από το θόλο της σήραγγας σε μορφή «ομπρέλας» προστασίας του μετώπου εκσκαφής. Αρκετές φορές η εκσκαφή γίνεται σε δύο φάσεις (Εικόνα 17), άνω ημιδιατομή (θόλος) και κάτω ημιδιατομή (πυθμένας). Ανάλογα με το υπέδαφος και τη γεωμετρία της σήραγγας μπορεί να χρειασθεί η εκσκαφή να γίνει και σε περισσότερες φάσεις. Η χρονική στιγμή τοποθέτησης της αρχικής αντιστήριξης καθώς και η ολοκλήρωση του πλήρους δακτυλίου της επένδυσης είναι βασικής σημασίας για τον έλεγχο των παραμορφώσεων. Το σύστημα της άμεσης υποστήριξης μαζί με το περιβάλλον έδαφος αποτελούν το στατικό φορέα της σήραγγας στη φάση αυτή. Είναι σύνηθες στο υπέδαφος να συναντούνται υπόγεια ύδατα, οπότε τότε γίνεται συστηματική άντληση κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

**Εικόνα 16.** Τοποθέτηση δοκών προπορείας στο θόλο της σήραγγας (forepoling).



**Εικόνα 17.** Μηχάνημα εκσκαφής του μετώπου της σήραγγας. Η εκσκαφή μπορεί να γίνεται σε δυο φάσεις. Άνω ημιδιατομή (θόλος), κάτω ημιδιατομή (πυθμένας).





Ø Καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευής γίνονται συστηματικές μετρήσεις παρακολούθησης (monitoring) της συμπεριφοράς του υπεδάφους και της προσωρινής αντιστήριξης, δηλαδή μετρώνται οι καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους και στα γειτονικά κτίρια, οι συγκλίσεις μέσα στη σήραγγα, η αυξομείωση της στάθμης του υπογείου ύδατος, κλπ. Η ασφάλεια των κτιρίων που βρίσκονται κοντά ή ακριβώς επάνω από τη χάραξη της σήραγγας είναι ένα ιδιαίτερα κρίσιμο θέμα και αντιμετωπίζεται με τη συνεχή ενόργανη παρακολούθηση αλλά και τις επί τόπου επισκέψεις των μηχανικών. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκρίνονται με τις παραδοχές και τα αποτελέσματα της μελέτης και, εάν χρειάζεται, γίνονται οι απαραίτητες τροποποιήσεις στο σύστημα υποστήριξης και τη χρονική σειρά των εργασιών. Επίσης, τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό ή και τον έλεγχο των παραδοχών της μελέτης της μόνιμης επένδυσης της σήραγγας που θα ακολουθήσει στη συνέχεια.

Ø Η τελική (μόνιμη) επένδυση της σήραγγας κατασκευάζεται όταν το σύστημα της αρχικής υποστήριξης έχει φθάσει σε συνθήκες ισορροπίας. Η μόνιμη επένδυση προσφέρει αυξημένη ασφάλεια στο χρόνο ζωής του έργου, δημιουργεί μία ομοιόμορφη εσωτερική επιφάνεια και βελτιώνει την στεγανότητά της. Η μόνιμη επένδυση των σηράγγων κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα, έγχυτο επί τόπου. Χρησιμοποιούνται ειδικοί σιδηρότυποι, συνήθως αυτοφερόμενοι, κάτι που μειώνει σημαντικά το χρόνο και το κόστος του έργου. Υπάρχουν υδραυλικοί μοχλοί που μπορούν να ρυθμίζουν το επιθυμητό πάχος της επένδυσης. Το συνολικό μήκος τέτοιων καλουπιών είναι της τάξεως των 10-12 μ, αναλόγως της διατομής. Σε πρώτη φάση κατασκευάζεται το κάτω μέρος της σήραγγας (πυθμένας) και στους κατασκευαστικούς αρμούς τοποθετούνται ειδικοί υδατοφραγμοί (waterstop) για υδατοστεγάνωση. Σε επόμενη φάση σκυροδετείται ο θόλος με τη χρήση του αυτοφερόμενου σιδηρότυπου. Ο χρόνος αφαίρεσης του σιδηροτύπου είναι της τάξεως ωρών από την έγχυση. Για την ανάπτυξη επαρκούς αντοχής του σκυροδέματος σε σύντομο χρόνο, χρησιμοποιούνται στη σύνθεση του ειδικά χημικά πρόσμεικτα. Επειδή πάντοτε απομένει μικρό κενό μεταξύ της στέψης του σκυροδέματος και του εδάφους στην οροφή της σήραγγας, ακολουθούν τσιμεντενέσεις πλήρωσης αυτών των κενών.



**Εικόνα 18.** Διάνοιξη σήραγγας με την μέθοδο NATM. Με την μέθοδο αυτή η εκσκαφή της σήραγγας γίνεται με συμβατικά μηχανικά μέσα. Η επένδυση γίνεται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Μπορούμε να διακρίνουμε τους δοκούς προπορείας στο θόλο της σήραγγας

### **3.3. Μέθοδος ανοιχτού ορύγματος (Cut And Cover)**

Οι υπόγειες μέθοδοι διάνοιξης σιδηρόδρομων, είτε με το μηχάνημα TBM είτε με συμβατικά μηχανικά μέσα (NATM), επιλέγονται ιδιαίτερα στις κεντρικές περιοχές των πόλεων, ενώ σε πιο απομακρυσμένες περιοχές προτιμάται η μέθοδος ανοικτής εκσκαφής για την κατασκευή τόσο σιδηρόδρομων όσο και σταθμών Μετρό. Χρήση αυτής της μεθόδου γίνεται και σε περιπτώσεις όπου, ακόμα και αν βρισκόμαστε στο κέντρο της πόλης, υπάρχει διαθέσιμος χώρος. Αυτό συμβαίνει διότι η μέθοδος ανοικτής εκσκαφής είναι περισσότερο απλή, ασφαλής και κυρίως ελέγξιμη στην υλοποίησή της. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι για την εφαρμογή της πρέπει: α) να απομακρυνθούν όλοι οι αγωγοί κοινής ωφελείας που βρίσκονται στην περιοχή όπου θα γίνουν οι εκσκαφές, β) να προηγηθεί αρχαιολογική έρευνα για εντοπισμό τυχόν αρχαιοτήτων, και γ) να γίνουν οι απαιτούμενες παρακάμψεις της κυκλοφορίας. Οι επεμβάσεις αυτές είναι χρονοβόρες, αυξάνουν το κόστος, ενώ

συγχρόνως οι αρχαιολογικές έρευνες εμπεριέχουν μεγάλη αβεβαιότητα όσον αφορά τη διάρκεια και το τελικό κόστος τους.

Παρότι η μέθοδος ονομάζεται απλά «ανοικτή εκσκαφή», στην πραγματικότητα πρόκειται για μέθοδο «εκσκαφής και επανεπίχωσης» ή cut & cover στα αγγλικά, καθόσον οι κατασκευές αφού ολοκληρωθούν επιχώνονται και τελικώς καθίστανται και αυτές υπόγειες όπως ακριβώς και στις περιπτώσεις όπου η κατασκευή έγινε με υπόγεια διάνοιξη.

### 3.3.1. Μεθοδολογία κατασκευής

Η μεθοδολογία της ανοικτής εκσκαφής είναι απλή ως σύλληψη. Αρχικά σκάβεται το όρυγμα και αντιστηρίζονται τα πρανή του καταλλήλως - στα έργα του Μετρό τα πρανή προβλέπονται πάντοτε κατακόρυφα. Ακολουθώντας «κτίζεται» ο μόνιμος φορέας του σταθμού ή της σήραγγας ξεκινώντας από τη θεμελίωση προς τα επάνω δηλαδή ως μια συνήθης οικοδομή. Τέλος, γίνεται επικάλυψη της κατασκευής με επίχωση ως την επιφάνεια του εδάφους και αποκαθίσταται η περιοχή.

Αναλυτικότερα τα στάδια έχουν ως εξής:

Ø Εκτελείται γεωτεχνική/γεωλογική έρευνα και δοκιμές (επί τόπου και εργαστηριακές) για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του εδάφους στην περιοχή όπου έχει σχεδιασθεί να γίνει η κατασκευή μας.

Ø Γίνεται η μελέτη (υπολογισμοί και σχέδια) εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης, με βάσει τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους που προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο. Επίσης, εκτελείται και η μελέτη του μόνιμου φορέα της κατασκευής.

Ø Πριν την έναρξη των κυρίως εργασιών εκτελούνται οι απαιτούμενες αρχαιολογικές έρευνες στη περιοχή όπου θα εκτελεστούν οι εκσκαφές, απομακρύνονται όλοι οι αγωγοί κοινής ωφελείας (ύδρευσης, ηλεκτρισμού, τηλεφώνου, κλπ) και πραγματοποιούνται οι ενδεχόμενες κυκλοφοριακές παρακάμψεις.

Ø Η προσωρινή αντιστήριξη της εκσκαφής αποτελείται συνήθως από πασσάλους σκυροδέματος, κυκλικής διατομής με διάμετρο της τάξεως 0.80-1.00 μ, που τοποθετούνται ανά αποστάσεις μεταξύ τους 1.50-2.50μ περιμετρικά της προβλεπόμενης εκσκαφής προτού αυτή αρχίσει (Εικόνα 19). Η πασσαλοστοιχία συνδέεται στην κορυφή της με ισχυρή δοκό σκυροδέματος. Η εκσκαφή πραγματοποιείται με συμβατικά μηχανικά μέσα (εκσκαφείς, σφύρες, κλπ) έως ένα καθορισμένο βάθος, π.χ. 3.5μ, και στη συνέχεια τοποθετούνται



αγκύρια σε οπές που διανοίγονται στο έδαφος μέσω των πασσάλων. Τα αγκύρια αυτά έχουν μεγάλο μήκος (της τάξεως 15-25μ) και προεντείνονται με την προβλεπόμενη από τη μελέτη δύναμη. Κατόπιν εφαρμόζεται δομικό πλέγμα σε όλη την περιμετρική επιφάνεια του σκάμματος και τοποθετείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Μετά από αυτά, συνεχίζεται η εκσκαφή ως την επόμενη στάθμη και τοποθετείται και προεντείνεται άλλη μια σειρά αγκυρίων. Ο κύκλος αυτός συνεχίζεται έως την τελική στάθμη εκσκαφής όπου θα θεμελιωθεί η κατασκευή. Εάν υπάρχει παρουσία υπογείων υδάτων στις επιφάνειες του σκάμματος, αυτά εκτονώνονται με συστηματικά διατρήματα / σωληνώσεις βάθους συνήθως 3-4μ επί της αντιστήριξης / εκσκαφής και απομακρύνονται με κατάλληλο σύστημα αποστράγγισης.

∅ Το σύστημα υδατοστεγάνωσης της κατασκευής, τοποθετείται στον πυθμένα και στις περιμετρικές επιφάνειες του σκάμματος και αποτελείται συνήθως από γεωυφάσματα, μεμβράνη υδατοστεγάνωσης και υδατοφραγμούς.

∅ Η κατασκευή του φέροντος οργανισμού γίνεται κατά φάσεις αρχίζοντας από την θεμελίωση, ακολουθούν τα τοιχεία και κατόπιν η πλάκα οροφής εάν πρόκειται για την περίπτωση σήραγγας, ενώ για τους σταθμούς γίνεται, επιπλέον, και η κατασκευή ενδιάμεσων επιπέδων πλακών και τοιχείων. Η κατασκευή αρχίζει με την τοποθέτηση των σιδηρών οπλισμών της πλάκας θεμελίωσης (ή γενικής κοιτόστρωσης) όπως προβλέπονται από τη μελέτη. Κατόπιν γίνεται η έγχυση του σκυροδέματος, κατηγορίας αντοχής C25/30, κατά φάσεις κατά το μήκος της κατασκευής με πρόβλεψη καταλλήλων αρμών. Παρομοίως γίνεται και η κατασκευή των υπολοίπων στοιχείων της μόνιμης κατασκευής.

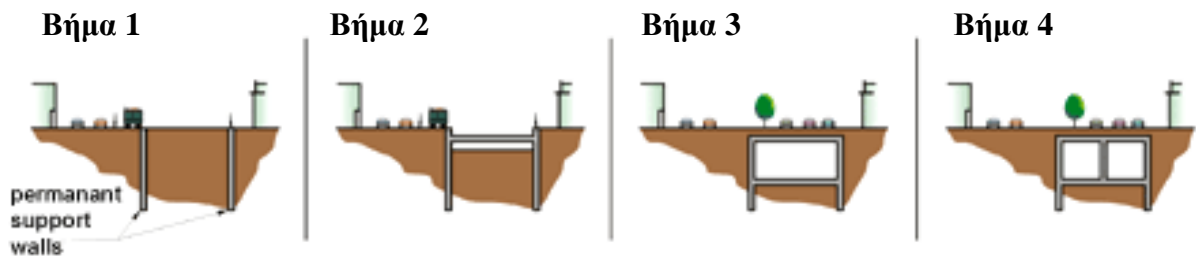
**Εικόνα 19.** Διάνοιξη με την μέθοδο cut and cover. Πριν την εκσκαφή γίνεται προσωρινή αντιστήριξη των πρανών με πασσαλοσανίδες. Η σύνδεση της πασσαλοστοιχίας γίνεται με δοκούς σκυροδέματος στην κορυφή της. Στη συνέχεια γίνεται η εκσκαφή με συμβατικά μηχανικά μέσα.



### 3.4. Μέθοδος επικάλυψης - εκσκαφής ( Top - Down)

Παραλλαγή της μεθόδου ανοικτής εκσκαφής αποτελεί και η μέθοδος επικάλυψης και εκσκαφής – cover & cut ή αλλιώς top-down.

#### 3.4.1. Μεθοδολογία κατασκευής



Εικόνα 20. Βήματα διάνοιξης σήραγγας με την μέθοδο top-down

Ø Κατασκευάζονται από την επιφάνεια τα κατακόρυφα πετάσματα αντιστήριξης (πάσσαλοι, διαφραγματικοί τοίχοι, κλπ) περιμετρικά της εκσκαφής που θα ακολουθήσει (βήμα 1),

Ø γίνεται μια πρώτη εκσκαφή ως τη στάθμη της πλάκας οροφής της κατασκευής. Αναλόγως του βάθους της εκσκαφής αυτής μπορεί να χρειασθεί μια μικρή αντιστήριξη των παρειών (βήμα 2),

Ø σκυροδετείται η πλάκα οροφής επί του πυθμένα της εκσκαφής. Η πλάκα συνδέεται με την περιμετρική αντιστήριξη και στηρίζεται επ' αυτής (βήμα 2),

Ø γίνεται επίχωση πάνω από την πλάκα και αποκαθίσταται η επιφάνεια του εδάφους (βήμα 3),

Ø ξεκινά η εκσκαφή για το σταθμό ή τη σήραγγα κάτω από τη πλάκα οροφής μέσω ράμπας που έχει αφεθεί σε κάποιο σημείο. Η εκσκαφή γίνεται κατά στάδια ενώ τοποθετούνται διαδοχικά τα απαιτούμενα στοιχεία αντιστήριξης (πχ αγκύρια, αντηρίδες) (βήμα 3).

Ø Αφού τελειώσει η εκσκαφή ολόκληρου του ορύγματος ξεκινά η κατασκευή των στοιχείων του μόνιμου φορέα. Τα στοιχεία αυτά είναι συνήθως η πλάκα δαπέδου (θεμελίωσης) και τα πλευρικά τοίχια, ενώ εάν πρόκειται για σταθμό είναι και η κατασκευή των ενδιάμεσων πλακών των ορόφων. Εάν γίνει χρήση διαφραγματικών τοίχων ως πλευρική αντιστήριξη, δεν κατασκευάζονται

άλλοι μόνιμοι τοίχοι, καθόσον οι ίδιοι διαφραγματικοί τοίχοι παίζουν το ρόλο και της τελικής περιμετρικής κατασκευής (βήμα 4).

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

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

---

## ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

### **4. ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ**

Οι σήραγγες πρέπει να κατασκευάζονται κατάλληλα ώστε να αντέχουν τα εσωτερικά ή τα εξωτερικά εφαρμοζόμενα στατικά και τα δυναμικά φορτία, όπως αυτά των σεισμικών κυμάτων. Η ανάλυση των υπογείων κατασκευών είναι πολύπλοκη, κάτι που προέρχεται από το γεγονός ότι αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον έδαφος, κυρίως από δυναμικές φορτίσεις. Αυτό πιθανότατα εξηγεί γιατί η υπάρχουσα βιβλιογραφία για τη δυναμική συμπεριφορά υπογείων κατασκευών δεν είναι πολύ μεγάλη, όπως είναι για τις κατασκευές επάνω στο έδαφος.

Ιστορικά, οι πρώτες μελέτες για δυναμική ανάλυση και σχεδιασμό υπογείων κατασκευών είχε να κάνει με πυρηνικά καταφύγια. Ωστόσο μεγάλο ενδιαφέρον αναπτύχθηκε πολύ γρήγορα για την δυναμική (κυρίως σεισμική) ανάλυση και σχεδιασμό σηράγγων, οι οποίες γενικά επηρεάζονται λιγότερο από τις σεισμικές κινήσεις από ότι οι επιφανειακές κατασκευές.

#### **4.1. Μέθοδοι ανάλυσης και σχεδιασμού υπόγειων κατασκευών**

Γενικά οι υπάρχουσες μέθοδοι για δυναμική ανάλυση και σχεδιασμό υπογείων κατασκευών μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω επτά κατηγορίες:

- I. Η σχεδόν στατική μέθοδος χωρίς την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής, η οποία υποθέτει συντηρητικά ότι η κατασκευή είναι αρκετά εύκαμπτη ώστε να ακολουθεί τις παραμορφώσεις του εδάφους. Έτσι χρησιμοποιώντας τις μέγιστες τιμές του εύρους και μήκους κύματος για την παραμόρφωση του εδάφους υπό σεισμικά φορτία, μπορούν να υπολογιστούν οι μέγιστες ανηγμένες παραμορφώσεις. Η μέθοδος αυτή, που έχει προταθεί από τον Kuesel (1969), είναι η πλέον διαδεδομένη στην πράξη και εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στον σεισμικό σχεδιασμό της σήραγγας του υπογείου σιδηροδρόμου του San Francisco.
- II. Η σχεδόν στατική μέθοδος με την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής, η οποία εφαρμόζεται για δύσκαμπτες κατασκευές σε μαλακό έδαφος. Εδώ γίνεται χρήση μιας απλής δοκού εδραζόμενης σε ελαστική βάση.



- III. Η δυναμική μέθοδος σε συνδυασμό με συγκεντρωμένες μάζες, ελατήρια και αποσβεστήρες για την εξιδανίκευση του εδάφους και διακριτοποιημένα ή συνεχή συστήματα για την εξιδανίκευση της κατασκευής.
- IV. Αναλυτικές δυναμικές μέθοδοι οι οποίες εφαρμόζονται σε σωλήνες ή γραμμικές σήραγγες κυκλικής διατομής μέσα στον ελαστικό χώρο ή ημιχώρο. Τα αποτελέσματα αυτών των αναλυτικών μεθόδων είναι πολύ χρήσιμα στην κατανόηση της συμπεριφοράς των υπογείων κατασκευών σε σεισμικά κύματα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για να εκτιμηθεί η ακρίβεια άλλων αριθμητικών μεθόδων.
- V. Αριθμητικές μέθοδοι που βασίζονται στην διακριτοποίηση της κατασκευής με πεπερασμένα στοιχεία στην περιοχή των συχνοτήτων ή του χρόνου. Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν για την εξιδανίκευση της κατασκευής και του εδάφους σε προβλήματα δύο ή τριών διαστάσεων σε υπόγειες κατασκευές.
- VI. Τα συνοριακά στοιχεία απαιτούν για γραμμικά προβλήματα μόνο διακριτοποίηση της επιφάνειας του σώματος. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξιδανίκευση τόσο του εδάφους όσο και της κατασκευής τόσο στην περιοχή του χρόνου όσο και των συχνοτήτων.
- VII. Μικτά αριθμητικά σχήματα, τα οποία συνδυάζουν πεπερασμένα στοιχεία για όλη την κατασκευή ή για την κατασκευή και για ένα μέρος του περιβάλλοντος εδάφους (κοντά στην κατασκευή) με άλλες αριθμητικές μεθόδους όπως η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών ή κυρίως των συνοριακών στοιχείων ή αναλυτικές μεθόδους για το υπόλοιπο έδαφος (μακριά από την κατασκευή).

## 4.2. Αλληλεπίδραση εδάφους - κατασκευής

Μία υπόγεια κατασκευή περιβάλλεται από εδαφικό υλικό. Υποτίθεται ότι κατά την διάρκεια του σεισμού, η κατασκευή με το έδαφος βρίσκονται σε πλήρη επαφή και δεν αποχωρίζονται. Γενικά, επειδή και τα δύο σώματα είναι παραμορφώσιμα, δημιουργείται μία δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ του εδάφους και της κατασκευής (soil-structure interaction), δηλαδή η κατασκευή παραμορφούμενη επιδρά και παραμορφώνει το έδαφος και το αντίθετο. Αυτή η αλληλεπίδραση είναι συνήθως ευεργετική για την κατασκευή, πράγμα που σημαίνει ότι αν αυτή δεν ληφθεί υπόψη, ο σχεδιασμός της κατασκευής θα είναι συντηρητικός. Γι' αυτό, πολλές φορές για λόγους ευκολίας και συντηρητικότητας αυτή η αλληλεπίδραση εδάφους - κατασκευής παραλείπεται

και λαμβάνεται μόνο η επίδραση του εδάφους (φορέα των σεισμικών κυμάτων) επί της κατασκευής. Αυτή η παράλειψη της αλληλεπίδρασης δικαιολογείται πλήρως στις περιπτώσεις εκείνες που το έδαφος είναι δύσκαμπτο σε σχέση με την κατασκευή και επομένως η σεισμική παραμόρφωση του εδάφους επιβάλλεται πάνω στην κατασκευή η οποία θα πρέπει τώρα να συμμορφωθεί με αυτήν την παραμόρφωση. Σε περιπτώσεις όμως που το έδαφος είναι πολύ μαλακό και η κατασκευή δύσκαμπτη, η αλληλεπίδραση είναι σημαντική και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, εκτός εάν ο μηχανικός είναι αποφασισμένος να εργασθεί συντηρητικά οπότε και δεν θα τα λάβει υπόψη του.

