



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Κατασκευή αποστραγγιστικής στοάς και  
αποχετευτικού αγωγού με υπόγεια διάνοιξη.**

**ΡΑΖΟΣ ΗΛΙΑΣ**

**ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**Α. ΣΟΦΙΑΝΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ**

**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012**



**Αφιερώνεται**

**στην οικογένεια μου**

# Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, είτε με την συμβουλή τους είτε με την καθοδήγηση που μου παρείχαν. Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνονται στον επιβλέποντα Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων -Μεταλλουργών κύριο Αλέξανδρο Σοφιανό που μου παρείχε την ευκαιρία της εκπόνησης της παρούσας εργασίας, καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια, συμβουλή και υποστήριξη του κατά την εκτέλεσή της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Παύλος Π. Νομικός, Λέκτορα του ΕΜΠ, καθώς επίσης και του υποψήφιους διδάκτορες Σοφία Μπουλαμάτση και Ντίνο Σακκά, που στελεχώνουν το Εργαστήριο Τεχνολογίας Διάνοιξης Σηράγγων του ΕΜΠ της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών.

Τέλος θερμές ευχαριστίες οφείλω στην οικογένειά μου και ιδιαίτερα στη σύζυγο μου για την υποστήριξη, την υπομονή και την εμπιστοσύνη που μου δείχνει πάντα σε κάθε μου προσπάθεια.

## Πρόλογος

Η παρούσα εργασία εκπονείται στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με συνεργαζόμενες τις σχολές Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών και Πολιτικών Μηχανικών.

Το θέμα που πραγματεύεται είναι οι τεχνολογίες για την κατασκευή νέων αγωγών δικτύων με την μέθοδο υπόγειας διάνοιξης **Trenchless Technology**, μπορεί να αποδοθεί στα Ελληνικά ως η Τεχνολογία χωρίς Τάφρους στην επιφάνεια του εδάφους δηλαδή υπόγεια διάνοιξη. Η προσπάθεια που καταβλήθηκε είναι να συγκεντρωθούν στοιχεία για τις κυριότερες μεθόδους των σύγχρονων αυτών τεχνικών στο κεφάλαιο 1, εκτενείς αναφορά γίνεται για την μέθοδο ωθούμενου σωλήνα (Pipejacking).

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται θέματα που αφορούν τις κύριες παραμέτρους σχεδιασμού και ελέγχου της μεθόδου ωθούμενου σωλήνα όπως τα φορτία ώθησης του σωλήνα, ο πολφός λίπανσης, η ευθυγράμμιση των σωλήνων κλπ.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα κεφάλαια 3 και 4 στο οποία μεταφέρεται μέρος της εμπειρίας μου από την συμμετοχή μου ως μηχανικός κατασκευής σε δύο μεγάλα και σημαντικά έργα κατασκευής αγωγών με την χρήση των μεθόδων υπόγειας διάνοιξης και ειδικά της μεθόδου ωθούμενου σωλήνα.

Τέλος στο κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα πλεονεκτήματα της μεθόδου και συμπεράσματα από την εφαρμογή.



# Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	4
Πρόλογος.....	5
Περιεχόμενα.....	7
■ Κεφάλαιο 1.....	11
1.1 Γενικά στοιχεία .....	13
1.2 Διεθνής Πρακτική .....	14
1.3 Τεχνολογίες Trenchless .....	18
1.3.1 Ανάλυση του συνολικού κόστους κατασκευής.....	18
1.3.2 Παράγοντες επιτυχίας της μεθόδου .....	19
1.4 Μέθοδοι Κατευθυνόμενης διάτρησης .....	20
1.4.1 Horizontal Directional Drilling (HDD) .....	20
1.5 Μέθοδοι Μη Κατευθυνόμενης Διάτρησης.....	25
1.5.1 Τεχνικές Microtunneling (MT). .....	25
1.5.2 Τεχνικές PipeJacking (PJ).....	36
1.5.3 Υλικά Σωλήνων .....	52
1.6 Σχεδιασμός και κατασκευή φρεάτων .....	55
1.6.1 Συμβατικές Μέθοδοι κατασκευής .....	56
1.6.2 Ειδικές Μέθοδοι κατασκευής φρεατίων .....	57
1.7 Πρόσθετες Εφαρμογές των μεθόδων ώθησης .....	61
1.7.1 Box Jacking.....	62
1.7.2 Αρθρωτές κατασκευές (Modular Systems) .....	63
1.7.3 Πρόσθετες δομές αντιστήριξης .....	67
■ Κεφάλαιο 2.....	69
2.1 Γενικά στοιχεία .....	71
2.1.1 Φορτία ώθησης .....	71
2.1.2 Αντίσταση διείσδυσης .....	72
2.1.3 Αντίσταση τριβής.....	72
2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τα φορτία ώθησης .....	74
2.2.1 Σταθερότητα του εδάφους .....	74
2.2.2 Υπερκοπή.....	77
2.3 Πολφός .....	78
2.3.1 Σταθεροποίηση του περιβάλλοντος εδάφους.....	79

2.3.2	Ικανότητα μεταφοράς εναιωρήματος μπετονίτη για κοπή.....	80
2.3.3	Κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου μπετονιτικού αιωρήματος .....	80
2.3.4	Διατμητική αντοχή ή Αντοχή τζελ του μπετονιτικού αιωρήματος .....	85
2.4	Ευθυγράμμιση των σωλήνων .....	86
2.5	Διακοπές εργασιών – Σταματήματα .....	86
2.6	Θεωρητικά μοντέλα.....	88
2.6.1	Τριβή.....	88
2.6.2	Αποκλίσεις από την ευθεία .....	92
<b>■</b>	<b>Κεφάλαιο 3 .....</b>	<b>95</b>
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	97
3.2	ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	98
3.2.1	Γεωμορφολογία .....	98
3.2.2	Στρωματογραφία .....	98
3.3	Αρχές και μεθοδολογία επιφανειακής αποστράγγισης.....	106
3.4	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΕΡΓΟΥ .....	107
3.4.1	Σκοπός του έργου .....	107
3.4.2	Τεχνικό Αντικείμενο Έργου .....	107
3.5	ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ .....	108
3.5.1	Ειδικά Χαρακτηριστικά Μηχανήματος .....	108
1.1.1	Καθοδήγηση εκσκαφής .....	109
1.1.2	Σύστημα φόρτωσης – Μεταφοράς .....	110
1.1.3	Σύστημα προώθησης .....	111
1.1.4	Ωθούμενοι σωλήνες .....	113
3.6	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ .....	113
1.1.5	Περιγραφή εργασιών για την διάτρηση των αποστραγγιστικών.....	114
3.7	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΕΑΤΙΩΝ.....	116
1.1.6	Φρέαρ Εισόδου Φ1.....	116
1.1.7	Ενδιάμεσο Φρέαρ Προσπέλασης Φ2.....	117
1.1.8	Ενδιάμεσο Φρέαρ Προσπέλασης Φ3.....	119
3.8	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ .....	120
<b>■</b>	<b>Κεφάλαιο 4 .....</b>	<b>123</b>
4.1	ΓΕΝΙΚΑ .....	125
4.2	ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	126
4.2.1	Γενικά.....	126



4.2.2	Γεωλογικά – Τεκτονικά χαρακτηριστικά (27).....	126
4.3	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	127
4.3.1	Σκοπός του έργου.....	127
4.3.2	Τεχνικό Αντικείμενο Έργου.....	127
4.4	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΙΚΡΟ-ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....	128
4.4.1	Χαρακτηριστικά του μηχανήματος εκσκαφής.....	129
4.4.2	Καθοδήγηση εκσκαφής.....	129
4.4.3	Σύστημα φόρτωσης – Μεταφοράς.....	130
4.4.4	Σύστημα προώθησης.....	131
4.4.5	Σύστημα ώθησης.....	131
4.4.6	Ωθούμενοι σωλήνες.....	132
4.4.7	Αλλαγή σωλήνων.....	133
4.5	1 <sup>ο</sup> Πέρασμα Φρ. Λ. Κνωσού - Ανακρέοντος.....	134
4.6	2 <sup>ο</sup> Πέρασμα Φρ. Λ. Κνωσού – Φρέαρ Εξόδου.....	136
4.7	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΕΑΤΙΩΝ.....	138
4.7.1	Κατασκευή φρεατίου εργασίας στη Λ. Κνωσού.....	138
4.7.2	Φρέαρ Εξόδου.....	140
4.8	Καταγραφή και επεξεργασία των δυνάμεων ώθησης.....	143
■	Κεφάλαιο 5.....	147
5.1	Εφαρμογές και πλεονεκτήματα.....	148
5.1.1	Εφαρμογές.....	148
5.1.2	Τεχνικά Πλεονεκτήματα.....	148
5.1.3	Πλεονεκτήματα στην Ασφάλεια.....	148
5.1.4	Πλεονεκτήματα για το περιβάλλον.....	149
■	Βιβλιογραφία.....	151



# ■ Κεφάλαιο 1

Μέθοδοι υπόγειας διάνοιξης σηράγγων μικρής διαμέτρου.



## 1.1 Γενικά στοιχεία

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής στις μεγάλες πόλεις εκτός των άλλων απαιτεί την αδιάλειπτη παροχή σε όλους τους ανθρώπους που διαβιούν στα όρια τους, όλων των αγαθών κοινής ωφέλειας: όπως είναι η παροχή πόσιμου νερού, η αποχέτευση των λυμάτων, η παροχή ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο, ή ζεστό νερό κ.α.), η παροχή ενσύρματης τηλεφωνικής επικοινωνίας (τηλεφωνική σύνδεση, καλωδιακή τηλεόραση, σύνδεση με το διαδίκτυο κ.α.). Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν εκτεταμένα δίκτυα διανομής των αγαθών αυτών σε ευρεία κλίμακα μέσα στις πόλεις.



*Εικόνα 1. 1: Οδόστρωμα των σύγχρονων πόλεων και τα δίκτυα που βρίσκονται από κάτω.*

Ο μεγάλος αριθμός των δικτύων (το ελάχιστο 4 ανεξάρτητα δίκτυα) όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. 1 και η συνεχής επέκταση των δικτύων αυτών όσο αναπτύσσεται η πόλη δημιουργούν πολλά προβλήματα στη διασταύρωση των δικτύων στην αλληλοεμπλοκή και στην διευθέτηση των δικτύων και ταυτόχρονα και στη χρήση των δρόμων.

Επίσης λόγω της παλαιότητας των δικτύων αυτών, καθώς τα πρώτα δίκτυα σε ορισμένες πόλεις εγκαταστάθηκαν στις αρχές του 20ου αιώνα (πχ Νέα Υόρκη), χρήζουν σήμερα άμεσα επισκευής ή εκσυγχρονισμού τους, προκαλούν επιπλέον προβλήματα στην λειτουργία της πόλης.

Πολλά χιλιόμετρα τέτοιων δικτύων βρίσκεται τοποθετημένα κάτω από κυκλοφοριακά ενεργούς οδούς του κέντρου, σε μια πυκνοκατοικημένη αστική περιοχή με ελάχιστους ελεύθερους χώρους. Έτσι μπορούμε να φαντασθούμε την δυσκολία των εργασιών επισκευής ή αναβάθμισης τους χωρίς ταυτόχρονα να διαταραχθούν οι επιφανειακές χρήσεις του δρόμου.

Παραδοσιακά είναι κοινή η πεποίθηση ότι οι οδοί των πόλεων εξυπηρετούν δυο σκοπούς (1):

- Η επιφάνεια τους - το οδόστρωμα τους - χρησιμοποιείται για την κίνηση των πεζών και των οχημάτων είτε αυτό γίνεται για επαγγελματικό σκοπό είτε για αναψυχή.
- Ο υπόγειος χώρος κάτω από το οδόστρωμα είναι μια περιοχή για την τοποθέτηση σωληνώσεων, αγωγών καλωδίων και βασικών παροχών αγαθών κοινής ωφέλειας για την λειτουργία της κοινωνίας.

Η αύξηση από την μια πλευρά, της οδικής κυκλοφορίας και από την άλλη πλευρά, η αύξηση των αναγκών για την εγκατάσταση νέων δικτύων κοινής ωφέλειας ή την αντικατάσταση των παλαιών, ή την ενίσχυση, την αποκατάσταση υφιστάμενων αγωγών σωλήνων και αγωγών καλωδίων με βλάβες, έχει ως αποτέλεσμα τη σύγκρουση μεταξύ προτεραιοτήτων της λειτουργίας της κοινωνίας και των οργανισμών κοινής ωφέλειας. Αυτή η διαμάχη θα συνεχίζει να κλιμακώνεται σαν ένας ανταγωνισμός για τον περιορισμένο υπόγειο χώρο κάτω από το οδόστρωμα.

Καθώς οι απαιτήσεις της κοινωνίας συνεχώς μεταβάλλονται επιβάλλεται να οριστούν οι προτεραιότητες και οι ρόλοι αυτών των δύο χρήσεων καθώς επίσης και το πως θα εξασφαλίσουμε την αδιάλειπτη παροχή των υπηρεσιών αυτών. Πιθανώς, η αντικατάσταση, η ανανέωση ή η συντήρηση των δικτύων κοινής ωφέλειας, θα πρέπει να γίνεται με τη σκέψη μας πρώτα στην κοινωνία και στη συνολική οικονομία και όχι μόνο στις απαιτήσεις των διαχειριστών των δικτύων διανομής των αγαθών κοινής ωφέλειας και των προγραμμάτων επέκτασής τους.

## **1.2 ΔιαΔιεθνής Πρακτική**

Όταν κοιτάζουμε τη εμπειρία άλλων χωρών είναι φανερό ότι οι εκάστοτε τοπικές αρχές έχουν πολύ διαφορετικές προσεγγίσεις για τα δικαιώματα των διαχειριστών δικτύων κοινής ωφέλειας, για την κατάληψη μέρους των δημόσιων οδών για πραγματοποίηση έργων εγκατάστασης δικτύων. Σε πολλές χώρες υπάρχει

μια αυξανόμενη κοινή πεποίθηση για το ότι ο υπόγειος χώρος κάτω από τους δρόμους δημόσιας χρήσης είναι ένας πολύτιμος πόρος. Η παραδοσιακή χρήση αυτού του υπόγειου χώρου είναι για την εγκατάσταση δικτύων κοινής ωφέλειας των αγαθών πρώτης ανάγκης σε ένα βασικό δίκτυο ή σε ένα βοηθητικό δίκτυο. Η εγκατάσταση δικτύων μπορεί να είναι επιβλαβής όσον αφορά τις μελλοντικές χρήσεις αυτού του υπόγειου χώρου καθώς μειώνει την αξία αυτού του χώρου ως οικονομικό πόρο.

### ***Ηνωμένο Βασίλειο***

Το Ηνωμένο Βασίλειο στα μάτια των περισσότερων διεθνών παρατηρητών είναι ο παγκόσμιος ηγέτης σε θέματα νομοθεσίας για τον περιορισμό της διατάραξης που απορρέει από την εκτέλεση έργων κοινής ωφέλειας στους δρόμους, εφαρμόζοντας μια οδηγία για εργασίες σε δρόμους και εθνικές οδούς (New Roads and Street Works Act, 1991),(NRSWA).

Πιστεύεται ότι η οδηγία αυτή παρέχει ένα πλαίσιο που περιορίζει την ισχύ των διαχειριστών δικτύων κοινής ωφέλειας και απαιτεί από αυτούς να πραγματοποιούν εργασίες με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η παρενόχληση του κοινού. Στην πράξη φάνηκαν κάποια μειονεκτήματα αυτής της δράσης γιατί δεν είχε λάβει υπ' όψιν της δύο από τις τρεις κατηγορίες κόστους, το έμμεσο κόστος και το κοινωνικό κόστος.

### ***Σκανδιναβία***

Αντίθετα με τις περισσότερες χώρες στη Σκανδιναβία οι εταιρίες κοινής ωφέλειας δεν έχουν δικαίωμα να εισέλθουν στους δρόμους. Πριν αυτές μπορέσουν να εγκαταστήσουν τον εξοπλισμό τους, θα πρέπει να λάβουν άδεια από το κύριο του έργου, ή τις αρχές της οδού ή του αυτοκινητόδρομου. Αυτή η εγκατάσταση θα πρέπει να ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις του κόστους που συνδέονται με την εργασία αλλά μάλλον χωρίς να έχει πιστωθεί το κοινωνικό κόστος. Οι δρόμοι ελέγχονται αυστηρά πριν και μετά την εκτέλεση των εργασιών.

### ***Γαλλία***

Στην Γαλλία οι κανονισμοί ελέγχου της τοποθέτησης αγωγών ποικίλουν μεταξύ τις μιας περιφέρειας με την άλλη ή του ενός δήμου με τον άλλον. Γενικά απαγορεύεται να γίνει τομή σε οδό που έχει πρόσφατα ανακατασκευασθεί επιφανειακά, ώστε να τοποθετηθούν δίκτυα κοινής ωφέλειας. Η απαγόρευση αυτή εκτείνεται για 2,3 ή 5 έτη. Επίσης κάθε δήμος μπορεί να θέσει του δικούς του κανονισμούς για τις οδούς που ελέγχει. Έτσι κάποιοι δήμοι απαγορεύουν τελείως την τομή σε οδούς, κάποιοι άλλοι θέτουν όριο με βάση τον αριθμό των διερχόμενων οχημάτων που πάνω από αυτόν (πχ πάνω από 2000 οχήματα/ημέρα), απαγορεύουν την τομή στο οδόστρωμα.

Για παράδειγμα ο δήμος της Τουλούζης διερεύννησε τις επιπτώσεις των ανοικτών τομών στους δρόμους του και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ζωή του δρόμου μειώνεται από τα 30 έτη στα 10 έτη όταν στο δρόμο γίνονται τομές για

εγκατάσταση δικτύων κοινής ωφέλειας. Έτσι επέβαλε την είσπραξη ενός τέλους αποκατάστασης του δρόμου, το οποίο βασίζεται στο πλάτος της τομής προσανυξημένο με μια λουρίδα 50 cm σε κάθε πλευρά της τομής, πχ τυπική χρέωση για τομή 12 ιντσών είναι περίπου 340€/m (τιμές 2005).

Άλλο παράδειγμα ο δήμος του Παρισιού, εφαρμόζει την πολιτική του συντονισμού των εργασιών μεταξύ των διαχειριστών των δικτύων αγαθών κοινής ωφέλειας με σκοπό την ελαχιστοποίηση της ενόχλησης των κατοίκων. Για το σκοπό αυτό διοργανώνει τριμηνιαίες συναντήσεις με όλους τους διαχειριστές δικτύων.

### ***Γερμανία***

Η Γερμανία ως Ομοσπονδιακή Δημοκρατία έχει παραχωρήσει σημαντική αυτονομία στα 16 ομόσπονδα κρατίδια. Έτσι τα κρατίδια μπορούν να δημιουργήσουν δικούς τους τοπικούς κανονισμούς για την προστασία του περιβάλλοντος και της λειτουργίας των αυτοκινητόδρομων. Η ανησυχία για την προστασία του περιβάλλοντος και την μη διατάραξη της κοινότητας φαίνεται να είναι σε πολύ υψηλότερο επίπεδο από ότι σε άλλες χώρες.

Πολλά κρατίδια έχουν περιβαλλοντικούς κανονισμούς για την χλωρίδα οι οποίοι περιορίζουν την εργασία με ανοικτές τομές και ενθαρρύνουν την χρήση εναλλακτικών λύσεων χωρίς τομές στην επιφάνεια. Στο Αμβούργο και σε άλλες περιοχές έχει απαγορεύσει την υποβίβαση του επιπέδου του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα για να περιορίσουν την οικολογική βλάβη. Αυτό πρακτικά περιορίζει την χρήση βαθιών εκσκαφών με αποστράγγιση.

Η Γερμανία οδηγεί την Ευρώπη στην χρήση των υπόγειων μεθόδων (Trenchless) αλλά και ολόκληρο τον κόσμο στην ανάπτυξη και εγκατάσταση αποχετεύσεων με χρήση μεθόδων μικροσηράγγων (ΜΣ) Microtunneling, και ωθούμενου σωλήνα (Ω.Σ) Pipejacking. Η Γερμανία έχει ορισμένους κορυφαίους κατασκευαστές μηχανημάτων και εξοπλισμού καθώς επίσης και πολλούς έμπειρους υπεργολάβους στις μεθόδους αυτές.

Στο Αμβούργο έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι Pipejacking εξισορροπητικής πίεσης ώστε να ταιριάζουν στα κοκκώδη εδάφη με υψηλή στάθμη υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα που κυριαρχεί στην περιοχή αυτή.

Το Βερολίνο έχει εφαρμόσει πρωτοποριακές λύσεις για την εγκατάσταση δικτύων κοινής ωφέλειας που δεν δημιουργούν βλάβη στο περιβάλλον και αναταραχή στην κοινότητα, εκμεταλλευόμενοι τα πλεονεκτήματα του Microtunneling με την ελάχιστη επίδραση στην κοινότητα. Παράδειγμα αποτελεί η “Μέθοδος του Βερολίνου” για την ακτινική εγκατάσταση πλευρικών αγωγών γύρω από την θέση φρεατίου ή ανθρωποθυρίδας, παρά τη κατευθείαν σύνδεση πάνω στον οχετό. Αυτό αποδείχθηκε ότι μειώνει την επιφανειακή διατάραξη και παρέχει εύκολη πρόσβαση για συντήρηση ή επισκευή και ως εκ τούτου ελαχιστοποιεί τις μελλοντικές εκσκαφές.



## ***Ιαπωνία***

Η Ιαπωνία έχει στραφεί στις υπόγειες μεθόδους διάνοιξης (Trenchless) για την εγκατάσταση δικτύων, εξ αιτίας της κυκλοφοριακής συμφόρησης των δρόμων της καθώς και λόγω της ιστορικής έλλειψης σε αποχετευτικό σύστημα σε πολλές από τις πόλεις της χώρας. Περισσότερα από 700 μίλια αποχετευτικού δικτύου τοποθετούνται ετησίως με μεθόδους Microtunneling και Pipejacking αυτό είναι περίπου 20 φορές περισσότερο από το μήκος που εγκαθίστανται στις ΗΠΑ. Κύριος λόγος για το παραπάνω είναι ότι στην Ιαπωνία υπάρχει η πεποίθηση ότι οι δρόμοι είναι μόνο για την μεταφορά ανθρώπων και αυτοκινήτων, και η χρήση τους για άλλους σκοπούς πρέπει να είναι περιορισμένη και μερικές φορές να απαγορεύεται.

Για το δικαίωμα της εγκατάστασης δικτύων στους δρόμους ή κάτω από αυτούς υπάρχει μια ετήσια χρώση που σε κάποιες πόλεις φτάνει και τα 20 εκατομμύρια δολάρια το έτος (Tokyo Gas). Σε δρόμους με υψηλά κυκλοφοριακά φορτία, οι ημερήσιες εργασίες δεν επιτρέπονται, παρά μόνο η εργασία κατά την διάρκεια της νύχτας και με την υποχρέωση ο δρόμος να αποδίδεται στην κίνηση την επόμενη ημέρα. Σε άλλες περιοχές μπορεί να επιτρέπεται η κατασκευή για ορισμένες ώρες από το πρωί έως την απογευματινή αιχμή της κυκλοφορίας, με την υποχρέωση πάντα να αποδίδεται στην κίνηση ο δρόμος κάθε ημέρα.

## ***Χονγκ Κόνγκ***

Το Χονγκ Κόνγκ είναι μια από τις πιο πυκνοδομημένες περιοχές του κόσμου. Και εδώ οι αρχές των αυτοκινητοδρόμων εκδίδουν άδειες εργασίας με πολλούς περιορισμούς στους χρόνους εργασίας και στις μεθόδους. Συχνά απαιτείται η νυχτερινή εργασία με την υποχρέωση της πλήρους απόδοσης στην κυκλοφορία την επόμενη ημέρα. Η τοποθέτηση μεταλλικών πλαισίων πάνω από τις ανοικτές τομές είναι συνήθης πρακτική. Όλα τα παραπάνω προσθέτουν σημαντικό κόστος για τις μεθόδους ανοικτών εκσκαφών. Έτσι είναι διαδεδομένη η χρήση μεθόδων μικροσηράγγων (Microtunneling) και σηράγγων με εξισορροπητική πίεση λόγω των δυσμενών γεωτεχνικών συνθηκών. Εδώ έχουν εκτελεσθεί κάποιες διελεύσεις μεγάλου μήκους με Οριζόντιες Κατευθυνόμενες Διατρήσεις κάτω από κανάλια διαύλων ναυσιπλοΐας και έχει εκτελεσθεί ένα εκτεταμένο πρόγραμμα αναβάθμισης των ήδη υπάρχοντων υπονόμων ακαθάρτων.

## ***Σιγκαπούρη***

Η κυβέρνηση της Σιγκαπούρης πήγε ένα βήμα πιο πέρα, καθώς έχει απαγορεύσει πλήρως τις εργασίες τομής σε πολυσύχναστους δρόμους. Έτσι αν και είναι μια μικρή χώρα είναι πρώτη παγκοσμίως όσον αφορά το ποσοστό των εργασιών που εκτελούνται με υπόγειες μέθοδοι (Trenchless) λόγω των δύσκολων εδαφικών συνθηκών.

## ***Ταϊλάνδη***

Η πόλη της Μπανγκόκ είναι ένα καλό παράδειγμα της αποτελεσματικής χρήσης των τεχνολογικών μεθόδων Trenchless. Όταν ήταν απαραίτητο να

εγκατασταθεί ένα εκτεταμένο δίκτυο αποχέτευσης σε ολόκληρη την πόλη, το επίπεδο κυκλοφοριακής συμφόρησης και η έλλειψη χώρου στους δρόμους καθώς και οι δύσκολες εδαφικές συνθήκες έκαναν απαγορευτική την χρήση των μεθόδων με ανοικτές τομές. Τότε οι υπηρεσίες στράφηκαν προς την τεχνολογία μικροσηράγγων (Microtunneling) όχι μόνο για να αποφύγουν την αναστάτωση στους δρόμους αλλά επίσης και για να μπορέσουν να εργασθούν στους πολύ μαλακούς δελταϊκούς σχηματισμούς των αργίλων με τον πολύ υψηλό υδροφόρο ορίζοντα

### 1.3 Τεχνολογίες Trenchless

Ο όρος **Trenchless Technology**, μπορεί να αποδοθεί ως η Τεχνολογία χωρίς Τάφρους στην επιφάνεια του εδάφους δηλαδή υπόγεια εκσκαφή ή διάνοιξη για την εγκατάσταση αγωγών. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιούμε τον όρο υπόγεια διάνοιξη.

Η τεχνολογία της υπόγειας διάνοιξης περιλαμβάνει μια σειρά από σύγχρονες μεθόδους εργασίας για την εγκατάσταση, επισκευή ή την ανανέωση υπόγειων δικτύων σωλήνων, αγωγών ακαθάρτων και δικτύων σωλήνων καλωδίων χρησιμοποιώντας τεχνικές που ελαχιστοποιούν ή εξαλείφουν την ανάγκη για εκσκαφή τάφρου στην επιφάνεια του εδάφους.

#### 1.3.1 Ανάλυση του συνολικού κόστους κατασκευής.

Όταν αναφέρεται στην έννοια, **συνολικό κόστος κατασκευής** για την εγκατάσταση ενός αγωγού, αυτό το κόστος αποτελείται από τρεις κατηγορίες,:

- **Άμεσο Κόστος κατασκευής:** περιλαμβάνει τις δαπάνες για το προγραμματισμό, για το σχεδιασμό και τη μελέτη (δαπάνες μελέτης), το κόστος της κατασκευής του τεχνικού αντικειμένου του έργου και το κόστος για την οριστική αποκατάσταση και επαναφορά όλων των αλλαγών που έχουν γίνει στην επιφάνεια.
- **Έμμεσο Κόστος κατασκευής:** περιλαμβάνει τις δαπάνες για την εκτροπή των υφιστάμενων δικτύων Οργανισμών Κοινής Ωφέλειας (ΟΚΩ), την αποκατάσταση τυχόν ζημιών σε παρακείμενες ιδιοκτησίες, την αποζημίωση επιχειρήσεων που εμπλέκονται άμεσα με τα έργα, την αποτίμηση σε κόστος της μείωσης της ζωής του οδοστρώματος και το κόστος για την αυξημένη συντήρηση του οδοστρώματος,
- **Κοινωνικό Κόστος** περιλαμβάνει την περιβαλλοντική ζημία που σχετίζεται με την ατμοσφαιρική ρύπανση, το θόρυβο, τις δονήσεις και την απώλεια της άνεσης των περιοίκων, την διατάραξη της εμπορικής κίνησης και τις κυκλοφοριακές αλλαγές, κάποιες φορές σε ευρεία κλίμακα, σε συνδυασμό με την αύξηση των τροχαίων ατυχημάτων.

Με την χρήση των μεθόδων της **υπόγειας διάνοιξης** και την ελαχιστοποίηση των επιφανειακών τομών μειώνεται σημαντικά το έμμεσο κόστος καθώς όλες οι δαπάνες που το αποτελούν είτε μειώνονται στο ελάχιστο είτε είναι μηδενικές.

Η χρήση τέτοιων μεθόδων μειώνει επίσης και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το επαγόμενο από αυτές, κοινωνικό κόστος. Ταυτόχρονα παρέχει εναλλακτικές

λύσεις για την εξοικονόμηση πόρων έναντι των παραδοσιακών μεθόδων ανοικτής εκσκαφής.

### 1.3.2 Παράγοντες επιτυχίας της μεθόδου

Καθοριστικοί παράγοντες την επιτυχή εφαρμογή των μεθόδων **υπόγειας διάνοιξης** είναι η κατάρτιση αναλυτικών αποτυπώσεων, η ενδελεχής μελέτη του χώρου εγκατάστασης (ανίχνευση της τοποθεσία και ελέγχου για υφιστάμενα δίκτυα), ο αναλυτικός σχεδιασμός και η επιλογή των κατάλληλων υλικών, της κατάλληλης μεθόδου και του εξοπλισμού εργασίας.

Η τεχνολογία της **υπόγειας διάνοιξης** δεν είναι από μόνη της μια πανάκεια για όλα, είναι μια προσέγγιση από την πλευρά της κατασκευής η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν κατά την διάρκεια του σχεδιασμού και τις σύλληψης ενός έργου εγκατάστασης αγωγού. Για να επωφεληθούμε από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου πρέπει να τη θεωρήσουμε ως μια εναλλακτική μέθοδο κατασκευής που λειτουργεί συμπληρωματικά στις συμβατικές μεθόδους κατασκευής δικτύων αγωγών με ανοικτά ορύγματα.

Οι τεχνικές υπόγειας διάνοιξης χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες σύμφωνα με την United Kingdom Society for Trenchless Technology<sup>1</sup> (2)

1. Επισκευή και Ανανέωση των Υφιστάμενων Δικτύων Αγωγών (πχ: ο καθαρισμός του υφιστάμενου αγωγού, η τοπική επισκευή του, ή η εσωτερική επικάλυψη του αγωγού ειδικό πλαστικό υλικό)
2. Αντικατάσταση των Υφιστάμενων Δικτύων Αγωγών (πχ: θραύση των κεραμικών σωλήνων και αντικατάσταση, σχίσιμο μεταλλικών σωλήνων, άλεση τσιμεντένιων σωλήνων)
3. Εγκαταστάσεις Νέων Δικτύων Αγωγών (με μεθόδους υπόγειας διάνοιξης: οριζόντιων κατευθυνόμενων διατρήσεων, Pipejacking (PJ), Microtunneling (MT), Auger Boring (AB) κλπ)

Στη συνέχεια θα αναφερθούν οι μέθοδοι για την εγκατάσταση νέων αγωγών επιγραμμικά και θα αναλυθεί διεξοδικά η μέθοδος Pipejacking.

Οι μέθοδοι για την εγκατάσταση νέων αγωγών χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τις δυνατότητες κατεύθυνσης της χρησιμοποιούμενης μεθόδου εκσκαφής:

- Μέθοδοι Κατευθυνόμενης Διάτρησης
1. Horizontal Directional Drilling (HDD)

---

<sup>1</sup> [http://www.ukstt.org.uk/trenchless\\_technology/](http://www.ukstt.org.uk/trenchless_technology/)

- Μέθοδοι Μη Κατευθυνόμενης Διάτρησης
- 2. Τεχνικές Microtunneling (MT).
- 3. Τεχνικές Pipejacking (PJ).

Βέβαια με την πρόοδο της τεχνολογίας και την συσσώρευση εμπειρίας, ορισμένοι κατασκευαστές έχουν αναπτύξει συστήματα Pipejacking, Microtunneling και Auger Boring με δυνατότητα να αλλάζουν την κατεύθυνση ακολουθώντας καμπύλες πορείες με μεγάλη ακτίνα καμπυλότητα, διαγράφοντας δηλαδή μεγάλα ανοικτά τόξα. Για λόγους ευκολίας θα κρατήσουμε την παραπάνω κατηγοριοποίηση θεωρώντας ως μοναδική μέθοδο κατευθυνόμενης διάτρησης την μέθοδο (HDD) λόγω των μεγάλων δυνατοτήτων που έχει για αλλαγή της κατεύθυνσης, αλλά και για την δυνατότητα του επανακαθορισμού μιας νέας διαδρομής, αν εμφανιστούν αξεπέραστα εμπόδια στην πορεία της πρώτης, με την δυνατότητα να διαγράψει πιο βαθιά σε πιο ανοικτή πορεία και χωρίς καμιά επίπτωση από την πρώτη διάτρηση.

## 1.4 Μέθοδοι Κατευθυνόμενης διάτρησης

### 1.4.1 Horizontal Directional Drilling (HDD)

Είναι μια μέθοδος διάτρησης που περιλαμβάνεται στην κατηγορία μεθόδων υπόγειας διάνοιξης χωρίς τομές στην επιφάνεια (Trenchless) και ξεκίνησε να εφαρμόζεται στα τέλη τις δεκαετίας του 1960 με την υιοθέτηση τεχνολογιών προερχόμενων από τις τεχνικές των υδρογεωτρήσεων και την ενσωμάτωση αυτών των τεχνικών στην βιομηχανία κατασκευής δικτύων κοινής ωφέλειας. Η τεχνική HDD περιλαμβάνει την διάτρηση μιας πιλοτικής γεώτρησης κατά μήκος μιας προτεινόμενης διαδρομής με την χρήση μιας διατρητικής στήλης με κατάλληλα στελέχη διάτρησης. Η πιλοτική οπή έχει διάμετρο που συνήθως κυμαίνεται από 75 mm έως 150 mm. Η διαδικασία ολοκληρώνεται σε τρία βήματα.

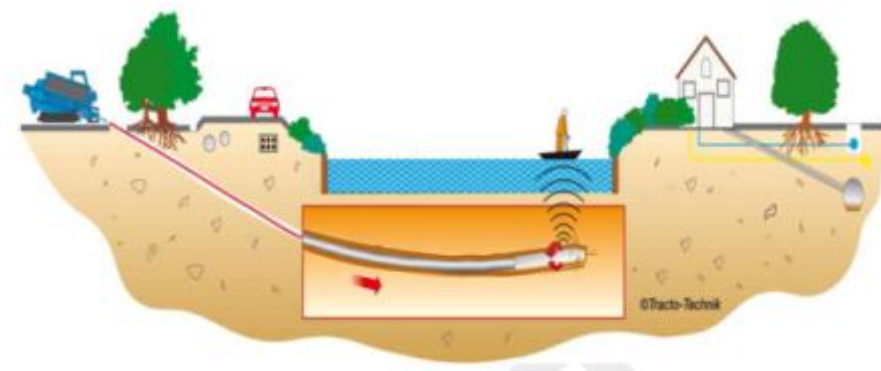
**Το πρώτο βήμα** περιλαμβάνει την διάτρηση της πιλοτικής οπής στην κεντρική γραμμή (center line) της προτεινόμενης διαδρομής.

Για την εργασία αυτής της διάτρησης χρειάζεται ο ακόλουθος εξοπλισμός: κατ' αρχήν το μηχάνημα διάτρησης που είναι εγκατεστημένο στην επιφάνεια του εδάφους, δεύτερον μια ειδική διατρητική κεφαλή εγκατεστημένη στην κορυφή της διατρητικής στήλης τρίτον τα στελέχη διάτρησης τα οποία θα αποτελέσουν τη διατρητική στήλη και τέταρτον το κατάλληλο διατρητικό υγρό.



Εικόνα 1. 2: Μηχάνημα HDD (3).

Η διάτρηση ξεκινά κατευθείαν σε μια τομή του εδάφους όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. 2 στην κορυφή της διατρητικής στήλης τοποθετείται ειδική διατρητική κεφαλή με ενσωματωμένο μηχανισμό αλλαγής κατεύθυνσης. Ανάλογα της περιστροφής της διατρητικής στήλης και της ώθησης που δέχεται η στήλη επιτυγχάνεται ο έλεγχος της πορείας ή η αλλαγή της πορείας της προς ορισμένη κατεύθυνση. Για την παρακολούθηση της θέσης της κεφαλής ως προς το βάθος ή την ευθυγραμμία της διάτρησης τοποθετείται πίσω από την κεφαλή ένας πομπός ραδιοκυμάτων, Εικόνα 1. 5, που μεταδίδει συνεχώς σήματα, και σε όλη την διάρκεια της διάτρησης. Στην Εικόνα 1. 3 δίνεται μια σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας διάτρησης κάτω από ένα δίαυλο ναυσιπλοΐας και την καθοδήγηση αυτής προς την απέναντι πλευρά.

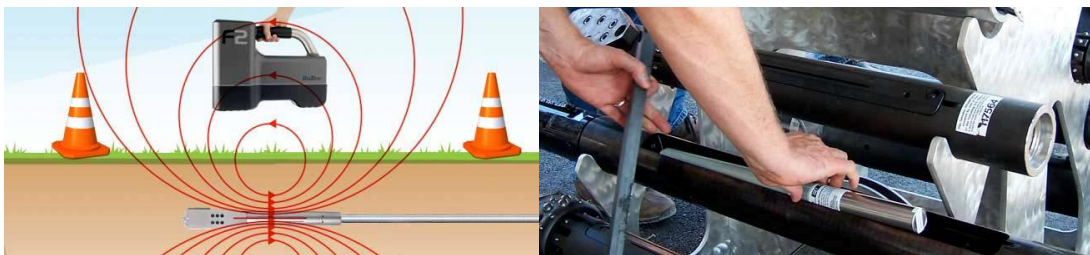


Εικόνα 1. 3: Σχηματική αναπαράσταση διάτρησης με τη μέθοδο HDD και η καθοδήγηση αυτής (3).

Τα προϊόντα της εκσκαφής από την διαδικασία διάτρησης απομακρύνονται από την γεώτρηση μέσω ενός πολφού, που ονομάζεται και διατρητικό υγρό, και αποτελείται από μπεντονίτη και νερό, μερικές φορές όμως στο υδαρές αυτό διάλυμα προστίθεται και πολυμερές για να βελτιωθεί η ικανότητας του πολφού να κρατά

ανοικτή την οπή της διάτρησης. Ο πολφός χρησιμοποιείται στη εργασία της γεώτρησης για τους ακόλουθους ουσιαστικούς λόγους: κατ' αρχήν μεταφέρει τα προϊόντα εκσκαφής από την κοπτική κεφαλή έξω από την γεώτρησης, δεύτερον λειτουργεί ως λιπαντικό για τη διατρητική στήλη μειώνοντας τις τριβές αυτής με τα τοιχώματα της γεώτρησης, τρίτων ενεργεί ως μέσο ψύξης της κοπτικής κεφαλής και τέταρτον αποτελεί τον παράγοντα σταθεροποίησης των τοιχωμάτων της διάτρησης. Γύρω από την θέση έναρξης της διάτρησης εκσκάπτεται μια τάφρος για να συγκεντρώσει το υγρό της διάτρησης που εξέρχεται από την οπή, είτε για να καθαριστεί αυτό από τα τεμάχια του εδάφους που μεταφέρει για να χρησιμοποιηθεί και πάλι στη συνέχεια είτε για να συγκεντρωθεί και να απορριφθεί με κατάλληλη διαδικασία.

Η θέση της διατρητικής κεφαλής ελέγχεται από ένα σύστημα καταγραφής το οποίο λαμβάνει σήματα από έναν πομπό εγκατεστημένο στην κεφαλή της διάτρησης. Τα πιο κοινά συστήματα καθοδήγησης είναι τα λεγόμενα 'Walkover', στα οποία ένας δέκτης ραδιοκυμάτων κινείται στην επιφάνεια του εδάφους κατά μήκος της προδιαγεγραμμένης διαδρομής και λαμβάνει τα ραδιοσήματα που εκπέμπει ο πομπός της κεφαλής της διατρητικής στήλης όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. 4. Μέσω της επεξεργασίας αυτών των σημάτων αποτυπώνεται η θέση, ο προσανατολισμός, η θερμοκρασία και η κατάσταση της μπαταρίας του πομπού τη δεδομένη στιγμή. Ο δέκτης μπορεί να λαμβάνει το σήμα από την διατρητική κεφαλή από βάθος έως και 40m με την προϋπόθεση αυτός να βρίσκεται ακριβώς επάνω από την διάτρηση.



Εικόνα 1. 4: Σχηματική παράσταση συστήματος καθοδήγησης τύπου Walkover.

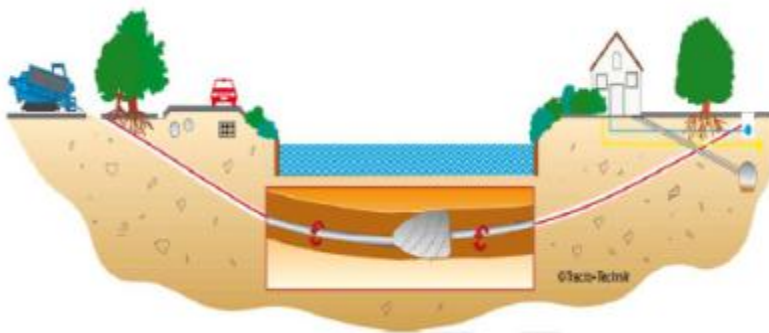
Εικόνα 1. 5: Εγκατάσταση πομπού ραδιοκυμάτων στην κεφαλή της διατρητικής στήλης.

Για να ξεπεραστούν οι δυσκολίες που αφορούν την ακριβή παρακολούθηση της διαδρομής αλλά και για να ξεπεραστεί το πρόβλημα του βάθους έχουν αναπτυχθεί τα λεγόμενα 'Hard Wire' ή 'Wire Line' συστήματα καθοδήγησης. Σε αυτά ένα καλώδιο διατρέχει κάθε στέλεχος της στήλης και μεταδίδει τα δεδομένα από τον καταγραφέα που υπάρχει στην κοπτική κεφαλή προς τη κονσόλα ελέγχου. Αυτό το σύστημα ξεπερνά τον περιορισμό του βάθους και παρέχει υψηλότερο βαθμό αξιοπιστίας καθώς μπορεί να λειτουργεί σε κάθε περιβάλλον καθώς παρουσιάζει μεγάλη ανθεκτικότητα στα χτυπήματα και τους κραδασμούς. Μειονέκτημα του συστήματος αποτελεί το υψηλό αρχικό κόστος κεφαλαίου και η μειωμένη παραγωγικότητα λόγω χρονοβόρας διαδικασίας αλλαγής στελέχους και της εμπλοκής του σύρματος στα σπειρώματα των στελεχών διάτρησης.

**Το δεύτερο βήμα** ξεκινά μετά την ολοκλήρωση της πιλοτικής διάτρησης. Περιλαμβάνει την διεύρυνσή της οπής με κατάλληλο διευρυντήρα που τοποθετείται στο άκρο της διατρητικής στήλης όπου είναι τοποθετημένη η κοπτική κεφαλή, όταν αυτή εξέλθει στη επιφάνεια του εδάφους ή μέσα στη τάφρο εξόδου. Ο διευρυντήρας έλκεται πίσω μαζί με τη διατρητική στήλη στο σημείο έναρξης της διάτρησης από το γεωτρύπανο, ενώ ταυτόχρονα περιστρέφεται και διευρύνει την πιλοτική οπή που υπάρχει ήδη. Πίσω από τον διευρυντήρα είτε ακολουθούν και πάλι στελέχη διάτρησης μεγαλύτερης διαμέτρου είτε ο τελικός σωλήνας που θα αποτελέσει και των αγωγό λειτουργίας.

Γενικά ένας κανόνας που εφαρμόζεται κατά τη διεύρυνση της οπής είναι: η διάμετρος της διευρυμένης διάτρησης να είναι 1,5 φορά μεγαλύτερη από την εξωτερική διάμετρο των στελεχών της νέας διατρητικής στήλης. Αυτό επιτρέπει η επιστρεφόμενη ροή των υγρών της διάτρησης να παρασύρει τα προϊόντα εκσκαφής με μια ομαλή κίνηση στο εξωτερικό των στελεχών διάτρησης. Επίσης αυτό το κενό παρέχει στα στελέχη διάτρησης επαρκή χώρο για να καμφθούν με ασφάλεια ακολουθώντας την καμπύλη τροχιά της διάτρησης χωρίς να υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να σπάσουν στις ενώσεις τους. Η διεύρυνση της οπής μπορεί να γίνει σε περισσότερα από ένα περάσματα. Αν η διεύρυνση γίνει σε ένα πέραςμα τότε πίσω από τον διευρυντήρα προσαρμόζεται και ακολουθεί η τελική σωλήνα.

**Το τρίτο βήμα** περιλαμβάνει την εγκατάσταση του νέου σωλήνα και ονομάζεται έλκυση 'Pullback'. Ο σωλήνας προσαρμόζεται στο τέλος της διατρητικής στήλης ακριβώς πίσω από το διευρυντήρα, με ειδικό εξάρτημα ελεύθερου στροφέα (swivel), για να αποτρέψει την περιστροφή του σωλήνα λόγω της περιστροφής του διευρυντήρα, κατά τη έλκυση της διατρητικής στήλης. Ο διευρυντήρας εξασφαλίζει ότι η οπή θα παραμείνει ανοικτή κατά την έλκυση καθώς επίσης επιτρέπει και την άντληση του λιπαντικού από την οπή. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν ο νέος σωλήνας φθάσει στο γεωτρύπανο στην αρχή της



Εικόνα 1. 6: Γραφική αναπαράσταση διαδικασίας διεύρυνσης και έλκυση (3).

διάτρησης όπου και αποσυνδέονται όλα τα εξαρτήματα και τα στελέχη που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία της διάτρησης.

Ο κύριος παράγοντας μελέτης στα έργα HDD είναι ο υπολογισμός της σωστής πίεσης, της σωστής ποιότητας και της σωστής ποσότητας του πολφού που θα χρησιμοποιηθεί στη διάτρηση. Υπάρχει ένα πλήθος από ενδεχόμενους κινδύνους που μπορούν να προκαλέσουν δυσκολίες στην ολοκλήρωση ενός έργου. Τέτοιοι κίνδυνοι είναι η κατάρρευση της διάτρησης λόγω απώλειας του πολφού, ο ακατάλληλος πολφός, η εισροή νερού στην διάτρηση, η διόγκωση του εδάφους λόγω υψηλής πίεσης πολφού, το μικρό βάθος από την επιφάνεια ή η γρήγορη έλκυση του διευρυντήρα. Η ελαχιστοποίηση αυτών των κινδύνων μπορεί να γίνει με τη χρήση ενός αποτελεσματικού σχεδίου διάτρησης και ενός πλάνου χρήσης των υγρών της διάτρησης.

Τα εδάφη στα οποία εφαρμόζεται με επιτυχία η μέθοδος είναι κυρίως ομοιογενή μαλακά εδάφη όπως ιλύς, άμμοι, οι ομοιογενείς άργιλοι αλλά και συμπαγείς σχηματισμοί βράχων. Η μέθοδος δεν αποδίδει καλά σε περιοχές με εδάφη χαλικώδη με εναλλαγές, ή σε εδάφη με ογκόλιθους ή κροκάλες και σε μη συνεχή στρώματα βράχου. Οι εναλλασσόμενοι εδαφικοί σχηματισμοί στα μικτά εδάφη προκαλούν δυσκολίες στον έλεγχο της κατεύθυνσης (πχ. αμμώδη εδάφη ή τα στρώματα ασβεστόλιθου). Επίσης η πιθανότητα της απώλειας των υγρών της διάτρησης στα κενά ή στις εναλλαγές των στρωμάτων σε μικτά εδάφη να είναι πολύ υψηλή με συνέπεια τα μεγάλα προβλήματα κατά τη διάτρηση, έτσι σε αυτά τα εδάφη αυξάνεται πάρα πολύ η διάρκεια της διάτρησης και κατ' επέκταση το κόστος των εργασιών. Σε περίπτωση που εμφανιστούν αξεπέραστα εμπόδια στην πορεία της διάτρησης, υπάρχει η δυνατότητα η κεφαλή διάτρησης να τραβηχτεί πίσω στην αρχή και η πορεία να σχεδιασθεί και πάλι σε μια βαθύτερη πορεία ώστε να ξεπερασθεί το εμπόδιο.



Εικόνα 1. 7: Διάτρηση HDD κάτω από διάυλο ναυσιπλοΐας (3)

Το πεδίο εφαρμογής της μεθόδου HDD είναι κυρίως η εγκατάσταση συνεχόμενων γραμμών σωλήνων υπό πίεση και σωληνώσεων προστασίας αγωγών με μέγιστη διάμετρο σωλήνα το 1,2m. Το μήκος που μπορεί να επιτύχει αυτή η μέθοδος είναι αρκετά μεγάλο. Στην Εικόνα 1. 7 φαίνεται ένα πέρασμα με τη μέθοδο HDD κάτω από έναν διάυλο ναυσιπλοΐας μήκους διάτρησης 477m που έγινε στην Γερμανία.



## 1.5 Μέθοδοι Μη Κατευθυνόμενης Διάτρησης

Οι μέθοδοι που παρουσιάζονται πιο κάτω ονομάζονται μη κατευθυνόμενες γιατί η πορεία της διάνοιξης που ακολουθούν είναι σχεδόν σε ευθεία γραμμή. Στο κατακόρυφο επίπεδο ο πυθμένας του αγωγού πρέπει να είναι σε ευθεία με συγκεκριμένη κλίση που ενώνει τα δύο σημεία αρχής και τέλους της σήραγγας. Στο οριζόντιο επίπεδο συνήθως είναι και πάλι σε ευθεία γραμμή αλλά υπάρχει η δυνατότητα να διαγράψει και κάποια καμπύλη τροχιά με χρήση ειδικών μεθόδων οδήγησης.

Ο όρος **Pipejacking**, ώθηση σωλήνα, προέρχεται από την τεχνική που χρησιμοποιείται για την κατασκευή της επένδυσης της σήραγγας με την ώθηση των σωλήνων που την αποτελούν. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε μεγάλες διαμέτρους αλλά μπορεί να εφαρμοσθεί και σε μικρές. Οι διατρήσεις με εσωτερική διάμετρο πάνω 1200mm, ανεξάρτητα αν υπάρχει προσωπικό εντός της σήραγγας ή όχι, κατασκευάζονται μόνο με αυτή την τεχνική για το λόγο αυτό και ονομάζονται γενικά **Pipejacking**.

Ο όρος **Microtunneling** αφορά σήραγγες μικρής διαμέτρου, άρα όλες τις σήραγγες κάτω από μια διάμετρο. Για να υπάρχει παρανόηση ως Microtunneling θα ονομάζονται οι σήραγγες που εκτελούνται με τηλεκατευθυνόμενα μηχανήματα χωρίς την ανάγκη ύπαρξης προσωπικού μέσα στην σήραγγα.

### 1.5.1 Τεχνικές Microtunneling (MT).

Η διάνοιξη σηράγγων με τις τεχνικές Microtunneling είναι ένα υποσύνολο των τεχνικών που περιγράφονται από τον όρο Pipejacking και θα αναλυθούν πιο κάτω. Τα κύρια χαρακτηριστικά που συνθέτουν την τεχνική Microtunneling (MT) είναι τα ακόλουθα:

1. Η εκσκαφή είναι πλήρως μηχανοποιημένη και γίνεται με μηχάνημα miniTBM
2. Παρέχεται άμεση και ισχυρή υποστήριξη της εκσκαφής.
3. Η υποστήριξη της εκσκαφής είναι οι ωθούμενοι σωλήνες (Pipejacking) από το φρεάτιο εισόδου που ακολουθούν το μηχάνημα εκσκαφής.
4. Το μηχάνημα είναι τηλεχειριζόμενο και καθοδηγούμενο από την επιφάνεια.
5. Δεν υπάρχουν εργαζόμενοι στο υπόγειο τμήμα του έργου.
6. Η διάνοιξη γίνεται μεταξύ δύο φρεατίων.
7. Η εσωτερική διάμετρο του αγωγού είναι μικρότερη από 1,0 m. Στην Ελλάδα η μικρότερη εσωτερική διάμετρο αγωγού στην οποία εργάζονται άνθρωποι εντός αυτού είναι 1200mm, επομένως αυτή η διάμετρο μπορεί να αποτελέσει το άνω όριο των Microtunneling.

Δύο είναι τα κυρίαρχα συστήματα για την απομάκρυνση των προϊόντων εκσκαφής για τη μέθοδο Microtunneling, 1) με σύστημα ατέρμονα κοχλία (Auger), 2) με υδραυλικής μεταφορά με σύστημα ανακυκλώσιμου πολφού (Slurry). Υπάρχουν αναφορές για ανάπτυξη και ενός τρίτου συστήματος μεταφοράς των προϊόντων

εκσκαφής από το μέτωπο, την μεταφορά με υποπίεση (vacuum extraction) για συγκεκριμένα εδάφη και όχι για μαλακά εδάφη κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα.

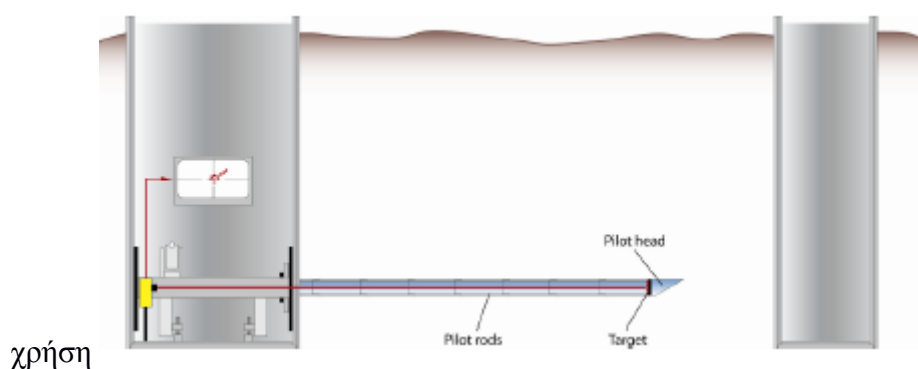
Έτσι προκύπτουν οι εξής τρεις κύριες μέθοδοι εργασίας για την κατασκευή Microtunneling αναλόγως των εδαφικών συνθηκών οι οποίοι θα αναφερθούν συνοπτικά πιο κάτω, αυτοί είναι Α) συστήματα με πιλοτικό σωλήνα PTMT, (Pilot Tube micro-Tunneling), Β) με ατέρμονα κοχλία (Auger) και Γ) με μηχανήμα πίεσης πολφού (slurry).

#### 1.5.1.1 Μέθοδο με πιλοτικό σωλήνα PTMT (Pilot Tube micro-Tunneling).

Μέθοδο των τριών Βημάτων, κατασκευής μικροσήραγγας (Microtunneling).

**Στο πρώτο βήμα**, παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 1. 8, πραγματοποιείται μια πιλοτική διάτρηση που συνδέει τα δύο φρεάτια, το ένα ονομάζεται φρεάτιο εργασίας και το άλλο φρεάτιο άφιξης. Η πιλοτική διάτρηση γίνεται με την ώθηση και περιστροφή μέσα στο έδαφος, των στελεχών της διατρητικής στήλης όπως δείχνει η Εικόνα 1. 9.

Η ειδική κεφαλή διάτρησης όπως φαίνεται στην, Εικόνα 1. 12, είναι όμοια με την κεφαλή που χρησιμοποιείται στη τεχνική των οριζόντιων κατευθυνόμενων διατρήσεων HDD.



Εικόνα 1. 8: 1<sup>ο</sup> βήμα. Πιλοτική διάτρηση (4)

Στην κεφαλή αυτή υπάρχει ένα ειδικά διαμορφωμένο παπουτσάκι Εικόνα 1. 12 με κλίση περίπου 45° για να μεταφέρει την συνισταμένη δύναμη από και προς το έδαφος. Όταν η στήλη περιστρέφεται, η διάτρηση πηγαίνει ευθεία, αν ωθηθεί η κεφαλή στο έδαφος χωρίς να περιστρέφεται το ειδικό εξάρτημα της κοπτικής κεφαλής ωθεί την στήλη κάθετα στην κεκλιμένη επιφάνεια του εξαρτήματος της κεφαλής και κάνει δυνατή την αλλαγή κατεύθυνσης της κεφαλής και ως εκ τούτου τη στροφή της διάτρησης. Με αυτή τη τεχνική μπορούμε να κάνουμε την διατρητική στήλη πλήρως κατευθυνόμενη. Η διατρητική στήλη χρησιμοποιείται ως ένας οδηγός τον οποίο θα ακολουθήσουν και οι σωλήνες τις τελικής επένδυσης της διάτρησης.



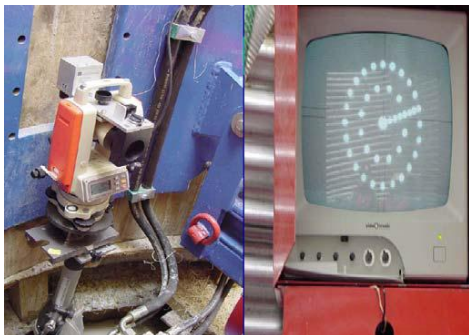
Εικόνα 1. 9: Ωθηση πιλοτικών στελεχών από το φρεάτιο εργασίας.



Εικόνα 1. 10: Άφιξη πιλοτικού στελέχους στο φρεάτιο άφιξης.

Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται σε εδάφη που μπορούν να εκτοπισθούν και δεν μπορεί να εφαρμοσθεί σε σκληρά ή πυκνά εδάφη με αριθμό **SPT>35**.

Τα πιλοτικά στελέχη καθοδηγούνται με σύστημα λέιζερ το οποίο στοχεύει σε στόχο που αποτελείται από ενεργές λυχνίες LED που βρίσκεται στην κεφαλή του στελέχους. Η αναπαράσταση της θέσης της κεφαλής του πιλότου εμφανίζεται μέσω κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης στο φρέαρ εργασίας Εικόνα 1. 11. Κάθε απόκλιση διορθώνεται με την ανάλογη περιστροφή της κεφαλής σε ορισμένη κατεύθυνση.

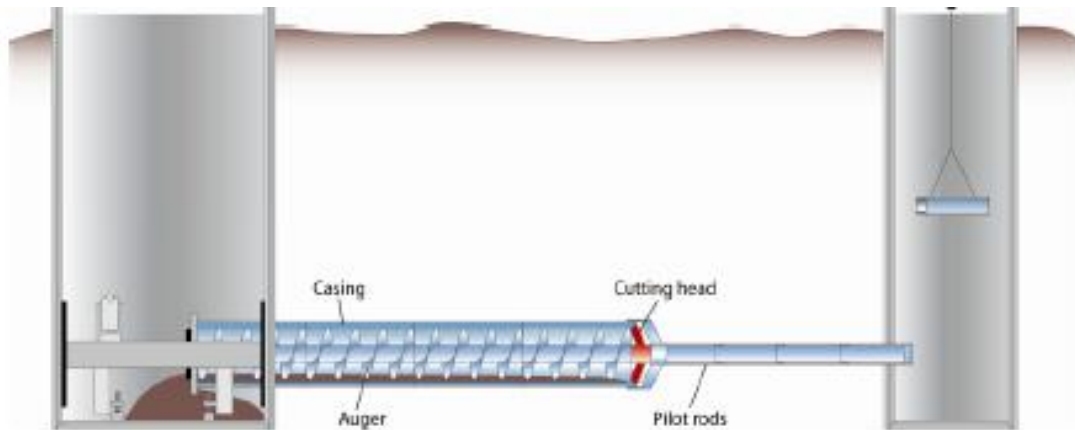


Εικόνα 1. 11: Σύστημα οπτικής, συσκευή λέιζερ και οθόνη αναπαράστασης.



Εικόνα 1. 12: Κατευθυνόμενες πιλοτικές κεφαλές

**Το δεύτερο βήμα** περιλαμβάνει την διεύρυνση της πιλοτικής διάτρησης και ξεκινά μετά την άφιξη αυτής στο φρεάτιο άφιξης σχηματικά φαίνεται στην Εικόνα 1. 13



Εικόνα 1. 13: 2ο Βήμα διεύρυνση της πιλοτικής διάτρησης

Η κατευθυνόμενη πιλοτική κεφαλή αποσυνδέεται από την διατρητική στήλη και στη θέση της στο τελευταίο διατρητικό στέλεχος στο φρέαρ εργασία, συνδέεται η κεφαλή της διεύρυνσης. Υπάρχουν δύο ειδών κεφαλές διεύρυνσης.

**1<sup>ο</sup>) Παθητική κεφαλή διεύρυνσης**, της πιλοτικής διάτρησης φαίνεται στη Εικόνα 1. 14. Η κεφαλή διεύρυνσης μέσω ισχυρών χαλύβδινων βραχιόνων συνδέει τα στελέχη της πιλοτικής διάτρησης με την σωλήνωση προστασίας (Casing Tubes) που περιέχει και τους ατέρμονες κοχλίες μεταφοράς. Μέσα από τους βραχίονες υπάρχει ένα κοπτικό εργαλείο που αναμοχλεύει και χαλαρώνει το έδαφος που έρχεται σε επαφή με αυτό. Καθώς αυτό το κοπτικό έχει μικρότερη διάμετρο από το κέλυφος των σωληνώσεων και από τους βραχίονες, το έδαφος ουσιαστικά κόβεται από το κέλυφος των σωληνών και όχι από το κοπτικό. Το έδαφος αναμοχλεύεται από το κοπτικό και οδηγείται στους ατέρμονες κοχλίες που περιστρέφονται συνεχώς μέσα στη σωλήνωση και οδηγούν το έδαφος προς το φρεάτιο εργασία για την απομάκρυνσή του.



Εικόνα 1. 14: Παθητική κεφαλή διεύρυνσης (5).



Εικόνα 1. 15: Ενεργή κεφαλή διεύρυνσης (5).

**2<sup>ο</sup>) Η Ενεργή κεφαλή διεύρυνσης**, της πιλοτικής διάτρησης φαίνεται στη Εικόνα 1. 15. Με την πρόοδο της τεχνολογίας των διατρητικών στελεχών διπλού τοιχώματος

και με την κατασκευή ισχυρότερων μονάδων ώθησης πιλοτικών στελεχών, οι πιλοτικές διατρήσεις έγινε δυνατό να κατασκευασθούν σε σκληρότερα και πυκνότερα εδάφη. Αυτή η εξέλιξη οδήγησε στην ανάγκη της τροποποίησης και βελτίωσης και των κεφαλών διεύρυνσης. Έτσι κατασκευάστηκε η ενεργή κεφαλή διεύρυνσης. Η κεφαλή αυτή συνδέεται με τα στελέχη της πιλοτικής διατρητικής στήλης μέσω ενός ελεύθερου στροφέα (Swivel), ώστε να μην περιστρέφονται τα στελέχη με την περιστροφή της κοπτικής κεφαλής. Η κοπτική κεφαλή περιστρέφεται και εκσκάπτει το έδαφος πλήρως, σε όλη την διάμετρο του σωλήνα συν μια μικρή υπερκοπή. Οδηγεί δε το έδαφος στον ατέρμονα κοχλία για να το μεταφέρει αυτός στο φρεάτιο εργασίας.

Η σωλήνωση μαζί με τους κοχλίες ωθούνται προς τα εμπρός με ταυτόχρονη περιστροφή, τόσο του κοχλία όσο και της κεφαλής κοπής ενώ την ίδια στιγμή τα πιλοτικά στελέχη εξωθούνται από το φρεάτιο άφιξης, όπου και αποσυνδέονται από την στήλη ένα και απομακρύνονται από το φρεάτιο προς την επιφάνεια του εδάφους.

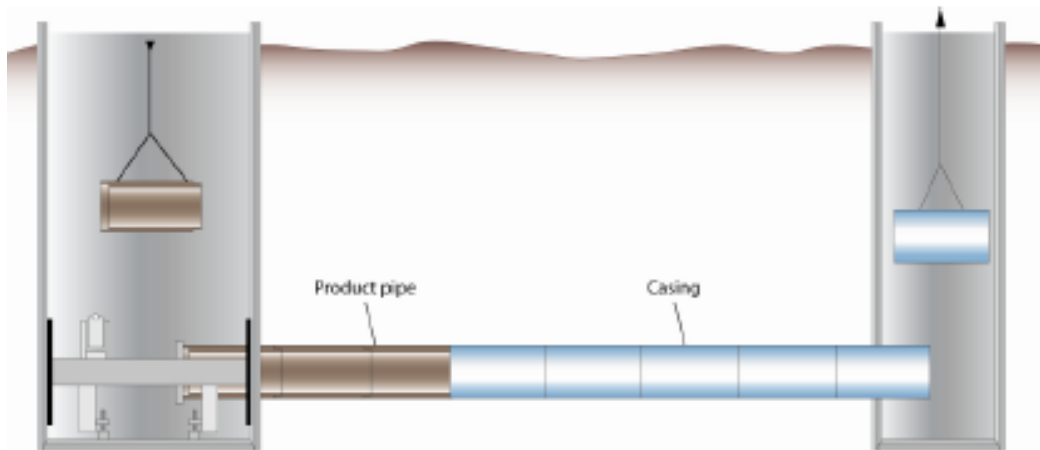


*Εικόνα 1. 16: Τοποθέτηση σωλήνωσης (Casing) και Auger κατά τη διεύρυνση της πιλοτικής διάτρησης.*



*Εικόνα 1. 17: Σωλήνας τελικής επένδυσης με σωλήνωση (Casing) και κοχλία στο εσωτερικό του.*

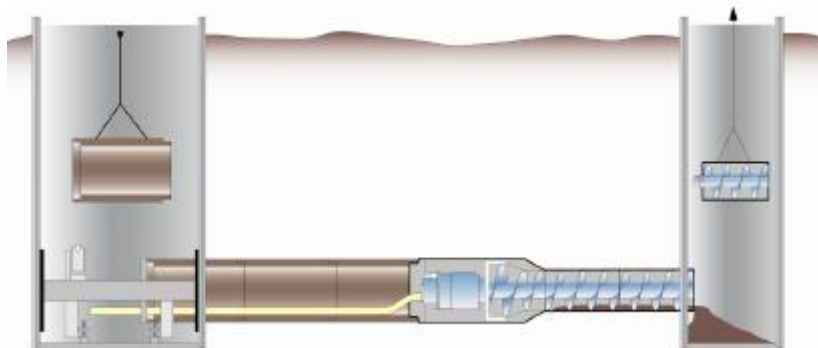
**Το τρίτο βήμα** περιλαμβάνει την αντικατάσταση των σωλήνων Casing από τους σωλήνες της τελικής επένδυσης (Product pipe). Οι σωλήνες Casing με τους κοχλίες εξωθούνται προς το φρεάτιο άφιξης από όπου απομακρύνονται προς την επιφάνεια (Εικόνα 1. 18).



Εικόνα 1. 18: 3<sup>ο</sup> Βήμα. Τοποθέτηση της τελικής επένδυσης με αντικατάσταση της σωλήνωσης (Casing) με τα Auger (5)

Γενικά οι προστατευτικοί σωλήνες Casing και οι σωλήνες της τελικής επένδυσης της σήραγγας έχουν περίπου την ίδια διάμετρο. Έτσι για να κατασκευασθούν διάφορες διαμέτρους αγωγών πρέπει να υπάρχουν και οι κατάλληλες σωληνώσεις με τους κοχλίες που ταιριάζουν. Για να αρθεί αυτός ο περιορισμός και να υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής διαφόρων διαμέτρων αγωγού με μόνο μια ομάδα σωλήνων Casing έχει εφαρμοσθεί μια παραλλαγή της παραπάνω μεθόδου.

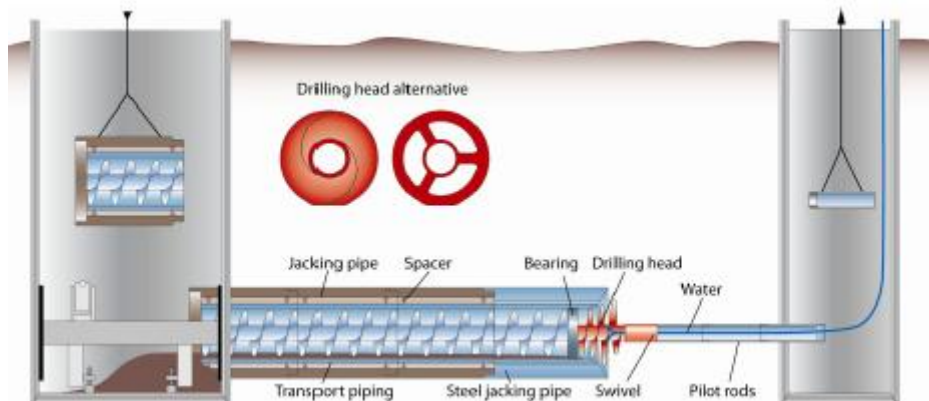
- **1<sup>η</sup> παραλλαγή της μεθόδου:** Σε αυτή την παραλλαγή τα πρώτα δύο βήματα της μεθόδου εφαρμόζονται χωρίς αλλαγές, με την ολοκλήρωση της σωλήνωσης Casing του 2<sup>ου</sup> βήματος, προσαρμόζεται στον τελευταίο απ' αυτούς στο φρέαρ εργασίας ένας ειδικός διευρυντήρας με υδραυλικό μοτέρ στο όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. 19 με παθητική κεφαλή διεύρυνσης στο εσωτερικό του.



Εικόνα 1. 19: 1<sup>η</sup> τροποποίηση του 3<sup>ου</sup> βήματος εκσκαφής.

Αυτό το μοτέρ περιστρέφει την κοπτική στεφάνη που διευρύνει την διάτρηση στη διάσταση των σωλήνων επένδυσης που ακολουθούν πίσω από το διευρυντήρα. Η κοχλίες τώρα περιστρέφονται προς την αντίθεση φορά και οδηγούν τα προϊόντα εκσκαφής προς το φρεάτιο άφιξης.

- **2<sup>η</sup> παραλλαγή της μεθόδου:** Μια δεύτερη τροποποίηση της μεθόδου είναι η τοποθέτηση, μετά το πρώτο βήμα και την ολοκλήρωση της πιλοτικής διάτρησης, στο τελευταίο διατρητικό στέλεχος ενός ειδικού στροφέας και πίσω απ' αυτόν μιας ενεργής κεφαλής διεύρυνσης (Εικόνα 1. 20) με εξωτερική διάμετρο όμοια με των σωλήνων τελικής επένδυσης. Μέσα στους σωλήνες επένδυσης είναι κεντραρισμένες οι σωλήνες Casing που περιέχουν τους κοχλίες μεταφοράς (Εικόνα 1. 17) των προϊόντων εκσκαφής στο φρέαρ εργασίας. Το μοτέρ της κοπτικής κεφαλής παίρνει κίνηση μέσα από τα πιλοτικά στελέχη.