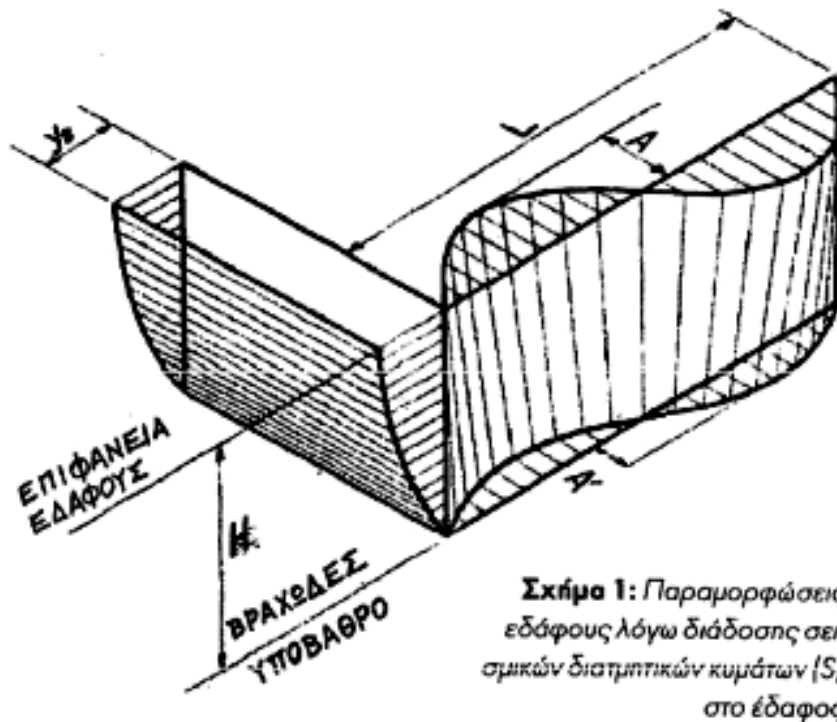
Αν υποθέσουμε ότι η αλληλεπίδραση εδάφους – κατασκευής μπορεί να παραληφθεί, η κατασκευή σχεδιάζεται ώστε να συμμορφώνεται με τις σεισμικές παραμορφώσεις του εδάφους.

Οι σεισμικές παραμορφώσεις του εδάφους λόγω διάδοσης διατμητικών κυμάτων (S), που είναι τα πιο σημαντικά κύματα αντισεισμικού σχεδιασμού, είναι δυο ειδών: α) παραμορφώσεις καμπυλότητας και

β) παραμορφώσεις διάτμησης.

Το πρώτο είδος παραμόρφωσης παριστάνει την άμεση επιβολή της καμπυλότητας του εδάφους πάνω στην κατασκευή, η οποία θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να απορροφήσει τις προκύπτουσες ανηγμένες παραμορφώσεις.

Το δεύτερο είδος παραμόρφωσης παριστάνει την υστέρηση της απόκρισης του εδάφους ως προς τη σεισμική επιτάχυνση βάσης η οποία μεταφέρεται στο έδαφος μέσω του βραχώδους υπόβαθρου. Η παραμόρφωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα να παραμορφώσει μια κατασκευή ορθογωνικής διατομής σε μια ρομβοειδή διατομή. Το Σχήμα 1 παριστάνει και τα δυο είδη παραμορφώσεων.



Είναι πολύ σημαντικό για τον μηχανικό να αναγνωρίσει ότι η επίδραση του σεισμού πάνω στη σήραγγα είναι η επιβολή μιας τυχαίας παραμόρφωσης, η οποία δεν μπορεί να αλλάξει με ενίσχυση της κατασκευής. Το κριτήριο σχεδιασμού της κατασκευής είναι επομένως η παροχή αρκετής πλαστιμότητας ώστε να απορροφηθεί η επιβαλλόμενη παραμόρφωση χωρίς απώλεια ικανότητας παραλαβής στατικών φορτίων, παρά ένα κριτήριο αντίστασης της κατασκευής σε αδρανειακά (σεισμικά) φορτία.

### **4.3. Αντισεισμικός σχεδιασμός σηράγγων κατά Kuesel (1969)**

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός σηράγγων κατά Kuesel (1969) βασίζεται στα παρακάτω κριτήρια:

#### **1. Σεισμός Σχεδιασμού:**

Μια σήραγγα πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να μπορεί να αντέξει τον σεισμό σχεδιασμού, δηλαδή έναν σεισμό που θα είναι ο πλέον ισχυρός που αναμένεται να συμβεί στην περιοχή. Έτσι ο σεισμός σχεδιασμού μπορεί να οριστεί ως εκείνος που έχει μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0,33g σε βράχο και σε μικρού πάχους εδαφική στρώση και 0.50g σε μεγάλου βάθους εδαφική στρώση πάνω σε βραχώδες υπόβαθρο. Εδαφικά πάχη πάνω σε βραχώδες υπόβαθρο μικρότερα των 70ft  $\approx 0,305 * 70 = 21,35\text{m}$  θεωρούνται ως μικρά, διαφορετικά ως μεγάλα. Ως μέγιστες τιμές της κατακόρυφης επιτάχυνσης του σεισμού σχεδιασμού λαμβάνονται τα 2/3 των αντίστοιχων τιμών της οριζόντιας επιτάχυνσης. Όταν η εδαφική στρώση αποτελείται από στρώσεις με διαφορετικές εδαφικές ιδιότητες, μπορεί κανείς να εργαστεί με μια ισοδύναμη ομογενή εδαφική στρώση με εδαφικές ιδιότητες που έχουν τιμές αριθμητικούς μέσους των τιμών των ιδιοτήτων των διαφόρων στρώσεων.

#### **2. Απαιτήσεις παραμορφώσεων:**

##### **α) Παραμόρφωση καμπυλότητας**

Οι σήραγγες πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να συμμορφώνονται με την εδαφική καμπυλότητα που επιβάλλεται από τις κυματικές μετατοπίσεις του Σχήματος 1. Η μέγιστη μοναδιαία ανηγμένη παραμόρφωση της κατασκευής προκύπτει ως αποτέλεσμα της διάδοσης ενός κύματος το οποίο ταξιδεύει υπό γωνία 32° ως προς τον άξονα της σήραγγας. Αυτό το κύμα έχει μια εγκάρσια συνιστώσα που δημιουργεί καμπτική παραμόρφωση και μια διαμήκη συνιστώσα που δημιουργεί αξονική πίεση-υποπίεση.

β) Διατμητική παραμόρφωση

Οι σήραγγες (σε εγκάρσια τομή) πρέπει επίσης να σχεδιάζονται και σε απόσχιση καθώς προσπαθούν να συμμορφωθούν με τη διατμητική παραμόρφωση του εδάφους.

γ) Ικανότητα ελαστικής παραμόρφωσης

Η ικανότητα ενός πλαισίου (εγκάρσια διατομή σήραγγας) από οπλισμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα να απορροφήσει τη διατμητική παραμόρφωση εντός της ελαστικής περιοχής μπορεί να προσδιοριστεί ως η γωνιακή ικανότητα του πλέον δύσκαμπτου εξωτερικού ακραίου κόμβου του πλαισίου. Αυτή δίνεται από τη σχέση:  $\alpha=0.001[(L_h/5t_h)+(L_v/5t_v)]$  όπου  $\alpha$  είναι η ελαστική γωνιακή ικανότητα του κόμβου σε radians,  $L$  το καθαρό μήκος δοκού σε ft και οι δείκτες  $h$  και  $v$  δηλώνουν οριζόντια και κατακόρυφο δοκό του πλαισίου, αντίστοιχα.

δ) Επιτρεπόμενη ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης

Η μέγιστη επιτρεπόμενη ακραία στροφή ενός στοιχείου οριζόντιας δοκού πλαισίου (εγκάρσια διατομή σήραγγας) πρέπει να περιορίζεται από αυτή τη στροφή που παράγει μια ανηγμένη παραμόρφωση στον εφελκυόμενο χαλύβδινο οπλισμό ή στις ακραίες ίνες μιας χαλύβδινης δοκού ίση με δυο φορές την ανηγμένη παραμόρφωση στο στατικό σημείο διαρροής.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

---

## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΟΥ

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

### **5. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΟΥ**

#### **5.1. Θέση – Περιγραφή Έργου**

**Τμήμα III από Χ.Θ. 2+298.17 έως Χ.Θ. 2+315.90**

**Ø Υπόγειο Τεχνικό Έργο Cut & Cover:**

Επειδή το τμήμα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία μετώπου προσβολής για την επερχόμενη σήραγγα με διάτρηση (υπογείως του τμήματος του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου), προβλέπεται η κατασκευή υπόγειου έργου με εκσκαφή και επικάλυψη (Cut & Cover) μέσω προσωρινών αντιστηρίξεων εκσκαφών με κατακόρυφες παρειές. Ο φορέας αποτελείται από κλειστή πλαισιωτή δίδυμη διατομή. Η γεωμετρική τοποθέτηση της διατομής γίνεται με βάση το σημείο τομής του άξονα του διπλού κλάδου με το επίπεδο που ορίζεται από το υψόμετρο της ερυθράς της οδοποιίας των δυο κλάδων της χάραξης. Το καθαρό ελεύθερο ύψος από τη στάθμη της ερυθράς έως την οροφή του φορέα ανωδομής καθορίστηκε σε 6.05μ ώστε να παρέχεται χώρος τόσο για το περιτύπωμα κυκλοφορίας (5.00μ) όσο και για την διέλευση Η/Μ εγκαταστάσεων (φωτισμός, τουρμπίνες αερισμού).

**Τμήμα IV από Χ.Θ. 2+315.90 έως Χ.Θ. 2+332.50**

**Ø Υπόγειο Τεχνικό Έργο σήραγγας με διάτρηση:**

Στο τμήμα αυτό η χάραξη διέρχεται υπογείως του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου και προβλέπεται η κατασκευή σήραγγας με διάτρηση. Η τελική επένδυση της σήραγγας αποτελείται από δίδυμη κλειστή πλαισιωτή διατομή. Η διατομή είναι όπως των τμημάτων III και V με την διαφορά ότι το ελεύθερο ύψος καθορίστηκε σε 5.10μ λόγω της στάθμης θεμελίωσης (ανασκαφής) του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου.

**Τμήμα V από Χ.Θ. 2+332.50 έως Χ.Θ. 2+350.23**

**Ø Υπόγειο Τεχνικό Έργο Cut & Cover:**

Στο τμήμα αυτό η οδός Γερανείων ευρίσκεται σε υψομετρική ανισοσταθμία 8.00μ με την ερυθρά της μικρής περιμετρικής Πατρών και προσεγγίζει έως οδεύει υπεράνω του περιτυπώματος του υπόγειου τεχνικού έργου. Επιπροσθέτως ανάντη της χάραξης και υπεράνω αυτής διέρχεται η πάροδος της

οδού Αιόλου. Εκατέρωθεν της χάραξης και εγγύς του περιτυπώματος του υπογείου τεχνικού έργου υπάρχει δομημένο περιβάλλον (κατοικίες 2 έως 3 ορόφων). Λόγω των ως άνω συνθηκών και λαμβανομένων υπόψη ότι το τμήμα αυτό χρησιμοποιείται για τις εργασίες εξόδου της σήραγγας με διάτρηση (Τμήμα IV) προβλέπεται η κατασκευή υπόγειου έργου με εκσκαφή και επικάλυψη (Cut & Cover) μέσω προσωρινών αντιστηρίξεων εκσκαφών με κατακόρυφες παρειές. Ο φορέας αποτελείται από κλειστή πλαισιωτή δίδυμη διατομή. Η γεωμετρική τοποθέτηση της διατομής γίνεται με βάση το σημείο τομής του άξονα του διπλού κλάδου με το επίπεδο που ορίζεται από το υψόμετρο της ερυθράς της οδοποιίας των δυο κλάδων της χάραξης. Το καθαρό ελεύθερο ύψος από τη στάθμη της ερυθράς έως την οροφή του φορέα ανωδομής καθορίστηκε σε 6.05μ.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

---

## ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

### **6. ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ**

#### **6.1. Έλεγχος εδάφους – Ξεσκάρωμα**

Κατά τη διάρκεια των εργασιών εκσκαφής και διάνοιξης των διατομών της σήραγγας, ο Ανάδοχος θα καταβάλλει ιδιαίτερη προσπάθεια να απομακρύνει τους χαλαρούς όγκους του εδάφους, που τυχόν παραμένουν στην επιφάνεια της εκσκαπόμενης διατομής, με κάθε πρόσφορο μέσο. Έτσι η διατομή θα παραδίδεται ελεύθερη χαλαρών μαζών για να δεχθεί τα μέτρα άμεσης υποστήριξης.

#### **6.2. Μέτρα άμεσης υποστήριξης**

Με τον όρο «Μέτρα Άμεσης Υποστήριξης» αναφερόμαστε σε όλα εκείνα τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν κατά τη διάρκεια της εκσκαφής ή αμέσως μετά από αυτή και τα οποία θα επιτρέψουν να εκσκαφθεί η διατομή, σύμφωνα με τις προβλέψεις της οριστικής μελέτης, των προδιαγραφών και των σχεδίων. Επιπλέον, τα μέτρα άμεσης υποστήριξης εμποδίζουν την πιθανή κατάρρευση του εδάφους ή την εκδήλωση παραμορφώσεων που δεν είναι αποδεκτές, πριν ολοκληρωθεί η κατασκευή της τελικής επένδυσης. Ακόμα, τα μέτρα άμεσης υποστήριξης προστατεύουν από κινδύνους το αρχαίο Ρωμαϊκό Υδραγωγείο και εξασφαλίζουν το εργαζόμενο προσωπικό από τον κίνδυνο ατυχημάτων γενικά.

Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά τα μέτρα άμεσης υποστήριξης που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της σήραγγας:

- I. Δοκοί προπορείας (forepoling)
- II. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- III. Μεταλλικό πλέγμα
- IV. Χαλύβδινα πλαίσια
- V. Ηλώσεις από ίνες ύαλου

Με την παρούσα προδιαγραφή καλύπτεται η εκτέλεση του συνόλου των εργασιών, σε συσχετισμό με τις εργασίες εκσκαφής, που απαιτούνται για την ασφαλή άμεση υποστήριξη των εκσκαφών κατά τη διάρκεια της διάνοιξης της σήραγγας και συμπεριλαμβάνει την παροχή του συνόλου των μηχανημάτων και του εξοπλισμού, του εργατικού δυναμικού, όλων των απαιτούμενων υλικών και κάθε άλλης εργασίας που απαιτείται, σύμφωνα με τα σχέδια, τις προδιαγραφές και τις εντολές της Υπηρεσίας.

### 6.3. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα – Μεταλλικά πλαίσια

Αμέσως μετά την εκσκαφή, τοποθετείται στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ενδεικτικού πάχους 3-5cm για λόγους ασφαλείας (Εικόνα 21) και ακολουθεί, αμέσως μετά, η τοποθέτηση των χαλύβδινων πλαισίων (ζυγώματα και ορθοστάτες), τα οποία πρέπει να σφηνώνονται στην επιφάνεια της πρώτης στρώσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, είτε με προκατασκευασμένους τάκους από σκυρόδεμα, είτε με μεταλλικές σφήνες και να συνδέονται αποτελεσματικά με τα ήδη τοποθετημένα τμήματα, έτσι ώστε να αποφεύγεται κάθε σοβαρή κίνηση του εδάφους. Πριν από τη σφήνωση του χαλύβδινου πλαισίου τοποθετείται και το μεταλλικό πλέγμα, ώστε μετά να είναι εύκολη η τοποθέτηση της οριστικής στρώσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Οι εργασίες που υπολείπονται για τη δεύτερη φάση είναι η συμπλήρωση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο στατικό του πάχος και η καλή σφήνωση του πλαισίου στην περιοχή των παρειών της σήραγγας, καθώς και η κατά μήκος σύνδεσή του με διαμήκεις συνδέσμους με τα ήδη τοποθετημένα τμήματα.

Είναι προφανές ότι οι ανωτέρω οδηγίες εφαρμόζονται σε όλες τις διαδοχικές φάσεις κατασκευής των μέτρων άμεσης υποστήριξης. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται στην υποστήριξη της οροφής της διατομής.

Πρέπει να τονισθεί ότι πρέπει να καταβληθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ορθή σύνδεση των χαλύβδινων πλαισίων (ζυγώματα και ορθοστάτες) τα οποία τοποθετούνται τμηματικά.



**Εικόνα 21.** Μετά την εκσκαφή τοποθετείται στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος για λόγους ασφαλείας και στη συνέχεια αφού τοποθετηθούν χαλύβδινα πλαίσια, τοποθετείται και το μεταλλικό πλέγμα, ώστε μετά να είναι εύκολη η τοποθέτηση της οριστικής στρώσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

## 6.4. Προενίσχυση εδάφους και προδιάταξη στοιχείων άμεσης υποστήριξης

### Ø Δοκοί προπορείας (Forepoling):

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει τη χρήση μεταλλικών δοκών προπορείας (χαλύβδινοι σωλήνες τούμπο) (Εικόνες 22,23), που τοποθετούνται με τη μέθοδο «pipe-jacking». Έτσι οι εργασίες στη σήραγγα εκτελούνται υπό τη συνεχή προστασία της «ομπρέλας» και σύμφωνα πάντοτε με τις προβλέψεις της Οριστικής Μελέτης.

Τα χαρακτηριστικά των σωλήνων προώθησης – δοκών προπορείας – είναι τα ακόλουθα:

- Η κάθε δοκός αποτελείται από τουμποσωλήνα (χωρίς ραφή) με ελάχιστη εξωτερική διάμετρο 273mm και ελάχιστο πάχος 8,8mm.
- Το συνολικό μήκος της κάθε δοκού είναι 18,00m. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συστήματος προώθησης που θα επιλέξει, ο Ανάδοχος θα καθορίσει στην μεθοδολογία τα μήκη των επιμέρους τμημάτων της κάθε δοκού καθώς και την μέθοδο ένωσής τους κατά την προχώρηση διάνοιξης της κάθε μικροσήραγγας.
- Οι δοκοί θα είναι διάτρητες ανά τακτά διαστήματα, για την εισπίεση ενέματος μεταξύ σωλήνα και εδάφους.

Ενδεχόμενες τροποποιήσεις του πάχους των σωλήνων προώθησης οφειλόμενες σε απαιτήσεις της μηχανής διάνοιξης ή των κανονισμών της χώρας προέλευσης των σωλήνων, θα προσδιοριστούν στην μεθοδολογία του Αναδόχου και θα εγκριθούν από την Υπηρεσία.



**Εικόνα 22.** Μεταλλικοί δοκοί προπορείας



**Εικόνα 23.** Δοκοί προπορείας οι οποίοι τοποθετούνται με τη μέθοδο pipe-jacking

**Ø Προενίσχυση εδάφους μετώπου εκσκαφής:**

Η εργασία αυτή εκτελείται σύμφωνα με τις προβλέψεις της μελέτης, με αγκύρια από ίνες ύαλου (fiberglass) και στρώμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος (Εικόνες 24,25).



**Εικόνα 24.** Αγκύρια fiberglass



**Εικόνα 25.** Αγκύριο fiberglass σε στρώμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

---

## ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>Ο</sup>

### 7. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ

#### 7.1. Παρατηρήσεις για το έργο

Μετά από σχετικές ανασκαφές και έρευνες, αυτοψίες και ελέγχους, η ΔΑΑΜ/ΥΠΠΙΟ (Τμήμα Μελετών Ρωμαϊκής Περιόδου) κατέληξαν σε κάποιες παρατηρήσεις και επισημάνσεις που μπορούν να «τακτοποιηθούν» ως εξής:

- I. Λόγω των ευρημάτων μετά την ολοκλήρωση και αξιολόγηση των αρχαιολογικών ανασκαφών, και της μεταβαλλόμενης (μη-ενιαίας) στάθμης έδρασης των τοίχων κλπ, απαιτείται υποβιβασμός της σήραγγας μάλλον στο σύνολό της κατά τουλάχιστον 20cm, έτσι ώστε τα θεμέλια των αρχαιοτήτων να βρίσκονται «ασφαλώς» πάνω από την πάνω επιφάνεια (εξωράχιο) των κεκλιμένων δοκών – χαλύβδινων σωλήνων άμεσης προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας κατά την εκσκαφή, δηλ. των δοκών προπορείας (fore-polling).
- II. Ο σχεδιασμός του έργου άμεσης προσωρινής υποστήριξης για την εκσκαφή κρίνεται πως έχει λάβει υπόψη την ιδιαιτερότητα και κρισιμότητα του μνημείου και πως διαθέτει ικανοποιητική αντοχή και δυσκαμψία, προς περιορισμό των όποιων επιπτώσεων κατά την προσωρινή φάση κατασκευής.
- III. Για την πληρέστερη εξασφάλιση του μνημείου, προτείνεται προσωρινή κατάχωση κατά φάση κατασκευής, η οποία θα απομακρυνθεί κατά τη φάση λειτουργίας.
- IV. Για την πληρέστερη εξασφάλιση του μνημείου, προτείνεται συμπλήρωση της μελέτης του έργου (διάνοιξης και κατασκευής της σήραγγας), με κριτήρια την αποφυγή ενδεχομένως βλαπτικών καθιζήσεων ή/και δονήσεων/ταλαντώσεων, ή άλλων επιπτώσεων, ως εξής:
  - Κατά την κατασκευή:  
Π.χ. λεπτομέρειες και διαδοχή των διατρήσεων και των υποστηρίξεων, καθώς και των τσιμεντενέσεων (π.χ. έλεγχος της πίεσης, χρήση λευκού τσιμέντου) κλπ.



- Κατά τη λειτουργία:  
Π.χ. διασφάλιση για την ικανότητα της τελικής σήραγγας προς απορρόφηση των δονήσεων και ταλαντώσεων (απόσβεση) λόγω της βαριάς κυκλοφορίας των οχημάτων.

## 7.2. Αυτοψία του έργου

Στη θέση του έργου έγινε αυτοψία ώστε να δημιουργηθεί άποψη για την ευρύτερη περιοχή και να διαπιστωθεί η κατάσταση των αρχαιοτήτων.