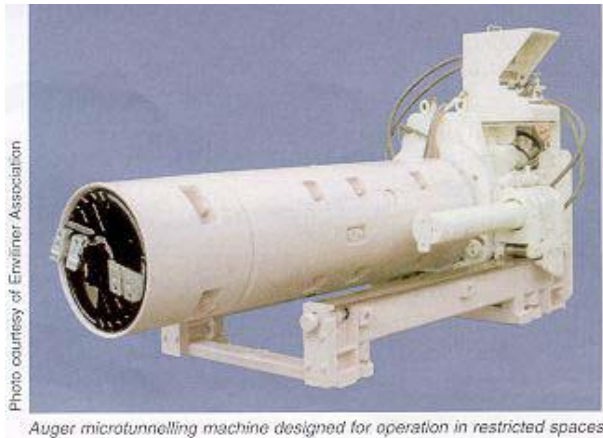


Εικόνα 1. 20: 2<sup>η</sup> τροποποίηση, μετά την πιλοτική διάτρηση η τοποθέτηση των σωλήνων με τους σωλήνες casing εσωτερικά τοποθετημένους.

Οι τεχνικές αυτές εφαρμόζονται σε μαλακά εδάφη που επιδέχονται εκτόπιση επομένως έχουν χαμηλό δείκτη **SPT<35** και δεν έχουν υψηλά υδραυλικά φορτία 3-4m.

#### 1.5.1.2 Διατρήσεις MT με ατέρμονα κοχλία

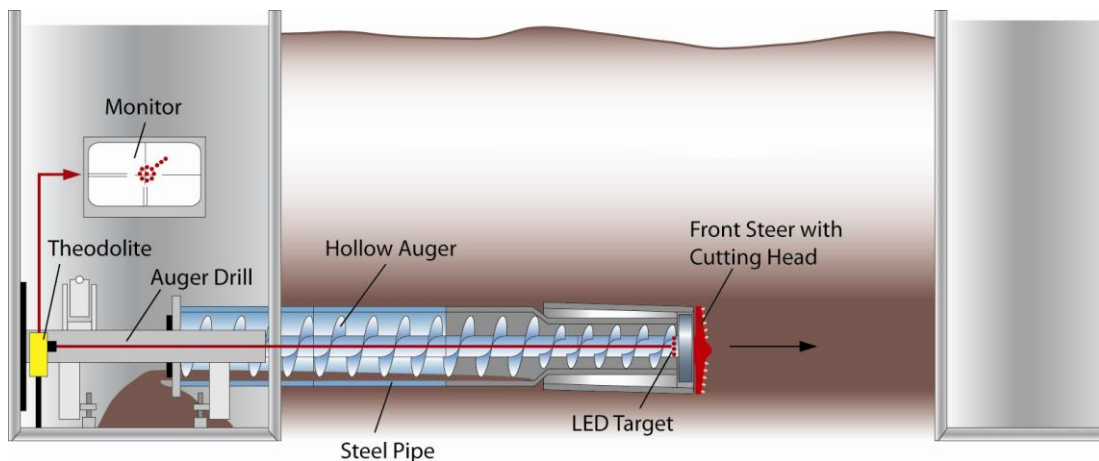
Η συμβατική τεχνική διάνοιξης MT με ατέρμονα κοχλία (Auger) είναι η πιο απλοϊκή μέθοδο εκσκαφής και περιλαμβάνει μια συστοιχία κοχλιών Auger μέσα σε μια μεταλλική σωλήνα που θα αποτελέσει και την επένδυση της διάτρησης. Στο εμπρός μέρος της συστοιχίας των κοχλιών προσαρμόζεται μια κοπτική κεφαλή για την εκσκαφή στο μέτωπο. Η διάμετρος των κοχλιών και της κεφαλής είναι τέτοια ώστε να μπορούν να περνούν μέσα από το εσωτερικό του σωλήνα επένδυσης, και να αποσύρονται αν αυτό απαιτείται. Η κεφαλή είναι έτσι φτιαγμένη ώστε όταν περιστραφεί δεξιόστροφα αναπτύσσει πλευρικά κοπτικά πτερύγια τα οποία διευρύνουν την εκσκαφή σε διάμετρο λίγο μεγαλύτερη από την εξωτερική διάμετρο του σωλήνα.



Εικόνα 1. 21: Μηχάνημα MT με ατέρμονα κοχλία πάνω στο πλαίσιο ώθησης, σχεδιασμένο να λειτουργεί σε πολύ περιορισμένους χώρους (6).

Οι κοχλίες μαζί με το σωλήνα ωθούνται από το μηχάνημα που είναι τοποθετημένο πάνω σε πλαίσιο στο φρεάτιο εργασίας (Εικόνα 1. 21). Οι κοχλίες που περιστρέφονται δεξιόστροφα εντός των σωλήνων μεταφέρουν τα προϊόντα εκσκαφής σε κάδο που βρίσκεται πίσω στο φρεάτιο και συνήθως είναι τοποθετημένος κάτω από το πλαίσιο ώθησης.

Η τεχνική με ατέρμονα κοχλία δεν μπορεί να ελέγξει την πίεση στο μέτωπο, οπότε δεν είναι κατάλληλη για σκληρά εδάφη καθώς επίσης και για εδάφη με υψηλές στάθμες υδροφόρου ορίζοντα, τα χονδρόκοκκα χαλικώδη εδάφη δε προκαλούν πολλά προβλήματα στη μεταφορά τους με κοχλίες. Επομένως η τεχνική ενδείκνυται κυρίως για ομοιογενή εδάφη χωρίς μεγάλα υδραυλικά φορτία νερού (ύψους νερού < 3,0m) και για μικρό μήκος διάτρησης και σε διαμέτρους από 250mm έως 1000mm. Χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση μεταλλικών σωλήνων που συγκολλούνται πίσω από το σώμα του μηχανήματος.

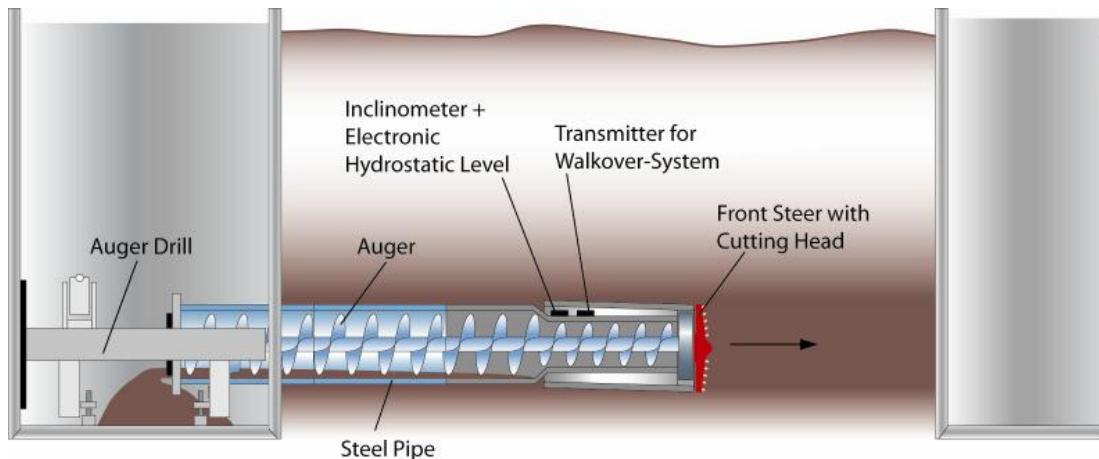


Εικόνα 1. 22: Σχηματική αναπαράσταση συστήματος MT με ατέρμονα κοχλία και σύστημα κατεύθυνσης Front steer (5) και ελέγχου με οπτική οδήγηση (4).

Οι σύγχρονες εξελίξεις στο τομέα αυτών των μηχανημάτων εκσκαφής αποτελεί η ανάπτυξη των δυνατοτήτων κατεύθυνσης και καθοδήγησης αυτών με μια τεχνική που ονομάζεται Front Steer (5). Τα μηχανήματα αυτά μπορεί να διαθέτουν είτε οπτική καθοδήγηση με λέιζερ (Εικόνα 1. 22) ακολουθώντας ευθεία την γραμμή,



είτε με έλεγχο της κατεύθυνσης μέσω του συστήματος Walkover (Εικόνα 1. 23) όμοιο με τις κατευθυνόμενες διατρήσεις HDD. Η ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας έχει επεκτείνει τις δυνατότητες της συμβατικής μεθόδου και κάνει δυνατές τις εφαρμογές σε πολύ πυκνά στρώματα με SPT>35 ακόμα και σε μαλακούς βράχους με αντοχή έως και  $\leq 10\text{MPa}$ . Η μικρότερη έκδοση συστήματος Front Steer μπορεί να είναι με εξωτερική διάμετρο OD 419mm και εσωτερική διάμετρο σωλήνα που μπορεί να ωθηθεί είναι ID 300mm και μέγιστο μήκος εκσκαφής έως 80 m.



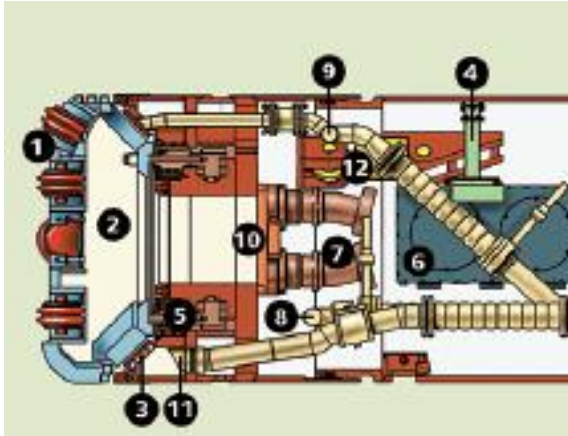
Εικόνα 1. 23: Σχηματική αναπαράσταση συστήματος MT με ατέρμονα κοχλία και σύστημα κατεύθυνσης Front steer και έλεγχο με σύστημα Walkover (4)

### 1.5.1.3 Διατρήσεις MT με μηχανήμα πίεσης πολφού (Slurry).

Σε δύσκολες εδαφικές συνθήκες και σε εδάφη με υψηλά φορτία νερού, δεν μπορούν να εφαρμοσθούν οι τεχνικές που αναφέρθηκαν έως τώρα. Σε αυτές τις συνθήκες συνήθως χρησιμοποιούνται μηχανήματα πίεσης πολφού Slurry. Τα συστήματα πολφού χρησιμοποιούν ένα αιώρημα μπεντονίτη με νερό ή ένα ειδικά σχεδιασμένο τεχνητό πολυμερές με νερό (ή έναν συνδυασμός και των δύο) που παρασκευάζεται, ωριμάζει και αποθηκεύεται στην επιφάνεια σε στεγανές δεξαμενές. Ο πολφός επιτελεί δύο σημαντικούς ρόλους α) προσφέρει την απαραίτητη υποστήριξη στο μέτωπο, και β) είναι το μέσο μεταφοράς των προϊόντων εκσκαφής. Αυτό το αιώρημα αντλείται έως τον κοπτικό θάλαμο δια μέσω συστήματος σωλήνων που είναι εγκαταστημένες μέσα στους σωλήνες της μικροσήραγγας. Συνήθως, ο πολφός είναι υπό πίεση μέχρι της απαιτούμενης κάθε φορά πίεσης για να προσφέρει την απαραίτητη υποστήριξη στο μέτωπο της εκσκαφής. Στο θάλαμο κοπής ο πολφός αναμιγνύεται με το εκσκαφέν έδαφος και δημιουργεί ένα παχύρευστο μείγμα που μεταφέρει όλα τα προϊόντα εκσκαφής. Αυτό το μείγμα περνά μέσα από τον ενσωματωμένο θραυστήρα για κροκάλες, η έκκεντρη περιστροφική κίνηση του τύμπανου του θραυστήρα εξασφαλίζει ότι κανένα εδαφικό τεμάχιο μεγαλύτερο από το μέγιστο μέγεθος που μπορεί να μεταχειρισθεί το σύστημα του πολφού δεν θα εισέλθει στη γραμμή των επιστρεφόμενων του συστήματος.

Το μείγμα αντλείται στην επιφάνεια όπου τα τεμάχια του εδάφους

αφαιρούνται από το αιώρημα με την βαρύτητα ή με χρήση των κεντρόφυγων δυνάμεων μέσα σε δεξαμενές καθίζησης, υδροκυκλώνες, αποαμμωτές κλπ. Μερικές φορές προστίθενται χημικά κροκιδωτικά για να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του συστήματος. Στα σύγχρονα συστήματα καθαρισμού, ο πολφός σε όλα τα στάδια της διαδικασίας παρακολουθείται λεπτομερώς και προσαρμόζεται, με την προσθήκη επιπλέον χημικών, ώστε να έχει τις απαιτούμενες ιδιότητες για την υποστήριξη του μετώπου και ταυτόχρονα την εύκολη επεξεργασία από το σύστημα ανακύκλωσης.



Εικόνα 1. 24: Διάταξη των κύριων εξαρτημάτων σε Μηχάνημα MT τεχνολογίας slurry (7).

1 Κοπτική κεφαλή	6 Πίνακας ενεργοποίησης	κενού της κοπτικής κεφαλής.
2 Θάλαμος του θραυστήρα	7 Κινητήρες	10 Ανθρωποθυρίδα.
3 Θραυστήρας	8 Ακροφύσια πλήρωσης του	11 Θέση αναρρόφησης.
4 Πίνακας στόχου	κενού της υπερεκσκαφής.	12 Έμβολο ελέγχου
5 Κύρια ρουλεμάν κεφαλής	9 Ακροφύσια πλήρωσης του	κατεύθυνσης.

Στην Εικόνα 1. 24 παρουσιάζεται η τομή μιας κεφαλής μηχανήματος MT με την τεχνολογία Slurry και παρουσιάζεται η διάταξη των εξαρτημάτων που την αποτελούν. Τα μηχανήματα πολφού έχουν ως βασικότερο πλεονέκτημα τη συνεχή εργασία μέχρι να ολοκληρωθεί η πλήρης ώθηση ενός προκατασκευασμένου σωλήνα. Έναντι των άλλων συμβατικών τεχνολογιών στις οποίες απαιτείται σε κάθε κύκλο εκσκαφής η ανέλκυση των προϊόντων εκσκαφής στην επιφάνεια του φρεατίου, η πλήρη ώθηση ενός προκατασκευασμένου περιέχει 6-9 κύκλους εκσκαφής. Η διαδικασία αυτή είναι περισσότερο κυκλική και έχει ως επακόλουθο τις διακοπές στην λειτουργία της κοπτικής κεφαλής μέχρι να επανέλθει ο κάδος μεταφοράς στη θέση φόρτωσης.



*Εικόνα 1. 25: Κεφαλή σχεδιασμένη για βράχο με υψηλή αντοχή (7).*

Λόγω του πλεονεκτήματος αυτού τα μηχανήματα με τεχνολογία Slurry έχουν σαφώς μεγαλύτερη απόδοση από μηχανήματα ανοικτού μετώπου. Για να εκσκαφούν διάφοροι τύποι εδάφους απαιτείται η κατάλληλη σχεδίαση της κοπτικής κεφαλής του μηχανήματος. Πιο κάτω παρουσιάζονται κοπτικές κεφαλές με διαφορετική σχεδίαση για διαφορετικούς τύπους εδάφους.

Στην Εικόνα 1. 25 παρουσιάζεται μια κεφαλή σχεδιασμένη για διάτρηση σε βράχο με υψηλή αντοχή. Σε περίπτωση που φθαρούν τα κοπτικά μπορούν να αντικατασταθούν χειρονακτικά μόνο αν η εσωτερική διάμετρος του μηχανήματος ξεπερνά 1200mm.



*Εικόνα 1. 26: Κεφαλή σχεδιασμένη για μικτές συνθήκες (7)*

Στην Εικόνα 1. 26 παρουσιάζεται μια κεφαλή σχεδιασμένη για μικτές συνθήκες. Χρησιμοποιεί λεπίδες και νύχια για συνεκτικά εδάφη καθώς επίσης και κοπτικά δίσκου για να θρυμματίζει τεμάχια ή στρώματα βράχου. Αυτό σημαίνει ότι και τα πιο δύσκολα προβλέψιμα εδάφη μπορούν να διατηρηθούν με αυτή την κεφαλή.



Εικόνα 1. 27: Κεφαλή σχεδιασμένη για μαλακά εδάφη (7)

Στην Εικόνα 1. 27 παρουσιάζεται μια κεφαλή σχεδιασμένη για πολύ μαλακά έως ρέοντα εδάφη. Τα ανοίγματα στην κεφαλή όταν ευθυγραμμισθούν απομακρύνουν την κατάλληλη ποσότητα εδάφους που ταιριάζει στην προχώρηση της σωλήνας.

### 1.5.2 Τεχνικές PipeJacking (PJ)

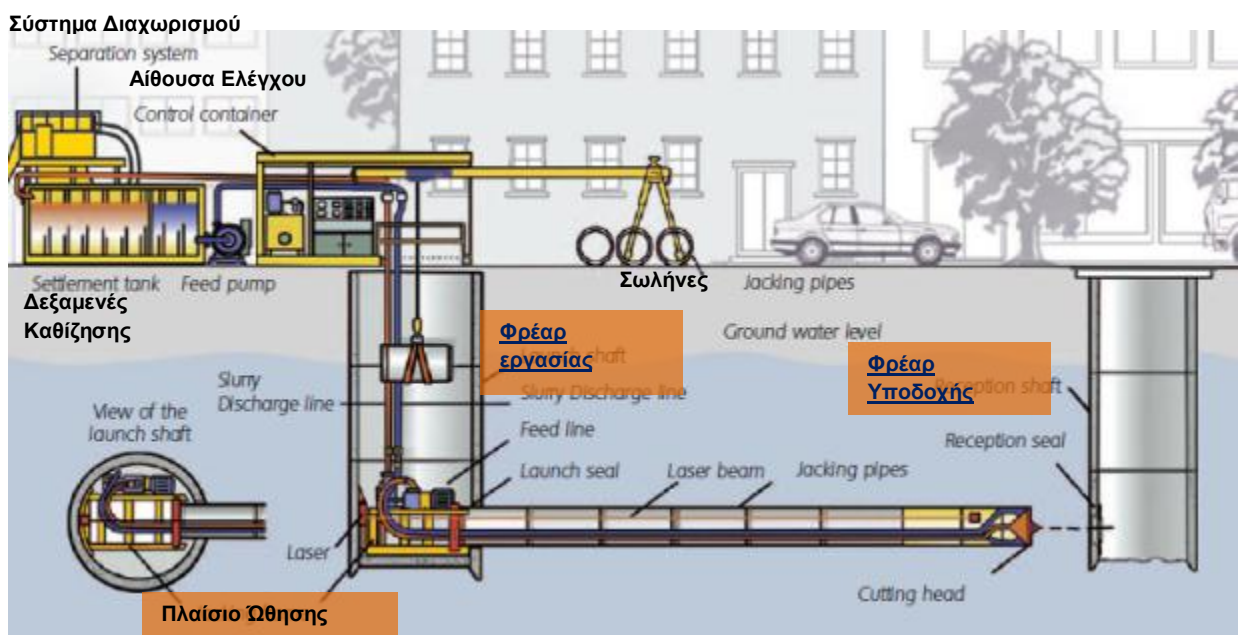
Ο όρος Pipejacking (PJ) **ωθούμενος σωλήνας** είναι η τεχνική που χρησιμοποιείται για την ώθηση και εγκατάσταση προκατασκευασμένων σωλήνων μέσα στο έδαφος που χρησιμεύει ως άμεση υποστήριξη της μικροσήραγγας αλλά είναι επίσης αποτελεί και τη τελική επένδυση της μικροσήραγγας που διανοίγεται. Οι σωλήνες εγκαθίσταται για να εξασφαλισθεί η σταθερότητα της οροφής και η ασφάλεια των εργασιών κατά την διαδικασία της κατασκευής της σήραγγας. Οι σωλήνες είναι ειδικά σχεδιασμένες ώστε να μπορούν να δεχθούν μεγάλα αξονικά φορτία καθώς ωθούνται προς τα εμπρός, από ισχυρά υδραυλικά έμβολα, όσο προχωρά η εκσκαφή στο μέτωπο της σήραγγας. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση υπόγειων αγωγών, σωλήνων αποχέτευσης ή οχετών, σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη να γίνουν τομές στην επιφάνεια του εδάφους δηλαδή με **υπόγειες μέθοδοι διάνοιξης** (Trenchless). Επομένως η μέθοδο του ωθούμενου (Pipejacking) είναι μια από τις τεχνικές τις υπόγειας διάνοιξης (Trenchless) για την κατασκευή μικροσηράγγων (Microtunneling), σε διαμέτρους από 150mm έως 3000mm.

Η μέθοδος παρέχει μια ευέλικτη, αρθρωτή, στεγανή και τελειωμένη γραμμή σωλήνων καθώς προχωρά η εκσκαφή της σήραγγας. Δεν υπάρχει θεωρητικό όριο για τον μέγιστο αριθμό, ανεξάρτητων σωλήνων που μπορούν να ωθηθούν, όμως παρ' όλα αυτά πρακτικά θέματα μηχανικής και οικονομικής φύσης μπορούν να θέσουν περιορισμούς. Περάσματα εκατοντάδων μέτρων είτε σε ευθεία γραμμή είτε σε καμπύλη είτε σε μια σειρά από καμπύλες και ευθείες έχουν ήδη κατασκευαστεί και στην Ελλάδα.

Για την εφαρμογή της μεθόδου και την εγκατάσταση δικτύου σωλήνων χρησιμοποιώντας την τεχνική ωθούμενου σωλήνα, απαιτείται η ύπαρξη ή η κατασκευή δύο φρεατίων. Το ένα φρεάτιο ονομάζεται φρεάτιο έναρξης ή εργασίας στην αρχή της διαδρομής και ένα φρεάτιο στο τέλος της διαδρομής το φρεάτιο

άφιξης. Τα φρεάτια αυτά βρίσκονται συνήθως στις θέσεις των ανθρωποθυρίδων επίσκεψης του τελικού και ολοκληρωμένου αγωγού. Οι διαστάσεις και η μέθοδος κατασκευής του φρεατίου έναρξης διαφέρει ανάλογα με τις ειδικές απαιτήσεις για κάθε πέρασμα, με τα οικονομικά δεδομένα να είναι ο παράγοντας κλειδί. Η διάμετρος του φρεατίου διαφέρει ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη μέθοδο ώθησης, όμως μπορεί να μειωθεί αν απαιτείται από ειδικές περιστάσεις.

Η ανάπτυξη του εργοταξίου γίνεται στην περιοχή του φρεατίου εργασίας. Το εργοτάξιο οργανώνεται στην επιφάνεια του εδάφους και αποτελείται από τις υποστηρικτικές εγκαταστάσεις για το μηχάνημα εκσκαφής της σήραγγας, την αποθήκη των προϊόντων εκσκαφής και την αποθήκη των τσιμεντοσωλήνων. Στην Εικόνα 1. 28 παρουσιάζεται η γενική διάταξη ενός εργοταξίου διάνοιξης μικροσήραγγας με την μέθοδο ωθούμενου σωλήνα με χρήση τηλεκατευθυνόμενου μηχανήματος τεχνολογίας slurry.



Εικόνα 1. 28: Γενική διάταξη εργοταξίου κατασκευής Pipejacking με μηχάνημα slurry.

Η οργάνωση του εργοταξίου εξαρτάται από τις ακόλουθες ανεξάρτητες λειτουργικές μονάδες που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή της μεθόδου υπόγειας διάνοιξης της σήραγγας.

- Μηχάνημα Εκσκαφής της σήραγγας.
- Σύστημα Απομάκρυνσης των προϊόντων εκσκαφής.
- Μονάδα ώθησης και τροφοδοσίας των προκατασκευασμένων σωλήνων επένδυσης της σήραγγας.

Το σύστημα απομάκρυνσης των προϊόντων εκσκαφής εξαρτάται από την τεχνολογία του μηχανήματος διάνοιξης της σήραγγας και μόνο η μονάδα ώθησης των σωλήνων είναι ανεξάρτητη από όλα τα υπόλοιπα. Στη συνέχεια θα παρουσιασθεί ξεχωριστά κάθε μια λειτουργική μονάδα μαζί με τα υποσυστήματα που απαιτεί για την λειτουργία της.

#### 1.5.2.1 Μηχανήματα Εκσκαφής

Τα μηχανήματα εκσκαφής και κατ' επέκταση η μέθοδος εκσκαφής της σήραγγας εξαρτάται από την σταθερότητα του εδάφους. Όταν είναι πιθανό να συναντηθούν ασταθείς εδαφικές συνθήκες, το μέτωπο της σήραγγας πρέπει να ελέγχεται ως προς την ευστάθειά του ώστε να αποφευχθεί η κατάπτωσή του και η απώλεια του εδάφους με την δημιουργία του φαινομένου του σιλό και θα δημιουργήσει κρατήρα στην επιφάνεια του εδάφους, κάνοντας αδύνατη την συνέχιση της διάνοιξης της σήραγγας. Επομένως από την σταθερότητα του μετώπου εξαρτάται και η επιλογή του κατάλληλου μηχανήματος εκσκαφής.

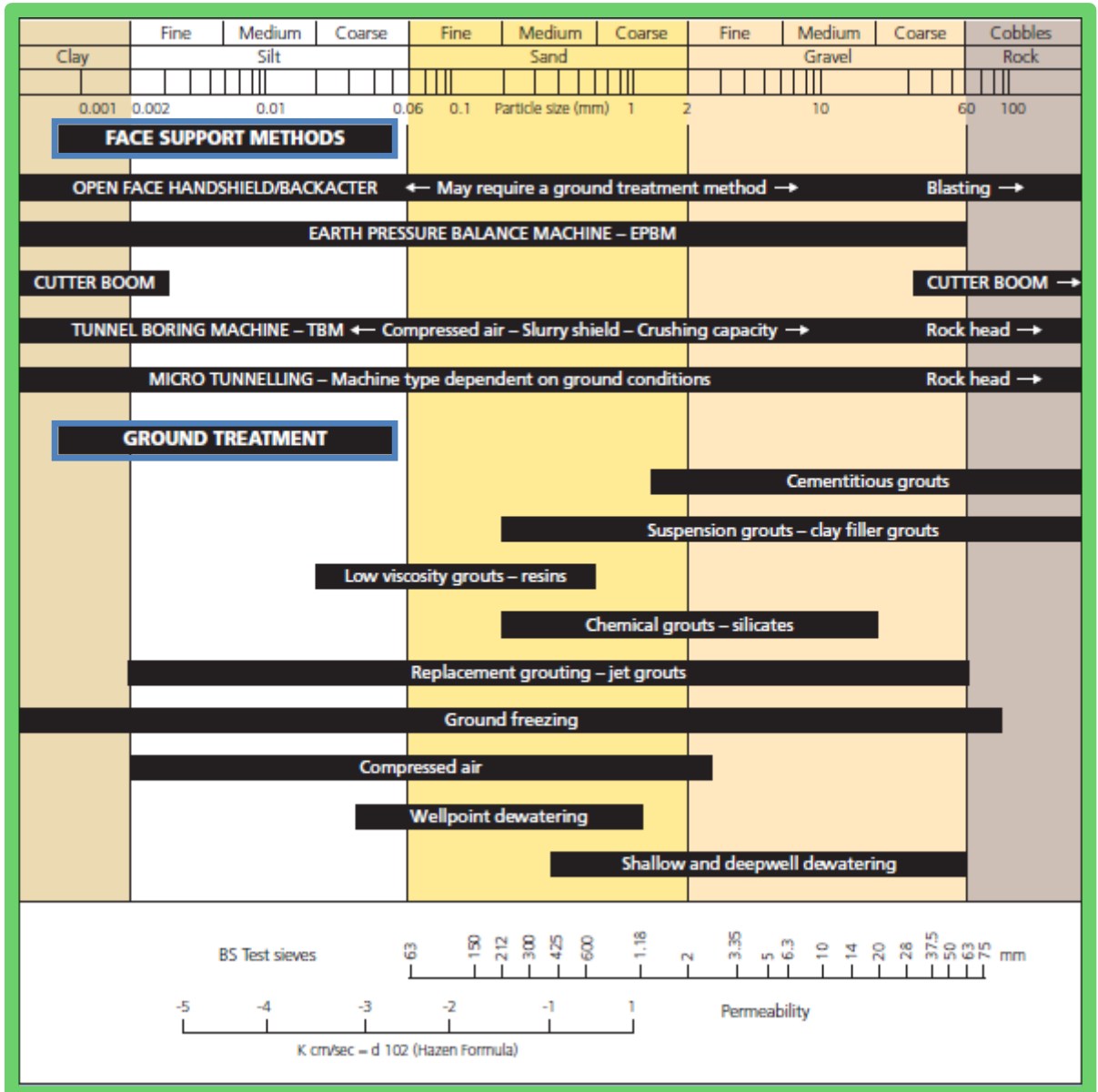
Έλεγχος στη σταθερότητα του μετώπου μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση των κατάλληλων κάθε φορά μεθόδων εκσκαφής της σήραγγας και τα ανάλογης τεχνολογίας μηχανήματα όπως με πεπιεσμένο αέρα, με πλήρη εξισορρόπηση της εδαφικής πίεσης του μετώπου, ή με μηχανήματα TBM για μαλακά εδάφη ή με μηχανήματα πολφού.

Εναλλακτικά στη μέθοδο Pipejacking (PJ) η σταθερότητα στο μέτωπο μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση τεχνικών βελτίωσης του εδάφους όπως:

- Αποστράγγιση με βαθιά φρεάτια άντλησης των υπόγειων νερών ή με σημειακή άντληση υπό κενό (well points).
- Με τσιμεντενέσεις (εισπίεση αιωρήματος νερού με τσιμέντο) ή αιώρημα νερού τσιμέντου και μπεντονίτη ή/και με χημικά πρόσθετα.
- Σε εξαιρετικές περιπτώσεις με κατάψυξη του εδάφους

Η επιλογή της διαδικασίας είναι μια συνάρτηση της φύσης του εδάφους, της περιεκτικότητας σε νερό και του μεγέθους των τεμαχίων, όπως παρουσιάζονται από τη κοκκομετρική καμπύλη. Ο παρακάτω Πίνακας 1 δίνει μια ένδειξη της εφαρμοζόμενης διαδικασίας σε διάφορες συνθήκες. Συνήθως αυτές οι μέθοδοι βελτίωσης του εδάφους εφαρμόζονται σε περιορισμένο μήκος της διαδρομής και κυρίως κατά το ξεκίνημα της εκσκαφής στο φρεάτιο έναρξης και κοντά στο φρεάτιο άφιξης στο τέλος της διάνοιξης, λόγω των αυξημένων προβλημάτων σταθερότητας του μετώπου που παρουσιάζονται σε αυτά τα σημεία της διαδρομής.

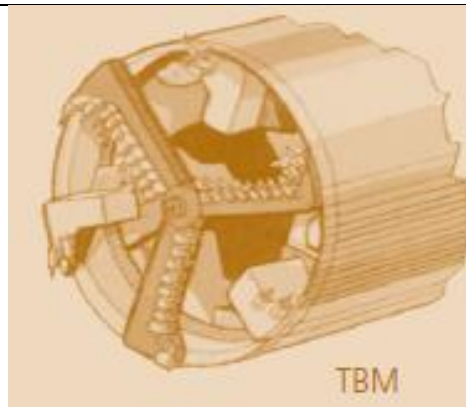
Πίνακας 1: Υποστήριξη μετώπου και μέθοδοι βελτίωσης του εδάφους σε διάφορες εδαφικές συνθήκες (8)



Πιο κάτω παρατίθενται οι διαφορετικοί τύποι μηχανημάτων TBM με τις διαφορές μεθόδους εκσκαφής. Στις περισσότερες περιπτώσεις η επιλογή της μεθόδου και κατ' επέκταση του μηχανήματος εκσκαφής βασίζεται στις απαιτήσεις για υποστήριξη του μετώπου της μικροσήραγγας.

Ορισμός

**Tunnel Boring Machine (TBM), [Μηχανήματα Διάνοιξης Σηράγγων]** – αποτελούνται από μια κυλινδρική ασπίδα (Shield) που μπορεί να είναι είτε ανοικτού μετώπου είτε κλειστού μετώπου και περιλαμβάνει είτε μια περιστρεφόμενη κοπτική κεφαλή για σκληρά εδάφη ή περιστρεφόμενες κοπτικές λεπίδες για μαλακά εδάφη. Υπάρχουν διαθέσιμοι διαφορετικοί σχεδιασμοί σε κεφαλές για να ταιριάζουν σε ευρύ φάσμα εδαφικών συνθηκών.

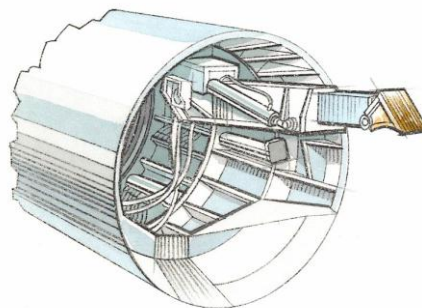


A) Μηχανήματα ανοικτού μετώπου.

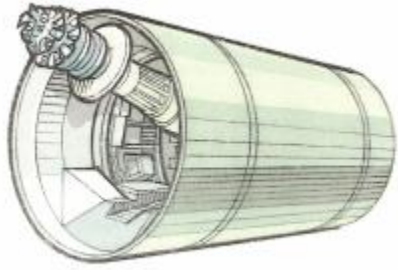
**Open Hand Shield (OHS), [Ανοικτή Ασπίδα Χειρωνακτικής εκσκαφής]** – μια ανοικτή ασπίδα μέσα στην οποία λαμβάνει χώρα χειρωνακτική εκσκαφή του μετώπου. Η είσοδο και εργασία προσωπικού επιτρέπεται μόνο για εσωτερική διάμετρο μεγαλύτερη από 1200 mm και για πολύ περιορισμένο μήκος για λόγους ασφάλειας και υγείας των εργαζομένων.



**Buckhoe Shield (BS), [Ανοικτή Ασπίδα με Μηχανικό Εκσκαφέα]** – Μια ανοικτή ασπίδα στην οποία έχει προσαρμοσθεί μια μπούμα μηχανικού εκσκαφέα με οπίσθιο κάδο με σκοπό την εκσκαφή από το εσωτερικό της ασπίδας. Στην βάση της ασπίδας υπάρχει μεταφορική ταινία για την αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής από το μέτωπο.



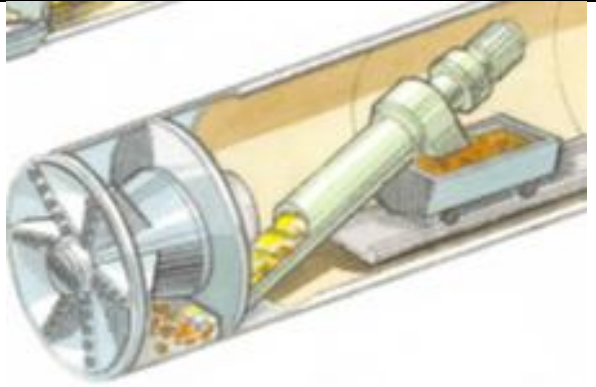


<p><b>Cutter Boom Shield (CBS), Road header,</b> [Ανοικτή Ασπίδα με μπούμα Σημειακής Κοπής] – Μια ανοικτή ασπίδα στην οποία έχει προσαρμοσθεί μια μπούμα με κοπτική κεφαλή σημειακής κοπής για την εκσκαφή. Η μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής στον κάδο μεταφοράς γίνεται και εδώ με μεταφορική ταινία που είναι τοποθετημένη στο κάτω σημείο της ασπίδας.</p>	
--	--

Πίνακας 2: TBM Ανοικτού Μετώπου.

<p>B) Μηχανήματα κλειστού μετώπου.</p>	
<p><b>Pressurized Slurry Machine (PSM),</b> [Μηχάνημα Πίεσης Πολφού] - Κλειστού μετώπου TBM με υδραυλική μεταφορά του εκσκαπτόμενο υλικό από το μέτωπο με τη μορφή υδαρούς πολφού. Υπάρχουν διαθέσιμοι διαφορετικοί σχεδιασμοί σε κεφαλές ώστε να ταιριάζουν σε ευρύ φάσμα εδαφικών συνθηκών και να μπορούν να συνεργασθούν με εσωτερικούς θραυστήρες για την αντιμετώπιση κροκάλων ή μικρών βράχων. Η πίεση του πολφού χρησιμεύει για την εξισορρόπηση της πίεσης του υπόγειου νερού και την αντιστήριξη του μετώπου.</p>	

**Earth Pressure Balance Machine (EPBM),** [Μηχάνημα Εξισορρόπησης Πίεσης Εδάφους] - Κλειστού μετώπου TBM στο οποίο το εκσκαπτόμενο υλικό μεταφέρετε από το μέτωπο με έναν κοχλία ζύγισης ή έναν κοχλία μεταφοράς. Το μέτωπο υποστηρίζεται από το ίδιο το εκσκαπτόμενο υλικό που παραμένει υπό πίεση πίσω από την κοπτική κεφαλή και μπροστά από τον εμπρός διάφραγμα του μηχανήματος. Η πίεση ελέγχεται από το ρυθμό διέλευσης του υλικού από τον κοχλία ζύγισης ή από βαλβίδες στον κοχλία μεταφοράς.