Σχετικώς, αναφέρονται τα εξής:

Ø Όπως παρουσιάζεται, μετά τις προεργασίες για την Μικρή ΠΟΠ αλλά και τις αρχαιολογικές ανασκαφές στο μνημείο, το έργο (η εκσκαφή) γίνεται σε «περιβάλλον» προστεροποιημένων αργιλικών σχηματισμών (με ποσοστά άμμων και χαλκιών), στιφρών έως πολύ στιφρών και μέσης πλασιμότητας, σε συμφωνία με την «εικόνα» που προκύπτει από τις τρεις γεωτρήσεις στο υπόψη έργο, κατά τη σχετική μελέτη. Έτσι, οι συνθήκες του εδάφους στην περιοχή ενδιαφέροντος κρίνονται καλές έως πολύ καλές, με θετική επιρροή όσο αφορά τα ενδεχόμενα προβλήματα για τις αρχαιότητες.

Ø Όσο αφορά τις αρχαιότητες καθ' αυτές, και πέραν των άλλων ευρημάτων, το κύριο ενδιαφέρον εστιάζεται σε τμήμα του θολωτού υδραγωγείου, στον διαμήκη παχύ αναλημματικό τοίχο και σε σφηνοειδές τμήμα εγκάρσιου τοίχου.

Οι σωζόμενοι τοίχοι, με σημαντικό πάχος και με διάφορες στο ύψος και στην στάθμη έδρασή τους, είναι μικτοί κατά το πάχος τους, με «επιδερμίδες» από οπτοπλινθοδομή και πυρήνα από αργολιθοδομή, με μεγάλο όγκο κονιάματος.

Όπως παρουσιάζεται και στις συνημμένες σχετικές φωτογραφίες (Εικόνες 26-34), τα σωζόμενα τμήματα των τοίχων παρουσιάζουν αρκετά προβλήματα, που συνοψίζονται ως εξής:

- Επιφανειακή φθορά (κυρίως των κονιαμάτων), αλλά και φθορά σε βάθος, κατά τόπους, αναλόγως της έκθεσης και της προσβολής, σε συνδυασμό με βλάβες λόγω μηχανικών αιτιών.
- Προβλήματα των επιδερμίδων από οπτοπλινθοδομή, με χαρακτηριστικές έντονες ρωγμές αλλά και καταπτώσεις, κατά τόπους, με αποκάλυψη (και έκθεση/προσβολή) της μάζας των τοίχων.
- Προβλήματα του πυρήνα των τοίχων, διαμπερείς (μάλλον) ρηγματώσεις, που συνδυάζονται με αυξημένη τοπικώς φθορά και μερική αποδιοργάνωση της συνοχής και δομής τους.



- Χαρακτηριστική πλήρης και έντονη αποκόλληση, διαμπερής, μεταξύ του διαμήκους και εγκάρσιου τοίχου, που όμως δεν συνοδεύεται από ενδείξεις έντονων εδαφικών παρενεργειών (διάφορες καθιζήσεις ή ολισθήσεις λόγω υπεδάφους ή θεμελίωσης).

Ως συγκεντρωτική παρατήρηση, και παρά τα δομικά προβλήματα (κατά τα προηγούμενα), αναφέρεται πως οι υπόψη τοίχοι δεν παρουσιάζουν προβλήματα αστάθειας ή ετοιμορροπίας, και δεν κρίνονται ως επικίνδυνοι, χρήζοντες άμεσων σωστικών μέτρων (π.χ. αντιστηρίξεις).

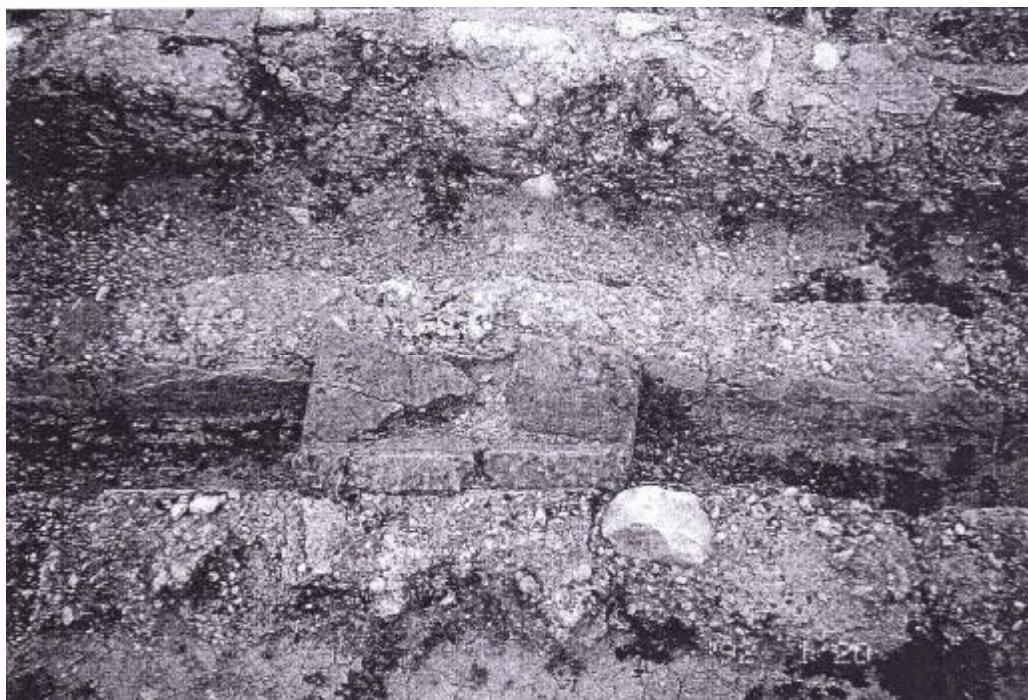


**Εικόνα 26**



**Εικόνα 27.** Το υδραγωγείο και οι σωζόμενοι τοίχοι, ο διαμήκης και ο εγκάρσιος (με έντονη πλήρη αποκόλληση)



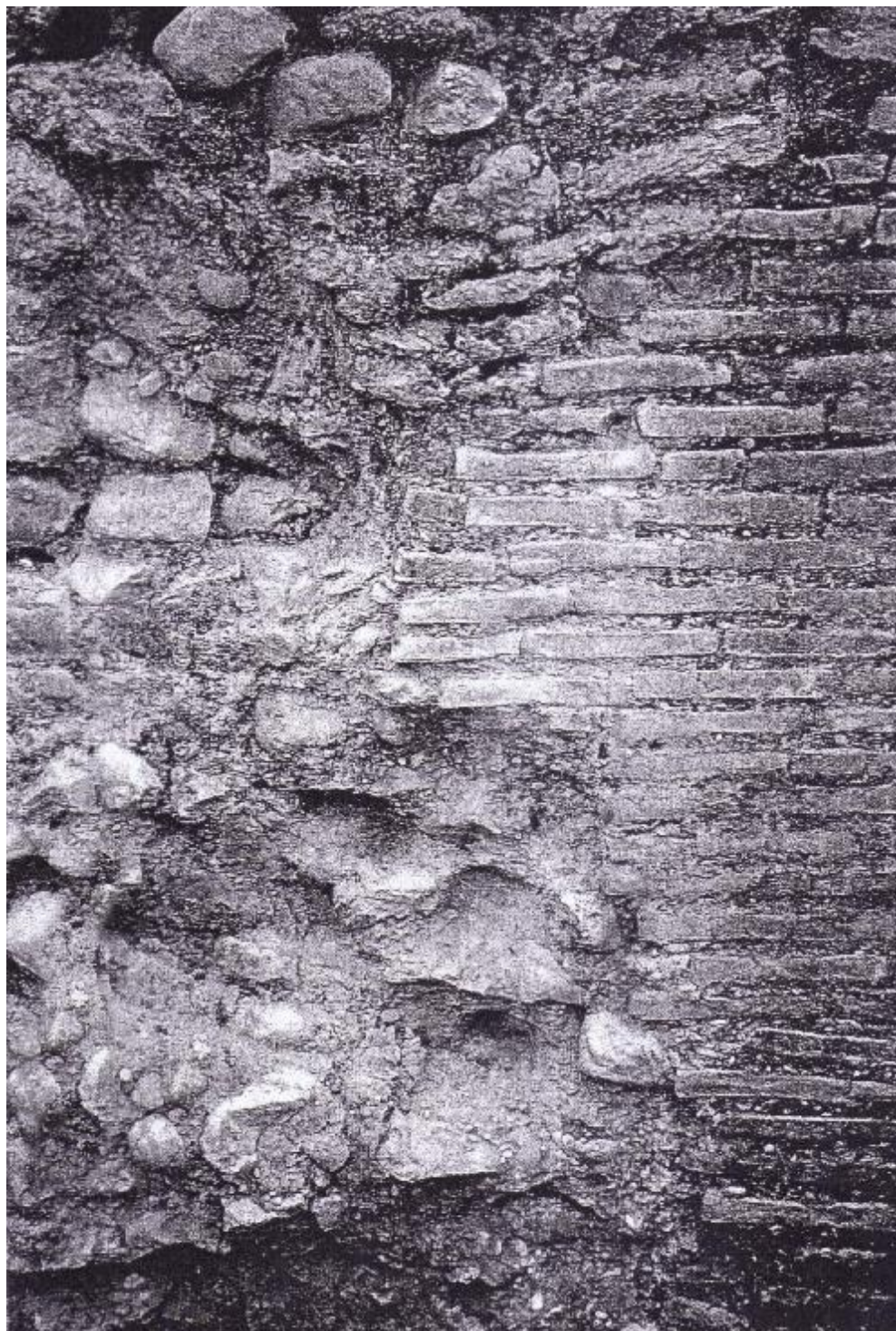


**Εικόνα 28**



**Εικόνα 29.** Λοιπά σωζόμενα στοιχεία





**Εικόνα 30.** Κατάπτωση και ρηγμάτωση της «επιδερμίδας», προβλήματα φθορών/βλαβών του «πυρήνα»

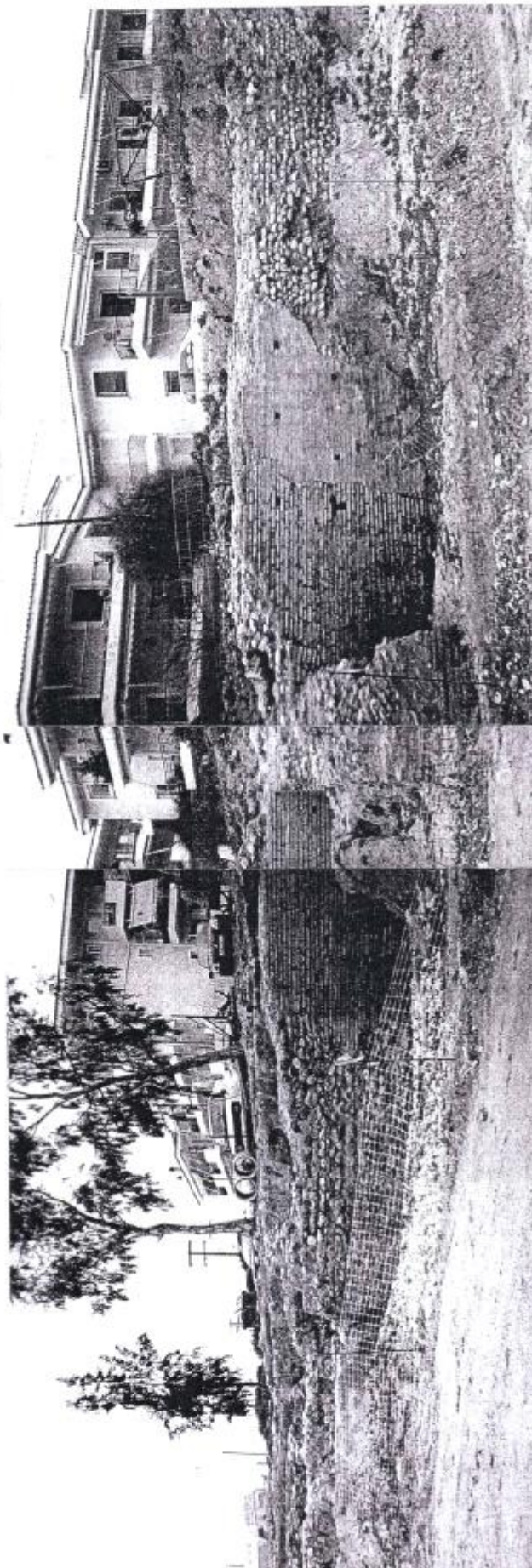




**Εικόνα 31.** Χαρακτηριστική φθορά και βλάβη (μεγαλο-ρωγμή) της «επιδερμίδας» του τοίχου (ενώ παρατηρείται και πλήθος άλλων μικρο-ρωγμών)



**Εικόνα 32.** Φθορές και ρωγμές του «πυρήνα» των τοίχων



**Εικόνα 33**





**Εικόνα 34.** Γενική άποψη του χώρου και των αρχαιοτήτων (τοιχών), που παρουσιάζουν διάφορα προβλήματα φθορών και βλαβών

## 7.3. Θέματα καθιζήσεων και δονήσεων

### 7.3.1. Καθιζήσεις

Δεν τίθεται θέμα καθιζήσεων λόγω επιφόρτισης από το οδικό έργο της Μικρής ΠΟΠ στο υπόψη Τμήμα IV.

Το έργο κατασκευάζεται γενικώς με εκσκαφή, αποφόρτιση και «ανακούφιση», η οποία ειδικώς στην θέση της σήραγγας είναι της τάξεως των 100kPa ( $\sim 10 \text{ t/m}^2$ ).

Επίσης από την οριστική μελέτη του έργου προβλέπεται το εξής: αποφόρτιση, εκσκαφή, αφαίρεση του εδαφικού υπερκαλύμματος που υφίσταται στην θέση αυτή, έτσι ώστε η στάθμη εδάφους να ευρίσκεται σε ύψος περίπου 2,0 ως 2,5m πάνω από τον φορέα της τελικής επένδυσης της δίδυμης σήραγγας.

Το μέτρο αυτό στοχεύει στην μείωση του φορτίου καταπόνησης των μέτρων άμεσης προσωρινής υποστήριξης για την εκσκαφή της σήραγγας.

Ειδικώς για την φάση κατασκευής/εκσκαφής, πρέπει να ληφθούν μέτρα ελέγχου (περιορισμού) των κάθε είδους βυθίσεων και υποχωρήσεων, ακόμη και αθέλητων, του συστήματος άμεσης προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας, κυρίως μέσω των κεκλιμένων δοκών προπορείας και των διαδοχικών, βηματικώς διατασσόμενων, πλαισίων υποστύλωσης.

Οι αναπόφευκτες αυτές αλλά προς περιορισμό υποχωρήσεις δεν σχετίζονται με καθιζήσεις αλλά με την ενδοσιμότητα και κατασκευαστική χαλαρότητα του συστήματος υποστήριξης/υποστύλωσης κατά την πρόοδο εκσκαφής.

### 7.3.2. Δονήσεις

Αναπόφευκτες δονήσεις, μέσω του εδάφους και της σήραγγας καθ' αυτής, θα παρουσιασθούν και κατά την κατασκευή και κατά την λειτουργία του έργου, ενώ στόχος της οριστικής μελέτης και των προτάσεων κατά την Τεχνική Έκθεση είναι ο έλεγχός τους (ο περιορισμούς τους σε απολύτως ανεκτά όρια).

Επισημαίνεται, πως για το υπόψη έργο, μεγαλύτερος σχετικός κίνδυνος υπάρχει κατά την φάση λειτουργίας και όχι κατασκευής του έργου, και αυτό για δύο βασικούς λόγους:

- i) Για την κατασκευή, έχει ήδη επιλεγεί η χρήση ειδικού σύγχρονου εξοπλισμού ταυτόχρονης διάτρησης/προώθησης των δοκών προπορείας, δηλ. σύστημα pipe-jacking, που διασφαλίζει την πιο ομαλή ενσωμάτωσή τους, χωρίς προβλήματα υποχωρήσεων, ταλαντώσεων κλπ. Επιπλέον, σύμφωνα με την Οριστική Μελέτη, ο εδαφικός σχηματισμός στο Τμήμα IV ευνοεί την χρήση ελαφρών μηχανικών μέσων, για

εκσκαφή και φόρτωση, πχ τσάπες, φορτωτές κλπ όπως θα χρησιμοποιηθούν.

- ii) Για την κατασκευή, οι όποιες δονήσεις είναι γενικώς διακοπτόμενες, περιορισμένες και μικρής διάρκειας χρονικώς, σε αντίθεση με τη λειτουργία του έργου, οπότε οι δονήσεις είναι γενικώς επαναλαμβανόμενες και μεγάλης διάρκειας χρονικώς, σχεδόν συνεχείς και μόνιμες.

Έτσι και διεθνώς (με βάση Κανονισμούς ή Συστάσεις) και για τα ελληνικά δεδομένα από παρόμοια έργα (πχ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΩΝ και ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ), τα ανεκτά όρια και ημι-εμπειρικά κριτήρια που τίθενται για περιορισμό των δονήσεων είναι σαφώς δυσμενέστερα για την λειτουργία παρά για την κατασκευή των έργων.

## 7.4. Προτάσεις βελτίωσης

Στην παρούσα παράγραφο συγκεφαλαιώνονται τα μέτρα για βελτίωση της συμπεριφοράς του έργου έναντι προστασίας των αρχαιοτήτων, κυρίως στη φάση κατασκευής, που εξυπηρετούν όμως και την φάση μακρόχρονης λειτουργίας, ενώ ο έλεγχος αποτελεσματικότητας του συνόλου παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο, περί παρακολούθησης και καταγράφησης.

Τα μέτρα σχολιάζονται κατά ορθολογική κατασκευαστική σειρά κυρίως για την κρίσιμη φάση εκσκαφής και υποστήριξης/υποστύλωσης της σήραγγας, έτσι όπως έχουν ήδη εγκριθεί (κατά την Οριστική Μελέτη του έργου) ή προταθεί (κατά τις παρατηρήσεις της ΔΑΑΠ/ΥΠΠΟ) ή όπως προτείνονται με βάση την Τεχνική Έκθεση.

Ø Υποβιβασμός της σήραγγας, μάλλον στο σύνολό της, κατά τουλάχιστον 20cm, έτσι ώστε τα θεμέλια των τοίχων και οι άλλες αρχαιότητες να βρίσκονται «ασφαλώς» πάνω από το «εξωράχιο» όλων των στοιχείων άμεσης προσωρινής υποστήριξης/υποστύλωσης της σήραγγας.

Ø Η εγκεκριμένη «αποφόρτιση» με αφαίρεση του εδαφικού υπερκαλλύματος (κατά τη μελέτη) δεν συνάδει με την προτεινόμενη προσωρινή (μερική) κατάχωση με σάκους αδρανούς υλικού. Σύμφωνα με την Τεχνική Έκθεση, προτείνεται να υλοποιηθεί μεν η «αποφόρτιση» (κατά την μελέτη), να προβλεφθεί δε και να υπάρχει ετοιμότητα για άμεση εφαρμογή μέτρων προσωρινής αντιστήριξης των υψηλών τμημάτων τοίχων, τοπικώς, πχ μέσω κατάλληλων ξύλινων αντηρίδων.

Ø Για την μετά την κατασκευή της σήραγγας περίοδο (λειτουργίας του έργου), πρέπει να αποφασιστεί αν οι αρχαιότητες θα παραμείνουν ως έχουν - σε εκσκαφή, ή αν θα επανεπιχωθούν (πχ εν μέρει), με διαμόρφωση του εδαφικού ανάγλυφου, διαχείριση των ομβρίων υδάτων κλπ. Από άποψη καθιζήσεων και δονήσεων, δεν υπάρχει ουσιώδης διαφορά, και έτσι αυτή η παράμετρος μπορεί να συνεκτιμηθεί στη λήψη απόφασης.

Ø Τέλος, προς διασφάλιση της αποτελεσματικότητας του συνόλου των μέτρων προβλέπεται επέκταση του συστήματος παρακολούθησης και καταγράφησης – monitoring, κυρίως κατά την φάση κατασκευής και την αρχική περίοδο κυκλοφορίας (του εργοταξίου).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

---

## ΕΝΟΡΓΑΝΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΝΟΙΕΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>**

### **8. ΕΝΟΡΓΑΝΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

#### **8.1. Γενικά**

Σκοπός αυτού του τμήματος των προδιαγραφών είναι να περιγράψει την απαιτούμενη ενόργανη παρακολούθηση (monitoring) του ρωμαϊκού υδραγωγείου και του περιβάλλοντος εδάφους της σήραγγας (είδος απαιτούμενων οργάνων, τρόπος εγκατάστασής τους, τρόπος λήψης μετρήσεων, αξιολόγηση στοιχείων μετρήσεων κλπ) που πρέπει να πραγματοποιηθεί στη διάρκεια της κατασκευής της σήραγγας. Η ενόργανη παρακολούθηση έχει σκοπό την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του υπερκείμενου της σήραγγας ρωμαϊκού υδραγωγείου και του περιβάλλοντος εδάφους, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ο μη επηρεασμός του ρωμαϊκού υδραγωγείου από τις κατασκευαστικές δραστηριότητες.

Όλες οι μετρήσεις της ενόργανης παρακολούθησης αξιολογούνται ως προς την ακρίβεια και διορθώνονται με βάση τις αναπόφευκτες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο όργανο ή το δομικό στοιχείο που παρακολουθείται. Ο Ανάδοχος θα λάβει όλα τα απαραίτητα μέτρα για να διασφαλίζει, εξακριβώνει και να αποδεικνύει την ακρίβεια, ορθότητα και αξιοπιστία των μετρήσεων καθ' όλη τη διάρκεια του έργου.

Εφόσον κριθεί απαραίτητο, για τους σκοπούς της ενόργανης παρακολούθησης, η Υπηρεσία μπορεί να ζητήσει, τοπικά και προσωρινά, την αύξηση της πυκνότητας των οργάνων και σημείων μέτρησης, την αύξηση της συχνότητας μετρήσεων και πέραν των προβλεπόμενων από το εγκεκριμένο Πρόγραμμα Ενόργανης Παρακολούθησης ή ακόμα και την τοποθέτηση και μέτρηση άλλων οργάνων παρακολούθησης πέρα των προδιαγραφόμενων.