Πίνακας 3: TBM Κλειστού Μετώπου.

#### 1.5.2.2 Αίθουσα Ελέγχου

Τα μηχανήματα κλειστού τύπου είναι όλα τηλεχειριζόμενα, επομένως δεν υπάρχει η ανάγκη για την παρουσία του χειριστή του μηχανήματος ή άλλου προσωπικού μέσα στην σήραγγα. Όλοι οι χειρισμοί, οι έλεγχοι λειτουργίας και οι καθοδήγηση του μηχανήματος γίνονται από την αίθουσα ελέγχου που είναι τοποθετημένη σε κοντέινερ στην επιφάνεια στο φρέατος εργασίας. Στην αίθουσα αυτή υπάρχει ο εξοπλισμός που αναπαριστά όλα τα δεδομένα που καταγράφονται από διάφορους αισθητήρες που παρακολουθούν ένα μεγάλο πλήθος παραμέτρων λειτουργίας του μηχανήματος. Στην Εικόνα 1. 29 φαίνεται ένας πίνακας ελέγχου στον οποίο υπάρχουν οθόνες κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης, οθόνες αναπαράστασης λειτουργιών διακόπτες λειτουργίας για το σταθμό ώθησης, για τις αντλίες πολφού κλπ όλα τα παραπάνω είναι πλήρως αυτοματοποιημένα και ελεγχόμενα μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.



Εικόνα 1. 29: Διάταξη του πίνακα ελέγχου μηχανήματος MT.

### 1.5.2.3 Σύστημα καθοδήγησης.

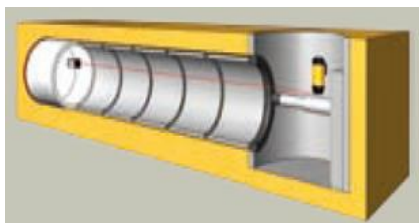
Είναι απολύτως απαραίτητο για τον χειριστή του TBM να έχει συνεχώς την πληροφορία για την ακριβή θέση του μηχανήματος με σκοπό να κρατήσει το μηχάνημα όσο είναι δυνατόν πιο κοντά στην προκαθορισμένη διαδρομή. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα καθοδήγησης που βασίζονται στην ευθεία διάδοση μιας ακτίνας λέιζερ.

Α) Καθοδήγηση με σταθερή ακτίνα λέιζερ.

Αποτελείται από δύο εξαρτήματα. Στο φρεάτιο αρχής τοποθετείται σταθερά μια συσκευή που εκπέμπει συνεχώς μια δέσμη ακτινών λέιζερ η οποία υλοποιεί ευθεία γραμμή παράλληλη του αγωγού και σε κατακόρυφο επίπεδο έχει την ίδια κλίση με τον αγωγό. Εντός του μηχανήματος τοποθετείται ένας στόχος λέιζερ ο οποίος καταγράφει μέσω ενεργών λυχνιών LED τη θέση της προσπίπτουσας δέσμης λέιζερ σε σχέση με την επιθυμητή θέση. Η διάταξη φαίνεται σχηματικά στη

Εικόνα 1. 30. Τα δεδομένα από το στόχο τροφοδοτούν συνεχώς τον πίνακα ελέγχου όπου και αναπαρίστανται σε οθόνες υπολογιστή παρέχοντας τις απαραίτητες

πληροφορίες στον χειριστή. Ο στόχος μπορεί να μην είναι ενεργός αλλά παθητικός και απλά εμφανίζει την κουκίδα της ακτίνας σε σχέση με το κέντρο του, η απόκλιση αυτών είναι και η απόκλιση της κεφαλής του μηχανήματος από την θεωρητική θέση.



Εικόνα 1. 30: Διάταξη καθοδήγησης με

ακτίνα λέιζερ.

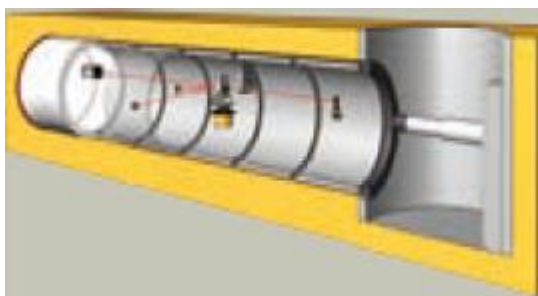


Δυνατότητες αυτών των συστημάτων είναι οι ακόλουθες:

1. Υποδεικνύουν διαδρομές σε ευθεία γραμμή, σε οποιαδήποτε διάμετρο μηχανήματος και για μεγάλο μήκος
2. Είναι συνεχής η αναπαράσταση της θέσης του μηχανήματος.
3. Εύκολη χρήση και ρύθμιση της συσκευής λέιζερ.
4. Απλή κατασκευή και χαμηλού κόστους.

Β) Καθοδήγηση με ταχύμετρα λέιζερ (τοπογραφικό όργανο).

Ένα ταχύμετρο λέιζερ τοποθετείται σε μία σταθερή θέση εντός του σωλήνα και σε κάποια απόσταση πίσω από την κεφαλή του μηχανήματος όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. 31. Το λογισμικό του συστήματος καθοδήγησης χρησιμοποιεί ένα αυτοσυσχετιζόμενο αλγόριθμο που χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο σύστημα σημείων μέτρησης για τον υπολογισμό της πραγματικής θέσης του μετώπου της σήραγγας ανεξάρτητα από τις μετατοπίσεις των σωλήνων και την διάθλαση που μπορεί να έχει η ακτίνα λέιζερ.



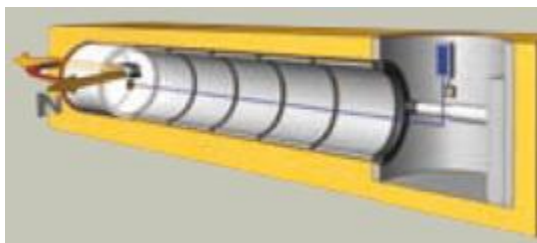
Εικόνα 1. 31: Διάταξη καθοδήγησης με ταχύμετρο λέιζερ εντός του σωλήνα

Δυνατότητες αυτών των συστημάτων είναι οι ακόλουθες:

1. Χρησιμοποιούνται για καθοδήγηση σε διαδρομές με καμπύλες ή σε διαδρομές με μεγάλο μήκος
2. Συνεχής υπολογισμός και αναπαράσταση της ακριβής θέσης του μηχανήματος.
3. Ρύθμιση του συστήματος γίνεται ανάλογα με τη διαδρομή κάθε 60 – 120 m.
4. Δεν υπάρχουν διακοπές για την λήψη μετρήσεων.
5. Διατήρηση υψηλού ρυθμού προχώρησης της σήραγγας χωρίς τη διακοπή των εργασιών.

Γ) Καθοδήγηση με γυροσκοπική πυξίδα και ηλεκτρονικό υδροστατικό σταθμήμετρο.

Μια γυροσκοπική πυξίδα αναζήτησης του μαγνητικού βορρά είναι τοποθετημένη εντός του μηχανήματος πίσω από το κεντρικό ρουλεμάν της κεφαλής του μηχανήματος δηλαδή ακριβώς στο κέντρο του μηχανήματος Εικόνα 1. 33. Υπολογίζει συνεχώς την σχετική στροφή ως προς τον μαγνητικό βορρά και το βήμα που έκανε το μέτωπο στην δεξιά φαίνεται μια σχηματική αναπαράσταση της όλης διάταξης. Μετρώντας το μήκος του αγωγού με τον τροχό μέτρησης, που υπάρχει στο φρεάτιο αρχής και τις αποκλίσεις από την οριζόντιο και την κατακόρυφο με ηλεκτρονικά σταθμήμετρα μπορεί να υπολογισθεί η θέση του μετώπου με απόλυτη ακρίβεια χωρίς να υπάρχουν επιρροές από τη διάθλαση του φωτός και σφάλματα σχετιζόμενα με την διαδρομή.



Εικόνα 1. 32: Διάταξη καθοδήγησης με γυροσκοπική πυξίδα



Εικόνα 1. 33: Γυροσκοπική πυξίδα τοποθετημένη στην θέση της στο κέντρο της ασπίδας.

Δυνατότητες αυτών των συστημάτων είναι οι ακόλουθες:

1. Δυνατότητα τοποθέτησης σε μηχανήματα μικρής διαμέτρου (εσωτερική διάμετρο ID 800mm).

2. Εφαρμόζεται σε καμπύλες διαδρομές PJ με πολύ μικρές ακτίνες καμπυλότητας.
3. Ακριβής υπολογισμός ανεξάρτητα της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του μήκους του περάσματος (λόγω διάθλασης της ακτίνας λέιζερ).
4. Η διαμόρφωση του συστήματος δεν απαιτεί την οπτική επαφή σε ευθεία γραμμή.

#### **1.5.2.4 Συστήματα απομάκρυνσης των προϊόντων εκσκαφής.**

Ανάλογα της μεθόδου εκσκαφής και της τεχνολογίας του μηχανήματος σχεδιάζεται το σύστημα μεταφοράς των προϊόντων εκσκαφής. Η μεταφορά γίνεται κυρίως με δύο τρόπους α) με μηχανική μεταφορά και β) με υδραυλική μεταφορά.

##### **A) Μηχανική μεταφορά**

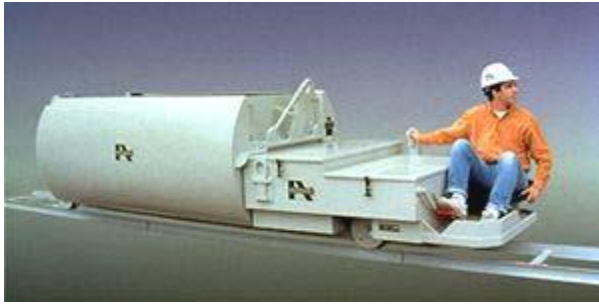
Η μηχανική μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής εφαρμόζεται κυρίως σε μηχανήματα ανοικτού μετώπου εκσκαφής καθώς και σε μηχανήματα EPB. Στα μηχανήματα ανοικτού μετώπου τα προϊόντα εκσκαφής μετά την αποκοπή τους από την αρχική τους θέση στο μέτωπο, συσσωρεύονται στο δάπεδο της σήραγγας και οδηγούνται σε μεταφορική ταινία που ξεκινά από το εμπρός μέρος του μηχανήματος και οδηγεί τα μάζα πίσω από το χειριστή στο σημείο όπου υπάρχει ο κάδος μεταφοράς η διαδικασία φόρτωσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 1. 34.

Ο κάδος είναι τοποθετημένος πάνω σε ηλεκτροκίνητο συρμό που τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα από συσσωρευτές υγρού τύπου όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. 35. Ο ηλεκτροκίνητος συρμός μαζί με τον κάδο κινούνται πάνω σε σιδηροτροχιές ελαφρού τύπου, μέχρι το αρχικό φρεάτιο εργασίας, εκεί υπάρχει εγκατεστημένος γερανός για την ανέλκυση του κάδου στην επιφάνεια και την εκκένωσή του από το περιεχόμενό του.

Σε κάποια άλλα συστήματα η κίνηση του βαγονέτου πραγματοποιείται με σύστημα συρματόσχοινων που τραβούν τον κάδο μέχρι την έξοδο της σήραγγας.



*Εικόνα 1. 34: Φόρτωση του κάδου μεταφοράς.*



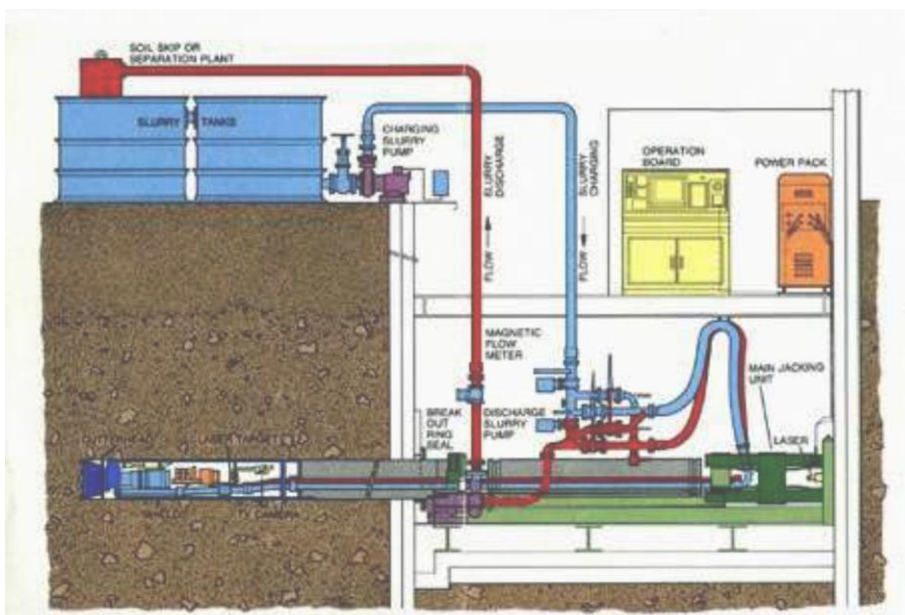
Εικόνα 1. 35: Κάδος μεταφοράς και ηλεκτροκίνητος συρμός.

Η τεχνική μηχανικής μεταφοράς, όπως είπαμε και πιο πάνω μπορεί εφαρμόζεται και σε μηχανήματα EPB στα οποία το έδαφος μετατρέπεται σε μια παχύρρευστη εδαφική μάζα σε μορφή πάστας και φορτώνεται σε κάδους για τη μεταφορά της μέχρι τις εγκαταστάσεις απόρριψης και αποθήκευσης.

Στις τεχνικές μηχανικής μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής υπάγεται και η μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής με ατέρμονες κοχλίες που εφαρμόζεται μόνο σε Microtunneling και έχει αναπτυχθεί πιο πάνω.

## **B) Υδραυλική μεταφορά**

Η μέθοδο υδραυλικής μεταφοράς εφαρμόζεται σε μηχανήματα Pipejacking ή Microtunneling που χρησιμοποιούν την τεχνική εκσκαφής και υποστήριξης του μετώπου με πολφό υπό πίεση. Επομένως είναι κρίσιμης σημασίας η σχεδίαση ενός συστήματος διαχείρισης του πολφού και του εξοπλισμού που απαιτείται για το διαχωρισμό των προϊόντων εκσκαφής από τον πολφό, ώστε το μηχάνημα εκσκαφής να λειτουργεί χωρίς διακοπές επιτυχία Εικόνα 1. 36.



Εικόνα 1. 36: Διάταξη του συστήματος υδραυλικής μεταφοράς.

Στο κύκλωμα υδραυλικής μεταφοράς των προϊόντων εκσκαφής χρησιμοποιείται ένα διάλυμα βασισμένο στο νερό, ο πολφός. Ο πολφός

αποθηκεύεται σε δεξαμενές στην επιφάνεια, στο εργοτάξιο που έχει οργανωθεί στο φρεάτιο έναρξης. Η κίνηση του πολφού γίνεται μέσω σωληνώσεων κατάλληλης διαμέτρου όπου αντλείται από ισχυρές αντλίες πολφού, η μια αντλία ωθεί τον πολφό προς το μέτωπο εκσκαφής στην κεφαλή του μηχανήματος, και η άλλη το αντλεί από την κεφαλή και το ωθεί προς το σύστημα καθαρισμού του πολφού. Ο πολφό μεταφέρει τα προϊόντα εκσκαφής από το μηχάνημα διάνοιξης της σήραγγας προς την επιφάνεια όπου τα προϊόντα εκσκαφής απομακρύνονται από το σύστημα καθαρισμού. Το διάλυμα αυτό ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται συνεχώς για την συνεχή εκσκαφή της σήραγγας, όσο αυτό διατηρεί τα προκαθορισμένα χαρακτηριστικά του.

Στο θάλαμο κοπής ο πολφός αναμιγνύεται με το εκσκαφέν έδαφος και αυτό το μείγμα περνά μέσα από τον ενσωματωμένο στο μηχάνημα θραυστήρα για κροκάλες. Στον θραυστήρα υπάρχει ένα τύμπανο σε μορφή κώνου, ο οποίος με έκκεντρη περιστροφική κίνηση σπάει τα τεμάχια του πετρώματος που ξεπερνούν ένα συγκεκριμένο μέγεθος και εξασφαλίζει ότι κανένα εδαφικό τεμάχιο μεγαλύτερο από το μέγεθος που μπορεί να μεταχειρισθεί το σύστημα του πολφού δεν θα εισέλθει στη γραμμή των επιστρεφόμενων του συστήματος.

Το μείγμα αντλείται στην επιφάνεια όπου τα τεμάχια του εδάφους αφαιρούνται από το αιώρημα με την βαρύτητα ή με χρήση κεντρόφυγων δυνάμεων μέσα σε υδροκυκλώνες, αποαμμωτές και δεξαμενές καθίζησης. Μερικές φορές προστίθενται χημικά κροκιδωτικά για να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του συστήματος. Στα σύγχρονα συστήματα καθαρισμού του πολφού παρακολουθούνται και προσαρμόζονται αρκετές παράμετροι με την προσθήκη επιπλέον χημικών, ώστε το αιώρημα να καλύπτει συνεχώς τις απαιτούμενες προδιαγραφές ιδιοτήτων τόσο για το μέτωπο εκσκαφής όσο και για το σύστημα καθαρισμού και ανακύκλωσης.

Ένα σύστημα πολφού, όπως έχει προαναφερθεί, έχει το πλεονεκτήματα της συνεχούς εργασίας, καθώς εξασφαλίζει την αδιάλειπτη λειτουργία του μηχανήματος από την στιγμή της τοποθέτησης και μέχρι την πλήρη ώθηση ενός προκατασκευασμένου σωλήνα μήκους συνήθως 2,5m.

#### **1.5.2.5 Μονάδες ώθησης των σωλήνων (Main Jacking Station).**

Η βασική ανεξάρτητη λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιείται για την ώθηση της στήλης των σωλήνων προς τα εμπρός είναι ο κύριος σταθμός ώθησης. Αυτός λειτουργεί ώστε να παρέχει την απαραίτητη δύναμη ώθησης στην ασπίδα. Η συνολική δύναμη ώθησης που απαιτείται σε κάθε έργο εξαρτάται από τις εδαφικές συνθήκες που συναντώνται, από το μήκος της στήλης των σωλήνων και από τον τύπο της χρησιμοποιούμενης ασπίδας όσον αφορά την υπερκοπή.

Τα έμβολα του κύριου σταθμού ώθησης τροφοδοτούνται από υδραυλικό λάδι υπό μεγάλη πίεση και αυξάνουν τηλεσκοπικά το μήκος τους. Η τροφοδοσία τους γίνεται από ηλεκτροκίνητη μονάδα παροχής υδραυλικού λαδιού (Power Pack). Η μέγιστη δύναμη που αναπτύσσουν τα έμβολα εξαρτώνται από την πίεση του υδραυλικού λαδιού που τα τροφοδοτεί. Η μέγιστη πίεση που αναπτύσσει η υδραυλική μονάδα είναι συνήθως 500 bar και ο αριθμός των εμβόλων για μικρή



διάμετρο σωλήνων είναι δύο Εικόνα 1. 38, επομένως η μέγιστη δύναμη που μπορεί να αναπτυχθεί είναι ορισμένη.

Η δύναμη ώθησης μεταφέρεται στην συστοιχία των σωλήνων διαμέσου του δακτυλίου ώθησης αυτός ο δακτύλιος κατανέμει την δύναμη στην επιφάνεια της διατομής των σωλήνων. Η αξονική τάση που αναπτύσσεται στο σώμα των σωλήνων δεν μπορεί να ξεπερνά την μέγιστη επιτρεπόμενη τάση που μπορούν να δεχθούν οι σωλήνες.



Εικόνα 1. 37: Κύριος σταθμός ώθησης σε πλήρη έκταση των εμβόλων (9).



Εικόνα 1. 38: Κύριος σταθμός ώθησης σε συστολή των εμβόλων (9).



Εικόνα 1. 39: Κύριος σταθμός ώθησης με παράλληλη διάταξη εμβόλων και σωλήνα.



Εικόνα 1. 40: Κύριος σταθμός ώθησης σε εν σειρά διάταξη εμβόλων και σωλήνα.

Η διάταξη των εμβόλων του κύριου σταθμού ώθησης επηρεάζει τη διάμετρο του φρεατίου εργασίας.

Για την εργασία σε πολύ περιορισμένο χώρο έχει αναπτυχθεί η παράλληλη διάταξη των εμβόλων με τον σωλήνα έτσι η ελάχιστη εσωτερική διάμετρο του

φρεατίου είναι λίγο παραπάνω, Εικόνα 1. 39.

$$ID_{\text{shaft}} = L_{\text{Pipe}} + (\sim 1,5\text{m}) = 2,5 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = \sim 4,0 \text{ m}$$

Στην εν σειρά διάταξη των εμβόλων και του σωλήνα η ελάχιστη εσωτερική διάμετρο του φρεατίου είναι σημαντικά μεγαλύτερη καθώς τα μήκη αυτών προστίθενται, Εικόνα 1. 40.

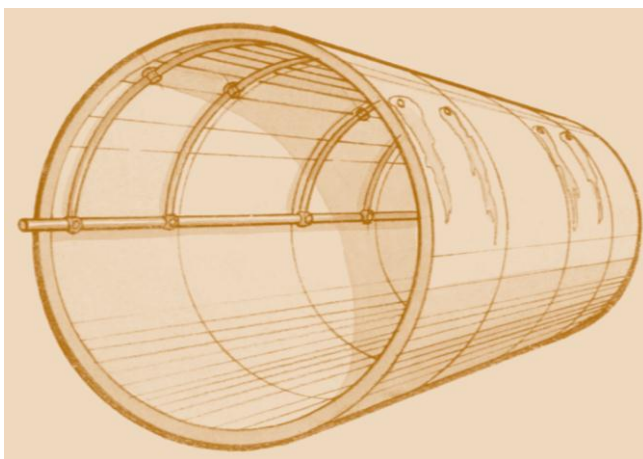
$$ID_{\text{shaft}} = L_{\text{Pipe}} + L_{\text{Jack}} + (\sim 1,5\text{m}) = 2,5 \text{ m} + 3,5 \text{ m} + 1,5 = \sim 7,5 \text{ m}$$

Η διάταξη των εμβόλων σε σειρά χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερης διαμέτρου σήραγγες καθώς μπορούν να τοποθετήσουν περισσότερα έμβολα και να αναπτυχθούν μεγαλύτερες δυνάμεις ώθησης.

#### 1.5.2.6 Σύστημα Λίπανσης

Ο έλεγχος και ο περιορισμός της δύναμης ώθησης των σωλήνων είναι από τις σημαντικότερες παραμέτρους για την επιτυχημένη εφαρμογή της μεθόδου ωθούμενου σωλήνα. Οι δυνάμεις τριβής εξαρτώνται κυρίως από τις τριβές που αναπτύσσονται στην εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων που έρχεται σε επαφή με το περιβάλλον υπέδαφος. Η μείωση της εξωτερικής τριβής γίνεται εφικτή αν μειωθεί ο συντελεστής τριβή των επιφανειών αυτών. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η χρήση λιπαντικού το οποίο παρεμβάλλεται μεταξύ των επιφανειών αυτών και δεν τις αφήνει να έρθουν σε επαφή.

Για το λόγο αυτό, σχεδόν σε κάθε πέρασμα που εφαρμόζεται η μέθοδος ωθούμενου σωλήνα αναπτύσσεται και σύστημα λίπανσης. Η τυπική διάταξη ενός συστήματος λίπανσης εντός των σωλήνων, φαίνεται στην Εικόνα 1. 41. Το συνολικό δίκτυο περιλαμβάνει ένα προσωρινό δίκτυο σωλήνων διανομής του λιπαντικού, βαλβίδες ελέγχου της ροής, ειδικές



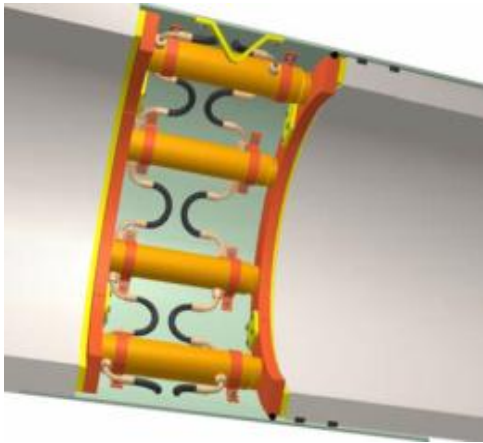
Εικόνα 1. 41: Σχηματική παράσταση συστήματος λίπανσης (8).

υποδοχές στους σωλήνες για την εισπίεση του λιπαντικού και δεξαμενές αποθήκευσης του έτοιμου προς χρήση λιπαντικό. Το λιπαντικό που συνήθως χρησιμοποιείται είναι ένα υδατικό διάλυμα μπεντονίτη με κάποια χημικά βελτιωτικά πρόσθετα. Λόγω της σπουδαιότητας της λίπανσης για την επιτυχημένη εφαρμογή της μεθόδου ωθούμενου σωλήνα (Pipejacking), στο κεφάλαιο 2 αναπτύσσονται με

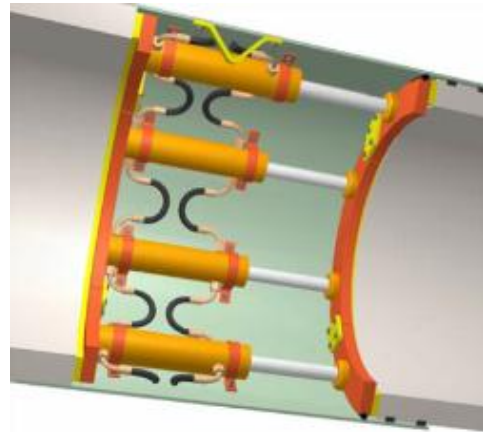
περισσότερες λεπτομέρειες τα χαρακτηριστικά των λιπαντικών.

#### 1.5.2.7 Ενδιάμεσοι Σταθμοί ώθησης

Λόγω του πεπερασμένου των δυνάμεων που αναπτύσσουν οι κύριοι σταθμοί ώθησης καθώς και του ορίου των τάσεων που μπορούν να δεχθούν οι σωλήνες, όταν χρειάζεται να μεγαλώσει το μήκος της ωθούμενης στήλης ή να ξεπεραστούν οι αυξημένες τριβές, μεγαλύτερες από τις δυνατότητες του κύριου σταθμού ώθησης, σε δεδομένο μήκος διαδρομής δημιουργείται η ανάγκη για επιπλέον δύναμη. Αυτή την πρόσθετη δύναμη την παίρνει η συστοιχία των σωλήνων από μια διάταξη που ονομάζεται Ενδιάμεσος Σταθμός Ώθησης (ΕΣΩ) Εικόνα 1. 42.



Εικόνα 1. 42: Ενδιάμεσος σταθμός ώθησης σε συστολή των εμβόλων.



Εικόνα 1. 43: Ενδιάμεσος σταθμός ώθησης σε πλήρη ανάπτυξη των εμβόλων.

Ο Ενδιάμεσος Σταθμός Ώθησης είναι ένας δακτύλιος που αποτελείται από υδραυλικά έμβολα τοποθετημένα μέσα σε χαλύβδινα πλαίσια. Ο ενδιάμεσος σταθμός εισάγεται στην στήλη των σωλήνων σε στρατηγικό σημείο. Ένας ενδιάμεσος σταθμός διαιρεί την στήλη των σωλήνων σε δύο μέρη, περισσότεροι ενδιάμεσοι σταθμοί χωρίζουν την στήλη των σωλήνων σε περισσότερα τμήματα. Κάθε μήκος, είτε μεταξύ πλαισίου ώθησης και ενδιάμεσου σταθμού 2, είτε μεταξύ ενδιάμεσου σταθμού 2 και ενδιάμεσου σταθμού 1 είτε μεταξύ ενδιάμεσου 1 και μετώπου μπορεί να είναι ξεχωριστό και ανεξάρτητο από τη υπόλοιπη στήλη των σωλήνων. Είναι ισοδύναμο σαν να έχουμε πολλά Pipejacking με μικρότερο μήκος σε λειτουργία την ίδια στιγμή σε μία διάτρηση με τον κάθε ενδιάμεσο σταθμό να χρησιμοποιεί το πίσω από αυτόν, μήκος σωλήνων, ως τοίχο αντίδρασης. Η χρήση ενδιάμεσων σταθμών μειώνει τις ενδεχόμενες αστοχίες των σωλήνων, καθώς οι μέγιστες δυνάμεις σε κάθε ξεχωριστό τμήμα μειώνονται καθώς εξαρτώνται από τον αριθμό των σωλήνων και το συντελεστή τριβής σε αυτό το τμήμα της μικροσήραγγας. Κάθε ενδιάμεσος σταθμός ελέγχεται ανεξάρτητα από τον χειριστή του.

Ένας εμπειρικός κανόνας λέει ότι ένας ενδιάμεσος σταθμός ενεργοποιείται όταν η δύναμη ώθησης φτάσει το 60-70% της διαθέσιμης δύναμης του κυρίως

σταθμού ώθησης.

### 1.5.3 Υλικά Σωλήνων

Δεδομένου ότι οι τεχνικές του ωθούμενου σωλήνα (Pipejacking) απαιτούν την ώθηση των σωλήνων μέσα στο έδαφος χρησιμοποιώντας υψηλές δυνάμεις ώθησης. Απαιτείται η σωστή επιλογή του υλικού των σωλήνων ώστε να αντέχουν τις επιβαλλόμενες δυνάμεις ώθησης κατά την εγκατάσταση του αγωγού καθώς επίσης να έχουν τις σωστές ιδιότητες όσον αφορά τη τελική χρήση του προϊόντος δηλαδή του αγωγού. Η σωστή επιλογή του υλικού των σωλήνων είναι τόσο σημαντική όσο και η καταρχήν σωστή επιλογή μηχανήματος για την εκσκαφή.

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα από υλικά σωλήνων που είναι διαθέσιμα για εγκατάσταση χρησιμοποιώντας τις τεχνικές του ωθούμενου σωλήνα (Pipejacking και Microtunneling), η επιλογή εξαρτάται από τις απαιτήσεις του πελάτη, τις εδαφικές συνθήκες, το κόστος κατασκευής και το μήκος των σωλήνων.

Τα υλικά που είναι διαθέσιμα για την κατασκευή σωλήνων που θα χρησιμοποιηθούν στις τεχνικές του ωθούμενου σωλήνα (Pipejacking), είναι τα ακόλουθα:

- Οπλισμένο σκυρόδεμα, Reinforced Concrete Pipe (RCP)
- Πολυμερές σκυρόδεμα, σκυρόδεμα μέσα σε μήτρα ρητίνης, Polymer Concrete (PC)
- Φυγοκεντρικής χύτευσης οπλισμένο με ίνες υάλου πολυμερές κονίαμα, Centrifugally Cast Fiberglass Reinforced Polymer Mortar Pipe (CCFRPM/HOBAS)
- Κεραμικές σωλήνες (με υαλοποιημένο ή μη εσωτερικό), Vitrified Clay Jacking Pipe (VCP)
- Σωλήνες από χάλυβα ή χυτοσίδηρο
- Υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο, High Density Polyethylene (HDPE).
- Πολυβινυλοχλωρίδιο, Polyvinyl Chloride (PVC)

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων το υλικό των σωλήνων είναι είτε σκυρόδεμα είτε κεραμικό κατασκευασμένο με αυστηρές προδιαγραφές.



Εικόνα 1. 44: Σωλήνες από οπλισμένο σκυρόδεμα (10).



Εικόνα 1. 45: Σωλήνες από κεραμικό υλικό (10).

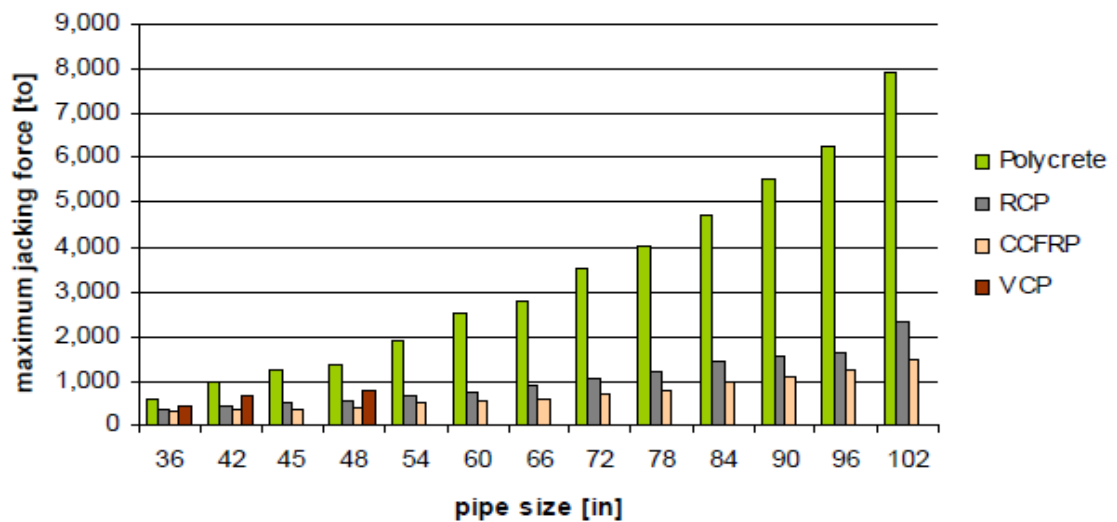


Εικόνα 1. 46.: Σωλήνες από πολυμερές σκυρόδεμα (10).



Εικόνα 1. 47: Σωλήνες CCFRPM / HOBAS (10).

Από τα χαρακτηριστικά της αντοχής των σωλήνων εξαρτάται και ο σχεδιασμός της μεθόδου Pipejacking, καθώς η μέγιστη δύναμη που μπορεί να δεχθεί ο σωλήνας μετατρέπεται ανάλογα σε μέγιστο μήκος περάσματος.



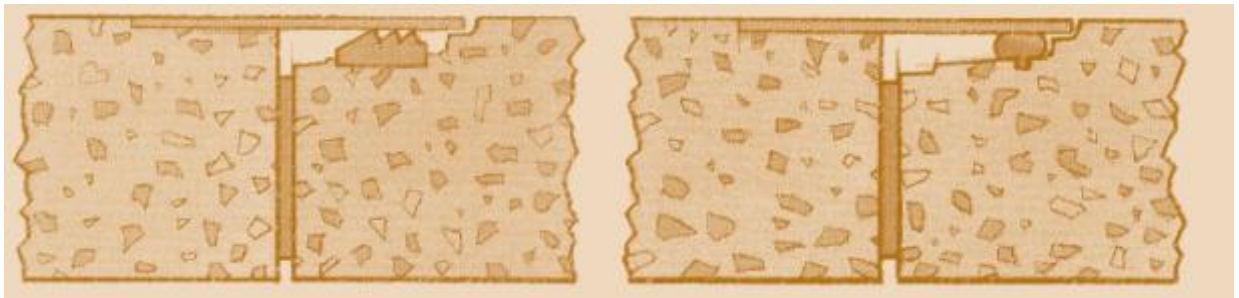
Εικόνα 1. 48: Μέγιστη δύναμη ώθησης για διαφορετικά υλικά σωλήνων και διαμέτρων (11).