#### **8.2. Πρόγραμμα ενόργανης παρακολούθησης**

Πριν την έναρξη οποιασδήποτε εργασίας κατασκευής στη σήραγγα, ο Ανάδοχος θα υποβάλει στην υπηρεσία προς έλεγχο και έγκριση το «Πρόγραμμα Ενόργανης Παρακολούθησης». Το πρόγραμμα αυτό θα περιλαμβάνει, ενδεικτικά και όχι περιοριστικά, τα ακόλουθα:

- Ø Αιτιολογική έκθεση του γενικού σχεδιασμού του προγράμματος ενόργανης παρακολούθησης.



- Ø Είδος μετρήσεων που θα πραγματοποιηθούν, μεθοδολογία λήψης μετρήσεων, συχνότητα μετρήσεων ανά είδος οργάνου κλπ.
- Ø Κατάλογο οργάνων (είδος, τύπος, προδιαγραφές κλπ)
- Ø Τυπικά σχέδια (διατομές και κατόψεις) με τις προτεινόμενες θέσεις τοποθέτησης των οργάνων.
- Ø Λογισμικό για τους υπολογισμούς και τρόπο παρουσίασης αποτελεσμάτων μετρήσεων (διαγράμματα, πρωτόκολλα μετρήσεων, φύλλα δεδομένων, συνθετικές παρουσιάσεις μετρήσεων οργάνων κλπ).

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει κατ' ελάχιστο ένα σύστημα χωροσταθμικών μετρήσεων της επιφάνειας του εδάφους σε όλο το υπερκείμενο της σήραγγας και ένα σύστημα τρισδιάστατων τοπογραφικών μετρήσεων (3D) για την μέτρηση των μετακινήσεων του ρωμαϊκού υδραγωγείου.

Ο Ανάδοχος πέραν αυτών των δυο συστημάτων μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε άλλα όργανα παρακολούθησης κρίνει απαραίτητα, προκειμένου να εξασφαλίσει τον πλήρη έλεγχο της συμπεριφοράς του ρωμαϊκού υδραγωγείου κατά τη διάρκεια της κατασκευής της σήραγγας (πχ ρηγματόμετρα, δονησιόμετρα κλπ). Στην περίπτωση αυτή ο Ανάδοχος θα υποβάλει προς έγκριση στην Υπηρεσία πλήρη μεθοδολογία για κάθε προτεινόμενο όργανο παρακολούθησης.

### **8.3. Προδιαγραφές οργάνων ενόργανης παρακολούθησης**

Παρακάτω δίνονται οι προδιαγραφές των δυο συστημάτων μέτρησης που απαιτείται να εγκατασταθούν.

#### **8.3.1. Σύστημα χωροσταθμικών μετρήσεων**

Οι χωροσταθμικές μετρήσεις θα λαμβάνονται επί χωροσταθμικών ράβδων βαθιάς πάκτωσης στο έδαφος περιμετρικά του ρωμαϊκού υδραγωγείου. Η τοποθέτηση των ράβδων θα πραγματοποιηθεί μετά την ολοκλήρωση των επιφανειακών εκσκαφών στο υπερκείμενο της σήραγγας, περίξ του ρωμαϊκού υδραγωγείου.

Οι χωροσταθμικές ράβδοι βαθιάς πάκτωσης θα εγκαθίστανται σε οπές διαμέτρου περίπου 10cm και βάθους περίπου 50cm. Θα αποτελούνται από ράβδο ολόσωμου σπειρώματος διαμέτρου 25mm, η οποία στο άνω άκρο της θα είναι επιπεδωμένη εγκάρσια στον άξονά της. Η ράβδος θα πακτώνεται στα κατώτερα 15cm, το δε άνω τμήμα της θα είναι ελεύθερο και θα προστατεύεται

από σωλήνα ο οποίος θα είναι επίσης πακτωμένος και θα φέρει προστατευτικό, ανθεκτικό κάλυμμα που δεν θα προεξέχει από την επιφάνεια του εδάφους και το οποίο θα αφαιρείται για την μέτρηση και θα επανατοποθετείται.

Οι μετρήσεις των χωροσταθμικών σημείων θα εκτελούνται με ελάχιστη ακρίβεια  $\pm 1\text{mm}$  ανά χιλιόμετρο, και θα γίνονται πάντοτε με ανοικτές χωροσταθμικές οδεύσεις πλήρως εξαρτημένες από τα δυο άκρα από χωροσταθμικές αφετηρίες με γνωστό υψόμετρο. Οι αφετηρίες αυτές θα εγκαθίστανται με μόνιμη επισήμανση σε περιοχές εκτός ζώνης επιρροής των έργων. Όλοι οι υπολογισμοί των υψομέτρων θα γίνονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Για τις μετρήσεις θα χρησιμοποιούνται ψηφιακοί χωροβάτες ακρίβειας  $\pm 0,3\text{mm}$  ανά χιλιόμετρο. Τα στοιχεία των μετρήσεων θα καταγράφονται ηλεκτρονικά και θα μεταφέρονται αυτόματα σε πρόγραμμα επεξεργασίας και καταχώρησης.

### 8.3.2. Σύστημα τρισδιάστατων τοπογραφικών μετρήσεων

Για τις μετρήσεις ολικών μετακινήσεων (3D) θα εγκατασταθούν ανακλαστήρες πάνω στο ρωμαϊκό υδραγωγείο, και θα μετρηθούν με γεωδαιτικούς σταθμούς ακριβείας με τη μέθοδο ελεύθερης στάσης (free station) ή και από σταθερή στάση. Η τοποθέτηση των ανακλαστήρων επί του ρωμαϊκού υδραγωγείου θα γίνει πριν την έναρξη οποιασδήποτε εργασίας που αφορά στην κατασκευή της σήραγγας (περιλαμβανομένων των επιφανειακών εκσκαφών στο τμήμα IV).

Οι ανακλαστήρες θα επιτρέπουν ακρίβεια μετρήσεων  $\pm 1\text{mm}$  σε κάθε μια από τις τρεις διευθύνσεις και θα είναι του τύπου στόχων διπλής όψεως (bi-reflex targets) (Εικόνα 35) ή πρισματών (prism targets) (Εικόνα 36).

Η επίλυση για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων αναφοράς θα γίνεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Στην περίπτωση χρήσης μεθόδου ελεύθερης στάσης (free station) ο υπολογισμός της στάσης του οργάνου θα γίνεται με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Στην περίπτωση χρήσης σταθερής στάσης, με προσανατολισμό προς δεύτερο σημείο αναφοράς θα ελέγχεται τουλάχιστον ένα ακόμη σημείο αναφοράς του δικτύου. Η ακρίβεια των μετρήσεων ολικών μετακινήσεων (3D) θα είναι  $\pm 2\text{mm}$ . Τα στοιχεία των μετρήσεων θα καταγράφονται και θα μεταφέρονται ηλεκτρονικά σε πρόγραμμα επεξεργασίας και καταχώρησης.



Εικόνα 35. Στόχος διπλής όψης (bi-reflex target)



Εικόνα 36. Στόχος πρίσματος (prism target)

## 8.4. Εγκατάσταση ρηγματομέτρων

Ο τύπος των οργάνων μέτρησης, οι θέσεις μέτρησης, η συχνότητα μετρήσεων, ο τρόπος παρουσίασης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων, η ένταξή του στις περιοδικές Εκθέσεις Monitoring κλπ, θα προταθούν αιτιολογημένα από τον Ανάδοχο και θα εγκριθούν από την Υπηρεσία. Απαιτείται εγκατάσταση του συστήματος και μετρήσεις αναφοράς (τουλάχιστον 2 φορές) πριν από οποιαδήποτε εργασία για την σήραγγα.

Κατ' ελάχιστο απαιτούνται τα εξής:

- Εγκατάσταση οργάνων με ακρίβεια μέτρησης 0,1mm.
- Εγκατάσταση συνολικώς τουλάχιστον οκτώ (8) γραμμικών ρηγματομέτρων επί ρωγμών των «επιδερμίδων» των τοίχων, ενώ για ρωγμές μήκους άνω του 1,00m απαιτείται εγκατάσταση δυο (2) ρηγματομέτρων κατά μήκος.
- Εγκατάσταση συνολικώς τεσσάρων (4) γωνιακών ρηγματομέτρων για την παρακολούθηση του αρμού αποκόλλησης των υφιστάμενων εγκάρσιων τοίχων, από δυο (2) σε κάθε όψη, σε μεταξύ τους απόσταση της τάξης των 2,00m (περίπου).
- Παρακολούθηση των ρωγμών και μετά την ολοκλήρωση της μόνιμης δίδυμης σήραγγας, για τουλάχιστον τρεις (3) μήνες, με τουλάχιστον τρεις (3) σειρές μετρήσεων, υπό εργοταξιακή κυκλοφορία.
- Υποβολή, και προς το ΥΠΠΟ, περιοδικών και τελικής Έκθεσης monitoring, με συνεκτίμηση και αξιολόγηση όλων των συνδυασμένων μετρήσεων και ελέγχων. Στην τελική Έκθεση, θα συμπεριλαμβάνονται και κρίσεις για την μακρόχρονη λειτουργία του έργου, ενδεχομένως μέσω ανάδρομων αναλύσεων και προσεγγίσεων, με βάση στοιχεία από τις μετρήσεις και την λεπτομερή συμπεριφορά των αρχαιοτήτων (μετά από αποτύπωση και αποτίμηση)

Τα όρια επιφυλακής και συναγερμού για τις υπό παρακολούθηση ρωγμές, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα ο οποίος ισχύει για δομήματα από άοπλη τοιχοδομή κάθε είδους, μνημεία και αρχαιοτήτες, δομήματα με φθορές/βλάβες ή τρωτά (Πίνακας 1).

**Πίνακας 1: ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΕΥΑΙΣΘΗΤΑ ΔΟΜΗΜΑΤΑ**

	ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΟΡΙΟ	
		ΕΠΙΦΥΛΑΚΗΣ	ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ
1	Ολική καθίζηση περιοχής	10 mm	15 mm
2	Ρυθμός μεταβολής ολικής καθίζησης *	2 mm/ημ.	2 mm/ημ.
3	Γωνιακή παραμόρφωση	1/1200	1/800
4	Ρυθμός μεταβολής εύρους ρωγμής*	0,5 mm/ημ.	1,0 mm/ημ.

\* Ρυθμός μεταβολής (σε mm/ημ.) για περισσότερες από τρεις (3) συνεχόμενες μέρες.

### 8.5. Δονησιομετρικοί έλεγχοι

Ο τύπος των οργάνων μέτρησης, οι θέσεις μέτρησης, η συχνότητα μετρήσεων, ο τρόπος παρουσίασης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων, η ένταξή τους στις περιοδικές Εκθέσεις Monitoring κλπ θα προταθούν αιτιολογημένα από τον Ανάδοχο και θα εγκριθούν από την Υπηρεσία. Απαιτείται εγκατάσταση του συστήματος και μετρήσεις αναφοράς (τουλάχιστον δυο (2) φορές) πριν από οποιαδήποτε εργασία για την σήραγγα.

Κατ' ελάχιστο απαιτούνται τα εξής:

- Εγκατάσταση οργάνων μέτρησης των ταχυτήτων και κατά τους τρεις (3) άξονες ταυτοχρόνως, με ακρίβεια μέτρησης 0,1mm/s.
- Δονησιομετρικοί έλεγχοι σε συνολικώς τουλάχιστον έξι (6) θέσεις, ως εξής:
  - I. Δύο (2) θέσεις κατά μήκος του μεγάλου τοίχου, από μια (1) εκατέρωθεν του εγκάρσιου τοίχου, στο περιβάλλον έδαφος, σε απόσταση περίπου 2,00m από τους τοίχους.

- II. Δύο (2) θέσεις, αντίστοιχες και συζυγείς των προηγούμενων, στο έδαφος θεμελίωσης του τοίχου, ακριβώς δίπλα του, σε απόσταση όχι μεγαλύτερη του 0,25m και
- III. Δύο (2) θέσεις στην στέψη της θολωτής κατασκευής του υδραγωγείου, σε μεταξύ τους απόσταση της τάξης των 2,00m (περίπου).
- Παρακολούθηση των δονήσεων και μετά την ολοκλήρωση της μόνιμης δίδυμης σήραγγας, για τουλάχιστον τρεις (3) μήνες με τουλάχιστον τρεις (3) σειρές μετρήσεων, υπό εργοταξιακή κυκλοφορία.
  - Υποβολή, και προς το ΥΠΠΟ, περιοδικών και Τελικής Έκθεσης Monitoring, με συνεκτίμηση και αξιολόγηση όλων των συνδυασμένων μετρήσεων και ελέγχων. Στην τελική Έκθεση, θα συμπεριλαμβάνονται και κρίσεις για την μακρόχρονη λειτουργία του έργου, ενδεχομένως μέσω ανάδρομων αναλύσεων και προσεγγίσεων, με βάση στοιχεία από τις μετρήσεις και τη λεπτομερή συμπεριφορά των αρχαιοτήτων (μετά από αποτύπωση και αποτίμηση).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

---

## ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>**

### **9. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**

#### **9.1. Γενικά**

Το τμήμα IV του έργου «Μικρή Περιμετρική Οδός Πατρών» αποτελεί μικρού μήκους σήραγγα (16,60m) υπόγειας διάνοιξης (με διάτρηση), η οποία εκτείνεται από τη Χ.Θ. 2+315,90 έως τη Χ.Θ. 2+332,50. Αποτελεί τμήμα ενός τεχνικού έργου που θα διαμορφώσει υπόγειο τμήμα της Μικρής Περιμετρικής Οδού Πατρών, από τη Χ.Θ. 2+273,74 έως τη Χ.Θ. 2+421,15.

Η τυπική διατομή εκσκαφής της σήραγγας είναι ορθογωνική, συνολικού πλάτους 20,00m και ύψους 8,10m. Από τη σήραγγα αυτή θα διέρχονται και οι δυο κλάδοι της οδού, οι οποίοι θα διαχωρίζονται από τοίχιο το οποίο θα διέρχεται κατά μήκος του άξονα της σήραγγας. Τα χαρακτηριστικά στοιχεία των διατομών της σήραγγας φαίνονται στο Σχέδιο 3 του Παραρτήματος.

Η σήραγγα υπόγειας διάνοιξης διέρχεται κάτω από το τμήμα ρωμαϊκού υδραγωγείου, το οποίο εντοπίζεται στα υπερκείμενα του δεξιού κλάδου της μελλοντικής οδού. Το πάχος των υπερκείμενων από τη θεμελίωση του υδραγωγείου έως την οροφή της σήραγγας κυμαίνεται από 2,00 έως 0,70m περίπου. Ο άξονας του υδραγωγείου σχηματίζει γωνία περίπου 60° με τον άξονα της σήραγγας.

#### **9.2. Μέθοδος κατασκευής σήραγγας**

Η ύπαρξη του ρωμαϊκού υδραγωγείου κατά μήκος της χάραξης της οδού, κατέστησε αναγκαία την κατασκευή του τμήματος IV της σήραγγας με υπόγεια διάνοιξη.

Αρχικά και πριν την έναρξη εκσκαφών, θα κατασκευαστούν φρεατοπάσσαλοι οπλισμένου σκυροδέματος από την επιφάνεια του εδάφους κατά μήκος και εξωτερικά των παρειών της σήραγγας (εκτός από το τμήμα που το υδραγωγείο διέρχεται από την παρειά της σήραγγας), καθώς και οι μεταλλικοί ορθοστάτες των προπλαισίων στα στόμια της σήραγγας, επίσης από την επιφάνεια με διάτρηση, έτσι ώστε κατά την κατασκευή των στομίων να προϋπάρχουν τα προπλάισια για την καλύτερη στήριξη των δοκών προπορείας και την αντιστήριξη των αρχικών μετώπων σήραγγας.

Ακόλουθα και πριν την τελική διαμόρφωση των στομίων της σήραγγας, θα κατασκευαστούν στην οροφή της σήραγγας δοκοί προπορείας (fore rolling), με διεύθυνση παράλληλη στον άξονα της σήραγγας, με τη μέθοδο «pipe-jacking». Η κατασκευή των δοκών προπορείας με τη μέθοδο «pipe-jacking» επιτρέπει την

ελαχιστοποίηση της διατάραξης του εδάφους και επομένως του υπερκείμενου ρωμαϊκού αγωγού, με τον κατάλληλο σχεδιασμό της μηχανής διάτρησης, (κοπτική κεφαλή, τοποθέτηση σωλήνα επένδυσης κοντά στο μέτωπο διάτρησης, σύστημα αποκομιδής προϊόντων εκσκαφής, σύστημα ενεμάτωσης χαμηλής πίεσης για την πληρωμή των κενών μεταξύ σωλήνων και εδάφους κλπ).

Η διάνοιξη της σήραγγας προβλέπεται σε επιμέρους διαδοχικές φάσεις (κατά ορθογωνικά φατνώματα) τόσο κατά την οριζόντιο όσο και κατά την κατακόρυφο, μέχρι την ολοκλήρωση της εκσκαφής όλης της διατομής. Το βήμα εκσκαφής κάθε επιμέρους φάσης είναι 0,70m. Ο εδαφικός σχηματισμός που συναντάται, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνητικών γεωτρήσεων, ευνοεί την εκσκαφή με εκσκαπτικά μηχανικά μέσα (π.χ. τσάπα κλπ).

Η άμεση υποστήριξη της σήραγγας πραγματοποιείται με τοποθέτηση μεταλλικών πλαισίων, που κατασκευάζονται και αυτά τμηματικά με την ολοκλήρωση της κάθε φάσης εκσκαφής, και εφαρμογή εκτοξευομένου σκυροδέματος.

Τα πλαίσια άμεσης υποστήριξης αποτελούνται από ζυγώματα στην οροφή και το δάπεδο καθώς και επτά ορθοστάτες (δυο στις παρειές και πέντε ενδιάμεσα).

Η υποστήριξη του μετώπου εκσκαφής προβλέπεται να γίνει με εφαρμογή ηλώσεων από ίνες ύαλου (fiberglass) και εφαρμογή εκτοξευομένου σκυροδέματος. Στο τμήμα της σήραγγας που δεν κατασκευάζονται εξωτερικοί φρεατοπάσσαλοι, (βόρεια παρειά σήραγγας κάτω από το υδραγωγείο) προβλέπεται η κατασκευή ηλώσεων από ίνες ύαλου.

Η τελική επένδυση της σήραγγας θα γίνει με έγχυτο σκυρόδεμα κατηγορίας B25 (C20/25). Πριν την κατασκευή της τελικής επένδυσης θα προηγηθούν οι εργασίες υδατοστεγάνωσης, σύμφωνα με την εγκεκριμένη μελέτη.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

---

## ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10<sup>ο</sup>**

### **10. ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

Το χρονοδιάγραμμα κατασκευής της σήραγγας υπόγειας διάνοιξης επηρεάζεται μόνο από τις εργασίες που πρόκειται να προηγηθούν της κατασκευής της και σχετίζονται με τη δημιουργία πρόσβασης μηχανημάτων και υλικών στο μέτωπο προσβολής και την αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφών.

Οι εργασίες που πρέπει να προηγηθούν της κατασκευής της σήραγγας με διάτρηση είναι:

- Εκσκαφή, κατασκευή μονίμων αντιστηρίξεων τμήματος I
- Κατασκευή / τμηματική διάνοιξη τμήματος II
- Κατασκευή δαπέδου εργασίας τμήματος III για την τοποθέτηση δοκών προπορείας και τμηματικών επιφανειακών εκσκαφών στα τμήματα IV και V. Το δάπεδο εργασίας εκτείνεται σε όλο το πλάτος του υπόγειου έργου και στα άκρα του διαμορφώνονται ελεύθερα πρανή με κλίσεις 1:1. Προς την πλευρά του υφιστάμενου αυλείου χώρου του Δημοτικού Σχολείου παρατηρείται υψηλό πρανές εκσκαφής της τάξης των 7,00m. Για την αποφυγή επιβάρυνσης του κόστους του έργου από πρόσθετη σειρά αντιστηρίξεων στο όριο περίφραξης του αυλείου χώρου του Δημοτικού Σχολείου, προβλέπεται κατά την μελέτη η προσωρινή μεταφορά της περίφραξης κατά 5,00m προς το εσωτερικό του αυλείου χώρου για τη δημιουργία του ελεύθερου πρανούς εκσκαφής.
- Κατασκευή προσωρινών αντιστηρίξεων τμημάτων III, IV και V.
- Εκσκαφή τμήματος III.

Η εκσκαφή στο τμήμα V θα γίνει μετά το πέρας των εργασιών άμεσης υποστήριξης της σήραγγας με υπόγεια διάνοιξη.

Η κατασκευή των σκυροδεμάτων των τμημάτων III και V θα γίνουν μετά το πέρας της τελικής επένδυσης της σήραγγας με διάτρηση.

Η κατασκευή του τμήματος VI μπορεί να γίνει σε παράλληλη εργασία ανάλογα με τον εξοπλισμό του αναδόχου και είναι ανεξάρτητη της κατασκευής της σήραγγας με διάτρηση. Η αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής του τμήματος V είναι δυνατόν να γίνει με μικρά φορτηγά μέσω της σήραγγας με διάτρηση ή να συνδυαστεί με την διάνοιξη του τμήματος VI για μεταφορά από την έξοδο του υπόγειου έργου.

## 10.1. Φάση 1 – Κατασκευή πασσάλων

Ο τρόπος κατασκευής των εκατέρωθεν τμημάτων της σήραγγας επιλέχθηκε έτσι ώστε να δημιουργείται μέτωπο προσβολής για τη διάνοιξη της σήραγγας (από τα ανατολικά, τμήμα ΙΙΙ) και για την εκτέλεση των χωματουργικών μετά το πέρας της διάνοιξης (τμήμα V).

Στις οριογραμμές της σήραγγας με υπόγεια διάνοιξη προβλέπεται αρχικά η κατασκευή φρεατοπασσάλων  $\Phi 150\text{cm}$  γενικώς ανά  $1,60\text{m}$  στην δεξιά οριογραμμή και ανά  $2,00\text{m}$  στην αριστερή, μήκους  $23,00\text{m}$  από την επιφάνεια του εδάφους (προσωρινή αντιστήριξη κατακόρυφης παρειάς) (Εικόνες 37,38,39). Στη βόρεια οριογραμμή δεν κατασκευάζονται φρεατοπάσσαλοι στο τμήμα όπου διέρχεται το υδραγωγείο.

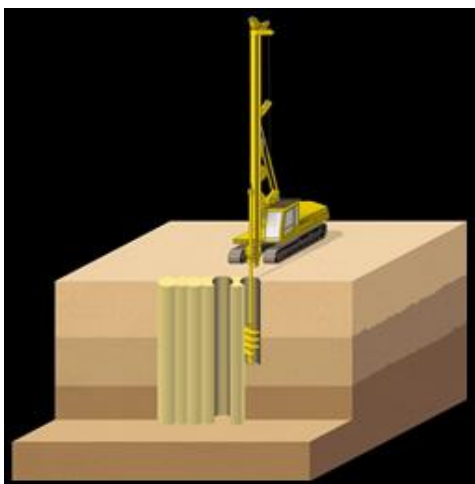
Λόγω του ειδικού εξοπλισμού που απαιτείται για την κατασκευή των δοκών προπορείας (φάση 3), οι πρώτοι πάσσαλοι της σήραγγας τοποθετούνται σε μέση απόσταση  $1,75\text{m}$  περίπου από την θεωρητική παρειά της τελικής επένδυσης.



Εικόνα 37. Πασσαλότοιχος



Εικόνα 38. Μηχάνημα διάνοιξης φρεατοπασσάλων



Εικόνα 39. Απεικόνιση που δείχνει τον τρόπο κατασκευής του πασσαλότοιχου. Αφού ανοιχτούν τα φρέατια στη συνέχεια τοποθετείται ο οπλισμός και γεμίζονται με σκυρόδεμα

## 10.2. Φάση 2 – Προκαταρτικές εργασίες

Η φάση κατασκευής 2 περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Αποφόρτιση – εκσκαφή του περιβάλλοντος χώρου του ρωμαϊκού υδραγωγείου ώστε το μισό ύψος επίχωσης να είναι της τάξης των 2,00m με 2,50m.
- Μικρού βάθους εκσκαφή σε όλο το πλάτος της σήραγγας για τη δημιουργία μετώπου για την εκσκαφή των δοκών προπορείας (fore rolling).
- Το μέτωπο της εκσκαφής θα επενδυθεί με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 10-15cm, εν είδει τοιχίου οδηγού, όπου θα έχουν αφεθεί οπές στα σημεία των διατρήσεων των δοκών προπορείας ώστε να είναι ομαλή η έναρξη της διάτρησης χωρίς απόκλιση από την ευθυγραμμία.
- Κατασκευή προπλαισίων στα στόμια της σήραγγας για την στήριξη των δοκών προπορείας κατά την διάνοιξη της σήραγγας. Τα προπλάισια προβλέπονται μεταλλικά. Οι ορθοστάτες των πλαισίων θεμελιώνονται σε φρεατοπασσάλους διαμέτρου Φ70 οι οποίοι κατασκευάζονται από την διαμορφωμένη επιφάνεια της πρώτης εκσκαφής. Οι μεταλλικοί ορθοστάτες θα προτοποθετηθούν πακτωμένοι στους πασσάλους.

## 10.3. Φάση 3 – Κατασκευή δοκών προπορείας και διαμόρφωση στομίου σήραγγας.

Η φάση κατασκευής 3 περιλαμβάνει την τοποθέτηση των δοκών προπορείας καθώς και την διαμόρφωση του ανατολικού στομίου για την διάνοιξη της σήραγγας.

### α) Κατασκευή δοκών προπορείας:

θα κατασκευαστεί μια σειρά δοκών προπορείας, παράλληλη στον άξονα της σήραγγας (Εικόνα 40). Οι δοκοί προπορείας αποτελούνται από μεταλλικούς τουμποσωλήνες Φ273/8,8, οι οποίοι θα είναι διάτρητοι ανά τακτά διαστήματα για την εισπίεση ενέματος μεταξύ σωλήνας και εδάφους. Οι δοκοί προπορείας θα εξέχουν των θεωρητικών στομίων της σήραγγας κατά 0,1m και το συνολικό τους μήκος προβλέπεται 18m. Η αξονική τοποθέτηση αυτών είναι 45cm. Η κατασκευή των δοκών προπορείας θα πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο «pipe jacking», δηλαδή με χρήση μηχανήματος οριζόντιας διάτρησης με ταυτόχρονη προώθηση της μεταλλικής σωλήνας. Η τοποθέτηση του μηχανήματος διάτρησης προβλέπεται να γίνει στο διαμορφωμένο δάπεδο της πρώτης εκσκαφής (φάση 1).



Το δάπεδο εργασίας βρίσκεται επί του τμήματος ΙΙΙ και χρησιμοποιείται για την κίνηση του μηχανήματος και για την ευθυγράμμιση του άξονα της κάθε δοκού προπορείας ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Το δάπεδο εργασίας διαστρώνεται με σκυρόδεμα καθαριότητας πάχους  $> 10\text{cm}$ . Η διάτρηση γίνεται με την κοπτική κεφαλή του μηχανήματος διάτρησης η οποία τοποθετείται στο εσωτερικό του σωλήνα. Τα προϊόντα εκσκαφής μεταφέρονται με σύστημα ατέρμονος κοχλία στο όπισθεν άκρο του σωλήνα.

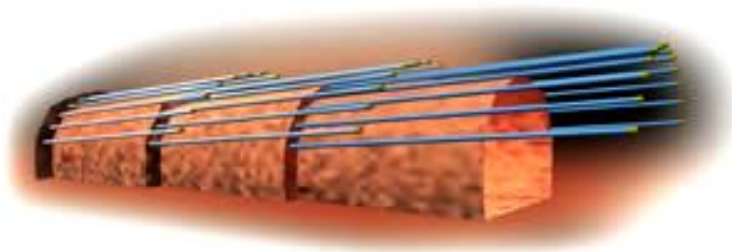
Ανάλογα με τα μήκη των δοκών που θα προμηθευτεί ο ανάδοχος, πιθανόν να απαιτηθεί κατά τη διάτρηση η μάτιση αυτών. Μετά το τέλος της διάτρησης αφαιρούνται τα στελέχη και το κοπτικό από το εσωτερικό του σωλήνα.

Το όλο σύστημα θα τοποθετηθεί στην επόμενη θέση για διάτρηση η οποία προβλέπεται ανά δεύτερη οπή. Η διαδικασία διάτρησης είναι όμοια και επαναλαμβάνεται μέχρι την ολοκλήρωση όλων των διατρήσεων.

Μετά το τέλος των διατρήσεων, ανά δεύτερη οπή, ακολουθεί η πλήρωση των σωλήνων με τσιμεντένεμα και η ενεμάτωση των πιθανών κενών μεταξύ σωλήνων και εδάφους με εφαρμογή χαμηλών πιέσεων. Ο ανάδοχος θα εξασφαλίσει ότι η εφαρμογή πίεσης ενεμάτωσης δε θα επηρεάσει το υπερκείμενο ρωμαϊκό υδραγωγείο.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής των δοκών προπορείας κατασκευάζεται το υπόλοιπο τμήμα της προσωρινής αντιστήριξης του τμήματος ΙΙΙ.

Ακολουθεί η τοποθέτηση του ζυγώματος των μεταλλικών προπλαισίων για την στήριξη των δοκών προπορείας στην αρχή και το πέρας της σήραγγας. Στο πέρας της σήραγγας θα απαιτηθεί τοπική εκσκαφή για την συμπλήρωση του προπλαισίου (βλέπε φάση 4). Το ζύγωμα των προπλαισίων εδράζεται επί των μεταλλικών ορθοστατών και επί των προσωρινών αντιστηρίξεων μέσω μεταλλικού βραχέως προβόλου.



**Εικόνα 40.** Απεικόνιση που δείχνει την διάταξη των δοκών προπορείας σε πεταλοειδή σήραγγα. Το μήκος τους είναι 18m και τοποθετούνται παράλληλα στον άξονα της σήραγγας.

#### β) Διαμόρφωση ανατολικού στομίου σήραγγας:

Η εκσκαφή του ανατολικού στομίου της σήραγγας (από το τμήμα ΙΙΙ) προβλέπεται κατακόρυφη σε δύο φάσεις καθ' ύψος.

Κατά την πρώτη φάση προβλέπεται η εκσκαφή του άλλου μισού της διατομής κατά φατνώματα που αντιστοιχούν στη διαμόρφωση των πλαισίων. Η

εκσκαφή θα συνδυαστεί με τοποθέτηση παθητικών αγκυρίων (ηλώσεων) στο μέτωπο εκσκαφής και άμεση επένδυση του μετώπου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Τα αγκύρια προβλέπονται από ίνες ύαλου (fiberglass) ελάχιστης εφελκυστικής αντοχής 200KN. Τα αγκύρια μπορεί να είναι κοίλης (hollow) ή πλήρους (solid) διατομής (rod) και τοποθετούνται σε πυκνότητα εν γένει των 10 τεμαχίων ανά 45m<sup>2</sup>. Το μήκος των αγκυρίων κυμαίνεται από 8 ως 10m και η τοποθέτησή τους γίνεται ανάλογα με τις φάσεις εκσκαφής. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα θα είναι ελάχιστου πάχους 5cm με πλέγμα T196.

#### 10.4. Φάση 4 – Διάνοιξη σήραγγας

Η φάση κατασκευής 4 αφορά στην εκσκαφή και άμεση υποστήριξη της σήραγγας.

Η διάνοιξη της σήραγγας προβλέπεται να γίνει σε επιμέρους διαδοχικές φάσεις (κατά ορθογωνικά φατνώματα) τόσο κατά την οριζόντιο όσο και κατά την κατακόρυφο, μέχρι την ολοκλήρωση της εκσκαφής όλης της διατομής. Το βήμα προχώρησης για την διάνοιξη της σήραγγας προβλέπεται να έχει μήκος 0,70m.

Η κάθε φάση εκσκαφής περιλαμβάνει γενικώς α) την εξασφάλιση του μετώπου εκσκαφής με παθητικά αγκύρια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και β) την τοποθέτηση μεταλλικών πλαισίων άμεσης υποστήριξης σε συνδυασμό με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην περίμετρο της εκσκαφής.

Τα παθητικά αγκύρια προβλέπεται να τοποθετηθούν σε τρία στάδια ανάλογα με τις φάσεις εκσκαφής της σήραγγας. Ανά βήμα προχώρησης θα γίνεται εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο μέτωπο εκσκαφής και αποκοπή του εξέχοντος αγκυρίου.

Οι άξονες τοποθέτησης των υποστυλωμάτων των μεταλλικών πλαισίων επιλέχθηκαν έτσι ώστε να διευκολύνουν την διέλευση των μηχανημάτων εκσκαφής, διατρητικών φορείων για την κατασκευή των αγκυρίων και γενικώς των εργασιών διάνοιξης της σήραγγας. Τα μεταλλικά πλαίσια σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να διευκολύνεται η τοποθέτησή τους ανάλογα με τη φατνωματική εκσκαφή του εκάστοτε μετώπου εκσκαφής και να είναι δυνατή η αφαίρεση στοιχείων αυτών μετά την ολοκλήρωση της τελικής επένδυσης.

Για ένα κύκλο εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης προβλέπονται γενικώς οι εξής εργασίες:

- Εκσκαφή μετώπου κατά φάσεις ως ανωτέρω και εφαρμογή μιας στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm στην οροφή και στις παρειές της εκσκαφής, οπλισμένου με πλέγμα T196, για την προστασία από καταπτώσεις.
- Τοποθέτηση μεταλλικών στρωτήρων (μορφοσίδηρος διατομής HEB400) και αναμονών ορθοστατών / υποστυλωμάτων (μορφοσίδηρος διατομής

HEB300) για την θεμελίωση των πλαισίων και άμεση εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος συνολικού πάχους 55cm σε έξι τουλάχιστον στρώσεις τόσο για εγκιβωτισμό / εξασφάλιση των στρωτήρων όσο και για την δημιουργία δαπέδου εργασίας για την κατασκευή της τελικής επένδυσης και της υδατοστεγάνωσης αυτής. Η θέση και το προβλεπόμενο βάθος θεμελίωσης θα ελέγχονται και θα επιβεβαιώνονται με ακριβή τοπογραφική αποτύπωση λόγω της σταθερής απόστασης μεταξύ της στάθμης θεμελίωση και της ερυθράς της οδοποιίας των κλάδων. Θα προηγηθεί στρώση εξυγίανσης από σκυρόδεμα για στερέωση των στρωτήρων. Προβλέπεται η τοποθέτηση δυο πλεγμάτων οπλισμού T196 συγκολλημένων στους κορμούς των μεταλλικών στρωτήρων.

- Συμπλήρωση ορθοστατών / υποστυλωμάτων μεταλλικών πλαισίων και άμεση εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος στις εξωτερικές παρειές συνολικού πάχους 50cm σε έξι στρώσεις. Προβλέπεται η τοποθέτηση δύο πλεγμάτων οπλισμού T196 συγκολλημένων στους κορμούς των μεταλλικών υποστυλωμάτων.
- Τοποθέτηση των ζυγωμάτων των μεταλλικών πλαισίων (μορφοσίδηρος διατομής HEB400) και άμεση εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος στην οροφή συνολικού πάχους 50cm σε έξι στρώσεις. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να εξασφαλίζεται ικανοποιητική σφήνωση των μεταλλικών ζυγωμάτων στις υπερκείμενες δοκούς προπορείας για την ασφαλή μεταφορά των φορτίων και την αποτροπή καθιζήσεων. Προβλέπεται η τοποθέτηση δυο πλεγμάτων οπλισμού T196 συγκολλημένων στους κορμούς των μεταλλικών ζυγωμάτων.
- Στην περιοχή όπου δεν κατασκευάζεται προσωρινή αντιστήριξη με φρεατοπασσάλους, προβλέπεται, σε κάθε βήμα προχώρηση, η εφαρμογή παθητικών αγκυρίων σε συνδυασμό με άμεση εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος ελάχιστου πάχους 5cm και οπλισμένου με πλέγμα T196. Τα αγκύρια προβλέπονται από ίνες ύαλου (fiberglass) ελάχιστης εφελκυστικής αντοχής 250KN. Τα αγκύρια μπορεί να είναι κοίλης (hollow) ή πλήρους (solid) διατομής (rod). Το μήκος των αγκυρίων θα είναι 8m σε κατακόρυφες αποστάσεις 1,5m (1 τεμάχιο ανά m<sup>2</sup>).

## 10.5. Φάση 5 – Κατασκευή τελικής επένδυσης σήραγγας

Η φάση κατασκευής 5 αφορά στην τελική επένδυση της σήραγγας. Οι γενικές φάσεις κατασκευής της τελικής επένδυσης περιλαμβάνουν συνοπτικά τα εξής:

- Κατασκευή πυθμένα θεμελίωσης
- Κατασκευή τοιχωμάτων
- Κατασκευή φορέα ανωδομής (οροφής)
- Οι εργασίες σκυροδέτησης θα συνδυαστούν με τις απαιτούμενες εργασίες υδατοστεγάνωσης και
- Κατασκευή επιστρώσεων, πεζοδρομίων και ασφαλικών οδοποιίας.

Το σκυρόδεμα θα διαστρώνεται με τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η κατά το δυνατόν ομοιόμορφη κεντρική φόρτιση των υποστηριγμάτων του ξυλοτύπου. Η διάστρωση θα γίνεται μέσω κατάλληλης διάταξης συρόμενων σωλήνων από το μέτωπο που αντιστοιχεί στο πάχος του φορέα ανωδομής. Η σκυροδέτηση θα γίνεται από τη διατομή στη θέση πέρατος της σήραγγας προς την αντίστοιχη της αρχής, θα είναι συνεχής και το άκρο του σωλήνα παροχής (από την αντλία) θα παραμένει καλά βυθισμένο στο σκυρόδεμα, ώστε να εξασφαλίζεται απόλυτη πλήρωση της διατομής. Η εκ σκυροδέματος διατομή θα έχει αρμούς εργασίας οι οποίοι θα συμπίπτουν με τα άκρα του ξυλοτύπου. Σε περίπτωση βλάβης του εξοπλισμού ή σε περίπτωση όπου για οποιοδήποτε άλλο λόγο διακοπεί η συνεχής διάστρωση του σκυροδέματος, τότε το σκυρόδεμα θα συμπικνώνεται εντελώς στους δημιουργούμενους αρμούς με ευλόγως ομοιόμορφη και σταθερή κλίση, κατά τον χρόνο που το σκυρόδεμα είναι ακόμα εύπλαστο. Το σκυρόδεμα στην επιφάνεια τέτοιων αρμών θα καθαρίζεται, θα εκτραχύνεται και θα υγραίνεται όπως απαιτείται για αρμούς κατασκευής, πριν επαναληφθεί η διάστρωση του σκυροδέματος.

Για την ολοκλήρωση της τελικής επένδυσης προβλέπεται, όπως απαιτείται, η εκτέλεση τσιμεντενέσεων πληρώσεως, υπό κατάλληλη (χαμηλή ως μέση) πίεση με παχύρρευστο ένεμα για την πλήρωση τυχόν κενών που παρέμειναν κατά την σκυροδέτηση της επένδυσης, μεταξύ αυτής και της προσωρινής υποστήριξης στην περιοχή της οροφής της σήραγγας. Οι τσιμεντενέσεις πληρώσεως θα εκτελούνται τουλάχιστον 15 μέρες μετά την σκυροδέτηση από οπές στην οροφή της σήραγγας, ανά αποστάσεις 5,00m έως 8,00m ή όσες απαιτούνται για να εξασφαλίζεται η πλήρης και ικανοποιητική πλήρωση των κενών. Το ένεμα που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι τσιμεντοκονίαμα με αναλογίες νερού προς τσιμέντο προς άμμο 1:1:2 κατά βάρος και σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές και η εφαρμοζόμενη πίεση δε θα υπερβαίνει τα 300kPa.

Μετά το πέρας της σκυροδέτησης της τελικής επένδυσης και την ανάληψη της αναγκαίας αντοχής σκυροδέματος, γίνεται η καθαίρεση των μεταλλικών ορθοστατών των πλαισίων άμεσης υποστήριξης στο ορατό της τμήμα. Η καθαίρεση γίνεται με αποκοπή των ορθοστατών εγγύς της οροφής του φορέα ανωδομής και αποσυναρμολόγηση των κοχλιών στις θέσεις αποκατάστασης διατομής. Για τον λόγο αυτό θα έχει προηγηθεί κατά την κατασκευή του άνω πέλματος πυθμένα θεμελίωσης και του πέλματος του φορέα ανωδομής η τοποθέτηση κατάλληλης αφαιρούμενης διάταξης για την δημιουργία εγκοπών γύρω από τους μεταλλικούς ορθοστάτες βάθους έως 5cm. Μετά την αφαίρεση

του τμήματος των μεταλλικών ορθοστατών τα κενά των εγκοπών θα πληρωθούν με μη συρρικνούμενο κονίαμα υψηλής αντοχής τύπου EMACO.

Στο επόμενο Κεφάλαιο περιγράφεται με λεπτομερή τρόπο η φάση της κατασκευής και οι επιμέρους διεργασίες της σήραγγας με διάτρηση.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

---

## ΣΗΡΑΓΓΑ ΜΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11<sup>ο</sup>**

### **11. ΣΗΡΑΓΓΑ ΜΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ**

#### **11.1. Γενικά**

Όπως έχει αναφερθεί ο τρόπος κατασκευής των εκατέρωθεν τμημάτων της σήραγγας επιλέχθηκε έτσι ώστε να δημιουργείται μέτωπο προσβολής για την διάνοιξη της σήραγγας (Τμήμα III) και για την εκτέλεση των χωματουργικών μετά το πέρας της διάνοιξης (Τμήμα V)

Στο τμήμα IV τα υψόμετρα του εδάφους αλλά και το ύψος του τείχους ελήφθησαν υπ' όψη από την αποτύπωση της περιοχής και του Ρωμαϊκού Τείχους η οποία διεξήχθη από την ΓΕΩΔΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ Ε.Π.Ε. Το υπερκάλυμμα το οποίο υφίσταται στη θέση αυτή θα διαμορφωθεί έτσι ώστε η στάθμη του να βρίσκεται σε ύψος περίπου 2,00 έως 5,00m επάνω από το φορέα της τελικής επενδύσεως, για να επέλθει μείωση του φορτίου καταπόνησης των μέτρων υποστήριξης.

#### **11.2. Προσωρινή αντιστήριξη – Διάνοιξη – Άμεση υποστήριξη**

Στις οριογραμμές της σήραγγας με διάτρηση προβλέπεται η κατασκευή προσωρινών αντιστηρίξεων κατακόρυφης παρειάς. Οι αντιστηρίξεις αυτές εξασφαλίζουν την κυκλοφορία της οδού Γερανείων, το τμήμα του οικοπέδου του Δημοτικού Σχολείου ανάντη του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου και επιπλέον το τμήμα των αρχαίων. Επιπροσθέτως τοποθετούνται λόγω της ελάχιστης ικανότητας αυτοϋποστήριξης του εδαφικού σχηματισμού εντός του οποίου θα γίνει η διάνοιξη της σήραγγας. Η διάμετρος των πασσάλων είναι 1,50m και η αξονική τους απόσταση γενικώς 1,60m για την δεξιά οριογραμμή (κατά την φορά χιλιομέτρησης) και αντιστοίχως 2,00m για την αριστερή οριογραμμή. Στην περιοχή όπου τα αρχαία ευρήματα εξέχουν του περιγράμματος της σήραγγας (αριστερή οριογραμμή προς Δημ. Σχολείο) δεν είναι δυνατή η κατασκευή των ως άνω προσωρινών αντιστηρίξεων. Κατόπιν τούτου προβλέπεται στην περιοχή αυτή η χρήση μέτρων αντιστήριξης να γίνει εσωτερικά κατά τις φάσεις διάνοιξης της σήραγγας.

Προβλέπονται γενικώς τα εξής για την εκσκαφή και την διάνοιξη της σήραγγας ανά βήμα διάνοιξης.