Στην Εικόνα 1. 48 παρουσιάζεται η μέγιστη δύναμη ώθησης που μπορεί να δεχθεί ένας σωλήνας ανάλογα με τη διάμετρό του και το υλικό κατασκευής του. Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι το πολυμερές σκυρόδεμα παρουσιάζει πάνω από 3-φορές μεγαλύτερες τιμές δυνάμεων ώθησης σε σχέση με τους σωλήνες από οπλισμένο σκυρόδεμα και 4-φορές σε σχέση με του σωλήνες από CCFRP (11).

Οι σωλήνες είναι διαθέσιμες σε μήκη μεταξύ 1,2m και 2,5m είναι δε έτσι σχεδιασμένες ώστε τα φορτία ώθησης να μεταφέρονται μεταξύ των σωλήνων χωρίς

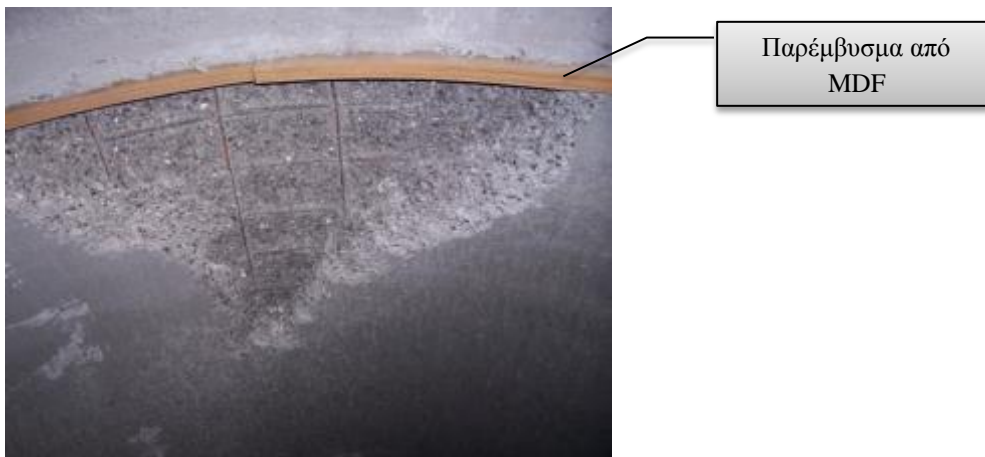
να καταστρέφονται οι συνδέσεις τους. Η σύνδεση των σωλήνων είναι η ελεύθερη επαφή τους, ώστε να είναι ευέλικτες και να μπορούν να απορροφούν τις διαφορικές μετακινήσεις ή τη στρόφη που μπορεί να έχει η μια σωλήνα ως προς την άλλη. Έτσι συνήθως το ένα άκρο του σωλήνα φέρει ενσωματωμένο μεταλλικό κολάρο (με αντιδιαβρωτική προστασία ή από ανοξείδωτο χάλυβα) και το άλλο άκρο του σωλήνα έχει υποστεί ειδική διαμόρφωση συνήθως με φρεζάρισμα.

Οι ευέλικτες συνδέσεις πρέπει να συμμορφώνονται με το πρότυπο BS EN 1916 όσον αφορά την στεγανότητα του δοσμένου σχεδίου και των ορίων απόκλισης αλλά μπορούν και να διαφέρουν σε σχεδιαστικές λεπτομέρειες από κατασκευαστή σε κατασκευαστή. Η σφράγιση επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ελαστομερούς δακτυλίου στο πίσω τμήμα του ενός σωλήνα που εισέρχεται κάτω από το μεταλλικό κολάρο. Δευτερεύουσα σφράγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις συνδέσεις αν απαιτηθεί.



Εικόνα 1. 49: Τυπικές εύκαμπτες συνδέσεις σωλήνων.

Παρεμβύσματα πρέπει να ενσωματωθούν μεταξύ των σωλήνων σε κάθε σύνδεση με σκοπό να διανείμουν την πίεση ώθησης σε όλη την επιφάνεια της διατομής του σωλήνα και να αποφύγουμε την σημειακή φόρτιση. Το αποτέλεσμα της σημειακής φόρτισης είναι η καταστροφή των άκρων των σωλήνων όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. 50 (12).



Εικόνα 1. 50: Τοπικός θρυμματισμός σωλήνα Pipejacking που οφείλεται σε υψηλά φορτία ώθησης (12).

Το MDF έχει αποδειχθεί ότι είναι το καλύτερο υλικό για να κατασκευασθούν

τα παρεμβύσματα των συνδέσεων, είναι πιο εύκαμπτο από υλικά κατασκευασμένα από ξύλο γιατί έχει εξαιρετικά χαρακτηριστικά επαναφοράς. Τα παρεμβύσματα δεν πρέπει να καλύπτουν ολόκληρο το πλάτος της ένωσης, αλλά πρέπει να παραμένει ένα μικρό κενό προς την εσωτερική επιφάνεια των σωλήνων, ώστε να αποφευχθεί ο τοπικός θρυμματισμός.

## 1.6 Σχεδιασμός και κατασκευή φρεάτων

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα σε όλες τις εφαρμογές ωθούμενου σωλήνα (Pipejacking και Microtunneling) εγκαθίστανται μεταξύ ενός αρχικού φρεατίου και ενός φρεατίου υποδοχής. Αξιοσημείωτες εξαιρέσεις είναι όταν το σημείο εξόδου της ασπίδας είναι είτε κατευθείαν στο έδαφος, σε καθορισμένο σημείο, είτε κάτω από το νερό. Ακόμα και τότε μια εγκατάσταση υποδοχής πρέπει να έχει σχεδιασθεί με σκοπό, είτε να αποτρέψει την μόλυνση του εδάφους από την απώλεια λιπαντικού ή πολφού, είτε την είσοδο νερού μέσα στους σωλήνες του αγωγού που μόλις κατασκευάσθηκε.

Οι απαιτήσεις των φρεατίων αρχής διαφέρουν αρκετά καθώς εξαρτώνται κυρίως από το είδος του μηχανήματος που θα χρησιμοποιηθεί, τις συνθήκες του εδάφους, το μήκος και το είδος του υλικού των σωλήνων που θα τοποθετηθούν, το μήκος του περάσματος και τον τύπο της εγκατάστασης. Το σχήμα των φρεατίων μπορεί να είναι κυκλικό, τετράγωνο ή οβάλ, όσον αφορά τα τοιχεία του φρεατίου μπορεί να είναι με πασσαλοσανίδες, επενδυμένα με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, με προκατασκευασμένα στοιχεία, προκατασκευασμένα κιβώτια ή ακόμα και χωρίς υποστήριξη αν οι συνθήκες του εδάφους και οι κανόνες ασφαλείας το επιτρέπουν.

Το κοινό στοιχείο σε κάθε φρεάτιο έναρξης είναι ότι πρέπει να υπάρχει κάποιο είδος τοιχείου αντίδρασης για το κύριο σταθμό ώθησης. Σε ορισμένα εδάφη αυτό μπορεί να είναι ο πίσω τοίχος του φρεατίου, αλλά αυτό δεν είναι συνηθισμένη κατάσταση, έτσι ένας τοίχος αντίδρασης πρέπει να κατασκευάζεται ξεχωριστά, συνήθως είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο τοίχος αντίδρασης ενσωματώνεται στην υποστήριξη του φρεατίου. Ο τοίχος αντίδρασης πρέπει να παρέχει την δυνατότητα στο κύριο σταθμό ώθησης να ασκεί την μέγιστη δύναμη πίεσης ενώ διατηρεί την ακεραιότητα στην δομή του φρεατίου και του περιβάλλοντος εδάφους.

Στο σημείο εξόδου του μηχανήματος από το φρεάτιο έναρξης κατασκευάζεται ειδική οπή με στεγανοποίηση από δακτυλίους καουτσούκ για το ξεκίνημα της κοπτικής κεφαλής. Αυτό επιτρέπει στο χειριστή να βγάξει την κοπτική κεφαλή από το φρεάτιο χωρίς να αποκαλυφθεί το έδαφος γύρω από το φρεάτιο και με τον κίνδυνο εισροής υπόγειου νερού ή την απώλεια του εδάφους γύρω από φρεάτιο, προκαλώντας αστάθεια γύρω από τον αγωγό μετά την εγκατάστασή του. Αυτό με τη σειρά του αυξάνει τον συντελεστή ασφαλείας κατά το ξεκίνημα του μηχανήματος, το οποίο είναι το πιο κρίσιμο τμήμα της λειτουργίας του όπως επίσης και η είσοδος του μηχανήματος στο φρεάτιο υποδοχής.



Εικόνα 1. 51: Τοίχος αντίδρασης και δομή στεγάνωσης σε φρεάτιο αρχής.

#### 1.6.1 Συμβατικές Μέθοδοι κατασκευής

Οι πιο κοινές μέθοδοι για την κατασκευή των τοίχων αντιστήριξης των φρεατίων, είναι οι ακόλουθες ξεκινώντας από τις πιο απλές και οικονομικές προς τις πιο σύνθετες:

- Απλή εκσκαφή και επένδυση με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Αυτή είναι η πιο απλή μέθοδο που εφαρμόζεται για την κατασκευή φρεατίων σε ομογενής εδαφικούς σχηματισμούς για μικρά βάθη εκσκαφής σε συνθήκες χωρίς υπόγεια ύδατα και σε μεγάλη διάμετρο.

- Με πασσαλοσανίδες.

Οι πασσαλοσανίδες κανονικά εισέρχονται έως το βάθος των 15m σε εκτοπίσιμα εδάφη, αν όμως η εφαρμογή της μεθόδου συνδυασθεί με τη μέθοδο της προδιάτρησης μπορεί να εφαρμοσθεί και σε σκληρότερα εδάφη.

- Με τοιχίο από φρεατοπασσάλους.

Τα τοιχία με φρεατοπασσάλους κατασκευάζονται συνήθως σε βάθη 20-25m και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνεκτικά εδάφη αλλά και σε εδάφη με υψηλή αντοχή. Οι πάσσαλοι μπορεί να είναι είτε αλληλοτεμνόμενοι δημιουργώντας ένα συνεχές στεγανό τοιχίο ή να είναι σε απόσταση μεταξύ τους με επένδυση του κενού μεταξύ των πασσάλων με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

- Με διαφραγματικούς τοίχους.

Οι διαφραγματικοί τοίχοι μπορούν να εγκατασταθούν έως το βάθος των 40m ή και βαθύτερα και με χρήση των κατάλληλων κοπτικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε σχηματισμούς βράχου υψηλής αντοχής. Έτσι η μέθοδος



αυτή είναι η περισσότερο ευέλικτη, όμως είναι επίσης η πιο σύνθετη και η πιο δαπανηρή οικονομικά.

Είναι κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των μεθόδων είναι ότι μετά την επιτυχημένη εγκατάσταση των τοίχων, η εκσκαφή του εδάφους γίνεται τις περισσότερες φορές με χρήση συμβατικών τεχνολογιών, οι οποίες μπορούν να συμπεριλαμβάνουν και προσωπικό στον πυθμένα του φρέατος και κανονικά την απαραίτητη ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα.

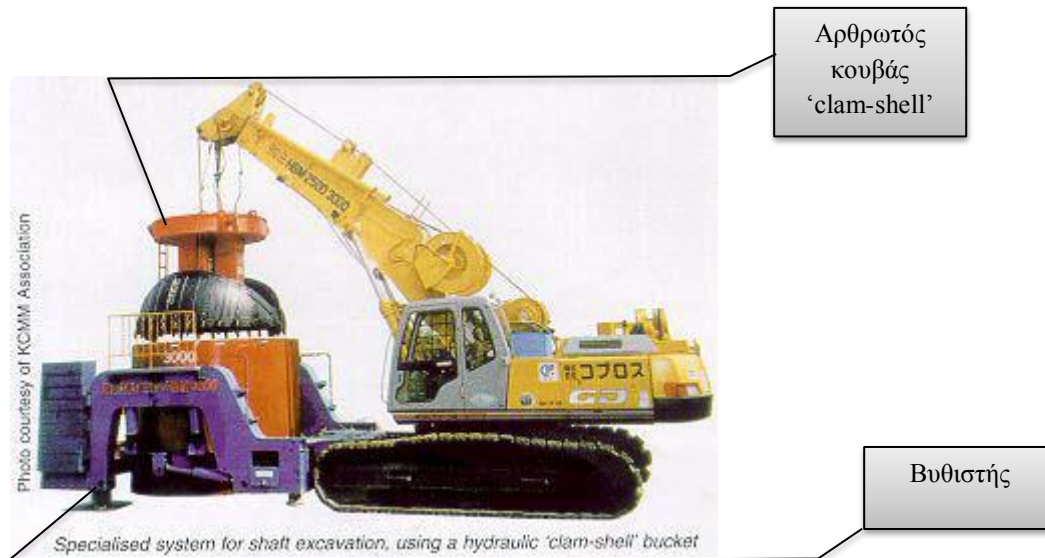
Πίνακας 4: Σύγκριση των συμβατικών μεθόδων κατασκευής των φρεατίων

	Σύνηθες Βάθος Εγκατάστασης	Γεωλογία	Ρίσκο	Κόστος
Πασσαλοσανίδες	15m	Μαλακά εδάφη, σε συνδυασμό με προδιάτρηση σε μέσα ή σκληρά εδάφη.	Υψηλό ρίσκο για μετακινήσεις	Χαμηλό κόστος έως τα 8m το οποίο αυξάνει ραγδαία με το βάθος.
Φρεατοπάσσαλοι	25m	Διάφορα εδάφη έως και σκληρά εδάφη.	Απόκλιση από την κατακόρυφο	Μέσο κόστος
Διαφραγματικοί τοίχοι	40m και περισσότερο	Διάφορα	Απόκλιση από την κατακόρυφο	Υψηλό κόστος

## 1.6.2 Ειδικές Μέθοδοι κατασκευής φρεατίων

### 1.6.2.1 Προκατασκευασμένα βυθιζόμενα φρεάτια.

Η μέθοδος περιλαμβάνει την τοποθέτηση είτε προκατασκευασμένων δακτυλίων σκυροδέματος είτε μεταλλικών σωλήνων επένδυσης. Η εργασία εκσκαφής γίνεται μέσα απ' τους σωλήνες επένδυσης με ειδικό αρθρωτό κουβά 'clam-shell' η τεχνική εφαρμόζεται σε μαλακά εδάφη. Η κατακόρυφη κίνηση της επένδυσης εκμεταλλεύεται κυρίως την δύναμη της βαρύτητας των σωλήνων από σκυρόδεμα.



Εικόνα 1. 52: Ειδικό σύστημα εκσκαφής φρεατίου (8).

Οι μεταλλικοί σωλήνες μπορεί και να χρειάζονται επιπλέον κατακόρυφη δύναμη, η οποία παρέχεται από ειδικό εξάρτημα με υδραυλικά έμβολα στην επιφάνεια του εδάφους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. 52, το εξάρτημα αυτό ονομάζεται βυθιστής και χρησιμοποιείται και για την συγκράτηση των σωλήνων κατά την διάρκεια της εκσκαφής του επόμενου βήματος. Ο βυθιστής χρησιμοποιείται επίσης και για την εξαγωγή των μεταλλικών σωλήνων όταν τελειώσουν οι εργασίες κατασκευής και δεν χρειάζεται να παραμείνουν πλέον στην θέση τους.

#### 1.6.2.2 VSM (Vertical Sinking Machine) (13)

Από την μεγαλύτερη εταιρεία κατασκευής μηχανημάτων και εκσκαφής σιράγγων Herrenknecht AG, (14) αναπτύχθηκε η τεχνολογία κατακόρυφης διάτρησης που προσομοιάζει την τεχνολογία κατασκευής σήραγγας με προκατασκευασμένα στοιχεία. Ο εξοπλισμός VSM περιλαμβάνει τρία κύρια συστήματα,

##### A) Πρώτο σύστημα είναι η μονάδα εκσκαφής.

Αυτή περιλαμβάνει ένα ιστό (μπούμα) στην άκρη της οποίας βρίσκεται η κεφαλή σημειακής κοπής όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. 54. Η μπούμα διαγράφει κύκλους καθώς κινείται κυκλικά γύρω από το κέντρο του φρεατίου και αυξάνει το μήκος της τηλεσκοπικά καθώς προσεγγίζει το έδαφος που πρέπει να αφαιρεθεί. Το μηχάνημα κόβει συμμετρικά το έδαφος του οποίου η αντοχή μπορεί να είναι έως 80 MPa ή και περισσότερο.



Εικόνα 1. 53: Διάταξη σύστημα εκσκαφής φρεατίου VSM, (13)



Εικόνα 1. 54: Μονάδα VSM, (13)

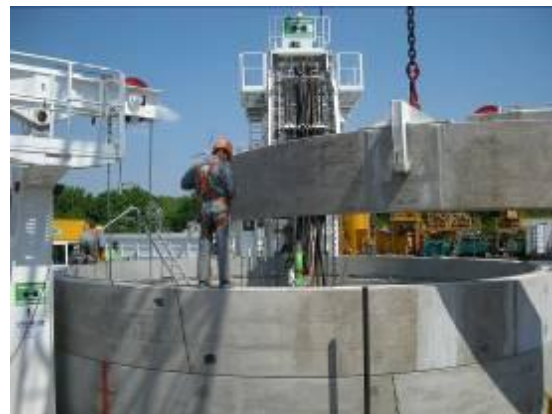
Η διαδικασία εκσκαφής λαμβάνει χώρα κάτω από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και είναι πλήρως τηλεχειριζόμενη από την επιφάνεια του φρεατίου.

**Β) Δεύτερο είναι το σύστημα απομάκρυνσης των προϊόντων εκσκαφής.**

Η απομάκρυνση των προϊόντων εκσκαφής γίνεται με υδραυλική μεταφορά αυτών. Μια βυθιζόμενη αντλία αμμοχάλικων βρίσκεται επί του περιβλήματος της κοπτικής κεφαλής. Αυτή μεταφέρει το μείγμα νερού και εδάφους, διαμέσου μιας γραμμής μεταφοράς πολφού στην μονάδα διαχωρισμού που είναι εγκατεστημένη στην επιφάνεια. μια μονάδα φυγοκεντρικού διαχωρισμού μπορεί να προστεθεί στο συγκρότημα διαχωρισμού ώστε να απομακρύνει και τα λεπτά τεμάχια από το πολφό. Αυτό βελτιώνει την μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής και εξασφαλίζει την καθαρότητα του νερού στο φρεάτιο το οποίο μπορεί περισσότερο εύκολα να απορριφθεί όταν τελειώσει η εκσκαφή του φρεατίου.



Εικόνα 1. 55: Μηχάνημα VSM, (13)



Εικόνα 1. 56: Μοντάρισμα προκατασκευασμένων στοιχείων, (13)

### Γ) Τρίτον, η λεγόμενη **μονάδα καταβίβασης**.

Η μονάδα καταβίβασης σταθεροποιεί όλη την κατασκευή του φρεατίου και εξασφαλίζει την ελεγχόμενη βύθιση της επένδυσης του φρεατίου συγκρατώντας το σύνολο του βάρους. Μόνο όταν κάθε στάδιο της εκσκαφής κάτω από την στάθμη της αιχμής του φρεατίου έχει ολοκληρωθεί τότε η επένδυση καταβιβάζεται ομοιόμορφα και με ακρίβεια.

Η επένδυση του φρεατίου εγκαθίσταται στην επιφάνεια και στις περισσότερες περιπτώσεις φτιάχνεται από προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος (Εικόνα 1.56).

Η επένδυση του φρεατίου μπορεί να κατασκευασθεί και από επιτόπου σκυρόδεμα. Εδώ η βραδύτερη πρόοδος των εργασιών αντισταθμίζεται από την κατασκευή μιας συνεχής δομής χωρίς συνδέσεις. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα ενσωμάτωσης πλήρως στο τοιχίο του φρεατίου των δομών εισόδου και εξόδου των μηχανημάτων για τις δραστηριότητες του ωθούμενου σωλήνα.

Επιγραμματικά οι δυνατότητες της τελευταίας γενιάς μηχανημάτων είναι οι ακόλουθες.

- Τα προκατασκευασμένα τμήματα μπορούν να προενταθούν και στη κατακόρυφη διεύθυνση πριν τη καταβίβαση τους, έτσι ώστε οι συνδέσεις των τμημάτων να παραμένουν κλειστές ακόμα και στην περίπτωση μη ομοιόμορφης τριβής.
- Οι ηλεκτρικές συνδέσεις είναι πλήρως στεγανές για να μειωθούν οι λάθος ενδείξεις ενδεικτικά εξαιτίας εισροής νερού και διάβρωσης των επαφών των καλωδίων, η μέγιστη πίεση νερού για ασφαλή λειτουργία είναι 8 bar.
- Ολοκληρωμένο εναλλακτικό σύστημα αισθητήρων για την αύξηση της αξιοπιστίας.
- Ανάπτυξη μιας ευέλικτης κοπτικής κεφαλής που επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών εργαλείων για τα μαλακά ή για τα σκληρά εδάφη με τη χρήση εναλλάξιμου συστήματος συγκράτησης των κοπτικών.
- Ο εξοπλισμός της επιφάνειας μπορεί να χωρισθεί σε μικρότερες μονάδες για την ευκολότερη σύνδεση σε περιοχές με περιορισμένες διαστάσεις ελεύθερου χώρου.
- Εσωτερική διάμετρος του φρεατίου κυμαίνεται από 4,5m έως 10m, με μέγιστη διάμετρο κοπής 11,1m
- Το σύστημα είναι κατάλληλο για χρήση σε περιοχές με κυκλοφοριακή συμφόρηση.
- Επένδυση με προκατασκευασμένα στοιχεία ή επιτόπου χυτό σκυρόδεμα.
- Η τελική επένδυση εγκαθίσταται κατά τη διάρκεια της καταβίβασης (δεν χρειάζεται δευτερεύουσα επένδυση μετά το τελείωμα, ακόμα και αν υπάρχει απαίτηση για μια ολοκληρωμένη ηλεκτρική εγκατάσταση στα προκατασκευασμένα στοιχεία).

Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι τα ακόλουθα.

- Μείωση του χρόνου κατασκευής με χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων. Ειδικά σε βαθιά φρεάτια, μπορεί να επιτευχθεί προχώρηση 1-2m ανά βάρδια εργασίας κατά μέσο όρο, ανάλογα με τη διάμετρο του φρεατίου και την γεωλογία της περιοχής.
- Ελάχιστος κίνδυνος καθιζήσεων.
- Δεν απαιτείται έλεγχος ή καταβίβαση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.
- Δεν απαιτείται παρουσία προσωπικού εντός του φρεατίου κατά την διάρκεια της κατασκευής.
- Έχει χαμηλά επίπεδα θορύβου.
- Δυνατότητα εργασίας σε περιορισμένες περιοχές.
- Εγκατάσταση τελικής επένδυσης του φρεατίου.
- Φιλικό προς το περιβάλλον.

Ένα μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος επένδυσης και πιθανόν ο μακρύς χρόνος απόσβεσης του μηχανήματος και του παρελκόμενου εξοπλισμού. Αυτό μπορεί να βελτιωθεί με μακρόχρονο προγραμματισμό ή την δυνατότητα για την ενοικίαση του εξοπλισμού.

Όταν συγκρίνονται η μέθοδος VSM ειδικά με την τεχνολογία των διαφραγματικών τοίχων, μπορούμε να διακρίνουμε τα ακόλουθα συγκριτικά πλεονεκτήματα για τη μέθοδο VSM.

- Χρήση σημαντικά λιγότερου σκυροδέματος.
- Μικρότερες υπέρ εκσκαφές.
- Καλύτερη ακρίβεια σε σχέση με το βάθος.
- Ασφαλής εγκατάσταση του πυθμένα.
- Μικρότερες απαιτήσεις χώρου στην επιφάνεια.
- Ταχύτερος χρόνος εγκατάστασης του φρεατίου
- Μειωμένη παρενόχληση των επιφανειακών δραστηριοτήτων.

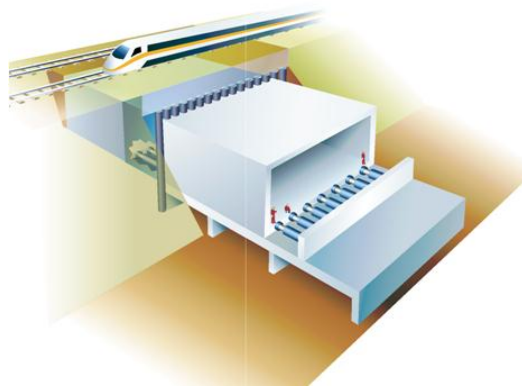
## **1.7 Πρόσθετες Εφαρμογές των μεθόδων ώθησης**

Η αυξημένη αποδοχή και επιτυχία που έχει γνωρίσει η μέθοδος Pipejacking για την κατασκευή αγωγών δικτύων εξυπηρέτησης διαμέτρου έως 3,0m, έχει διευρυνθεί και στην ώθηση μεγαλύτερων κατασκευών και δομών διαφορετικών σχημάτων. Έτσι έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ώθησης οριζόντιων κατασκευών όπως πχ προκατασκευασμένα τετραγωνικά κιβώτια για την κατασκευή υπόγειας διάβασης αυτοκινήτων, αγωγών ή διαβάσεων πεζών κάτω από αυτοκινητοδρόμους ή σιδηροδρομικές γραμμές χωρίς την διακοπή της λειτουργίας τους. Οι κύριες δομές που κατασκευάζονται με τις τεχνικές αυτές αναφέρονται παρακάτω: Box Jacking,

Modular Systems, Jacking Deck, Jacked Arch Method, Advanced Support, Underground station (15).

### 1.7.1 Box Jacking

Η βασικότερη προσέγγιση η οποία εφαρμόζεται ευρέως είναι το **Box Jacking** στην οποία μια κυβοειδής δομή κατασκευάζεται πάνω σε μια εξέδρα δίπλα στο χώρο που θα εγκατασταθεί Εικόνα 1. 57. Η εκσκαφή να γίνεται υπό την προστασία ασπίδας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. 59 με χρήση συμβατικής εκσκαφής με χρήση μηχανημάτων μικρών διαστάσεων.



Εικόνα 1. 57: Αναπαράσταση **Box Jacking** (15).

Αντιμετωπίζοντας ένα τυπικό μέτωπο εκσκαφής της τάξης, πλάτους 15m και ύψους 8m γεννιέται η ανάγκη το μέτωπο να χωρισθεί σε μικρότερα διαμερίσματα. Αυτό γίνεται από την ασπίδα η οποία τοποθετείται εμπρός από την κατασκευή, Εικόνα 1. 58.



Εικόνα 1. 58: Ασπίδα –Διαμερισματοποίησης μετώπου **Box Jacking** (15).



Εικόνα 1. 59: Εκσκαφή **Box Jacking** (15).

Η ασπίδα κατασκευάζεται ώστε να δίνει μια μικρή υπερκοπή για να διευκολυνθεί η εργασία της εξωτερικής λίπανσης. Για την ώθηση του κιβωτίου υπάρχει η ανάγκη να διαθέτουμε εκατοντάδες τόνους δύναμη ώθησης για να κινήσουμε μια τόσο μεγάλη διατομή ξεπερνώντας όλες τις αντιδράσεις και τις τριβές. Τα φορτία τριβής είναι πολύ μεγαλύτερα σε μια τετραγωνική διατομή από ότι σε μια κυκλική. Για παράδειγμα μια κάτω διάβαση σιδηροδρομικών γραμμών με πλάτος 25m ύψος 10m

έχει ίδιο βάρος 8500 ton και απαιτεί δύναμη ώθησης 14500 ton.

Η ευρεία εφαρμογή της τεχνικής έχει κάποιους περιορισμούς.

- Περιορισμούς στο μέγεθος και στο μήκος του περάσματος εξ' αιτίας των υψηλών φορτίων ώθησης.
- Έκθεση μεγάλου μετώπου που σε δύσκολες εδαφικές συνθήκες δεν ελέγχεται εύκολα.
- Μεγάλες απαιτήσεις χώρου για την κατασκευή της πλατφόρμας προκατασκευής της δομής.
- Οι υψηλές δυνάμεις ώθησης απαιτούν ουσιαστικά μεγάλες κατασκευές αντίδρασης.
- Αν ένα κουτί αρχίσει να φεύγει από την επιθυμητή θέση είναι δύσκολο αν όχι αδύνατο να γίνουν κάποιες διορθώσεις και να επανέλθει.

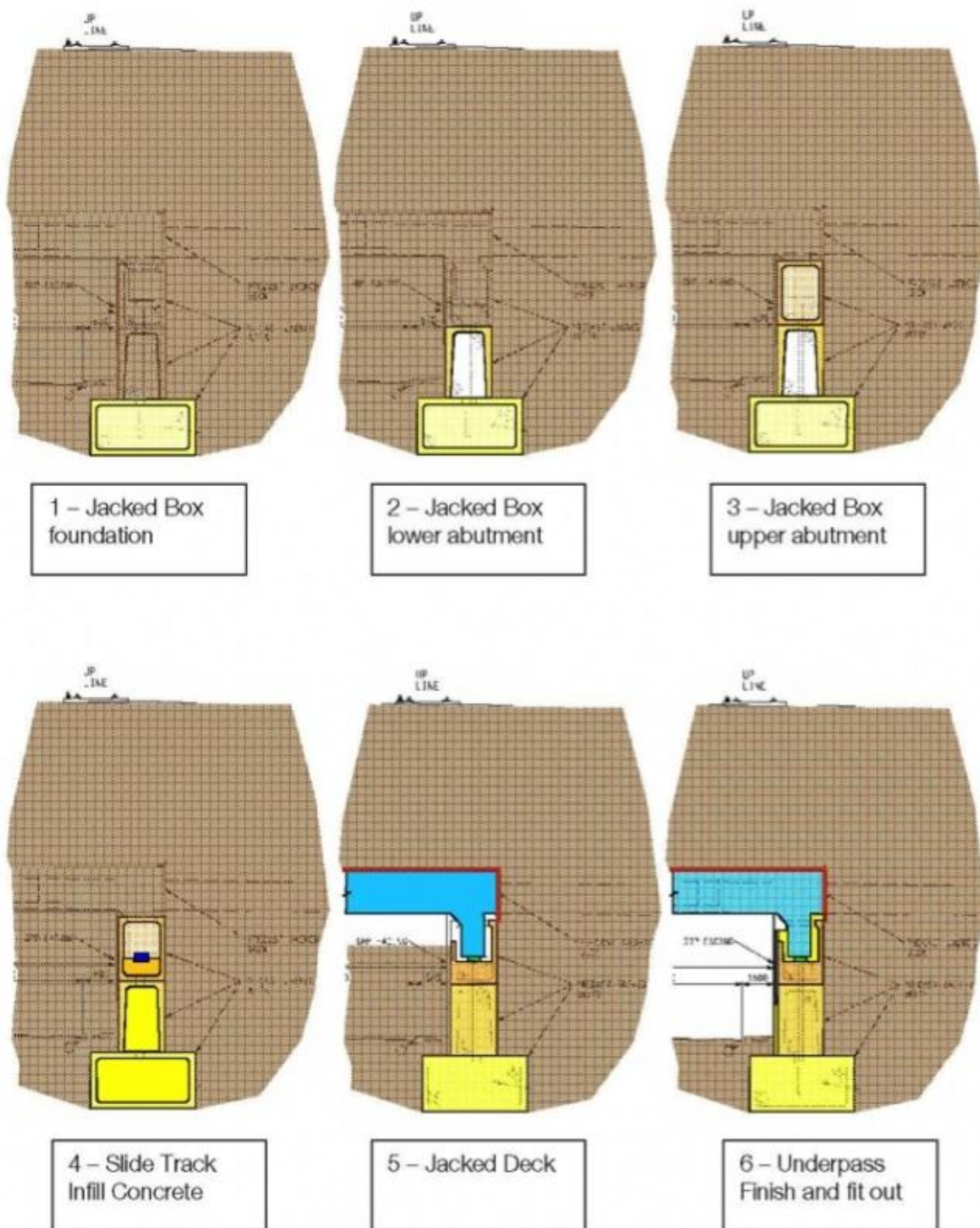
#### **1.7.2 Αρθρωτές κατασκευές (Modular Systems)**

Αυτή η ιδέα βασίζεται στην δημιουργία μιας δομής υποστήριξης ή θεμελίωσης με την χρήση αλληλοσυνδεδεμένων προκατασκευασμένων στοιχείων που τοποθετούνται στην θέσης καθώς ωθούνται οριζόντια. Χρησιμοποιούνται πιο συχνά για να σχηματίσουν ακρόβαθρα γεφυρών, το κατάστρωμα της γέφυρας τοποθετείται τελευταίο και αυτό υπόγεια καταλαμβάνοντας πολύ περιορισμένο χώρο στη επιφάνεια.

Οι δοκοί του καταστρώματος, ή τα τόξα της οροφής τοποθετούνται στη θέση τους μέσω ώθησης πάνω στην δομή που έχει κατασκευασθεί από κάτω. Οι τεχνικές αυτές ονομάζονται Jacking Deck, Jacked Arch Method.

Τα βήματα για την κατασκευή είναι τα ακόλουθα όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. 60:

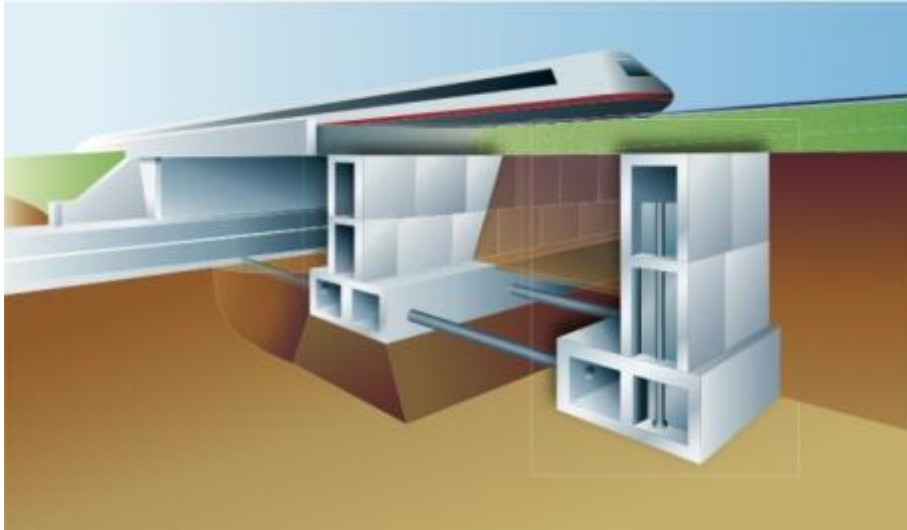
1. Ώθηση των κιβωτίων της θεμελίωσης. Αν χρειάζεται επιπλέον βελτίωση της θεμελίωσης με πασσάλους μέσα από το κιβώτιο.
2. Ώθηση κάτω κιβωτίου ακρόβαθρου.
3. Ώθηση πάνω κιβωτίου ακρόβαθρου.
4. Εγκατάσταση στο επάνω κιβώτιο του οδηγού για την ολίσθηση της οροφής και την πλήρωση με σκυρόδεμα.
5. Ώθηση του καταστρώματος ή του τόξου.
6. Εκσκαφή και ολοκλήρωση της υπόγειας κατασκευής. Φινίρισμα των επιφανειών και γεμίσματα των κενών.



Εικόνα 1. 60: Διαδικασία σύνθετης υπόγειας κατασκευής (15).



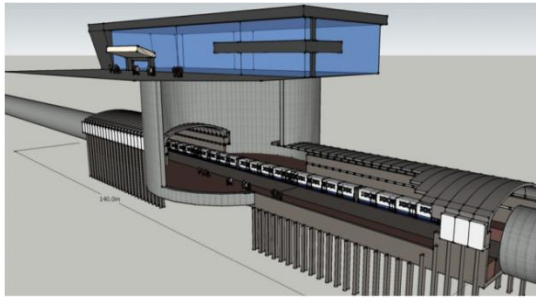
Η τελική εκσκαφή μιας υπόγειας κατασκευής μετά από τη τοποθέτηση και των δοκών της οροφής γίνεται χωρίς να λαμβάνεται κάποιο άλλο ιδιαίτερο μέτρο καθώς η τελική κατασκευή βρίσκεται στην θέση της.