- Αποφόρτιση – Εκσκαφή του περιβάλλοντος χώρου του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου ώστε το μέσο ύψος επίχωσης να είναι της τάξης των 2,00m με 2,50m.
- Μικρού βάθους εκσκαφή σε όλο το πλάτος της σήραγγας για την δημιουργία μετώπου για την κατασκευή των δοκών προπορείας (forerolling). Οι δοκοί προπορείας θα κατασκευαστούν με τη μέθοδο pipe-jacking για την ελαχιστοποίηση δονήσεων οι οποίες θα επηρέαζαν την ακεραιότητα των αρχαίων ευρημάτων. Λόγω του ειδικού εξοπλισμού που απαιτείται για την τοποθέτηση των δοκών προπορείας οι πρώτοι πάσσαλοι των προσωρινών αντιστηρίξεων (τμήμα ΙΙΙ) στο μέτωπο προσβολής της σήραγγας τοποθετούνται σε μέση απόσταση 1,75m περίπου από την θεωρητική παρειά της τελικής επένδυσης. Το μέτωπο της εκσκαφής θα επενδυθεί με σκυρόδεμα πάχους 10 – 15εκ, εν είδει τοιχίου οδηγού, όπου θα έχουν αφεθεί κενά στα σημεία των διατρήσεων των δοκών προπορείας ώστε να είναι ομαλή η έναρξη της διάτρησης χωρίς απόκλιση από την ευθυγραμμία.
- Λόγω του μικρού ύψους του υπερκείμενου εδάφους, των υφισταμένων ευρημάτων του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου και των μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφικών σχηματισμών προβλέπεται η τοποθέτηση δοκών προπορείας (forerolling) για την υποστήριξη της οροφής της εκσκαφής σε συνδυασμό με την άμεση υποστήριξη. Προβλέπεται η κατασκευή προπλαισίων στην αρχή και στο πέρας αυτής για την στήριξη των δοκών προπορείας κατά την διάνοιξη της σήραγγας. Τα προπλάισια προβλέπονται μεταλλικά. Οι ορθοστάτες των πλαισίων θεμελιώνονται σε φρεατοπασσάλους διαμέτρου Φ70 οι οποίοι κατασκευάζονται από τη διαμορφωμένη επιφάνεια της πρώτης εκσκαφής. Οι μεταλλικοί ορθοστάτες θα προτοποθετηθούν πακτωμένοι στους πασσάλους.
- Οι δοκοί προπορείας αποτελούνται από μεταλλική κυκλική διατομή (τούμπα Φ273/8,8), διάτρητη ανά τακτά διαστήματα. Η αξονική απόσταση τοποθέτησης αυτών είναι ανά 45cm. Η κατασκευή των δοκών προπορείας θα πραγματοποιηθεί με χρήση μηχανήματος οριζόντιας διάτρησης με ταυτόχρονη προώθηση της μεταλλικής διατομής (μέθοδος pipe jacking). Προβλέπεται η τοποθέτηση του μηχανήματος διάτρησης να γίνει στο διαμορφωμένο δάπεδο της πρώτης εκσκαφής. Το δάπεδο εργασίας ευρίσκεται επί του τμήματος ΙΙΙ και χρησιμοποιείται για την κίνηση του μηχανήματος και για την ευθυγράμμιση του άξονα της κάθε δοκού προπορείας ως προς το οριζόντιο αλλά και το κατακόρυφο επίπεδο. Το δάπεδο εργασίας διαστρώνεται με σκυρόδεμα καθαριότητας πάχους > 10εκ. Η διάτρηση γίνεται με την κοπτική κεφαλή η οποία τοποθετείται στο εσωτερικό του σωλήνα και με σύστημα ατέρμονος κοχλία μεταφέρονται τα προϊόντα εκσκαφής στο όπισθεν άκρο του σωλήνα. Ανάλογα με τα μήκη δοκών που θα προμηθευτεί ο Ανάδοχος πιθανόν να απαιτηθεί κατά την διάτρηση η μάτιση αυτών, η οποία γίνεται

με συγκόλληση. Μετά το τέλος της διάτρησης αφαιρούνται τα στελέχη και το κοπτικό από το εσωτερικό του σωλήνα. Το όλο σύστημα θα τοποθετηθεί στην επόμενη θέση για διάτρηση η οποία προβλέπεται ανά δεύτερη οπή. Η διαδικασία διάτρησης είναι όμοια και επαναλαμβάνεται μέχρι την ολοκλήρωση όλων των διατρήσεων. Μετά το τέλος των διατρήσεων, ανά δεύτερη οπή, ακολουθεί η πλήρωση των σωλήνων με τσιμεντένεμα. Κατά την τσιμεντένεση χρησιμοποιείται μέρος εισπίεσης ώστε να επιτευχθεί η πλήρωση τυχόν κενών μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας του σωλήνα και του περιβάλλοντος εδάφους. Οι δοκοί προπορείας θα εξέχουν των θεωρητικών στομίων κατά 1,00μ και το συνολικό τους μήκος προβλέπεται 18μ.

- Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής των δοκών προπορείας κατασκευάζεται το υπόλοιπο τμήμα της προσωρινής αντιστήριξης του τμήματος III.
- Ακολουθεί η τοποθέτηση του ζυγώματος των μεταλλικών προπλαισίων για την στήριξη των δοκών προπορείας στην αρχή και το πέρας της σήραγγας. Στο πέρας της σήραγγας θα απαιτηθεί τοπική εκσκαφή για την συμπλήρωση του προπλαισίου. Το ζύγωμα των προπλαισίων εδράζεται επί των μεταλλικών ορθοστατών και επί των προσωρινών αντιστηρίξεων μέσω μεταλλικού βραχέως προβόλου.
- Η εκσκαφή έμπροσθεν του μετώπου προσβολής της σήραγγας προβλέπεται κατακόρυφη έως παρακατακόρυφη σε δύο φάσεις καθ' ύψος. Κατά την πρώτη φάση προβλέπεται η εκσκαφή του άνω μισού της διατομής κατά φατνώματα που αντιστοιχούν στη διαμόρφωση των πλαισίων. Η εκσκαφή θα συνδυαστεί με τοποθέτηση παθητικών αγκυρίων και άμεση επένδυση του πρσανούς εκσκαφής με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Τα αγκύρια προβλέπονται από ίνες ύαλου (fiber glass) ελάχιστης εφελκυστικής αντοχής 200KN. Τα αγκύρια μπορεί να είναι κοίλης (hollow) ή πλήρους (Solid) διατομής (rod) και τοποθετούνται σε πυκνότητα εν γένει των 10τμχ/45m<sup>2</sup>. Το μήκος των αγκυρίων κυμαίνεται από 8 έως 10μ και η τοποθέτησή τους γίνεται ανάλογα με τις φάσεις εκσκαφής. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα θα είναι ελάχιστου πάχους 5cm οπλισμένο με πλέγμα T196. Ακολουθείται η ίδια μεθοδολογία για την εκσκαφή του υπόλοιπου ύψους.
- Ο εδαφικός σχηματισμός που συναντάται σύμφωνα με τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων ευνοεί την εκσκαφή με εκσκαπτικά μηχανικά μέσα (πχ τσάπα κλπ)
- Το βήμα προχώρησης για την διάνοιξη της σήραγγας προβλέπεται 0,70μ. Για τα εκάστοτε μέτωπα εκσκαφής προβλέπονται γενικώς α) η εξασφάλιση του πρσανούς εκσκαφής με παθητικά αγκύρια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και β) η τοποθέτηση μεταλλικών πλαισίων άμεσης υποστήριξης σε συνδυασμό με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην περίμετρο της σήραγγας. Τα παθητικά αγκύρια προβλέπεται να

τοποθετηθούν σε τρία στάδια ανάλογα με τις φάσεις εκσκαφής της σήραγγας. Ανά βήμα διάνοιξης θα γίνεται εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο πρηνές εκσκαφής και αποκοπή του εξέχοντος αγκυρίου. Οι άξονες τοποθέτησης των υποστυλωμάτων των μεταλλικών πλαισίων επιλέχθηκαν έτσι ώστε να διευκολύνουν την διέλευση των μηχανημάτων εκσκαφής, διατηρητικών φορείων για την κατασκευή των αγκυρίων και γενικώς των εργασιών διάνοιξης της σήραγγας. Τα μεταλλικά πλαίσια σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να διευκολύνεται η τοποθέτησή τους ανάλογα με την φατνωματική εκσκαφή του εκάστοτε μετώπου προσβολής και να είναι δυνατή η αφαίρεση στοιχείων αυτών μετά την ολοκλήρωση της τελικής επένδυσης.

### **11.3. Τελική επένδυση**

Οι γενικές φάσεις κατασκευής της τελικής επένδυσης περιλαμβάνουν συνοπτικά τα εξής:

- i. Κατασκευή πυθμένα θεμελίωσης
- ii. Κατασκευή τοιχωμάτων
- iii. Κατασκευή φορέα ανωδομής (θόλου)
- iv. Οι εργασίες σκυροδέτησης θα συνδυαστούν με τις απαιτούμενες εργασίες υδατοστεγάνωσης και
- v. Κατασκευή επιστρώσεων, πεζοδρομίων και ασφαλτικών οδοποιίας Μικρής Περιμετρικής Πατρών.

Στις επόμενες παραγράφους δίνεται αναλυτικότερη περιγραφή της κάθε φάσης

#### **11.3.1. Θεμελίωση – Κατασκευή πυθμένα**

Η θέση και το προβλεπόμενο βάθος θεμελίωσης θα πρέπει να ελέγχονται και να επιβεβαιώνονται με ακριβή τοπογραφική αποτύπωση λόγω της σταθερής απόστασης μεταξύ της στάθμης θεμελίωσης και της ερυθράς της οδοποιίας των κλάδων. Τοποθετείται στο ήδη διαμορφωμένο δάπεδο εργασίας γεώφασμα, υδατοστεγανωτική γεωμεμβράνη, γεώφασμα και μια τελευταία στρώση από σκυρόδεμα προστασίας υδατοστεγάνωσης μέσου πάχους 4εκ. Ειδική μέριμνα πρέπει να δοθεί για την διαμόρφωση της μόνωσης στις θέσεις των μεταλλικών ορθοστατών των πλαισίων προσωρινής υποστήριξης (πχ χρήση κολάρων).

Ακολουθεί τοποθέτηση ράβδων οπλισμού των στοιχείων θεμελίωσης, αναμονές ράβδων οπλισμού παρειών και σκυροδέτηση των θεμελίων.

### **11.3.2. Κατακόρυφα στοιχεία**

Τα κατακόρυφα στοιχεία κατασκευάζονται με συμβατικό ξυλότυπο, εσωτερικά εδραζόμενο στην ήδη διαμορφωμένη πλάκα θεμελίωσης και για τα πλευρικά τοιχώματα εξωτερικά χρησιμοποιώντας την ήδη διαμορφωμένη επιφάνεια της προσωρινής αντιστήριξης. Θα προηγηθεί η τοποθέτηση της υδατοστεγάνωσης στις ελεύθερες παρειές. Οι ξυλότυποι θα πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με κατάλληλο αριθμό δονητών επιφανείας και στόμια σύνδεσης του σωλήνα της αντλίας σκυροδέτησης σε διάφορες θέσεις. Τα στόμια αυτά κλείνουν με συρταρωτές διατάξεις αντεπιστροφής.

Ακολουθεί τοποθέτηση ράβδων οπλισμού και αναμονές ράβδων οπλισμού πλάκας.

### **11.3.3. Φορέας ανωδομής**

Μετά το πέρας των εργασιών θα τοποθετηθεί γεώφασμα, υδατοστεγανωτική γεωμεμβράνη, γεώφασμα στο θόλο της εσωτερικής παρειάς της προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας με διάτρηση.

Η πλάκα οροφής κατασκευάζεται με συμβατικά κριώματα εδραζόμενα στην πλάκα οροφής.

Το σκυρόδεμα θα διαστρώνεται με τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η κατά το δυνατόν ομοιόμορφη κεντρική φόρτιση των υποστηριγμάτων του ξυλότυπου. Η διάστρωση θα γίνεται μέσω κατάλληλης διάταξης συρόμενων σωλήνων από το μέτωπο που αντιστοιχεί στο πάχος του φορέα ανωδομής. Η σκυροδέτηση θα γίνεται από την διατομή στην θέση πέρατος της σήραγγας προς την αντίστοιχη της αρχής, θα είναι συνεχής και το άκρο/α του σωλήνα παροχής (από την αντλία) θα παραμείνει καλά βυθισμένο στο σκυρόδεμα, ώστε να εξασφαλίζεται απόλυτη πλήρωση της διατομής. Η εκ σκυροδέματος διατομή θα έχει αρμούς εργασίας οι οποίοι θα συμπίπτουν με τα άκρα του ξυλότυπου. Σε περίπτωση βλάβης του εξοπλισμού ή σε περίπτωση όπου για οποιοδήποτε άλλο λόγο διακοπεί η συνεχής διάστρωση του σκυροδέματος, τότε το σκυρόδεμα θα συμπυκνώνεται εντελώς στους δημιουργούμενους αρμούς με ευλόγως ομοιόμορφη και σταθερή κλίση, κατά τον χρόνο που το σκυρόδεμα είναι ακόμα εύπλαστο. Το σκυρόδεμα στην επιφάνεια παρομοίων έργων θα καθαρίζεται και θα εκτραχύνεται, όπως απαιτείται για αρμούς κατασκευής, πριν επαναληφθεί η διάστρωση του σκυροδέματος.

### **11.3.4. Τελική Επένδυση**

Για την ολοκλήρωση της τελικής επένδυσης προβλέπεται, όπου απαιτείται, η εκτέλεση τσιμεντενέσεων πληρώσεως, υπό κατάλληλη (χαμηλή έως μέση)



πίεση με παχύρευστο ένεμα για την πλήρωση τυχόν κενών που παρέμειναν κατά την σκυροδέτηση της επένδυσης, μεταξύ αυτής και της προσωρινής υποστήριξης στην περιοχή της οροφής της σήραγγας. Οι τσιμεντενέσεις πλήρωσεως θα εκτελούνται τουλάχιστον 15 ημέρες μετά την σκυροδέτηση από οπές στην οροφή της σήραγγας, ανά αποστάσεις 5,00μ έως 8,00μ ή όσες απαιτούνται για να εξασφαλίζεται η πλήρης και ικανοποιητική πλήρωση των κενών. Το ένεμα που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι τσιμεντοκονίαμα με αναλογίες νερού προς τσιμέντο προς άμμο 1:1:2 κατά βάρος και σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές και η εφαρμοζόμενη πίεση εισπίεσεως του ενέματος δεν θα υπερβαίνει τις 2 έως 5 ατμόσφαιρες.

#### **11.3.4.1. Πλήρωση κενών**

Το κενό που μένει μεταξύ σωλήνων και εδάφους καθώς και κενά εδάφους που δημιουργήθηκαν λόγω της διάνοιξης, πρέπει να πληρούνται με κατάλληλο υλικό, ώστε να ελέγχονται οι αρνητικές επιπτώσεις εκ των πιθανών καθιζήσεων και να αποφεύγονται ζημιές σε παρακείμενες κατασκευές.

Ο ανάδοχος θα προσδιορίσει στην μεθοδολογία την σύνθεση του ενέματος που θα χρησιμοποιήσει καθώς και τις πιέσεις που θα εφαρμόσει, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί αφ' ενός η ικανοποιητική πλήρωση των κενών μεταξύ δοκών προπορείας και εδάφους και αφ' ετέρου ότι η εφαρμογή της πίεσης δε θα επηρεάσει το υπερκείμενο ρωμαϊκό υδραγωγείο.

#### **11.3.4.2. Εκτέλεση διεργασίας τσιμεντενέσεων**

Οι τσιμεντενέσεις επαφής θα εκτελούνται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζεται ότι όλα τα κενά πίσω από το σκυρόδεμα της επένδυσης ή μεταξύ του σκυροδέματος επένδυσης και των παρενθεμάτων υποστήριξης θα πληρούνται με ένεμα.

Η έγχυση του κονιάματος και τσιμεντενέματος θα γίνεται σε χαμηλές πιέσεις, που δε θα υπερβαίνουν τα 300kPa για κάθε τμήμα, εκτός εάν δοθεί άλλη εντολή από την Υπηρεσία.

Η από σκυρόδεμα μόνιμη επένδυση θα πρέπει να έχει διαστρωθεί τουλάχιστον 15 ημέρες πριν την έναρξη των τσιμεντενέσεων, εκτός εάν εγκρίνει διαφορετικά η Υπηρεσία.

Για τις τσιμεντενέσεις επαφής θα χρησιμοποιηθεί ως τσιμεντένεμα μίγμα τσιμεντοκονιάματος, με ενδεικτική αναλογία νερού προς τσιμέντο προς άμμο 1:1:2.

Η τσιμεντένεση οποιασδήποτε οπής δε θα θεωρείται πλήρης μέχρις ότου, πληρωθούν όλα τα κενά κατά το μέτρο του δυνατού. Για το σκοπό αυτό οι παρακείμενες οπές, στις οποίες δεν έχουν γίνει ακόμη τσιμεντενέσεις, θα



παραμένουν ανοιχτές για παρακολούθηση της απόστασης όδευσης του ενέματος από το σημείο έγχυσης.

Για την εκτέλεση τσιμεντενέσεων σε κοιλότητες υπερεκσκαφών, οι οποίες δεν δύναται να πληρωθούν με σκυρόδεμα, θα τοποθετηθούν σωλήνες εξαερισμού μέσα στην από σκυρόδεμα επένδυση για την απελευθέρωση αέρα και νερού.

Μετά το τέλος των τσιμεντενέσεων σε οποιαδήποτε οπή, η πίεση θα διατηρείται με κατάλληλο σύστημα, μέχρις ότου επέλθει η αρχική πήξη του τσιμεντενέματος.

#### **11.3.4.3. Προστασία στραγγιστηρίων**

Το σχέδιο τσιμεντενέσεων του Αναδόχου πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να παρέχει τη μέγιστη ασφάλεια έναντι της έμφραξης των στραγγιστηρίων. Ο Ανάδοχος θα διατηρεί ροή ύδατος διαμέσου των στραγγιστηρίων, που πιθανώς θα επηρεασθούν, για να χρησιμεύσει σαν ένδειξη. Σε περίπτωση που επισυμβεί διαρροή ενέματος στα στραγγιστήρια, ο Ανάδοχος θα αφαιρέσει όλο το ένεμα από τα επηρεασθέντα στραγγιστήρια με έκπλυση.

#### **11.3.4.4. Αποκατάσταση και καθαρισμός**

Μετά την αποπεράτωση των τσιμεντενέσεων, θα απομακρυνθούν όλες οι συνδέσεις παροχής από τους ενσωματωμένους σωλήνες σε ένα ελάχιστο βάθος 5cm μετρούμενο από την επιφάνεια του σκυροδέματος.

Όλες οι οπές ή κοιλότητες που θα δημιουργηθούν εξαιτίας αυτού, θα αποκαθίστανται. Η αποκατάσταση θα γίνει κατά καθαρό και έντεχνο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζεται επιφάνεια λεία, τουλάχιστον όσο εκείνη των μη διαταραχθέντων περιοχών της εκ σκυροδέματος επένδυσης.

Κατά τη διάρκεια των εργασιών τσιμεντενέσεων θα λαμβάνονται τα αναγκαία προφυλακτικά μέτρα για να εμποδίσει το νερό απόπλυσης, τα αποκόμματα διατρήσεων και το ένεμα να παραμορφώσουν ή να βλάψουν τα έργα.

#### **11.3.5. Τελική φάση κατασκευής**

Μετά το πέρας σκυροδέτησης της τελικής επένδυσης και την ανάληψη της αναγκαίας αντοχής σκυροδέματος γίνεται η καθαίρεση των μεταλλικών ορθοστατών των πλαισίων άμεσης υποστήριξης στο ορατό τμήμα. Η καθαίρεση γίνεται με αποκοπή των ορθοστατών εγγύς της οροφής του φορέα ανωδομής και αποσυναρμολόγηση των κοχλιών στις θέσεις αποκατάστασης διατομής. Για το

λόγο αυτό θα έχει προηγηθεί κατά την κατασκευή του άνω πέλματος πυθμένα θεμελίωσης και του κάτω πέλματος του φορέα ανωδομής η τοποθέτηση κατάλληλης αφαιρούμενης διάταξης για την δημιουργία εγκοπών γύρω από τους μεταλλικούς ορθοστάτες βάθους έως 5εκ. Μετά την αφαίρεση του τμήματος των μεταλλικών ορθοστατών τα κενά των εγκοπών θα πληρωθούν με μη συρρικνούμενο κονίαμα υψηλής αντοχής τύπου EMACO. Για την κατασκευή στηθαίου – κορωνίδας στα στόμια της σήραγγας και την απαραίτητη διαμόρφωση αρμού διαστολής με τα εκατέρωθεν Cut & Cover απαιτείται η αποκοπή των άκρων των δοκών προπορείας σε μήκος περίπου 1,00μ. Για το σκοπό αυτό θα έχουν αφεθεί κατάλληλες αναμονές στον φορέα ανωδομής οι οποίες θα αναδιπλωθούν για την όπλιση των στηθαίων.

Η διατομή του εσωραχίου θα έχει ομοιόμορφη διατομή χρήσης. Η τελική εσωτερική επιφάνεια θα είναι λεία, χωρίς ελαττώματα και κυψέλες, με ομοιόμορφη τραχύτητα σε όλο το μήκος της κατασκευής.

Η στεγάνωση του αρμού διαστολής μεταξύ των τμημάτων του υπόγειου έργου επιτυγχάνεται με την χρήση στεγανωτικής ταινίας (waterstop), πλήρωση με πλάκες Flexcell ή ανάλογου τύπου και σφράγιση του αρμού με Plastijoint ή ανάλογου τύπου.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- § Γ. Χαΐνης «Κατασκευή Σηράγγων» ΤΕΙ Αθήνας, Αθήνα 1996
- § ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ «Συμβατική μέθοδος εκσκαφής σηράγγων (NATM)»  
[www.ametro.gr](http://www.ametro.gr)
- § ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ «Μέθοδος ανοιχτού ορύγματος (Cut & Cover)»  
[www.ametro.gr](http://www.ametro.gr)
- § ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ «Μέθοδος επικάλυψης - εκσκαφής (Cover & Cut)»  
[www.ametro.gr](http://www.ametro.gr)
- § Οριστική Μελέτη των Τεχνικών Έργων στον Κόμβο Εξόδου της Μικρής Περιμετρικής Πατρών, Τεύχος «Τεχνικών Προδιαγραφών» Πάτρα 2005
- § Μικρή Περιμετρική Οδός Πατρών «Τεχνική Έκθεση» Πάτρα 2005
- § Μικρή Περιμετρική Οδός Πατρών - Κόμβος Εξόδου «Τεχνική Έκθεση» Πάτρα 2002
- § ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ «Σήραγγα» <http://el.wikipedia.org>
- § ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ «Γεωτεχνική Μελέτη» <http://el.wikipedia.org>
- § WIKIPEDIA «Tunnel» <http://en.wikipedia.org>
- § WIKIPEDIA «Examples of tunnels In history» <http://en.wikipedia.org>
- § Δ. Καλιαμπάκος «Μηχανές Ολομέτωπης Κοπής - TBM» 2006
- § Ε. Βγενοπούλου – Ν. Μπέσκου «Αντισεισμικός Σχεδιασμός Σηράγγων»  
[www.sate.gr](http://www.sate.gr)

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

---

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΩΝ**

**Σχέδιο 1:** *Γενική Οριζοντιογραφία*

**Σχέδιο 2:** *Οριζοντιογραφία*

**Σχέδιο 3:** *Τυπική Διατομή*

**Σχέδιο 4:** *Μηκοτομή*

**Σχέδιο 5:** *Προσωρινή Αντιστήριξη*

**Σχέδιο 6:** *Χαρακτηριστικές Διατομές Εκσκαφής*

**Σχέδιο 7:** *Φάσεις Κατασκευής Σήραγγας με Διάτρηση*

**Σχέδιο 8:** *Χαρακτηριστικά Στοιχεία Διατομών*



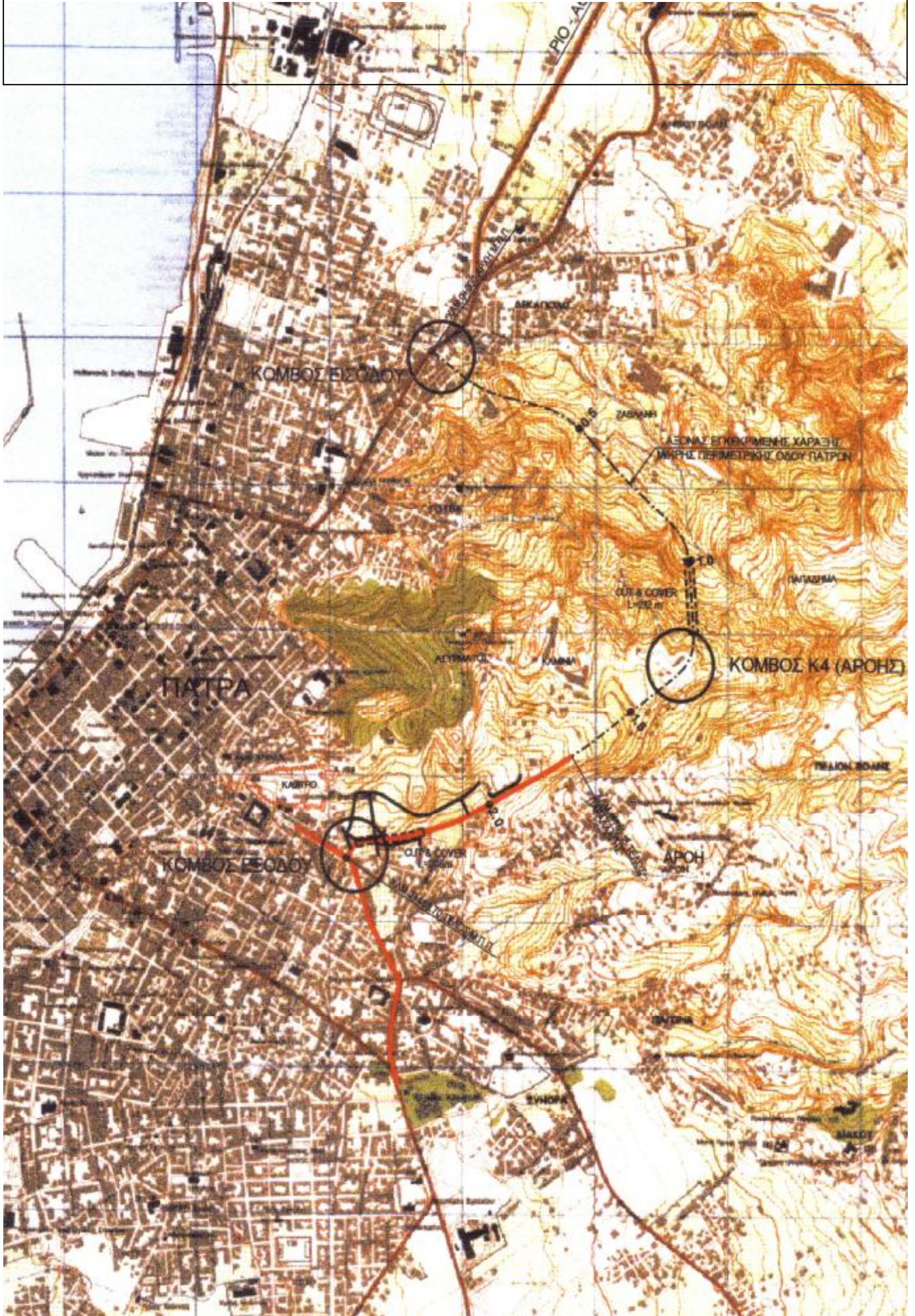


ΣΧΕΔΙΟ 1

---

ΓΕΝΙΚΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ



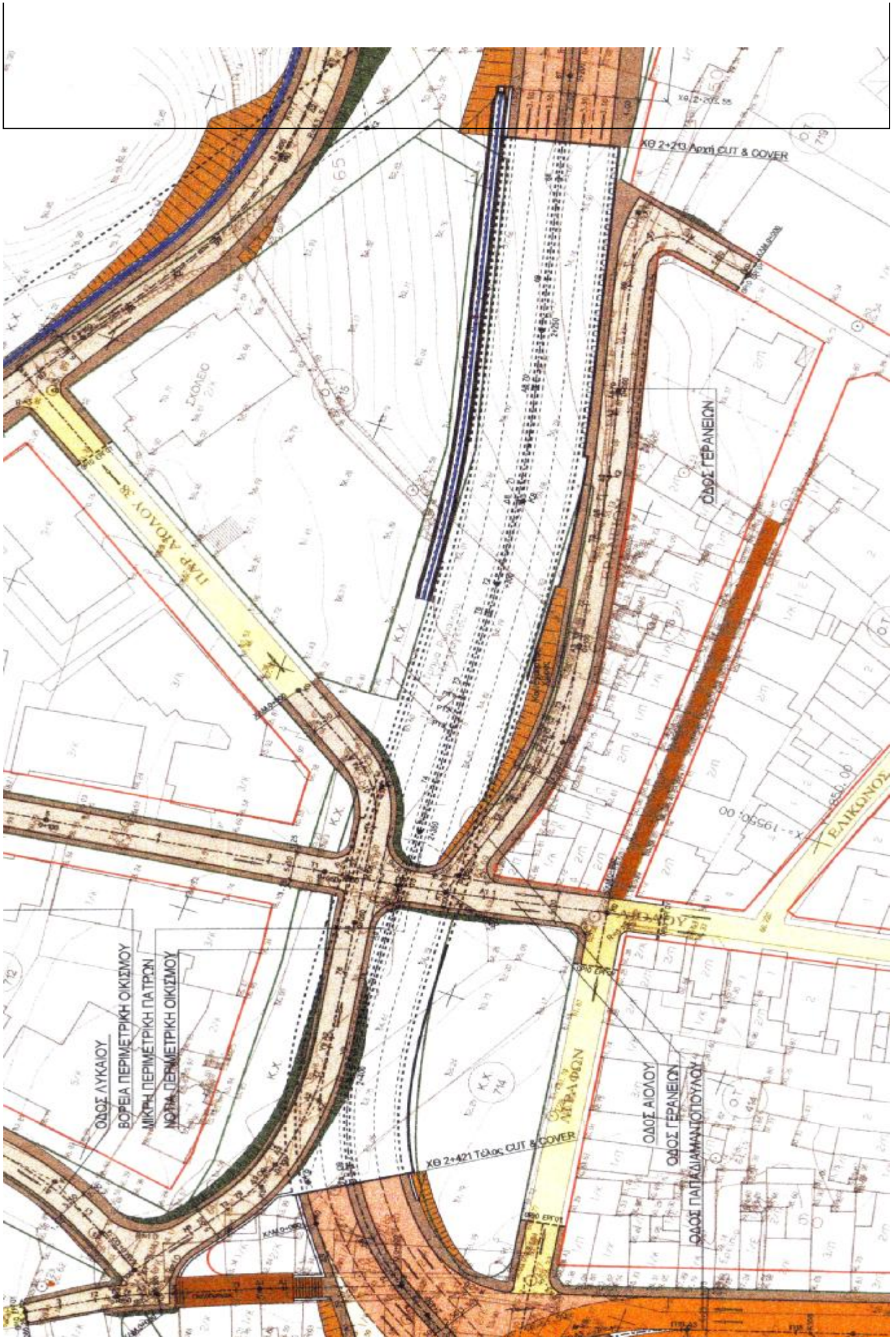




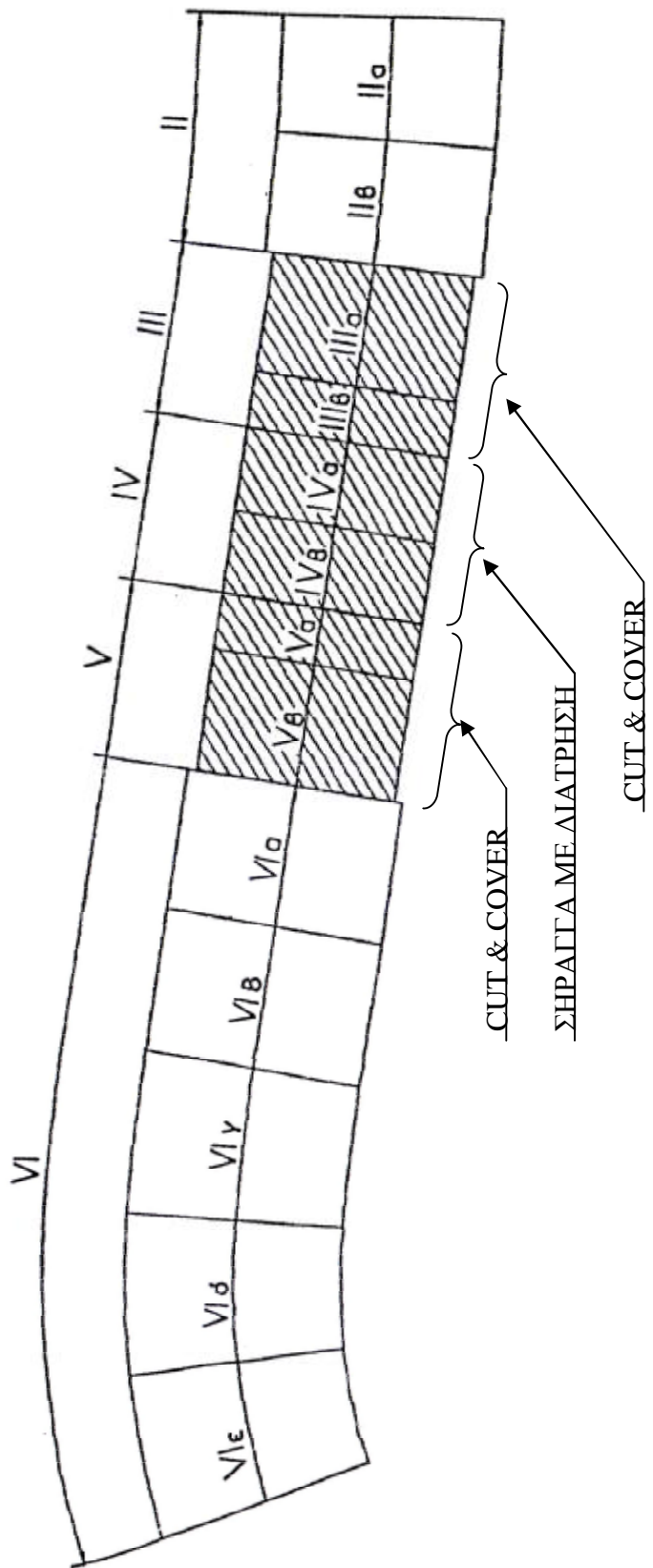
ΣΧΕΔΙΟ 2

---

ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ







ΣΧΕΔΙΟ 3

---

ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ



ΣΧΕΔΙΟ 4

---

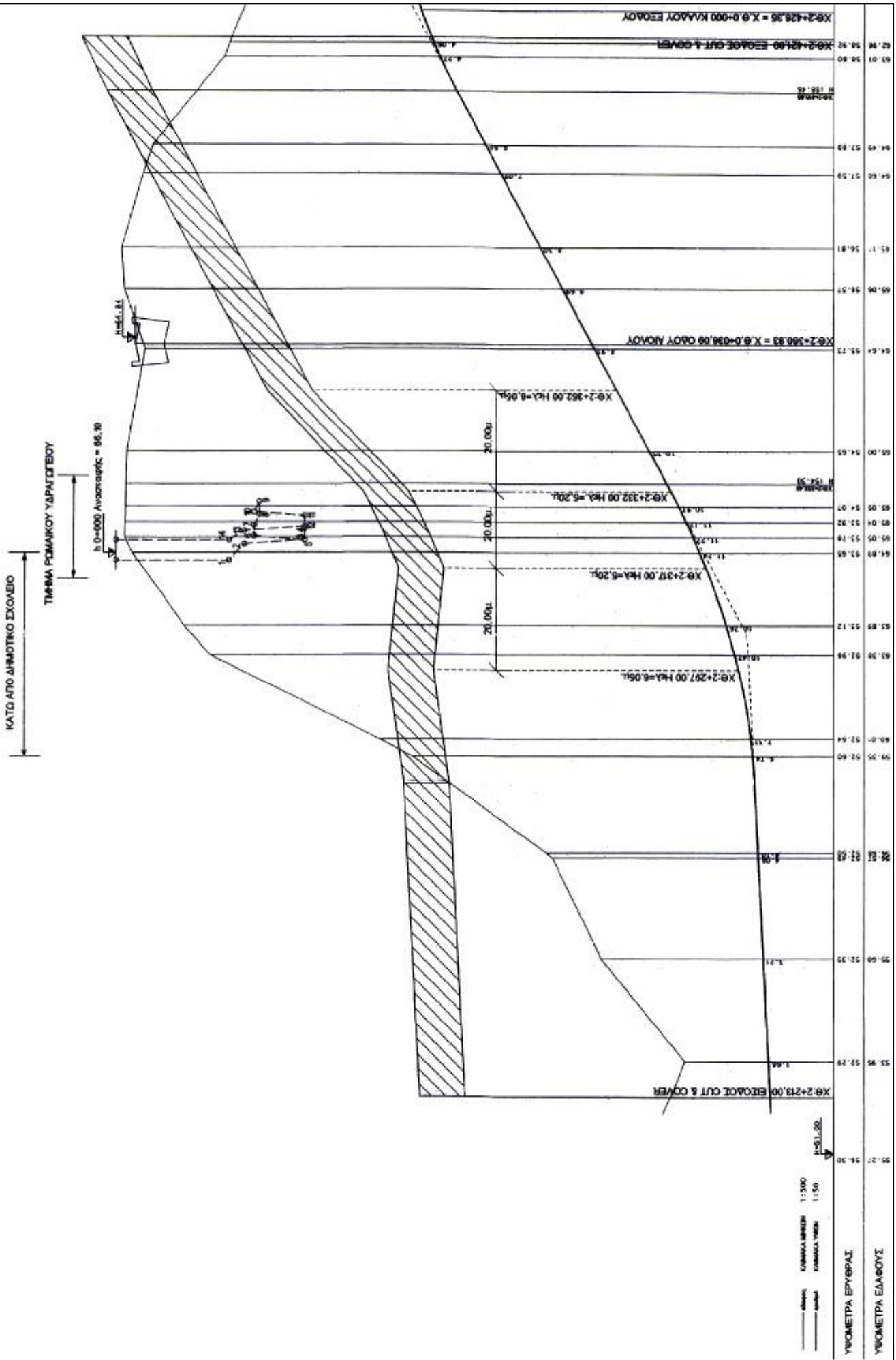
ΜΗΚΟΤΟΜΗ

ΚΑΤΟ ΑΠΟ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΣΧΟΛΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΜΑΚΟΥ ΥΔΡΑΤΕΙΟΥ

$h_0 = 600$  Αναστασιός = 86,10

ησφ. 1,84



ΚΥΜΑΛΙΑ ΜΕΤΡΩΝ 1:500  
ΚΥΜΑΛΙΑ ΤΙΜΩΝ 1:50

ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΕΡΓΩΝ  
ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΕΔΑΦΟΣ



ΣΧΕΔΙΟ 5

---

ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ





ΣΤΑΘΜΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ

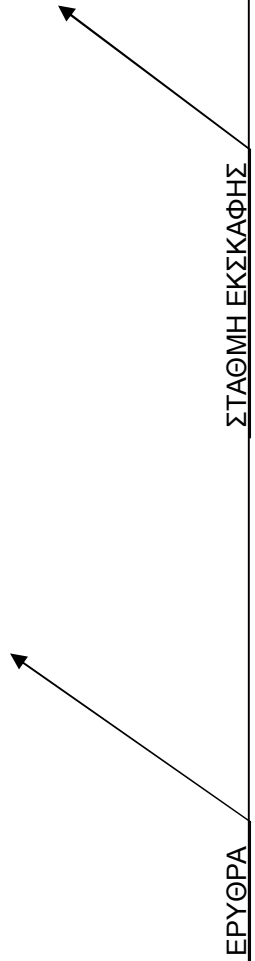
ΕΡΥΘΡΑ





ΣΤΑΘΜΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ

ΕΡΥΘΡΑ



# ΣΧΕΔΙΟ 6

---

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ



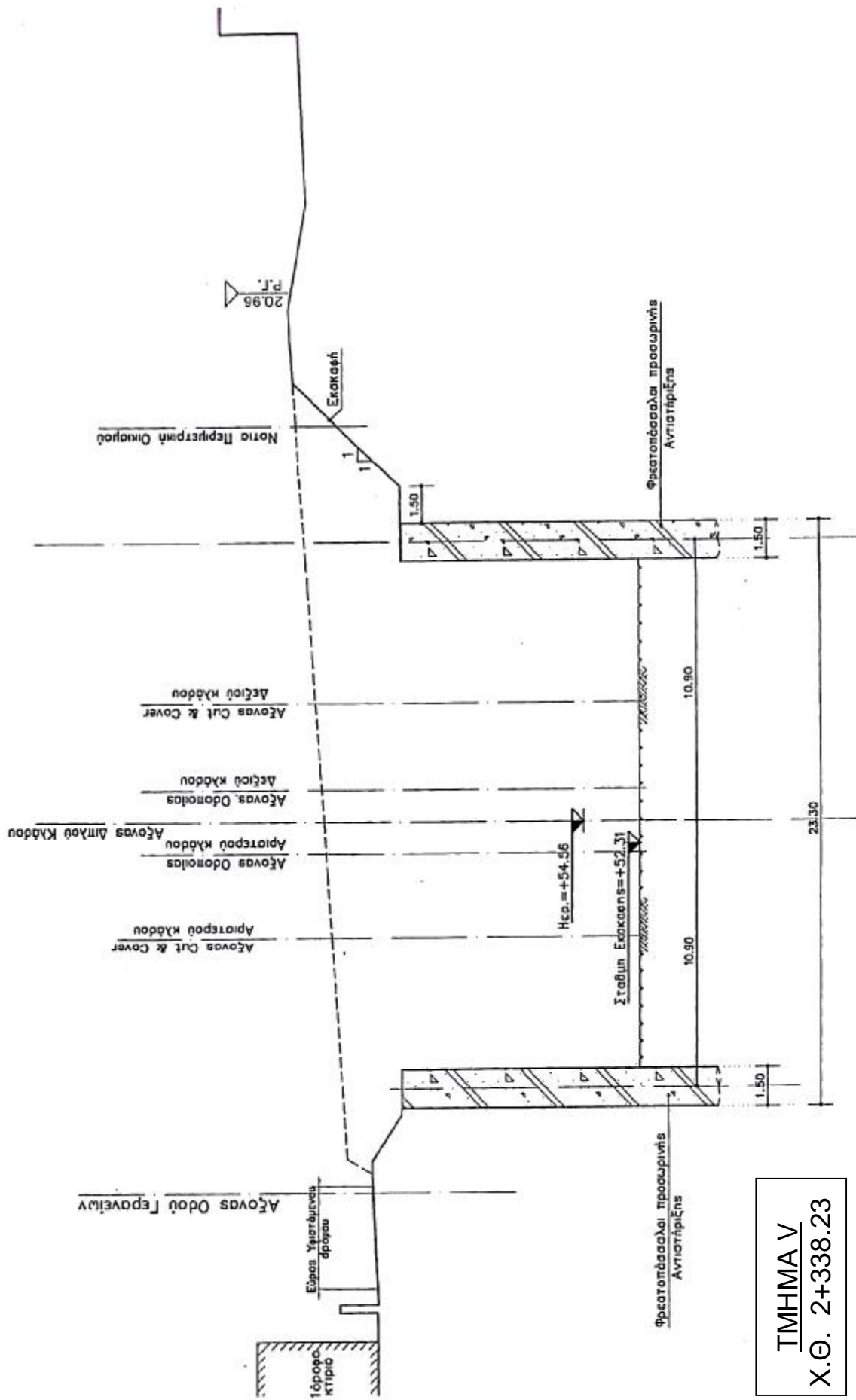


TMHMA III  
X.O. 2+298.17



TMHMA IV

X.Θ. 2+324.20



ΤΜΗΜΑ V  
X.Θ. 2+338.23

# ΣΧΕΔΙΟ 7

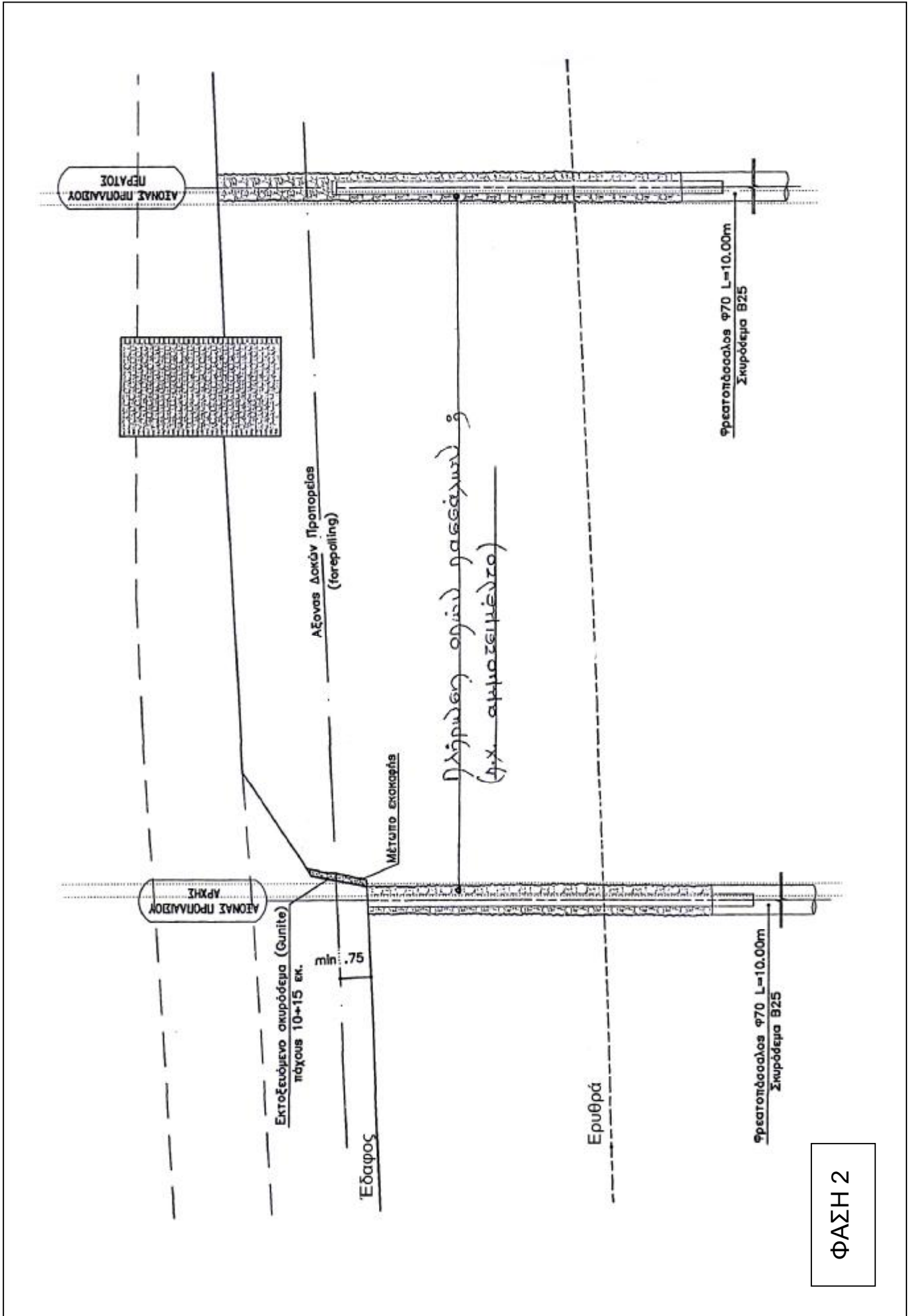
---

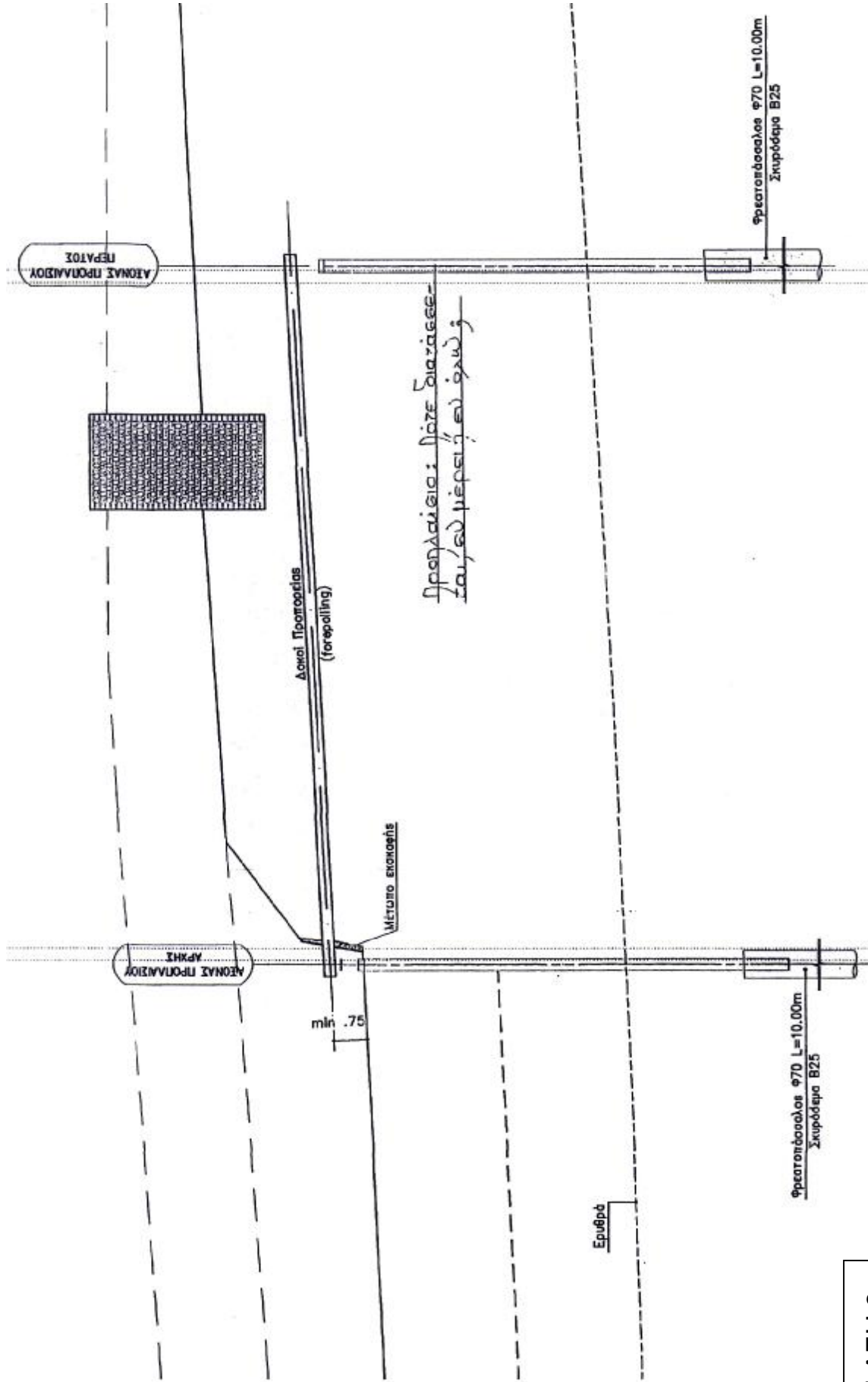
## ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕ ΔΙΑΤΡΗΣΗ



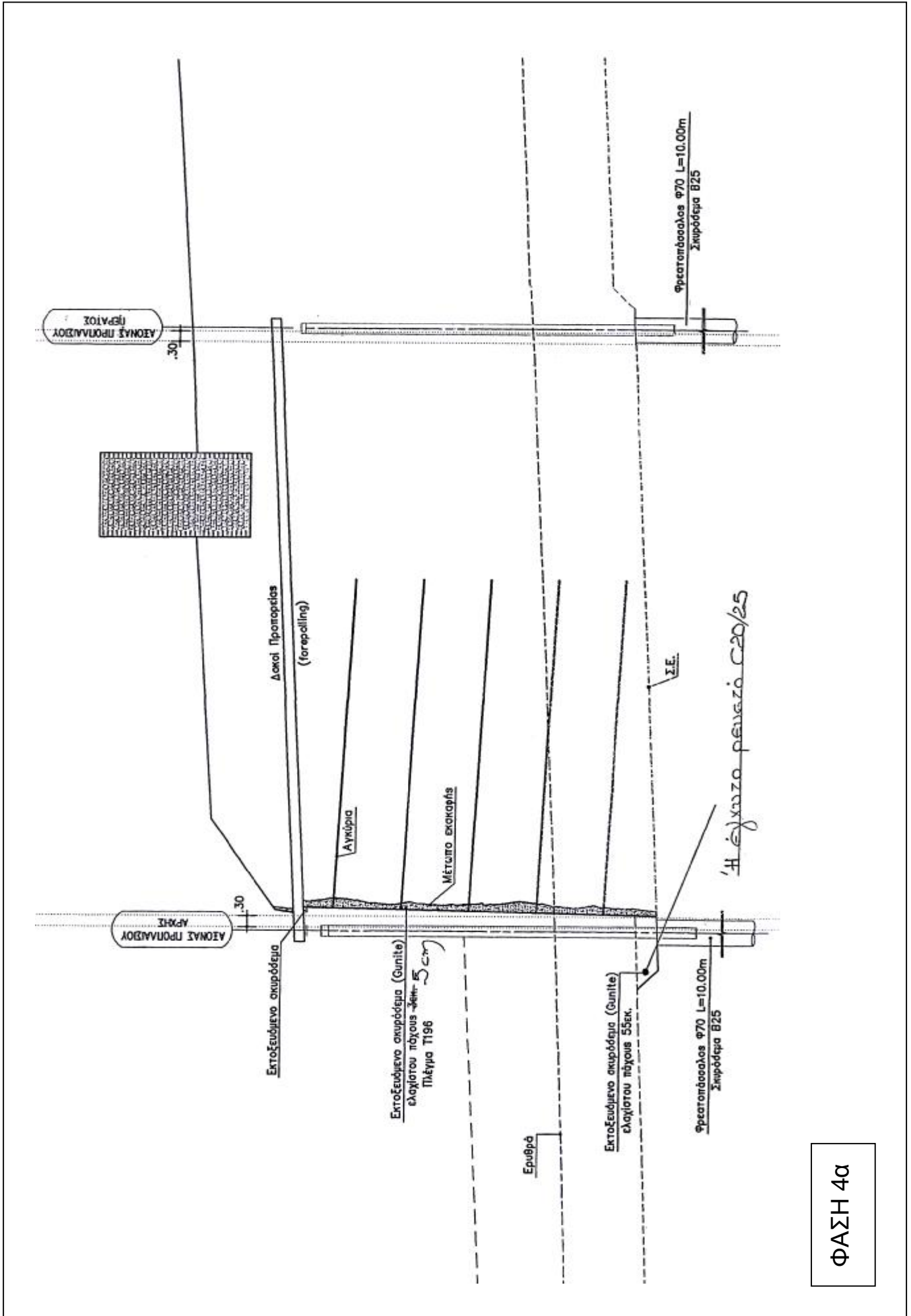
ΦΑΣΗ 1



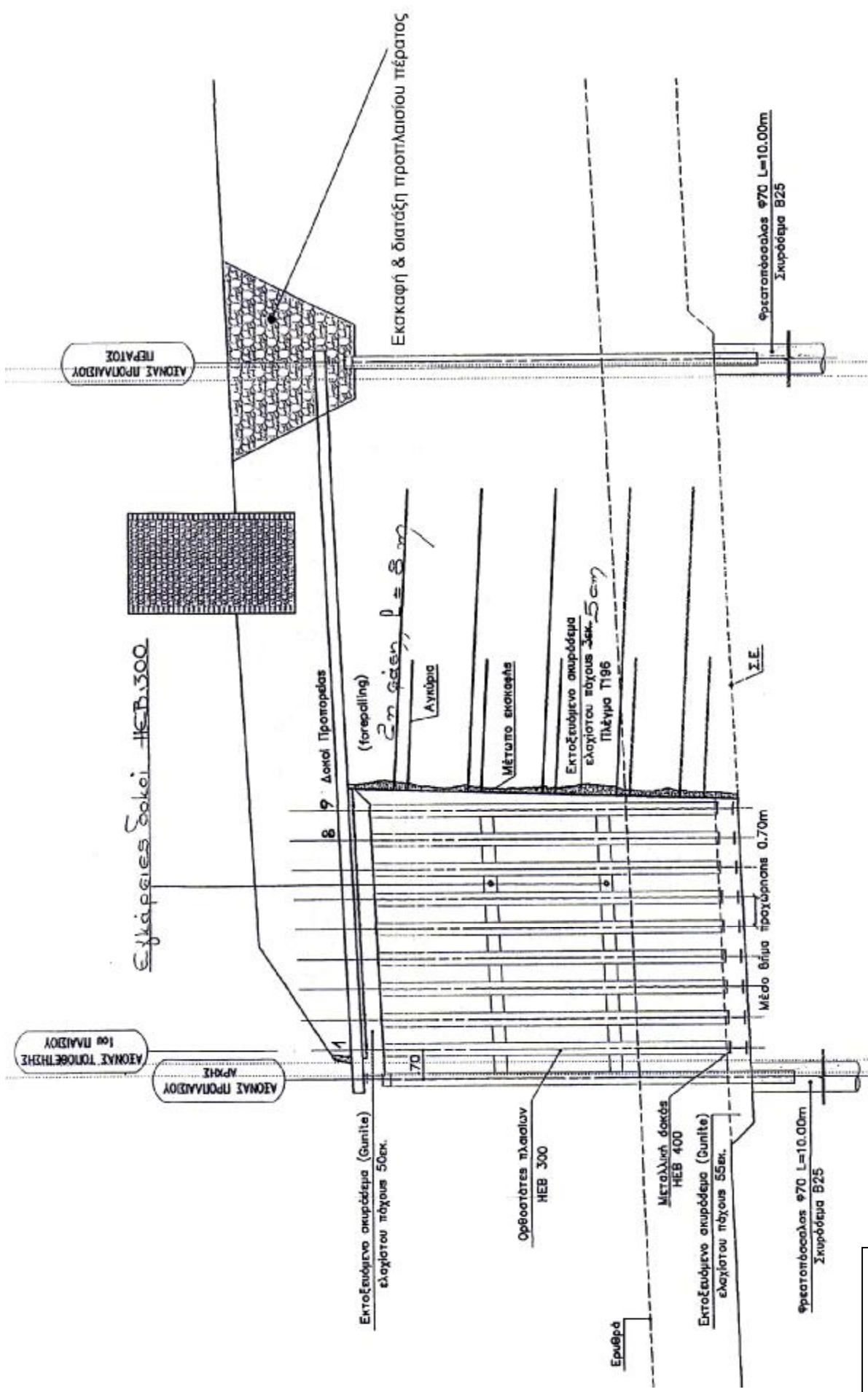




ΦΑΣΗ 3

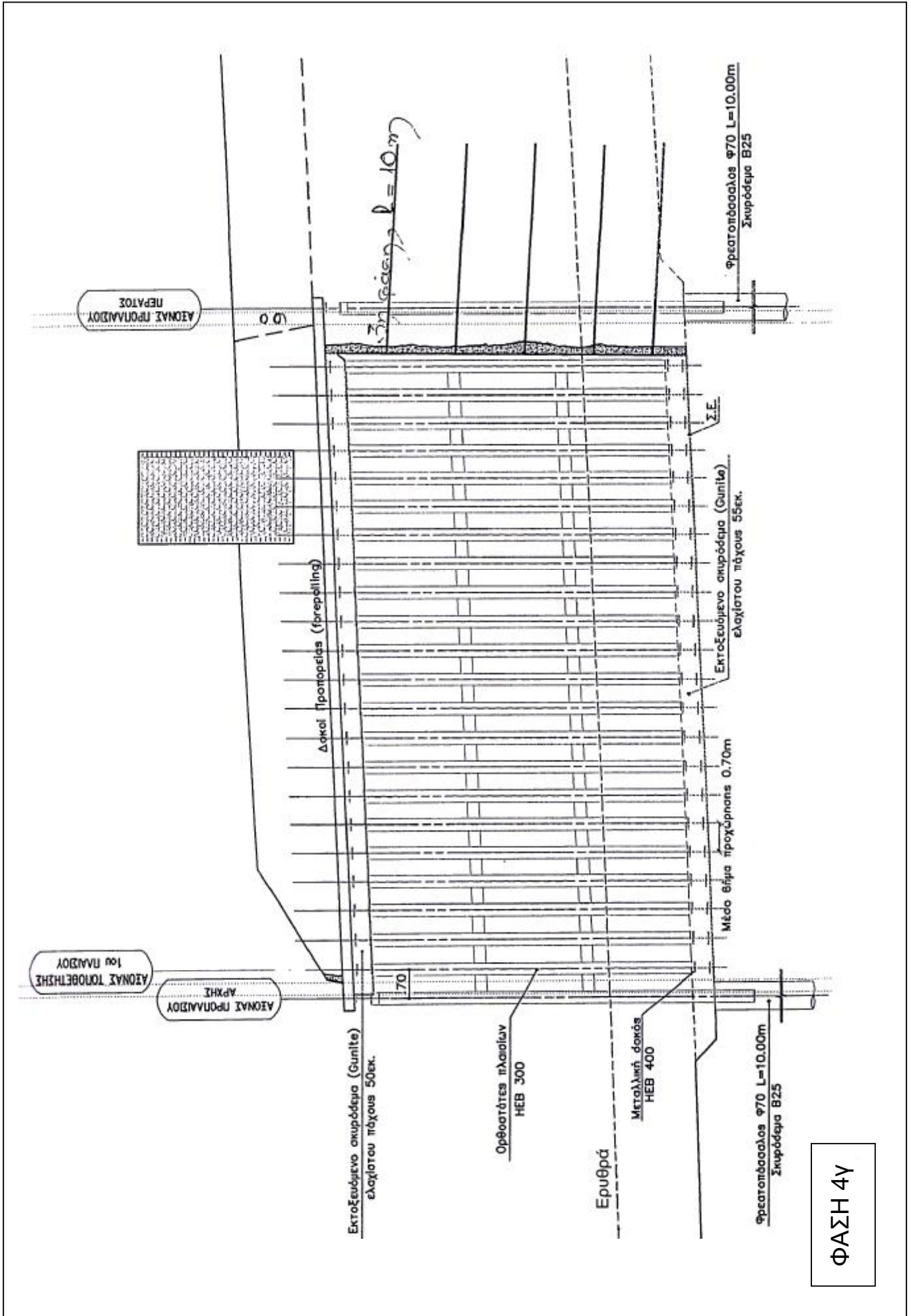


ΦΑΣΗ 4α

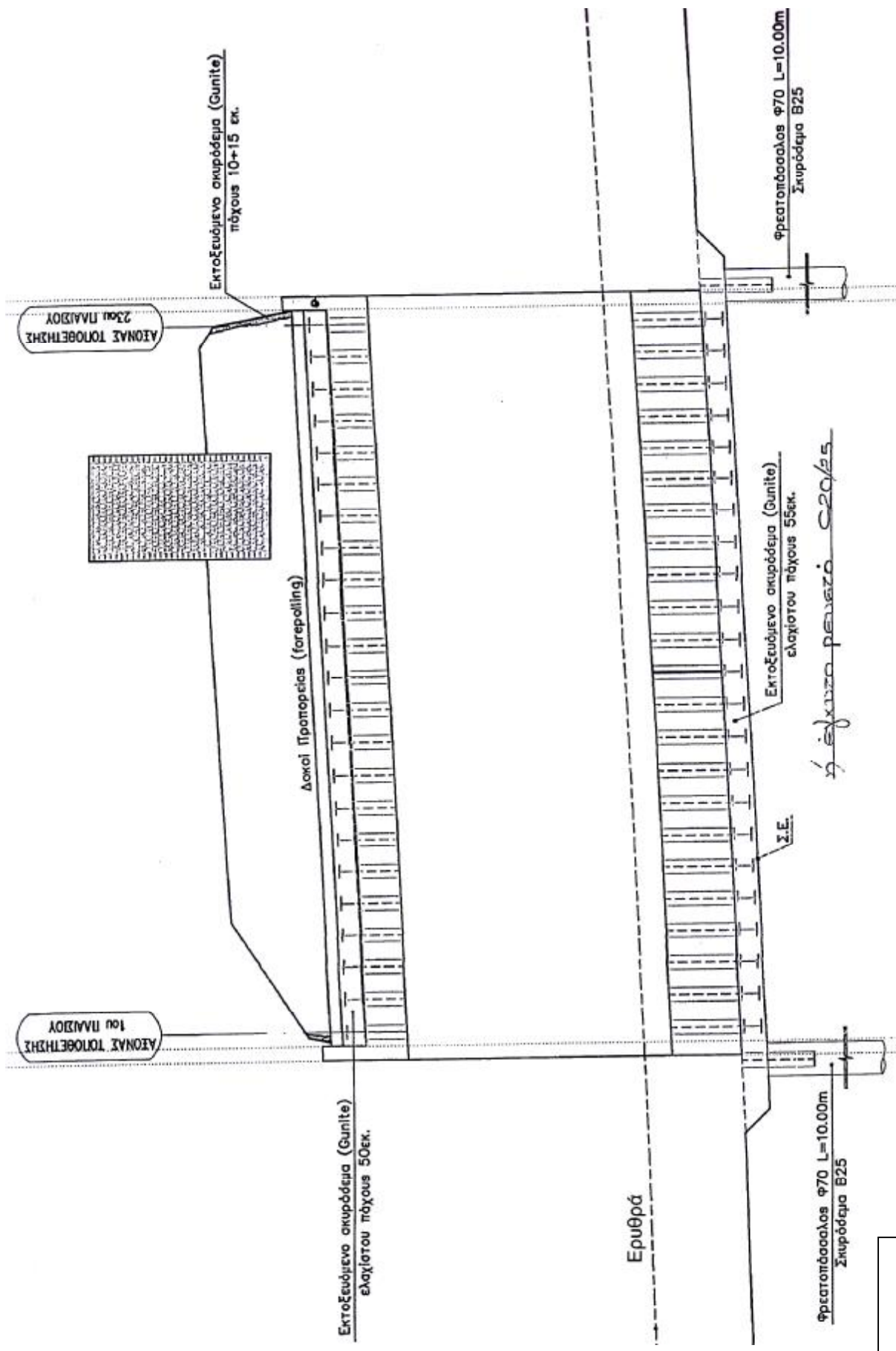


ΦΑΣΗ 4β





ΦΑΣΗ 4Υ



ή έγκυρο πελατό C20/25

ΦΑΣΗ 5



# ΣΧΕΔΙΟ 8

---

## ΧΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ