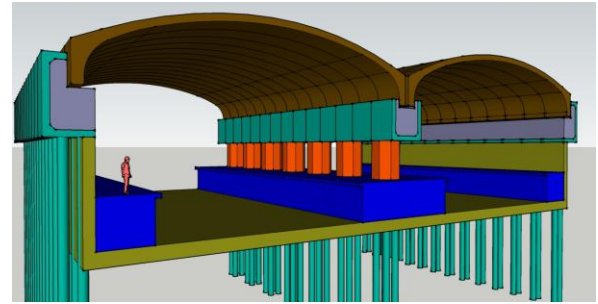
Εικόνα 1. 61: Σχηματικό παράδειγμα κατασκευής υπόγειας γέφυρας με τεχνικές Box Jacking και Deck Jacking (15).

Ένα τυπικό παράδειγμα μπορεί να είναι η κατασκευή υπόγειας γέφυρας με ακρόβαθρα και ένα κεντρικό μεσόβαθρο Εικόνα 1. 61. Το σύστημα έχει το πλεονέκτημα ότι τα σχετικά μικρά αρθρωτά τμήματα ωθούνται σχετικά εύκολα με μικρές απαιτήσεις σε δυνάμεις ώθησης, έτσι χρησιμοποιείται προσωρινά μικρός χώρος για την εγκατάσταση του πλαισίου ώθησης.

Η μέθοδος επιτρέπει όλη η σειρά των εργασιών για τη βελτίωση της θεμελίωσης (με πασσάλους, κλπ), ή την τοποθέτηση εγκάρσιων αντηρίδων, ή την προένταση των κιβωτίων μεταξύ τους, η πλήρωση των κιβωτίων με σκυρόδεμα και τελικά η εργασία εκσκαφής, να γίνεται μέσα από τα κιβώτια με την μέγιστη ασφάλεια.



Εικόνα 1. 62: Σχηματικό παράδειγμα υπόγειου σταθμού του μετρό (15).



Εικόνα 1. 63: Σχηματικό παράδειγμα υπόγειου σταθμού του μετρό με δύο πλατφόρμες κατασκευασμένο με τεχνικές Box Jacking Deck Jacking (15).

Η εφαρμογή τέτοιων μεθόδων επεκτείνεται στις ακόλουθες εφαρμογές

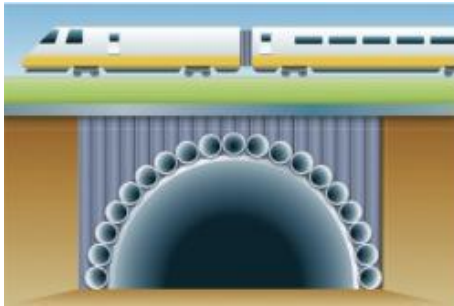
- Κατασκευή υπόγειων σταθμών του μετρό (Εικόνα 1. 62)
- Υπόγειων χώρων στάθμευσης.
- Υπόγειων χώρων αποθήκευσης.

Πλεονεκτήματα της

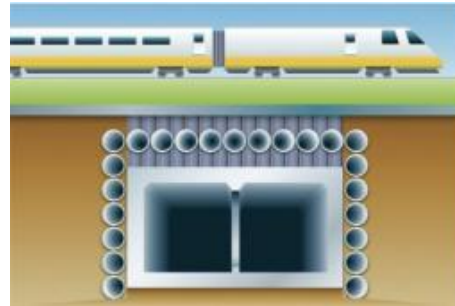
- Με το σπάσιμο της διαδικασίας σε μικρότερα τμήματα έχουμε ως αποτέλεσμα να μειώνεται το ελεύθερο μέτωπο του εδάφους, να μειώνονται οι δυνάμεις ώθησης και οι διατάξεις αντίδρασης.
- Η συνεχής υποστήριξη της εκσκαφής με την εγκατάσταση της τελικής κατασκευής ελαχιστοποιεί την πιθανότητα κατάπτωσης του εδάφους.
- Περισσότερη ασφάλεια για το προσωπικό.
- Ελάχιστες καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους.
- Χρήση προκατασκευασμένων τμημάτων επιτρέπει την επίτευξη υψηλότερης ποιότητας κατασκευής.
- Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα γεωμετρίας και διαμορφώσεων που μπορούν να προσαρμοστούν σε κάθε έργο.
- Ακριβής εγκατάσταση σε πολύ μικρό περιθώριο ανοχών απόκλισης.
- Οι μέθοδοι μπορούν να εφαρμοσθούν τόσο σε βαθιά όσο και σε ρηχές κατασκευές.
- Η ώθηση καταστρωμάτων και τόξων μας δίνει την δυνατότητα να κατασκευάσουμε μεγαλύτερα καθαρά ανοίγματα και σε μεγαλύτερο μήκος.
- Η ώθηση των προκατασκευασμένων στοιχείων για να σχηματισθούν υπόγειες κατασκευές μπορούν να πραγματοποιηθούν από σημαντικά μικρότερες πλατφόρμες ώθησης.

### 1.7.3 Πρόσθετες δομές αντιστήριξης

Για να ξεπεραστούν δύσκολες εδαφικές συνθήκες μερικές φορές απαιτείται η κατασκευή ομπρέλας προστασίας, είναι μια ομπρέλα με δοκούς προπορείας (forepoling) μεγάλης διαμέτρου και μεγάλου μήκους. Αυτή η ομπρέλα αποτελείται από μεταλλικούς σωλήνες που κατασκευάζονται με τεχνικές Microtunnelling ή Auger Boring Εικόνα 1. 64



Εικόνα 1. 64: Δομή αντιστήριξης σε σχήμα ημικόκλιου (15).



Εικόνα 1. 65: Δομή αντιστήριξης σε σχήμα παραλληλογράμμου (15).

Μετά την εγκατάσταση της δομής προστασίας ξεκινά η διαδικασία εκσκαφής και της τοποθέτησης πλαισίων κάτω από τους σωλήνες για να παρέχουν δομική ακαμψία. Όταν τελειώσουν οι εκσκαφές ξεκινά η επιτόπου κατασκευή των τοίχων από σκυρόδεμα της οροφής μαζί με το δάπεδο.



# ■ Κεφάλαιο 2

Φορτία Ωθησης Σωλήνων

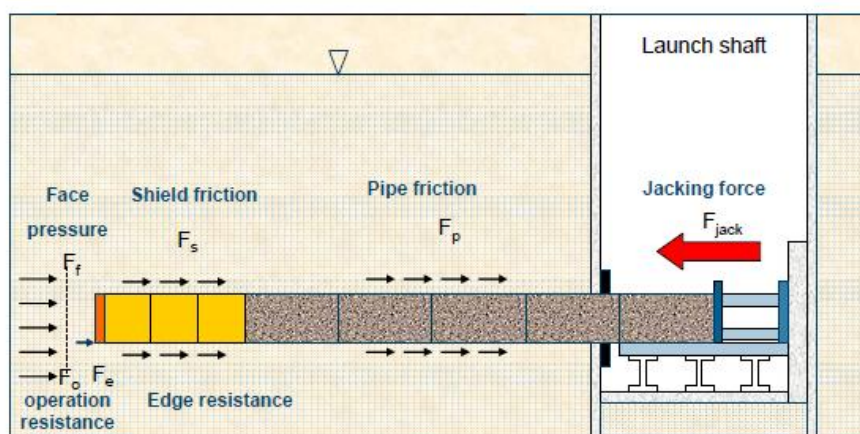


## 2.1 Γενικά στοιχεία

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η εργασία κατασκευής μικροσήραγγας με την τεχνική ωθούμενου σωλήνα (Pipejacking) έχει πολλά και σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος και την αποτροπή των οχλήσεων στις επιφανειακές δραστηριότητες. Κατά τη σύνθετη αυτή διαδικασία μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους είναι τα απαιτούμενα φορτία ώθησης των σωλήνων και η προσπάθεια ελέγχου και περιορισμού αυτών. Η αλληλεπίδραση εδάφους και σωλήνα επηρεάζεται πάρα πολύ από της συνθήκες εκσκαφής, την υπέρ-κοπή, την λίπανση, την μη ευθυγράμμιση των σωλήνων, τα διαστήματα ακινησίας της στήλης των σωλήνων κλπ.

### 2.1.1 Φορτία ώθησης

Το συνολικό φορτίο ώθησης είναι η δύναμη που απαιτείται για να υπερνικηθεί το σύνολο των δυνάμεων αντίστασης της στήλης των σωλήνων, η αντίσταση του μετώπου στην ασπίδα.



$$F_{jack} > F_f + F_o + F_e + F_s + F_p$$

Εικόνα 2. 1: Δυνάμεις Ώθησης – Δυνάμεις αντίστασης στην εργασία Pipejacking

$F_f$ : Γεωστατική Πίεση στο μέτωπο

$F_o$ : Πίεση λειτουργίας (της κοπτικής κεφαλής στο μέτωπο)

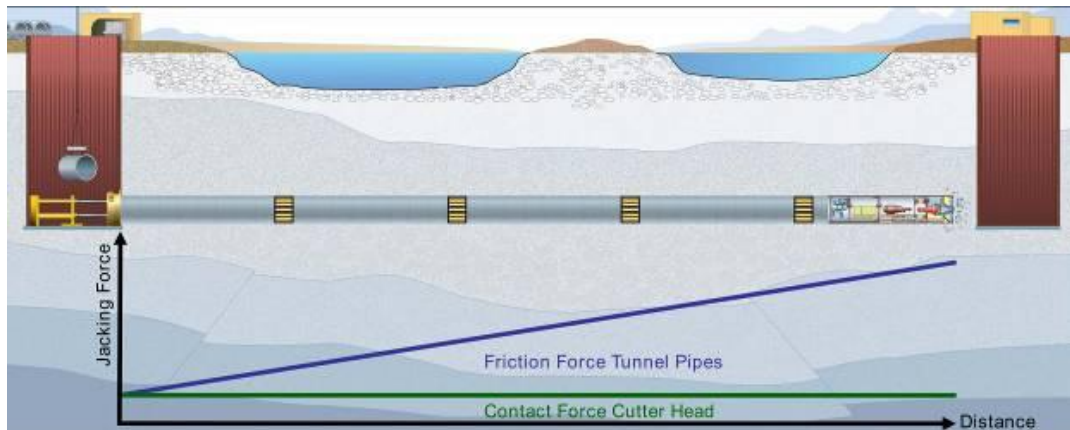
$F_e$ : Αντίσταση ακμής

$F_s$ : Τριβή στην ασπίδα

$F_p$ : Τριβή στους σωλήνες

Ακριβής πρόβλεψη αυτών των δυνάμεων είναι σημαντική για το σχεδιασμό του αρχικού φρεατίου, του τοίχου αντίδρασης, για την επιλογή του εξοπλισμού ώθησης (πλασιόυ ώθησης, και των εμβόλων) καθώς και του πάχους τοιχώματος των σωλήνων. Επίσης καθορίζει την ανάγκη για τοποθέτηση ενός ή περισσότερων

ενδιάμεσων σταθμών ώθησης και τις απαιτήσεις από το σύστημα λίπανσης.



Εικόνα 2. 2: Μεταβολή των συνολικών δυνάμεων αντίστασης στην εργασία Pipe-Jacking

### 2.1.2 Αντίσταση διείσδυσης

Η δύναμη αντίσταση μετώπου ή διείσδυσης αντιτίθεται στην προχώρηση της ασπίδας και διαφέρει σύμφωνα με το σχήμα και τον τύπο διάτρησης.

Για ανοικτές εκσκαφές οι δυνάμεις αντίστασης συνδέονται κυρίως με τη διάμετρο του κοπτικού άκρου της ασπίδας  $F_f$ .

Σε μηχανήματα πίεσης πολφού οι δυνάμεις αντίστασης περιλαμβάνουν την πίεση επαφής κοπτικής κεφαλής  $F_o$  και την πίεση την υδραυλική πίεση υποστήριξης του μετώπου  $F_f$ .

Για να αποφευχθούν οι μετακινήσεις η  $F_o$  πρέπει να είναι ίση με τις πλευρικές πιέσεις γαιών σε ηρεμία και η  $F_f$  να είναι σύμφωνη με την υδροστατική πίεση του υπόγειου νερού.

Η δύναμη αντίστασης του μετώπου ή διείσδυσης βρέθηκε ότι διαφέρει μεταξύ 100kN και 1200kN. Το μεγαλύτερο νούμερο καταγράφηκε σε μηχανήματα πίεση πολφού καθώς η ασπίδα έκανε διάτρηση σε σχηματισμούς ισχυρών συνεκτικών εδαφών.

Το μικρότερο νούμερο εμφανίστηκε σε σταθερά συνεκτικά εδάφη σε μηχανήματα ανοικτού μετώπου και για εκσκαφή σε όλο το μέτωπο.

### 2.1.3 Αντίσταση τριβής

Η αντίσταση τριβής είναι αποτέλεσμα του ολοκληρώματος τις επιφανειακής τριβής που δρα σε περιοχές της εξωτερικής επιφάνειας των σωλήνων και τις ασπίδας. Στην παρούσα εργασία θα λάβουμε υπόψη τη τριβή πάνω στους τσιμεντοσωλήνες και στους παράγοντες που επηρεάζουν αυτή την αντίσταση. Στο πίνακα 2.1 συγκεντρώθηκαν από τον Craig (1983) οι μέσες τιμές των διατμητικών



τάσεων για την πρόβλεψη των δυνάμεων ώθησης. Οι τιμές που περιέχονται στον πίνακα 2.1 έχουν τόσο ευρεία κλίμακα που δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται χωρίς επιφύλαξη.

Τύπος Εδάφους	Κύρια επιφανειακή διατμητική τάση (kPa)			
	UK (Craig, 1983)	Germany (Stain et al, 1989)	France (Craig, 1983)	Australia (Craig, 1983)
Βράχος	2-3	-	-	1
Άργιλο με κροκάλες	5-18	3-18	-	-
Στιφρή Άργιλο	5-20	5-9	8-10	5-8
Υγρή άμμος	10-15	2-16	-	13
Ιλύς	5-20	5-9	17	-
Στεγνή πυκνή Άμμος	-	1-7	-	-
Στεγνή χαλαρή Άμμος	25-45	-	20-30	-
Επιχώσεις	Έως 45	-	-	-
Πυκνά χαλίκια	-	2-6	50	-

Πίνακας 2. 1: Κύριες Διατμητικές επιφανειακές τάσεις (16)

Οι κύριες παράμετροι που αναγνωρίζεται ότι επηρεάζουν την αντίσταση τριβής μπορούν να χωρισθούν ως σχετιζόμενα με τη θέση και σχετιζόμενα με την κατασκευή.

Σημαντικές συνθήκες που εντοπίζονται στην θέση είναι:

- Πρόσθετα φορτία και παροδικά ενεργά φορτία
- Ο τύπος του εδάφους και οι μεταβολές κατά το μήκος των σωλήνων
- Κύρια φορτία από το έδαφος
- Η θέση του υδροφόρου ορίζοντα
- Η σταθερότητα του εδάφους

Παράγοντες που σχετίζονται με την κατασκευή

- Το μέγεθος της υπερκοπής
- Χρήση λιπαντικού στο κενό της υπέρ-εκσκαφής
- Χρήση ενδιάμεσου σταθμού ώθησης
- Απόκλιση από την ευθεία των σωλήνων
- Συχνότητα και διάρκεια της στασιμότητας της συστοιχία των σωλήνων.

## 2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τα φορτία ώθησης

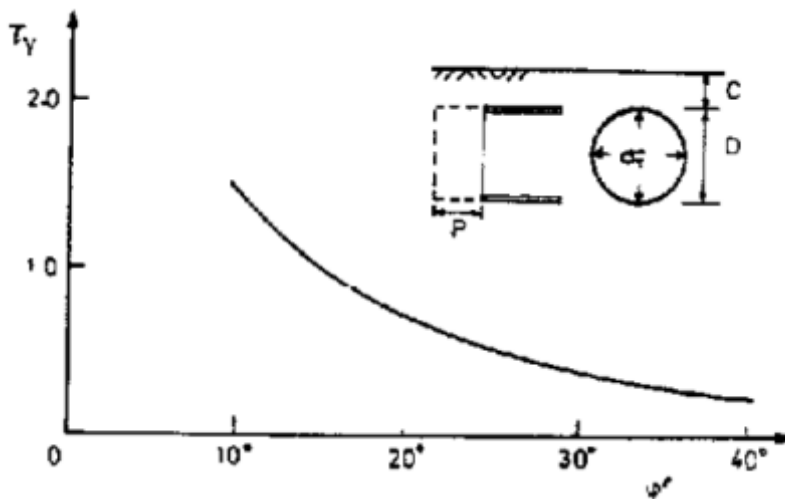
### 2.2.1 Σταθερότητα του εδάφους

Η ικανότητα του εδάφους να αυτό-υποστηρίζεται είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας της αντίστασης τριβής. Αν το έδαφος καταρρέει πάνω στους στη γραμμή των σωλήνων τα φορτία τριβής θα αυξηθούν και μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλη δυσκολία την συνέχιση της ώθησης των σωλήνων.

- Για μη συνεκτικά εδάφη χωρίς πρόσθετα επιφανειακά φορτία η απαιτούμενη πίεση υποστήριξης δίνεται από

$$\sigma_T = \gamma \cdot D \cdot T_\gamma, \quad (2.1), \quad (\text{Davies et al, 1980 and Atkinson and Mair, 1981})$$

$T_\gamma$ : είναι ο συντελεστής σταθερότητας που δίνεται από την εικόνα 2.2 και είναι μια συνάρτηση μόνο του συντελεστή τριβής  $\phi$ .

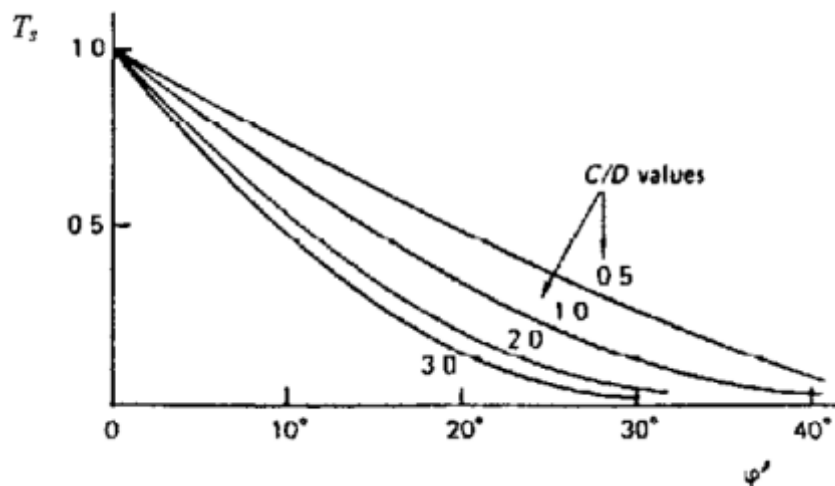


Εικόνα 2. 3: Σχέση μεταξύ  $T_\gamma$  και γωνίας τριβής υπό στραγγισμένες συνθήκες χωρίς επιφανειακό φορτίο

Αν η σήραγγα είναι επιφανειακή και στην επιφάνεια δρα ένα μεγάλο διανεμημένο φορτίο  $\sigma_S$  τότε το βάρος του εδάφους παραλείπεται και αντικαθίσταται από το φορτία

$$\sigma_T = \sigma_S \cdot T_S, \quad (2.2),$$

$T_S$ : είναι ο αριθμός σταθερότητας που δίνεται από την εικόνα 2.3



Εικόνα 2.3: Σχέση μεταξύ  $T_s$  και γωνίας τριβής υπό στραγγισμένες συνθήκες με επιφανειακό φορτίο σε μικρό βάθος.

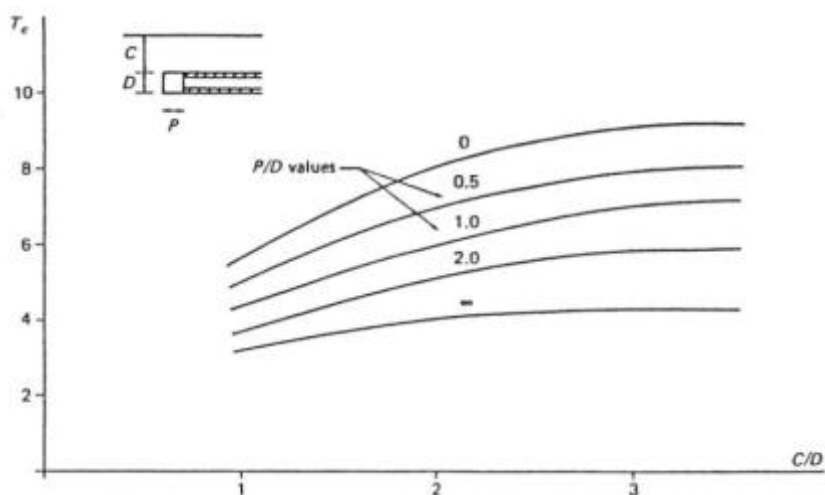
- Σε συνεκτικά εδάφη η πίεση υποστήριξης που χρειάζεται το μέτωπο για να παραμείνει σταθερό δίνεται

$$\sigma_T > \gamma \cdot \left(C + \frac{D}{2}\right) - T_c \cdot S_u, \quad (2.3)$$

$S_u$ : αστράγγιστη διατμητική αντοχή του εδάφους

$\gamma$ : Ειδικό βάρος του εδάφους

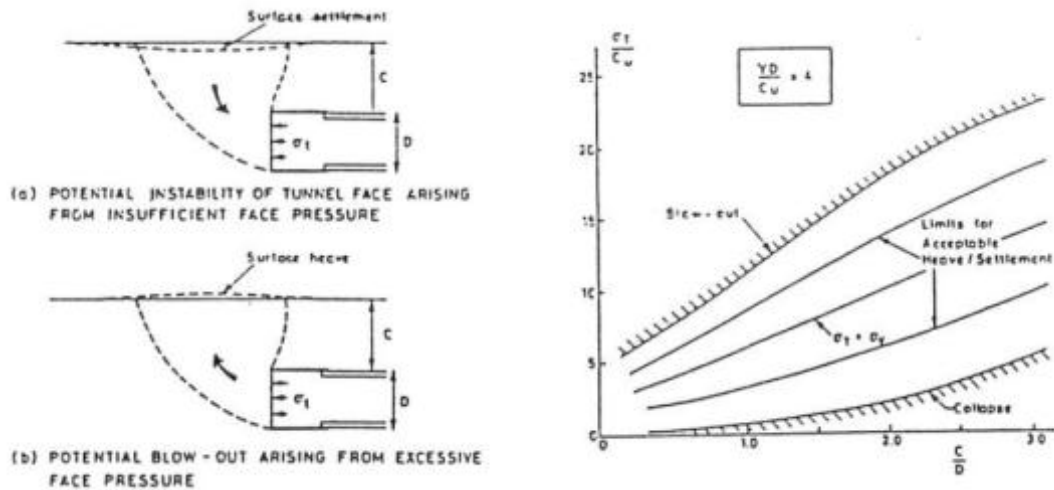
$T_c$ : Λόγος σταθερότητας (Εικόνα 2. 4)



Εικόνα 2. 4: Ο συντελεστής σταθερότητας του μετώπου σε συνεκτικά εδάφη.

Για να αποφευχθεί η ανύψωση της επιφάνειας του εδάφους λόγω της πίεσης στο μέτωπο ισχύει

$$\sigma_T < \gamma \cdot \left(C + \frac{D}{2}\right) + T_c \cdot S_u, \quad (2.4)$$



Εικόνα 2. 5: Σταθερότητα μετώπου σε συνεκτικά εδάφη για  $\frac{\gamma \cdot D}{S_u} = 4$

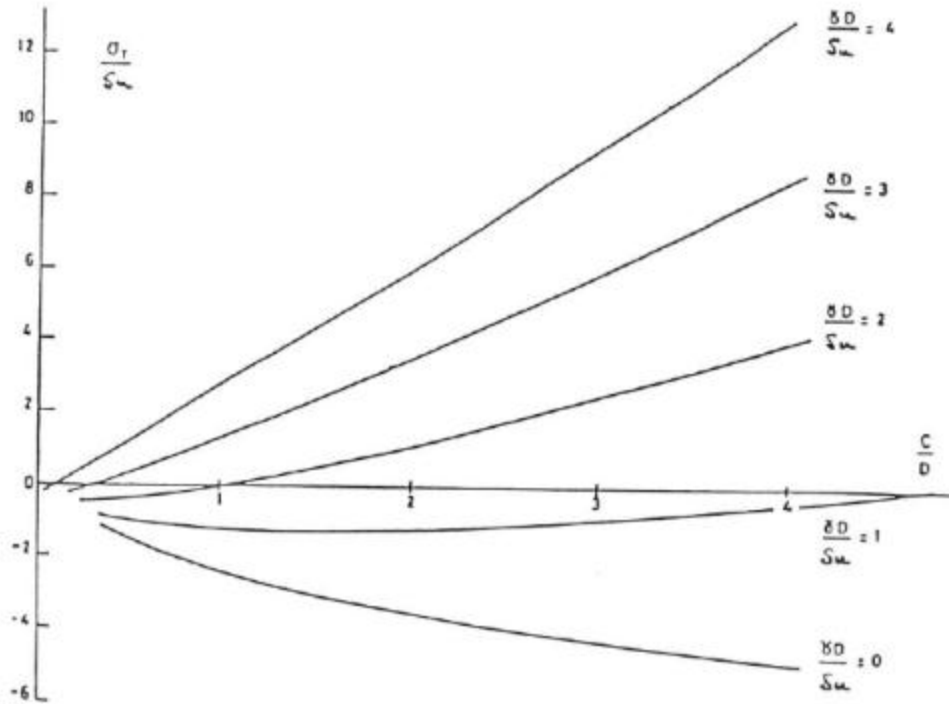
Για σήραγγα κάτω από την ασπίδα, οι συνθήκες αντιστοιχούν με  $\frac{P}{D} \rightarrow \infty$  και  $T_c = 4$

Για τη σήραγγα κάτω από την ασπίδα η σχέση (3) γίνεται

$$\frac{\sigma_T}{S_u} = \frac{\gamma \cdot D}{S_u} \cdot \left(\frac{C}{D} + \frac{1}{2}\right) - T_c, \quad (2.5)$$

Παρατήρηση: για micro-Tunnels ισχύει στις περισσότερες περιπτώσεις  $(\gamma \cdot D)/S_u \ll 1,0$

Επομένως η οπή της σήραγγας είναι σταθερή.



Εικόνα 2. 6: Σταθερότητα της σήραγγας σε συνεκτικά εδάφη.

### 2.2.2 Υπερκοπή

Υπερκοπή είναι το δακτυλιοειδές κενό μεταξύ της οπής της σήραγγας που έχει εκσκαφή και του εξωτερικού τοιχώματος του σωλήνα, τυπικά είναι 10-15 mm στην ακτίνα

$$R = \frac{(D_e - D_p)}{D_p}$$

Έχει βρεθεί ότι ο βέλτιστος λόγος υπέρ κοπής είναι  $R=0,04$

Για σωλήνα διαμέτρου  $D_p=1,0m$  προκύπτει διάμετρος εκσκαφής  $D_e=1,04m$  επομένως η υπέρ κοπή είναι 20 mm στην ακτίνα.

## 2.3 Πολφός

Η χρήση μπεντονιτικού αιωρήματος ως λιπαντικό στη μέθοδο ωθούμενου σωλήνα (Pipejacking) είναι κοινή πρακτική στις μέρες μας. Το λιπαντικό μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά αν δημιουργηθεί ένα διακριτό στρώμα λιπαντικού μεταξύ των ολισθαινόντων επιφανειών των σωλήνων και της επιφάνειας του εκσκαφέντος εδάφους. Αν το έδαφος καταρρεύσει πάνω στους σωλήνες, η αποτελεσματικότητα του λιπαντικού βαθμιαία θα μειωθεί.

Η πρώτη και πιο σπουδαία λειτουργία του μπεντονιτικού αιωρήματος είναι να παρέχει την απαραίτητη εσωτερική πίεση για να σταθεροποιήσει τη σπή της σήραγγας. Ο πολφός πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να σχηματίζει έναν υμένα (filter cake) στο περιβάλλον έδαφος χωρίς εκτεταμένη διαρροή του υλικού ώστε η εσωτερική πίεση να διατηρείται στο απαραίτητο επίπεδο για να υπερνικά τις πιέσεις από το υπόγειο νερό και να σταθεροποιεί την σπή της σήραγγας. Πρέπει επίσης να γεμίζει πλήρως το κενό της υπερκοπής για να διατηρήσει την σπή ανοικτή έχοντας ως αποτέλεσμα τις μικρότερες μετακινήσεις τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα.

Ο μπεντονίτης, φυσικό ορυκτό αργιλικής φύσης, καθώς και το νερό αναμιγνύονται σε ένα διάλυμα που αποκτά ιδιότητες κολλοειδούς διαλύματος όταν μένει σε ηρεμία για μερικές ώρες πριν τη χρήση, ώστε να διογκωθούν τα σωματίδια του ορυκτού. Το έτοιμο διάλυμα αντλείται και εισπίζεται στο κενό της υπερκοπής, στην εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων, μέσα από ένα προσωρινό δίκτυο σωληνώσεων και υποδοχών (sockets) που έχουν τοποθετηθεί στους σωλήνες κατά την χύτευσή τους. Η κατανομή και η διεύθετηση αυτών των υποδοχών είναι θέμα της συσσωρευμένης εμπειρίας του κατασκευαστή. Αν σχηματισθεί ένα συνεχές στρώμα λιπαντικού τότε θεωρητικά οι σωλήνες μπορεί να επιπλεύσουν μέσα στο λιπαντικό.

Οι ιδιότητες που έχει το μπεντονιτικό αιώρημα όταν βρίσκεται σε ανάδευση είναι θιξοτροπικές ενώ όταν είναι σε ηρεμία είναι ιδιότητες συνοχής τζέλ.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο την αποτελεσματικότητα του μπεντονιτικού αιωρήματος είναι:

- Η ποιότητα και ο τύπος του μπεντονίτη
- Η συνοχή του αιωρήματος
- Ο έλεγχος της πίεσης εισπίεσης.

Υψηλής ποιότητας μπεντονίτης διογκώνεται γρήγορα και παρέχει τη λίπανση και το απαραίτητο ιξώδες. Πρόσθετη επεξεργασία του νερού για την σκληρότητα και την οξύτητά του μπορεί επίσης να βοηθήσει στην μεγιστοποίηση της διατμητικής αντοχής του αιωρήματος. Η συνοχή του αιωρήματος και η πίεση της εισπίεσης αποδεικνύεται να έχει μια μεγάλη επίδραση στην αποτελεσματικότητα της λίπανσης, ένα συνεκτικό αιώρημα έχει καλύτερα διατμητικά αποτελέσματα από ένα με λιγότερη συνοχή.

Μια μικρότερη πίεση εισπίεσης με σταθερή ροή έχει μια πιο ομοιόμορφη κατανομή σε αντίθεση με τις υψηλές πιέσεις που μπορεί να οδηγήσουν το αιώρημα σε ορισμένες περιοχές έναντι άλλων.

Αν ρυθμίσουμε το κενό της υπερκοπής μπορούμε να αναμένουμε διαφορετικές αντιδράσεις του εδάφους σε σχέση με τη σταθερότητα του περιβάλλοντος υπεδάφους.

- **Σε σταθερό έδαφος**, η οπή της εκσκαφή παραμένει σταθερή και η επαφή των σωλήνων με το περιβάλλον έδαφος γίνεται στο περιορισμένο κεντρικό κάτω τμήμα της περιμέτρου των σωλήνων (στο invert των σωλήνων). Σε αυτή την περίπτωση το εισπιεζόμενο αιώρημα μπεντονίτη λειτουργεί ως λιπαντικό στο δακτυλιοειδές κενό. Ο συντελεστή τριβής  $\mu$  μεταξύ της επιφάνειας των σωλήνων και του υπεδάφους μειώνεται σημαντικά και ως εκ τούτου και η συνολική δύναμη ώθησης μειώνεται. Με σκοπό να δημιουργηθεί ένα λιπαντικό στρώμα, το λιπαντικό πρέπει να γεμίσει πλήρως το δακτυλιοειδές κενό και να μην ρέει ανεξέλεγκτα μέσα στο έδαφος. Καθοριστικές παράμετροι για αυτό είναι, η διαπερατότητα του εδάφους και η ικανότητα του λιπαντικού να έχει περιορισμένο βάθος διείσδυσης μέσα στο έδαφος.
- **Σε ασταθές έδαφος**, η οπή της εκσκαφής θα καταρρεύσει πάνω στην συστοιχία των σωλήνων και θα τις καλύψει περιμετρικά. Εδώ απαιτείται η ικανότητα του μπεντονιτικού αιωρήματος να σταθεροποιήσει το περιβάλλον έδαφος και να διατηρήσει το δακτυλιοειδές άνοιγμα ανοικτό. Το μπεντονιτικό αιώρημα πρέπει να αλληλεπιδρά με το ασταθές έδαφος με σκοπό να μεταφέρει την διαφορά πίεσης μεταξύ του αιωρήματος μέσα στο δακτυλιοειδές κενό και της πίεσης του εδάφους στην δομή των τεμαχίων του υπεδάφους (ενεργές τάσεις).
- Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να απαιτείται και μια τρίτη λειτουργία του μπεντονιτικού αιωρήματος **σε σκληρό βράχο**. Σε κερματισμένο βράχο μεμονωμένα τεμάχια πέφτουν από την βραχώμαζα μέσα στο κενό της υπερκοπής, κατά τη διάρκεια της εργασίας προώθησης των σωλήνων. Αυτά τα τεμάχια έχουν την τάση να συσσωρεύονται μέσα στο δακτυλιοειδές κενό σε ορισμένα σημεία σχηματίζοντας κατά κάποιο τρόπο δακτυλίδια που στην χειρότερη περίπτωση μπορούν να αναγκάσουν την συστοιχία των σωλήνων μέχρι αυτή να κολλήσει. Αυτό το σενάριο μπορεί να αποφευχθεί με την εισπίεση αιωρήματος μπεντονίτη, στο δακτυλιοειδές κενό, το οποίο θα κρατά αυτά τα τεμάχια σε αιώρηση και θα τα μεταφέρει, θα αποτρέψει έτσι την συσσώρευσή τους.

### 2.3.1 Σταθεροποίηση του περιβάλλοντος εδάφους.

Η λειτουργία του λιπαντικού ως υγρό εξισορρόπησης πίεσης με σκοπό τη σταθεροποίηση του υπεδάφους, δημιουργεί μία ζώνη στο υπεδάφος με μειωμένη διαπερατότητα. Για να ικανοποιήσει αυτή την εργασία, η διατμητική αντοχή  $\tau_f$ , η πυκνότητα και η σταθερότητα του αιωρήματος καθώς και η συμπεριφορά διείσδυσης μέσα στο έδαφος είναι οι πιο καθοριστικές παράμετροι. Σύμφωνα με τον Walz (1989), η μεταφορά της υδροστατικής πίεσης βαθμιαία από το αιώρημα

μπεντονίτη στα τεμάχια της μικροδομής του υπεδάφους εξαρτάται από το χρόνο (17). Για το σκοπό αυτό, στην διεπιφάνεια ή σε κάποιο βάθος διείσδυσης από τη διεπιφάνεια του υπεδάφους σχηματίζεται μια ζώνη, στην οποία η διαπερατότητα είναι μικρότερη από το υπέδαφος. Σε αυτή τη ζώνη η πίεση κατανέμεται μεταξύ του αιωρήματος και του υπεδάφους που υποστηρίζεται, η διαφορά πίεσης μετατρέπεται σε ενεργή τάση που δρα πάνω στα τεμάχια της δομής του υπεδάφους. Σύμφωνα με Fuji, (1997) (18), η διαφορά πίεσης του λιπαντικού είναι συνήθως 0,1-0,2 bar περισσότερο από την επιτόπου πίεση εδάφους ή την πίεση του υπόγειου νερού.

Η δημιουργία της ζώνης με την μειωμένη της διαπερατότητα μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Μέσα στο περιβάλλον υπέδαφος το οποίο πρέπει να υποστηριχθεί υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ του μηχανισμού της κατανομής και της εξισορρόπησης της πίεσης και του τρόπου διείσδυσης του μπεντονιτικού αιωρήματος μέσα στο υπέδαφος (Mueller - Kirchenbauer, 1977) (19).

1. Για τον πρώτο μηχανισμό είναι καθοριστική η σχέση του μεγέθους των τεμαχίων του μπεντονίτη στο αιώρημα και του μεγέθους των ρωγμών σε βράχους ή του μεγέθους των πόρων στα μαλακά εδάφη,
2. Για τον δεύτερο μηχανισμό, η διατμητική αντοχή  $T_f$  του μπεντονιτικού αιωρήματος είναι η καθοριστική παράμετρος. Με σκοπό να μεταφέρει την υδροστατική πίεση βαθμιαία στην μικροδομή των τεμαχίων του υπεδάφους στην ζώνη της περιορισμένης διαπερατότητας τρεις μηχανισμοί είναι πιθανοί,
  - Ο σχηματισμός μιας εξωτερικής μεμβράνης (filter cake),
  - Ο σχηματισμός μιας εσωτερικής μεμβράνης,
  - Η διείσδυση του αιωρήματος στο περιβάλλον υπέδαφος.

### **2.3.2 Ικανότητα μεταφοράς εναιωρήματος μπεντονίτη για κοπή.**

Η αντοχή του αιωρήματος (τζέλ) περιγράφει την φέρουσα ικανότητα ή ικανότητα μεταφοράς του αιωρήματος, όπως αποκαλείται η ικανότητα του αιωρήματος να κρατά τα σωματίδια υπό άνωση. Αυτό το αποτέλεσμα έχει μεγάλο ενδιαφέρον για τη μέθοδο ωθούμενου σωλήνα, που εκτελούνται σε κερματισμένο σκληρό βράχο καθώς μπορεί να αποτρέψει τα τεμάχια, τα οποία έχουν αποσπασθεί από την βραχομάζα, να συγκεντρωθούν στο πυθμένα της εκσκαφής. Μια μεγάλη ποσότητα από θραύσματα που συγκεντρώνονται σε κρίσιμα σημεία μπορούν να εμποδίσουν την ώθηση μέχρι που τελικά οι σωλήνες να κολλήσουν εντελώς.

### **2.3.3 Κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου μπεντονιτικού αιωρήματος**

Λόγος του χαρακτηριστικού μεγέθους τεμαχίων  $d_{10}$  (μαλακά εδάφη) και του μεγέθους των ρωγμών  $2a$  (βράχος), αντίστοιχα, σε σχέση με το μέγεθος των τεμαχίων του μπεντονιτικού αιωρήματος.

Ενεργός διάμετρος ή χαρακτηριστικό μέγεθος τεμαχίων  $d_{10}$ , ορίζεται ως η διάμετρος από την οποία διέρχεται από κόσκινο το 10% του δείγματος εδάφους. Είναι ιδιαίτερα



χρήσιμη καθώς συνδέεται με τη δυνατότητα ροής του νερού μέσα στο έδαφος. Μικρή τιμή της ενεργού διαμέτρου δείχνει ότι το έδαφος περιέχει μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ιδιότητες του εδάφους επηρεάζονται σημαντικά από το λεπτόκοκκο υλικό που περιέχει.

Το μέγεθος των αιωρούμενων τεμαχίων του μπεντονίτη είναι περίπου 20  $\mu\text{m}$  ( $=0,02 \text{ mm}$ ). Σε σχέση με το μέγεθος των ρωγμών των πόρων σε μαλακά εδάφη και των ρωγμών σε βράχο αντίστοιχα, τα τεμάχια του μπεντονίτη έχουν την ικανότητα να δημιουργούν,

(α) μια εξωτερική μεμβράνη,

(β) μία εσωτερική μεμβράνη στο περιβάλλον έδαφος (Πίνακας 2. 2), που λειτουργεί ως μια ζώνη μειωμένης διαπερατότητας που μεταφέρει και εξισορροπεί την πίεση από το κενό της υπερκοπής, στη μικροδομή των τεμαχίων του υπεδάφους.

Αν το μέγεθος των τεμαχίων του μπεντονιτικού αιωρήματος υπερβαίνει το μεγαλύτερο μέγεθος του πόρου του εδάφους  $d_{10}$  ή το μέγιστο μέγεθος ρωγμής  $2a$  σε σκληρούς βράχους, αντίστοιχα τα τεμάχια του μπεντονιτικού αιωρήματος συγκεντρώνονται στη διεπιφάνεια του περιβάλλοντος εδάφους και του κενού της υπερκοπής. Το νερό του αιωρήματος ρέει μέσα από τις ρωγμές και την εξωτερική μεμβράνη και δημιουργεί μια σχεδόν μη διαπερατή μεμβράνη, η οποία καλύπτει τη ζώνη των ρωγμών και εγκλωβίζει τα τεμάχια του εδάφους στις κατέχουσες θέσεις τους (Πίνακας 2. 2 αριστερή πλευρά (1) εξωτερική μεμβράνη). Έτσι η διείσδυση του μπεντονιτικού αιωρήματος στο έδαφος σταματά, και η πίεση βαθμιαία μεταφέρεται απευθείας από τη μεμβράνη στην δομή των τεμαχίων του εδάφους και σταθεροποιεί την οπή. Ειδικά η εξωτερική μεμβράνη δημιουργείται σε καλά διαβαθμισμένο έδαφος ( $d_{10} \leq 0,2\text{mm}$ ) (Walz, 2001) (17).

<p>Συνεκτικό έδαφος, <math>d_{10} \leq 0,06 \text{ mm}</math>  Μη συνεκτικό έδαφος, <math>d_{10} &lt; 1 \text{ mm}</math>  Σκληρός βράχος, <math>2a &lt; 1 \text{ mm}</math></p>	<p>Μη συνεκτικό έδαφος, <math>d_{10} = 1 - 6 \text{ mm}</math>  Σκληρός βράχος, <math>2a = 1 - 6 \text{ mm}</math></p>	<p>Μη συνεκτικό έδαφος, <math>d_{10} &gt; 6 \text{ mm}</math>  Σκληρός βράχος, <math>2a &gt; 6 \text{ mm}</math></p>
<p>1) Εξωτερική μεμβράνη  (Outer filter cake)</p>	<p>2) Εσωτερική μεμβράνη (ίζημα)  (Inner filter cake)</p>	<p>3) Διείσδυση  (Penetration)</p>

Πίνακας 2. 2 : Σχηματισμός μεμβράνης ανάλογα με το μέγεθος των ρωγμών (οπών)  $2a$  και του χαρακτηριστικού μεγέθους των τεμαχίων  $d_{10}$ .

Αν το μέγεθος των τεμαχίων του αιωρήματος βρίσκεται μεταξύ του ελάχιστου και του μέγιστου μεγέθους των οπών, το αιώρημα με τα τεμάχια του μπεντονίτη διεισδύουν μέσα στο έδαφος και συγκεντρώνονται με την μορφή λαιμού μπουκαλιού (bottleneck) στους πόρους ή στις ρωγμές. Βαθμιαία οι πόροι ή οι ρωγμές μπλοκάρουν από τα αυτά τα συσσωματώματα των τεμαχίων του μπεντονίτη. Το βάθος που αυτά διεισδύουν εξαρτάται από το λόγο του μέσου όρου του μεγέθους των τεμαχίων του αιωρήματος και του μέσου όρου του μεγέθους των πόρων ή των ρωγμών (Walz, 1989) (17). Αυτό είναι η αποκαλούμενη εσωτερική μεμβράνη (inner filter cake) Πίνακας 2. 2, δεξιά στήλη (2).

Σε αυτό το βάθος διείσδυσης η διαπερατότητα του εδάφους μειώνεται δραματικά. Όμως η μεταβίβαση της πίεσης βαθμιαία προς τη δομή των τεμαχίων του εδάφους λαμβάνει χώρα σε κάποιο βαθμό μέσω της μεμβράνης του ατελούς ιζήματος και σε κάποιο βαθμό από την ενεργοποίηση της διατμητικής αντοχής του μπεντονιτικού αιωρήματος κατά μήκος των πόρων ή των ρωγμών. Σε αυτή την περίπτωση, το βάθος διείσδυσης δεν μπορεί να υπολογισθεί επ' ακριβώς.

Επομένως η δημιουργία της εξωτερικής μεμβράνης λαμβάνει χώρα, (17)

σε συνεκτικά εδάφη με  $d_{10} \leq 0,06 \text{ mm}$  και

σε μη συνεκτικά εδάφη με  $d_{10} < 1 \text{ mm}$  ή

σε σκληρό βράχο με  $2a < 1 \text{ mm}$ .

Η εσωτερική μεμβράνη αναπτύσσεται

σε μη συνεκτικά εδάφη με  $d_{10} = 1 - 6 \text{ mm}$  ή

σε σκληρό βράχο με  $2a = 1 - 6 \text{ mm}$ .

Σύμφωνα με το DIN 4126, 2004 (20), αν οι τιμές για την ελάχιστη διατμητική αντοχή  $\tau_f$  που απαιτείται για την επιλογή του κατάλληλου μπετονιτικού αιωρήματος Πίνακας 2. 3.

Αυτές οι τιμές πρέπει να χρησιμοποιούνται για μια χονδρική εκτίμηση.

$d_{10}$ ή $2a$	$\min \tau_f$
$\leq 0,6 \text{ mm}$	$10 \text{ N/m}^2$
$\leq 2,0 \text{ mm}$	$30 \text{ N/m}^2$
$\leq 5,0 \text{ mm}$	$70 \text{ N/m}^2$

Πίνακας 2. 3: Ελάχιστη διατμητική αντοχή  $\min \tau_f$  (DIN 4126, 2004) (20)

Η ελάχιστη διατμητική αντοχή  $\min \tau_f$  είναι αποτελέσματα του τύπου δίνεται

$$\min \tau_f = \frac{d_{10} \cdot \gamma'}{\tan(\text{cal}\phi)}$$

$d_{10}$  = το χαρακτηριστικό μέγεθος των τεμαχίων [mm]

$\text{cal}\phi$  = η υπολογιζόμενη γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους [°]

$\gamma'$  = το ειδικό βάρος του εδάφους υπό άνωση [kg/m<sup>2</sup>]

Στην περίπτωση που οι διατμητικές τάσεις μεταφέρονται στη δομή των τεμαχίων του εδάφους κατά την διείσδυση του μπεντονιτικού αιωρήματος, η διατμητική αντοχή  $\tau_f$  είναι η καθοριστική παράμετρος.

Αυτή η επίδραση εμφανίζεται με την δημιουργία του εσωτερικού ιζήματος

σε μη συνεκτικά εδάφη  $d_{10} = 1-6\text{mm}$  και

σε σκληρό βράχο με  $2a = 1-6\text{mm}$

και στην διείσδυση του μπετονιτικού αιωρήματος

σε μη συνεκτικά εδάφη  $d_{10} > 6\text{mm}$  και

σε σκληρό βράχο με  $2a > 6\text{mm}$  Πίνακας 2. 2

Εάν τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μικρότερα και από το μικρότερο μέγεθος των ρωγμών του υπεδάφους, το μπεντονιτικό αιώρημα διεισδύει πλήρως στο περιβάλλον υπέδαφος και μεταφέρει τις διατμητικές τάσεις στο μέγεθος της διατμητικής του αντοχής,  $\tau_f$  στην επιφάνεια των σωματιδίων σε μη συνεκτικά εδάφη και ή στην επιφάνεια των ρωγμών σε σκληρούς βράχους αντίστοιχα.

Σύμφωνα με (Kilchert et. al., 1984) (17), η διείσδυση σταματά σε κάποιο βάθος. Σε αυτή την περίπτωση το ολοκλήρωμα της διατμητικής τάσης πάνω στην επιφάνεια των τεμαχίων του εδάφους ή πάνω στην επιφάνεια των ρωγμών είναι ίση με την διαφορά πίεσης εξισορρόπησης μεταξύ του δακτυλιοειδούς κενού και της πίεσης του εδάφους και/ή της πίεσης του νερού των πόρων του εδάφους. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, η διαφορά στην πίεση μεταφέρεται ισοδύναμα, στην δομή των τεμαχίων του υπεδάφους, με τις διατμητικές τάσεις  $\tau$  διαμέσου του βάθους διείσδυσης και υποστηρίζει την οπή όσον αφορά τις ενεργές τάσεις (Walz, 1989) (17).

Το βάθος διείσδυσης εξαρτάται από την διαφορά πίεσης  $\Delta p$ , τη διατμητική αντοχή  $\tau_f$  του μπετονιτικού αιωρήματος και το χαρακτηριστικό μέγεθος των τεμαχίων  $d_{10}$  ή το μέγεθος των ρωγμών  $2a$  αντίστοιχα – η καθοριστική παράμετρος είναι η διαπερατότητα του εδάφους. Ο τύπος στον Πίνακα 2. 4 δίνει μια εικόνα του βάθους διείσδυσης μέχρι το μπεντονιτικό αιώρημα ηρεμήσει στο υπέδαφος.

Για το σχεδιασμό των ρεολογικών χαρακτηριστικών του μπετονιτικού αιωρήματος, ο υπολογισμός της διατμητικής αντοχής  $\tau_f$  σε σχέση με το βάθος διείσδυσης  $s$  μπορεί να υπολογισθεί με χρήση των τύπων που περιέχονται στον Πίνακα 2. 4. Εξ' αιτίας οικονομικών λόγων απαιτείται να ελαχιστοποιηθεί το βάθος διείσδυσης, γιατί με την αύξηση του βάθους διείσδυσης η ποσότητα του μπετονιτικού αιωρήματος που πρέπει να εισπνευστεί αυξάνει σημαντικά.

Μαλακό έδαφος	Σκληρός βράχος
$s = \frac{d_{10}}{2 \cdot \tau_f} \cdot \Delta p$	$s = \frac{2a}{2 \cdot \tau_f} \cdot \Delta p$

Πίνακας 2. 4: Το βάθος διείσδυσης  $s$  σε σχέση με τη διατμητική αντοχή  $\tau_f$  (DIN 4126, 2004) (20)

$d_{10}$  = το χαρακτηριστικό μέγεθος των τεμαχίων σε μαλακά εδάφη [mm]

$2a$  = το μέγεθος των ρωγμών σε σκληρά εδάφη [mm]

$\tau_f$  = η διατμητική αντοχή του μπετονιτικού αιωρήματος [ $N/m^2$ ]

$s$  = το βάθος διείσδυσης του μπετονιτικού αιωρήματος στο υπέδαφος [mm]

$\Delta p$  = η διαφορά (βαθμίδα) πίεσης μεταξύ του μπετονιτικού αιωρήματος στο δακτυλιοειδές κενό και της πίεσης του εδάφους και/ή της πίεσης του νερού στο υπέδαφος [ $N/m^2$ ] (0,1-0,3 bar σύμφωνα με (Fuji, 1997) (18)).

#### 2.3.4 Διατμητική αντοχή ή Αντοχή τζέλ του μπετονιτικού αιωρήματος

Η αντοχή του τζέλ περιγράφει την ικανότητα μεταφοράς του μπετονιτικού αιωρήματος, π.χ. την ικανότητα του αιωρήματος να κρατά τεμάχια του πετρώματος υπό άνωση. Αυτό το αποτέλεσμα έχει σημασία για έργα Pipejacking σε σαθρούς σκληρούς βράχους για να αποτρέψει στα θραύσματα να συγκεντρωθούν σεορισμένα, π.χ. στον πυθμένα της οπής.

Με σκοπό να υπολογισθεί η απαιτούμενη διατμητική αντοχή του μπετονιτικού αιωρήματος σε σχέση με τη διάμετρο των τεμαχίων, σύμφωνα με (Triantafyllidis, 2004) (17), μπορεί να εφαρμοστεί ο ακόλουθος τύπος. Πρέπει να τονισθεί ότι ο τύπος αυτός αναφέρεται σε βύθιση σφαιρικής μπάλας σε αιώρημα μπετονίτη.

$$\tau_f = 0.7 \cdot \frac{2}{3 \cdot \pi} \cdot d_{particle} \cdot (\gamma_{particle} - \gamma_{suspension})$$

$\tau_f$  = διατμητική αντοχή του μπετονιτικού αιωρήματος [ $N/m^2$ ]

$d_{particle}$  = διάμετρος τεμαχίων [mm]

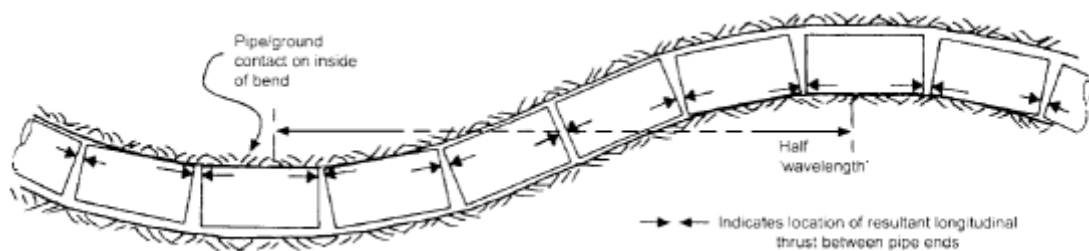
$\gamma_{\text{Particle}}$  = Ειδικό βάρος των τεμαχίων [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]

$\gamma_{\text{Suspension}}$  = Ειδικό βάρος του μπετονιτικού αιωρήματος [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]

Το μπετονιτικό αιώρημα είναι ικανό να εκτελέσει αυτή την εργασία, όταν το δακτυλιοειδές κενό είναι γεμάτο με αιώρημα. Στην περίπτωση που το λιπαντικό είναι σε κίνηση μέσα στο δακτυλιοειδές κενό, το υψηλό ιξώδες του μπετονιτικού αιωρήματος θα αποτρέψει την βύθιση των τεμαχίων. Αν το λιπαντικό είναι ακίνητο μέσα στο κενό η αντοχή του τζελ του αιωρήματος θα αποτρέψει την βύθιση των τεμαχίων. Μια ελάχιστη διαφορά μεταξύ της πυκνότητας του μπετονιτικού αιωρήματος και της πυκνότητας των τεμαχίων έχει θετικό αποτέλεσμα στην ικανότητα μεταφοράς.

## 2.4 Ευθυγράμμιση των σωλήνων

Αναπόφευκτα η εκσκαφή μιας σήραγγας με την τεχνική ωθούμενου σωλήνα (Pipejacking), θα αποκλίνει από την επιθυμητή ευθεία γραμμή και το επιθυμητό επίπεδο κλίσης για κάποιες μοίρες. Στρίβοντας ένα τμήμα της κεφαλής της ασπίδας με εσωτερικά έμβολα, μπορούμε να κάνουμε διορθώσεις στην πορεία της εκσκαφής και να ελέγξουμε τόσο την ευθεία όσο και το επίπεδο κλίσης του περάσματος. Αποτέλεσμα αυτής της διόρθωσης είναι οι ελαφρές ταλαντώσεις γύρω από την πραγματική ευθεία γραμμή. Μια σειρά σωλήνων που αποκλίνει θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των συνολικών δυνάμεων ώθησης λόγω της εισαγωγής μιας σειράς από πλάγιες δυνάμεις που δρουν πάνω στους σωλήνες.



Εικόνα 2. 7: Σχηματική αναπαράσταση απόκλισης από την ευθεία μιας σειράς από σωλήνες.

Το θεωρητικό μοντέλο αναπτύχθηκε από τον Norris, (1992b) (21) (22) και θα παρουσιασθεί στην συνέχεια.

## 2.5 Διακοπές εργασιών – Σταματήματα.

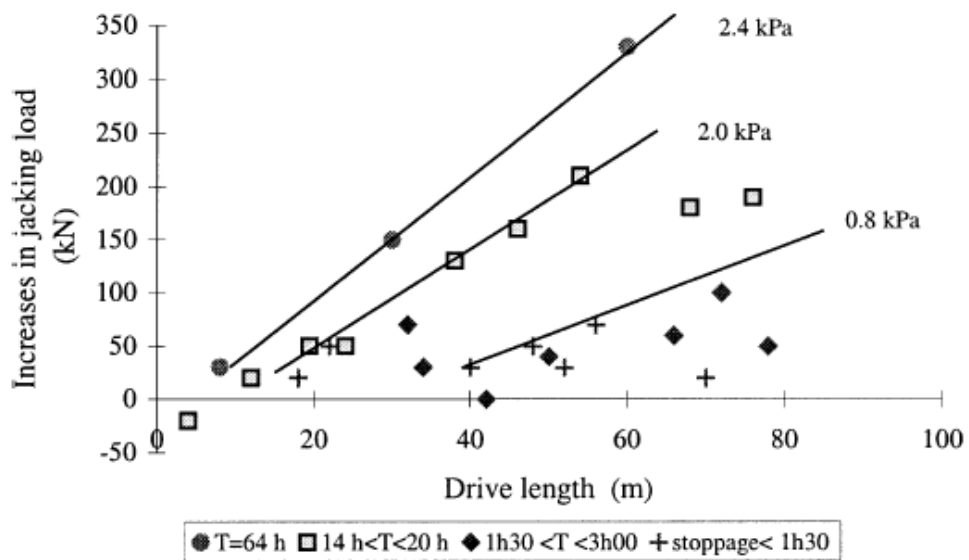
Έχει αναφερθεί ευρέως η διακοπή στην ώθηση των σωλήνων πχ κατά τη διάρκεια της νύχτας ή του Σαββατοκύριακου έχει ως αποτέλεσμα ότι κατά το επόμενο ξεκίνημα της εργασίας ώθησης, θα χρειασθεί μεγαλύτερη δύναμη από αυτήν πριν το σταμάτημα της εργασίας. Αυτή αύξηση των δυνάμεων ώθησης

αντιστοιχεί σε αύξηση των δυνάμεων τριβής όταν η αντίσταση του μετώπου παραμένει ίδια και μπορεί να αποδοθεί σε δύο φαινόμενα.

- Το έδαφος γύρω από το σωλήνα ρέει και οδηγεί σε σύσφιξη την σειρά των σωλήνων.
- Όταν σταματά η ώθηση των σωλήνων και η εισπίεση του πολφού, αυτό έχει ως επακόλουθο η αυξημένη πίεση του νερού των πόρων να εκτονώνεται με αποτέλεσμα την αύξηση των ενεργών τάσεων του εδάφους και κατ' επέκταση την αύξηση της τριβής αντίστασης.

Η αύξηση της πίεσης υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση.

$$\Delta P = P_{at\ start} - P_{last\ force}$$



Εικόνα 2. 8: Αύξηση της δύναμης ώθησης σε σχέση με το χρόνο διακοπής της εργασίας σε μάργες και αμμοχαλικάδεις μάργες Α. – L. Pellet-Beacour, R. Kastner (2002 (23)).

Στην Εικόνα 2. 8 αναπαρίστανται τέσσερα είδη διακοπής εργασίας

- Διακοπή εργασιών μικρότερη από 1,5 Ώρα για την τοποθέτηση της επόμενης σωλήνας.
- Διακοπή εργασιών μεταξύ 1,5 Ώρας και 3 Ώρών.
- Νυχτερινή διακοπή εργασιών μεταξύ 14 Ώρών και 20 Ώρών.
- Διακοπή εργασιών μεγαλύτερη από 64 Ώρες για Σαββατοκύριακο.

Από το διάγραμμα της Εικόνα 2. 8 μπορούμε να βγάλουμε τα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα (23).

- Η αύξηση των δυνάμεων που οφείλεται στον ερπυσμό του εδάφους είναι παρατηρήσιμη για περάσματα πάνω από 45 m.

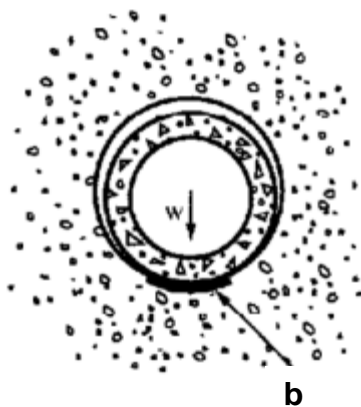
- Γενικά υπάρχει μια γραμμική σχέση της αύξησης της δύναμης με το χρόνο της διακοπής των εργασιών.
- Οι πρόσθετες δυνάμεις πέρα των υπαρχόντων είναι
  - Για μικρές διακοπές εργασίας: +0,8 kPa
  - Για διακοπές εργασίας έως 24 ώρες (1 ημέρα): +2,0 kPa
  - Για διακοπές εργασίας έως 64 ώρες (2,5 ημέρες) +2,4 kPa

## 2.6 Θεωρητικά μοντέλα

### 2.6.1 Τριβή

A) Συνεκτικό έδαφος με σταθερή οπή

οι σωλήνες να ολισθαίνουν ελεύθερα μέσα στην οπή ελεύθερα και έρχονται σε επαφή με το έδαφος μόνο με τον πυθμένα τους.



- Πρώτο μοντέλο υποθέτει ότι η μέση αντίσταση είναι συνάρτηση μόνο του βάρους  $W$  του σωλήνα και της γωνίας τριβή  $\delta$  μεταξύ του σωλήνα με του εδάφους.

$$F = W \cdot \tan \delta, \quad (1) \quad (\text{Milligan and Norris, 1998})$$

- Το δεύτερο μοντέλο υπολογίζει το μήκος επαφής  $b$  και το πολλαπλασιάζει με την πρόσφυση σε αστράγγιστες συνθήκες  $\alpha \cdot s_u$ , μεταξύ σωλήνα και εδάφους.

$$F = \alpha \cdot s_u \cdot b \quad (2) \quad \text{Haslem (1986)}$$

$$b = 1,6 \cdot \sqrt{P_u \cdot k_d \cdot C_e} \quad (3)$$



$P_u$  = βάρος του σωλήνα ανά μονάδα μήκους (kN/m).

$$P_u = \frac{W}{l_t} = (D_2^2 - D_i^2) \cdot \gamma_c \cdot \frac{\pi}{4} \quad (4)$$

$$k_d = \frac{D_1 \cdot D_2}{D_1 - D_2} \quad (5)$$

$$C_e = \frac{1-n_1^2}{E_1} + \frac{1-n_2^2}{E_2} \quad (6)$$

$D_1$ : Διάμετρο εκσκαφής.

$D_2$ : Εξωτερική διάμετρο σωλήνα.

$E_1$ : Μέτρο ελαστικότητας εδάφους (MPa)

$E_2$ : Μέτρο ελαστικότητας σωλήνα (GPa)

$n$ : ο λόγος Poisson's αντίστοιχα.

Παράδειγμα: υπολογισμός b σε δύο διαφορετικά περάσματα.

Συνεκτικό έδαφος με σταθερή οπή Haslem (1986)														
F=a·Su·b														
											Εσ. Διάμετρο Σωλήνα		Πάχος Σωλήνα	
	γ	h	E <sub>1</sub> MPa	E <sub>2</sub> GPa	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	P <sub>u</sub>	b	k <sub>d</sub>	C <sub>e</sub>	D <sub>i</sub>	t
1	22	15	48	1	0,2	0,2	1,65	1,5	15,90	25,65	16,50	0,980	1,2	0,15
2	22	25	48	2,2	0,2	0,2	2,6	2,42	36,43	38,57	34,96	0,456	2	0,21

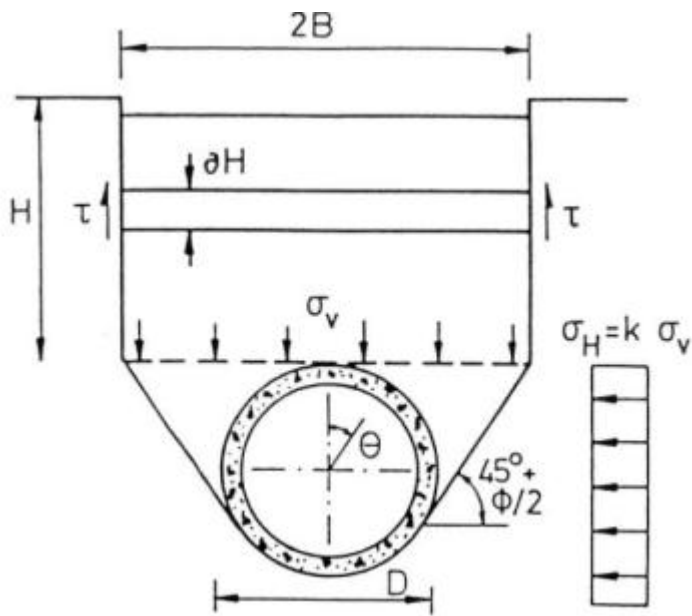
Σενάριο 1: μικροσήραγγα σε μάργα.

Σενάριο 2: μικροσήραγγα σε σχηματισμό φλύσχη.

Η κλίση της ευθείας της δύναμης αντίδρασης ως προς το μήκος των σωλήνων που ωθούνται, δίνεται από την εξίσωση σύμφωνα με Sofianos et al. 2004 (24),

$$j = \frac{dR}{dx} = \frac{W_t}{l_t} \cdot \tan\delta + c \cdot b = P_u \cdot \tan\delta + c \cdot b \quad (7)$$

B) Μη συνεκτικό έδαφος το έδαφος θα καταρρεύσει πάνω στους σωλήνες ο Auld (1986), προτείνει οι τάσεις επαφής ότι μπορούν να υπολογισθούν από την ανάλυση Terzaghi (1943), για την επίλυση σε τάφρο.



$$\sigma_v = \frac{\gamma B}{k \tan \varphi} \left( 1 - e^{-k \tan \varphi \frac{H}{B}} \right)$$

κατακόρυφη τάση

$$\sigma_h = k (\sigma_v + 0,5 \gamma D)$$

οριζόντια τάση

$$F = \frac{\pi D}{2} (\sigma_v + \sigma_h) \tan \delta$$

δύναμη τριβής

$$k = \frac{(1 - \sin \varphi)}{(1 + \sin \varphi)}$$

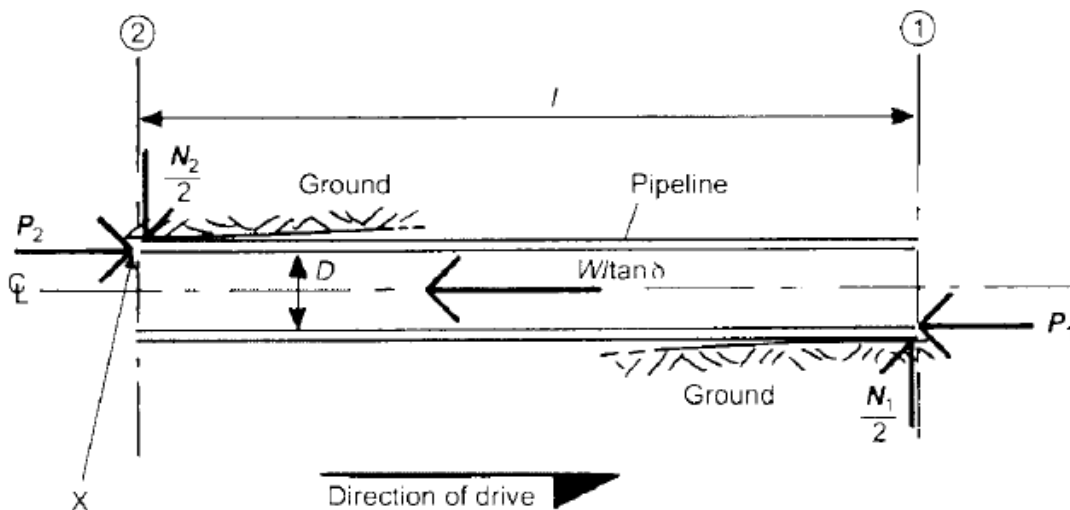
συντελεστής οριζόντιων ωθήσεων

$$B = \frac{D}{2} \left( \tan \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) + \frac{1}{\sin \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right)} \right)$$

επηρεαζόμενο μήκος στην επιφάνεια.

### 2.6.2 Αποκλίσεις από την ευθεία

Ένα απλοποιημένο μοντέλο των δυνάμεων που δρουν σε μια στήλη σωλήνων και σε μήκος  $l$  (το μισό μήκος κύματος εικόνα 2.7) φαίνεται στην Εικόνα 2.9.



Εικόνα 2.9: Φορτία ώθησης στο μισό μήκος κύματος.

$N_1=N_2=N$  Πλευρική ισορροπία δυνάμεων.

$P_1$ : Αξονική δύναμη στη κορυφή του μισού μήκους κύματος

$P_2$ : Αξονική δύναμη στην αρχή

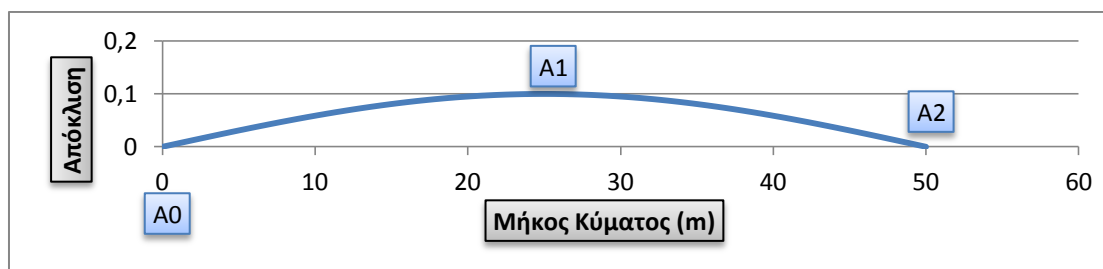
$W$ : Το ίδιο βάρος των σωλήνων

$\delta$ : Η γωνία τριβής της διεπιφάνειας σωλήνα - εδάφους

Από την ανάλυση των δυνάμεων καταλήγουμε ότι

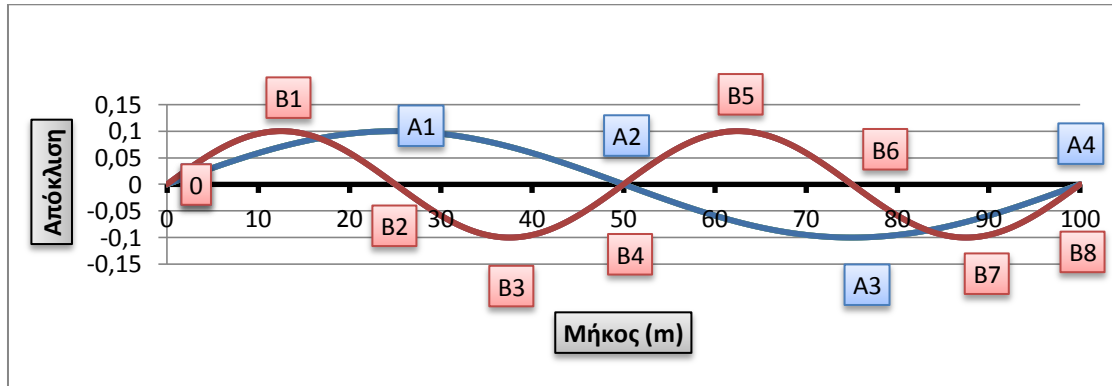
$$P_2 = P_1 \frac{(l + D \tan \delta)}{(l - D \tan \delta)} + \frac{W l^2 \tan \delta}{(l - D \tan \delta)}$$

Αυτό το μοντέλο μας υπολογίζει την αύξηση της δύναμης στο μισό μήκος του κύματος. Πλήρες κύμα θεωρείτε το μήκος που χρειάζονται οι ωθόμενοι σωλήνες όταν αποκλίνουν προς την μια πλευρά και επανέλθουν στο μηδέν



Για παράδειγμα:

Θεωρούμε πέρασμα 100m με δύο πλήρη κύματα



Εικόνα 2. 10: Αναπαράσταση κυμάτων με μήκος 50m (μπλέ) και με μήκος 25m (κόκκινο).

	w	24	kN/m	Δεδομένα							
	$\tan\delta = \tan 29^\circ =$	0,55									
	D	1,5	m								
	Πίεση μετώπου $P_0$	500	kN								
Μήκος από το μέτωπο		0		25	50	75	100	m			
Ευθύ πέρασμα		500		830	1160	1490	1820	kN			
Καμπύλο πέρασμα				25m	50m	75m	100m				
Μήκος κύματος				A1	A2	A3	A4				
Σενάριο A	50	25	500	875	1276	1704	2162	kN			
				5%	10%	14%	19%				
				B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
Σενάριο B	25	12,5	500	747	1029	1351	1719	2139	2618	3165	3789
				24%			48%		76%		108%

Οι τιμές που προκύπτουν σενάριο A τις συγκρίνουμε με τις τιμές σε θεωρητικό ευθύ πέρασμα. Από τα αποτελέσματα βλέπουμε μια αύξηση της απαιτούμενης δύναμης στο τέλος των 100m περίπου 20%.

Αν τώρα κάνουμε την ίδια προσέγγιση για μήκος κύματος 25m σενάριο B, οι τιμές που προκύπτουν τις συγκρίνουμε και πάλι με το θεωρητικό ευθύ πέρασμα. Τα αποτελέσματα που παίρνουμε είναι ότι για να φτάσουμε τα 100m θα πρέπει να διαθέτουμε την διπλάσια δύναμη ώθησης.



# ■ Κεφάλαιο 3

Κατασκευή αποστραγγιστικής στοάς Κρυσταλλοπηγής





### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην ενότητα της εργασίας θα παρουσιαστεί η κατασκευή, με την μέθοδο υπόγεια διάνοιξης και την τεχνική του ωθούμενου σωλήνα (Pipejacking) της αποστραγγιστικής στοάς στην κατολίσθηση Κρυσταλλοπηγής και την κατασκευή των αποστραγγιστικών γεωτρήσεων εντός της σήραγγας που κατασκευάστηκαν στο πλαίσιο κατασκευής της Εγνατίας Οδού (ΕΟ) στη περιοχή Παραμυθία Θεσπρωτίας. Στην Εικόνα 3. 1 παρουσιάζεται μια αεροφωτογραφία της ευρύτερης περιοχής της κατολίσθησης, από την οποία φαίνεται και το μέγεθος της κατολίσθησης.

Το τμήμα της ΕΟ, από τον ανισόπεδο κόμβο Νεοχωρίου μέχρι το κόμβο Ελευθεροχωρίου, μήκους εννέα χιλιομέτρων θέτει οριστικά τέλος στο εξαιρετικά δύσκολο τμήμα του εθνικού οδικού δικτύου από τη Σκάλα Παραμυθιάς έως το Ελευθεροχώρι και προστίθενται στον ήδη υπάρχοντα αυτοκινητόδρομο της ΕΟ στην Ήπειρο, κάνοντας γρηγορότερη την πρόσβαση των αυτοκινητιστών στη διαδρομή Ιωαννίνων - Ηγουμενίτσας.



Εικόνα 3. 1: Γενική άποψη της περιοχής της κατολίσθησης

Το συγκεκριμένο τμήμα είναι το τελευταίο τμήμα της Εγνατίας Οδού που παραδόθηκε στο Νομό Θεσπρωτίας. Διασχίζει δε μια περιοχή ενεργής κατολίσθησης (κατολίσθηση Κρυσταλλοπηγής), η αντιμετώπιση της οποίας ήταν τεχνικά το πιο δύσκολο πρόβλημα. Για την εξασφάλιση της οδού από πιθανές κατολισθήσεις έχει διανοιχθεί στην περιοχή αποστραγγιστική στοά συνολικού μήκους 835 μέτρων και εσωτερικής διαμέτρου 2.00 μ. Η αντιμετώπιση του προβλήματος των κατολισθήσεων με τη διάνοιξη αποστραγγιστικής σήραγγας και η απομάκρυνση των υπόγειων υδάτων σε τόσο μεγάλο μήκος εφαρμόζεται για πρώτη φορά στη χώρα.

## 3.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

### 3.2.1 Γεωμορφολογία

Το μορφολογικό ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής της χάραξης χαρακτηρίζεται ως ορεινό με απότομες γενικά κλίσεις κλιτύων. Τα απόλυτα υψόμετρα στα οποία αναπτύσσεται το φυσικό ανάγλυφο των πρανών αυτών κυμαίνονται από 250 m έως 520 m περίπου ενώ, η χάραξη διέρχεται σε υψόμετρα που κυμαίνονται από 270 m έως 465 m.

Γενικά, οι μορφολογικές κλίσεις του ανάγλυφου κυμαίνονται από μέτριες 20% έως 50% περίπου, όπου επικρατούν γαιοημιβραχώδεις σχηματισμοί και σχηματισμοί που προέρχονται από κατολισθητικές κινήσεις. Υψηλότερες τιμές κλίσεων 60% έως 120% περίπου, συναντώνται όπου επικρατούν βραχώδεις σχηματισμοί (κυρίως ασβεστόλιθοι). Γενικά συνδέονται άμεσα με την ευκολία στη διάβρωση που παρουσιάζουν οι γεωλογικοί σχηματισμοί, τις εκδηλωμένες κατολισθητικές κινήσεις και την τεκτονική της περιοχής.

Από Χ.Θ. 25+270 έως Χ.Θ. 25+860, όπου η διέλευση της χάραξης γίνεται σε περιοχές με ήπιες έως μέτριες μορφολογικές κλίσεις της τάξης των 5° έως 15° προς τα νοτιοδυτικά, από υλικά εκτεταμένων κατολισθήσεων που παρουσιάζουν υψηλό βαθμό ευκολίας στην αποσάθρωση. Στη Χ.Θ. 25+210 και Χ.Θ. 25+860, στην αρχή και στο τέλος της κατολίσθησης όπου αναπτύσσονται ασθενή ρέματα με ήπια μορφολογία κλιτύων τα οποία όμως σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων συγκεντρώνουν τμήμα της επιφανειακής απορροής στους ασταθείς αργιλικούς σχηματισμούς. Η κατεύθυνσή τους είναι ΒΔ – ΝΑ και ΒΒΑ – ΝΝΔ αντίστοιχα.

Η εικόνα αυτή του φυσικού ανάγλυφου και λαμβάνοντας υπόψη την εικόνα στο σύνολο της ευρύτερης περιοχής, χαρακτηρίζει περιοχές, οι οποίες από άποψη γεωμορφολογικής εξέλιξης βρίσκονται σε στάδιο “προχωρημένης νεότητας” και δεν έχουν φτάσει ακόμα σε κατάσταση ισορροπίας. Αυτό είναι απόρροια των έντονων τεκτονικών και κυρίως νεοτεκτονικών κινήσεων που έχουν επιδράσει στην περιοχή και ευνοούν την δημιουργία συνθηκών αστάθειας. Σημαντική εκδηλωθείσα αστάθεια, όπου έχει συμβεί κατολισθητική κίνηση ευρείας έκτασης εντοπίζεται στο τμήμα της χάραξης από Χ.Θ. 25+270 έως Χ.Θ. 25+860 ενώ εγκάρσια εκτείνεται 1000 m περίπου, εκατέρωθεν της χάραξης ()

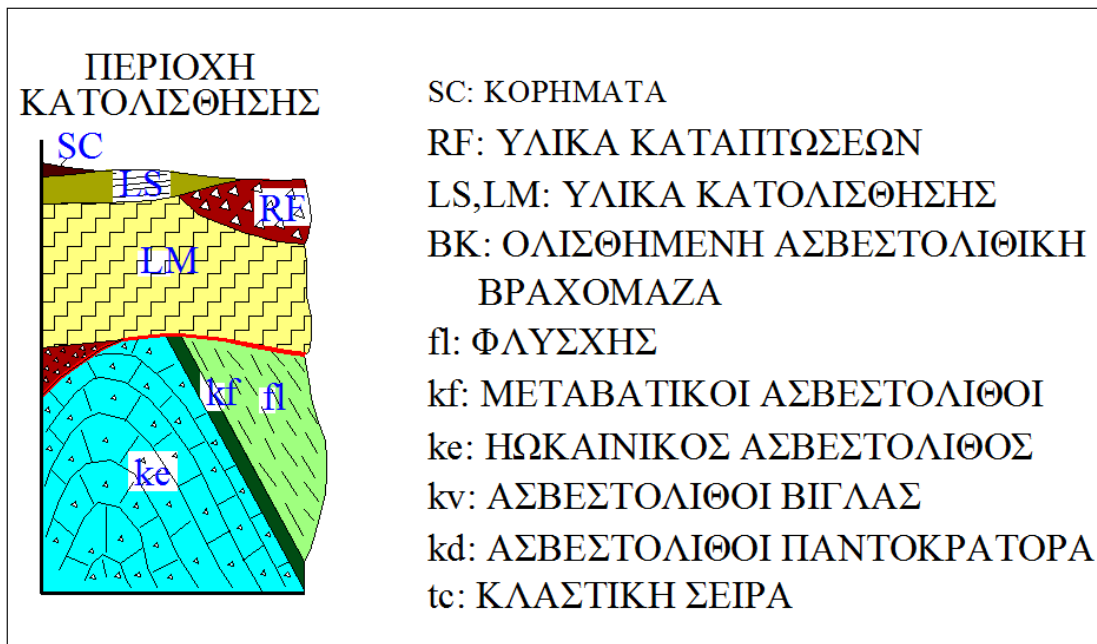
Στο ίδιο τμήμα της χάραξης εντοπίζονται επιφανειακά, αβαθείς σχετικά επαναδραστηριοποιήσεις κατολισθητικών κινήσεων, με μορφή κυρίως εδαφικών ροών.

### 3.2.2 Στρωματογραφία

Οι σχηματισμοί που δομούν το αλπικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής μελέτης ανήκουν στη γεωτεκτονική ενότητα της Ιονίου.

Ασύμφωνα στα αλπικά ιζήματα τοποθετούνται οι πρόσφατοι μεταλλικοί σχηματισμοί του Νεογενούς και Τεταρτογενούς, που έχουν μεγάλη έκταση και καλύπτουν σημαντικό τμήμα της διέλευσης των προτεινόμενων λύσεων.

Στη Εικόνα 3. 2 που ακολουθεί, δίνεται σκαριφηματικά η στρωματογραφική αλληλουχία των γεωλογικών σχηματισμών, σε χαρακτηριστικές θέσεις κατά μήκος των χαράξεων.



Εικόνα 3. 2: Σκαριφηματική στρωματογραφική αλληλουχία των σχηματισμών που υπάρχουν στην περιοχή της κατολίσθησης. (25)

## ΑΛΠΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

*Κλαστική σειρά (tc)* : Τοποθετείται τεκτονικά πάνω στο φλύσχη της ενότητας και αποτελείται κυρίως από καφεπράσινη έως μαύρη σχιστοποιημένη άργιλο με θραύσματα και τεμάχια *εβαπορίτη (ev)* κατά θέσεις, κυρίως γύψου. Αποτελεί υπολειμματική μορφή από εκτεταμένη ζώνη εφίππευσης που λειτούργησε κατά τον αλπικό κύκλο. Αναμένεται σε βάθος, σε μία στενή ζώνη στην περιοχή των σηράγγων περί τη Χ.Θ. 26+000.

*Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα (kd)*, (Εικόνα 3. 3): Κρυσταλλικοί, μεσοστρωματώδεις έως άστρωτοι ασβεστόλιθοι υψηλής αντοχής, γκριζόλευκου χρώματος και Ιουρασικής ηλικίας. Κατά θέσεις παρουσιάζουν έντονο κατακερματισμό λόγω τεκτονισμού και διακρίνονται σε: *Κατακερματισμένους ασβεστόλίθους (kd.f)*, (Εικόνα 3. 4) στους οποίους διατηρείται η αρχική δομή του πετρώματος και *Κατακλαστικούς (μυλωνιτωμένους) ασβεστόλίθους (kd.br)*, (Εικόνα 3. 5), στους οποίους δεν διατηρείται συνήθως η αρχική δομή, είναι έντονα θρυμματισμένοι και συνίστανται κυρίως από ψηφίδες της τάξης των 10cm. Έχουν συνολικά, σημαντική εμφάνιση στη ζώνη διέλευσης της χάραξης, από Χ.Θ. 26+150 έως το τέλος του τμήματος.



Εικόνα 3. 3: Εμφάνιση των ασβεστόλιθων του Παντοκράτορα (ka) στο τελευταίο τμήμα της χάραξης (25)



Εικόνα 3. 4: Λεπτομέρεια των κατακερματισμένων ασβεστόλιθων του Παντοκράτορα (ka.f) περί τη Χ.Θ. 27+700 (25)



Εικόνα 3. 5: Εμφάνιση των κατακλαστικών ασβεστόλιθων του Παντοκράτορα (ka.br) περί τη Χ.Θ. 27+800 (25)

*Ασβεστόλιθοι Βίγλας (kv)* : Λεπτοστρωματώδεις με πάχος στρώσης 5 – 10 cm, υπόλευκου χρώματος με παρεμβολές κερατολιθικών στρώσεων. Κατά θέσεις παρατηρούνται και παρεμβολές από κονδυλώδεις μαργαϊκούς ασβεστόλιθους (km) ερυθρού χρώματος. Δεν συναντώνται στα στενά όρια της ζώνης διέλευσης της χάραξης.

*Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι (ke)*, (Εικόνα 3. 6): Μεσοστρωματώδεις έως λεπτοστρωματώδεις, κιτρινόλευκου χρώματος με κονδύλους πυριτιολίθων. Στο αρχικό τμήμα της χάραξης και σε μεγάλη έκταση, παρουσιάζουν έντονο κατακερματισμό (ke.br), (Εικόνα 3. 7) που οφείλεται σε τεκτονικά αίτια, με λατυποπαγή κυρίως, ημισυνεκτική δομή.



Εικόνα 3. 6: Εμφάνιση Ηωκαινικών ασβεστολίθων (ke) περί τη Χ.Θ. 25+150 (25)



Εικόνα 3. 7: Εμφάνιση των έντονα κατακερματισμένων ασβεστόλιθων (ke.br) περί τη Χ.Θ. 24+600 (25)



(25)κατακερματισμού στους Ηωκαινικούς ασβεστολίθους (ke, ke.z).

Εικόνα 3. 8: Λεπτομέρεια της ζώνης

Μεταβατικοί ασβεστόλιθοι (kf) : Πρόκειται για τα μεταβατικά προς το φλύσχη στρώματα που αποτελούνται από εναλλαγές λεπτοστρωματωδών ασβεστόλιθων με ιλυόλιθους και γενικά έντονη την παρουσία αργιλικού υλικού. Έχουν μικρή, επουσιώδη εμφάνιση περί τη Χ.Θ. 25+880.

Φλύσχη (fl) : Αποτελείται κυρίως από εναλλαγές λεπτοστρωματωδών ψαμμιτών και ιλυολίθων, με παρεμβολές αργιλοαμμωδών χαλαρών ενστρώσεων. Με βάση κυρίως τα στοιχεία της γεωτεχνικής έρευνας, στις λεπτομερείς γεωλογικές διατομές, διαχωρίζονται όπου είναι δυνατό σε αμιγείς στρώσεις λεπτόκοκκου ψαμμίτη (fls) και αποκλειστικά σχεδόν ιλυολίθων (fli). Επιφανειακά σε μεγάλη έκταση παρουσιάζει αποσαθρωμένη ζώνη (fl.w) με αργιλική έως αργιλοαμμώδη σύσταση και κατά θέσεις διάσπαρτα χαλίκια ψαμμίτη. Το πάχος της ζώνης αποσάθρωσης είναι κατά θέσεις σημαντικό, της τάξης των 8 – 10 m. Σε συνδυασμό με τους Ηωκαινικούς ασβεστολίθους αποτελεί το γεωλογικό υπόβαθρο στην ευρύτερη περιοχή της κατολίσθησης. Εμφανίζονται κυρίως στο δυτικό όριο της κατολίσθησης.



Εικόνα 3. 9: Εναλλαγές λεπτοστρωματοδών ψαμμιτών και ιλυολίθων (fl) του φλύσχη, περί τη Χ.Θ. 25+100 (25)

### ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Διακρίνονται ανάλογα με το μηχανισμό γένεσής τους σε :

i) Υλικά κατολισθήσεων (LS, LM, LF): Εντοπίζονται σε μεγάλη έκταση στην περιοχή και αποτελούν προϊόντα μιας εκτεταμένης κατολίσθησης. Χαρακτηρίζονται από χαλαρή δομή και αργιλική έως αργιλοαμμώδη σύσταση, ενώ συναντώνται και μεγάλης έκτασης ολισθημένα τεμάχια φλυσχικού υλικού. Διακρίνονται σε : (LF) χαλαρά, αργιλικής σύστασης υλικά εδαφικών ροών. (LS) χαλαρά, αργιλικής σύστασης υλικά με διάσπαρτες κατά θέσεις λατύπες ασβεστολίθου και ψαμμίτη, κοκκινοκάστανου χρώματος, που αξιολογούνται ως πρόσφατες προσχώσεις τοπικών επιφανειών επιπέδωσης και εγκοίλων και προέρχονται από μεταγενέστερες κατολισθητικές κινήσεις και επαναδραστηριοποίηση των υλικών κατολισθήσεων. (LM) αργιλικής σύστασης, σκούρου καστανού χρώματος, με έντονη παρουσία φλυσχικού υλικού που αξιολογούνται ότι προέρχονται από τις παλαιότερες κατολισθητικές κινήσεις και αποτελούν την κύρια μάζα της κατολίσθησης.

ii) Υλικά πρόσφατων και παλαιότερων καταπτώσεων

*Υλικά καταπτώσεων (RF)*: Ασβεστολιθικοί ογκόλιθοι και μεγάλα βραχώδη τεμάχια που προέρχονται από πρόσφατες κυρίως καταπτώσεις και ολισθήσεις των υπερκείμενων ασβεστολιθικών εμφανίσεων του αλπικού υποβάθρου, που συναντώνται στην περιοχή. Παρατηρούνται σε μία μάζα αργιλοαμμώδους, με διάσπαρτες λατύπες, έως αργιλοχαλικώδους σύστασης υλικού. Έχουν σημαντική εξάπλωση, περιμετρικά της κατολισθημένης ζώνης.

*Ολισθημένη ασβεστολιθική βραχώμαζα (BK)* : Προέρχεται από παλαιότερες ολισθήσεις και καταπτώσεις ασβεστολιθικού κυρίως υλικού σε μεγάλα τεμάχια και ογκολίθους που προέρχονται από τους ασβεστολίθους της Βίγλας και του Ηωκαίνου. Κατά θέσεις παρατηρούνται στη μάζα τους και τεμάχια που προέρχονται από το φλύσχη. Έχει σημαντική εμφάνιση στην περιοχή των σηράγγων περί τη Χ.Θ. 26+000.

### iii) Κορηματικά υλικά

Αργιλικά κορήματα (SF) : Προέρχονται από την αποσάθρωση κυρίως του φλύσχη. Έχουν αργιλική σύσταση με διάσπαρτες λατύπες ψαμμιτών και ιλυόλιθων.

Κορήματα (SC): Προέρχονται από την αποσάθρωση των ασβεστολιθικών σχηματισμών. Συνίστανται από κοκκινωπή άργιλο με κυμαινόμενο ποσοστό ασβεστολιθικών λατυπών. Στην περιοχή της κατολίσθησης αντιπροσωπεύουν συγκεντρώσεις έντονα αργιλικής σύστασης υλικών σε μισγάγγειες.



Εικόνα 3. 10: Αργιλοχαλικώδεις φάσεις κορημάτων (SCgc) και υλικών καταπτώσεων (RFrg) περί τη Χ.Θ. 26+100.



Εικόνα 3. 11: Έντονης ανομοιομορφίας υλικά καταπτώσεων (RFrg), ογκόλιθοι ασβεστόλιθων και αργιλοχαλικώδη υλικά

Ασβεστολιθικά κορήματα (SK): Προέρχονται σχεδόν αποκλειστικά από την αποσάθρωση των ασβεστολίθων με κυμαινόμενη ανομοιομορφία ως προς την κοκκομετρική τους διαβάθμιση. Συνήθως παρουσιάζουν καλή διαβάθμιση με ασβεστολιθικές λατύπες και αμμώδες συνδετικό υλικό. Κατά θέσεις συναντάται προχωρημένη διαγένεση με αποτέλεσμα ο σχηματισμός να παρουσιάζει μηχανική συμπεριφορά βράχου.

Παλαιά ασβεστολιθικά κορήματα (TL) : Αργιλοχαλικώδους σύστασης κορηματικά υλικά, καστανοκόκκινου χρώματος, με λατύπες και τεμάχια ασβεστολίθου. Αποτελούν παλαιά πλευρικά κορήματα, τα οποία σήμερα καλύπτονται από τα υλικά της κατολίσθησης.

### iv) Προσχωσιγενείς αποθέσεις

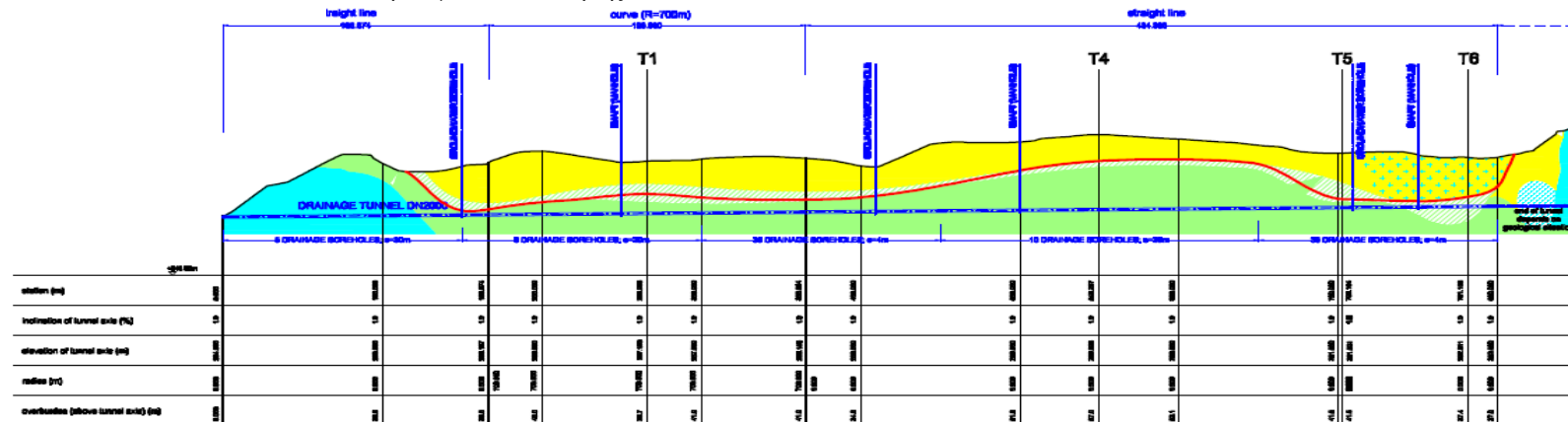
Αργιλικές προσχώσεις ερυθρογής (TR) : Αποθέσεις αποκλειστικά σχεδόν αργιλικής σύστασης, χαλαρής δομής και χρώματος καστανοκόκκινου. Τοπικά μόνο παρατηρείται αυξημένη συμμετοχή ασβεστολιθικών χαλίκων. Αποτελούν προϊόντα καρστικής διάβρωσης των ασβεστολίθων ή παλαιότερους εδαφικούς ορίζοντες που έχουν καλυφθεί από μεταγενέστερους σχηματισμούς και κυρίως από τα υλικά της κατολίσθησης.

*Αλλουβιακές προσχώσεις (AL):* Αργιλικής κυρίως σύστασης προσχώσεις του πεδινού τμήματος που εκτείνεται νότια της Κρυσταλλοπηγής.

*Υλικά κοίτης (RD):* Ασύνδετα βραχώδη τεμάχια και λίθοι ασβεστολίθων, με αργιλικό έως αργιλοαμμώδες υλικό.



- Landslide Materials Υλικά Κατολίσθησης
- Recent and older Rockfall Materials in Clayey Materials Παλαιά και πρόσφατα υλικά ολίσθησης σε άργιλο
- Fragmented weathered Flysch in the old landslide mass Διατημημένος, αποσαθρωμένος Φλύσχης σε Παλαιά επιφάνεια ολίσθησης
- Flysch (alternation Sandstone-Siltstone) Φλύσχης
- Limestone ("thinly bedded"; jointed) Λεπτοπλακώδης Ασβεστόλιθος
- Brecciate Limestone in Landslide Material Ασβεστολιθικές Λατύπες
- assumed slip surface Πιθανή επιφάνεια ολίσθησης



Εικόνα 3. 12: Γεωλογική Μηκτομή πρόβλεψης (25)

### 3.3 Αρχές και μεθοδολογία επιφανειακής αποστράγγισης

Η ευρύτερη περιοχή της κατολίσθησης καλύπτεται επιφανειακά κυρίως από υλικά κατολισθήσεων (πρόσφατων και παλαιότερων) αργιλικής ως επί το πλείστον προέλευσης (LS, LM) καθώς και από ασβεστολιθικής φύσεως προϊόντα καταπτώσεων (RF) κύρια στα ανατολικά - νοτιοανατολικά τμήματά της. Η αργιλική φύση των υλικών κατολισθήσεων επιτρέπει την δημιουργία εποχιακά υψηλών πιέσεων πόρων (που σε συνδυασμό με τα χωματουργικά έργα της υπό μελέτη χάραξης) επιβαρύνει τις κατολισθητικές κινήσεις στην μικροκλίμακα του τεχνικού έργου (σε αντίθεση με τα διαπερατά κατά κανόνα υλικά RF) και ως εκ τούτου επιβάλλεται η εφαρμογή μιας μεθόδου επιφανειακής αποστράγγισης. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι τα υλικά "LS" (αργιλικά υλικά πρόσφατων κατολισθήσεων) περιέχουν σχετικά μεγαλύτερο ποσοστό λεπτόκοκκου κλάσματος από τα υλικά "LM" (υλικά παλαιότερων κατολισθήσεων), η μεθοδολογία επιφανειακής αποστράγγισης θεωρείται ως πρωταρχικής αναγκαιότητας, κυρίως ως προς το αντίστοιχα επιλεγόμενο τμήμα ανάντη της χάραξης και επομένως εφαρμόζεται γενικά με πυκνότερο κάρναβο, στις περιοχές οι οποίες συνδυάζουν τα εξής 2 γεγονότα:

α) Αυξημένες πιέσεις πόρων (εμφάνιση υπό πίεση οριζόντων) στις αντίστοιχες γεωτρήσεις.

β) Εμφανίσεις πηγών και κορεσμένου αργιλικού υλικού στην ζώνη που εκτείνεται ανάντη και κατάντη της χάραξης.

Η οριοθέτηση των περιοχών αυτών υποδεικνύεται συνημμένα στην οριζοντιογραφία με διαφοροποίηση 3 ζωνών με βάση υδρογεωλογικά κριτήρια και μακροσκοπικές παρατηρήσεις 3 ετών :

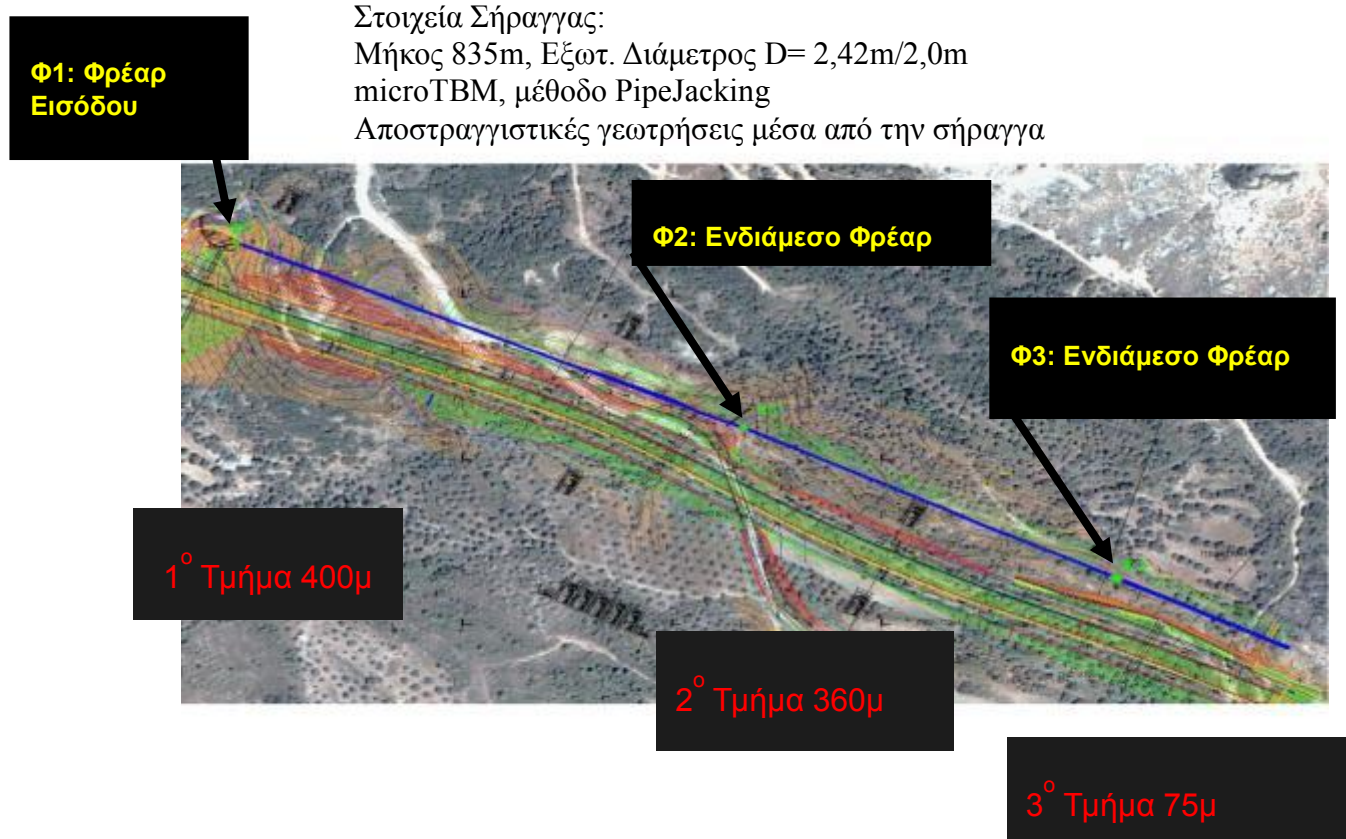
Ζώνη I. Αναφέρεται σε περιοχές κορεσμένων αργιλικών υλικών (κυρίως "LS") όπου απαιτείται η πυκνότερη διάταξη μέτρων επιφανειακής αποστράγγισης.

Ζώνη II. Αναφέρεται σε περιοχές μετρίως "υγρών" αργιλικών υλικών (κυρίως "LM") όπου σχεδιάζεται αραιότερη διάταξη επιφανειακής αποστράγγισης.

Ζώνη III. Περιλαμβάνει 2 υποπεριοχές ανάντη της χάραξης, όπου στο επιφανειακό αποσαθρωμένο τμήμα του φλύσχη εκδηλώνονται κυρίως εποχιακές εκφορτίσεις (πηγές) λόγω της εκλεκτικής κυκλοφορίας του νερού. Απαιτείται ειδική επιφανειακή διάταξη παροχέτευσης έτσι ώστε να μην επιτρέπεται ο εμποτισμός των υποκείμενων αργιλικών στρωμάτων της κατολίσθησης. Στη ζώνη αυτή δεν έχει σχεδιασθεί δίκτυο στραγγιστηρίων αλλά μόνο διάταξη επιφανειακής συλλογής και απομάκρυνσης των νερών αυτών από τον ανάντη όγκο.

Λόγω του μεγάλου κόστους των απαλλοτριώσεων στην περιοχή και σύμφωνα με τις προτάσεις της ΕΟ, ο σχεδιασμός των μέτρων επιφανειακής αποστράγγισης καλύπτει εύρος κατάληψης 50m το πολύ εκατέρωθεν του ίχνους των χωματουργικών έργων ανάντη και κατάντη της χάραξης.

### 3.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΕΡΓΟΥ



Εικόνα 3.3: Κάτοψη περιοχής εργασιών

#### 3.4.1 Σκοπός του έργου

Το έργο κατασκευάστηκε για να αντιμετωπισθεί η ενεργή κατολίσθηση στην περιοχή Παραμυθία Θεσπρωτίας. Η σήραγγα σχεδιάστηκε για να διέλθει κάτω από την κατολίσθηση ώστε μη συναντήσει διαταραγμένους σχηματισμούς και να είναι σε μια ασφαλή απόσταση από την πιθανή επιφάνεια ολίσθησης. Με την ολοκλήρωση της σήραγγας από το εσωτερικό της θα ανορυχθούν αποστραγγιστικές γεωτρήσεις με σκοπό να διαπεράσουν την επιφάνεια ολίσθησης και να αποστραγγίσουν την επιφάνεια ολίσθησης πάνω στην οποία ολισθαίνουν τα υπερκείμενα επιφανειακά στρώματα.

#### 3.4.2 Τεχνικό Αντικείμενο Έργου.

1. Έργα προσπέλασης και κατασκευή φρεατίου εργασίας Φ1.
2. Διάνοιξη της αποστραγγιστικής σήραγγας σε τρία τμήματα.
3. 1<sup>ο</sup> τμήμα σήραγγας μήκους ~400m, εργασία από το φρέαρ Φ1 έως το ενδιάμεσο φρέαρ Φ2, ΧΘ: 0+000m – 0+400m.
4. Κατασκευή ενδιάμεσου φρεατίου Φ2 βάθους ~29m.
5. 2<sup>ο</sup> τμήμα σήραγγας μήκους ~360m εργασία από το ενδιάμεσο φρέαρ Φ2 έως το φρέαρ Φ3, ΧΘ: 0+400m – 0+760m.
6. Κατασκευή ενδιάμεσου φρεατίου Φ3 βάθους ~44m.

7. 3<sup>ο</sup> τμήμα σήραγγας μήκους ~75m εργασία από το φρέαρ Φ3, αυτό το τμήμα της σήραγγας είναι τυφλό, ΧΘ: 0+760m – 0+835m.
8. Κατασκευή αποστραγγιστικών γεωτρήσεων μέσα από την σήραγγα και μέχρι να διαπεράσουν την επιφάνεια ολίσθησης με μέγιστο μήκος έως 35m.

### 3.5 ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Για την εκτέλεση του βασικού έργου, που είναι η διάνοιξη και η υποστήριξης της αποστραγγιστικής σήραγγας, επιλέχθηκε η μέθοδο της υπόγειας διάνοιξης και κατασκευή μικροσήραγγας με μηχανοποιημένη εκσκαφή με ασπίδα ανοικτού τύπου σημειακής κοπής (Road header) και ταυτόχρονη προώθηση της επένδυσης με τη μέθοδο του «προωθούμενου σωλήνα» καθιερωμένης με το όνομα ως μεθόδου Pipejacking (PJ). Το μηχάνημα επιλέχθηκε να τοποθετηθεί μέσα στον πρώτο σωλήνα επένδυσης της σήραγγας όπως φαίνεται στην Εικόνα 3. 13.

#### 3.5.1 Ειδικά Χαρακτηριστικά Μηχανήματος

Το μηχάνημα αυτό διαθέτει περιστρεφόμενη κεφαλή με κοπτικά άκρα (βίδια) (Εικόνα 3. 14), το οποία λόγω της περιστροφής και της πίεσης στο μέτωπο από τον κινούμενο βραχίονα που είναι τοποθετημένη η κεφαλή, διεισδύουν τα κοπτικά άκρα στο πέτρωμα και τελικά το αποσπών από την θέση του στο μέτωπο. Το μηχάνημα είναι για το λόγο αυτό πολύ ισχυρά αγκυρωμένο στους σωλήνες επένδυσης της σήραγγας. Το μηχάνημα ωθείται προς εμπρός μαζί με όλη τη στήλη των σωλήνων επένδυσης από το σύστημα των υδραυλικών εμβόλων που είναι εγκατεστημένο στο φρεάτιο εργασίας.

Το μηχάνημα τοποθετήθηκε στο εσωτερικό των δύο πρώτων σωλήνων επένδυσης για λόγους κατασκευαστικούς όπως αναλύονται πιο κάτω.



Εικόνα 3. 13: Πλαγία όψη του τοποθετημένου εντός του σωλήνα, μηχανήματος εκσκαφής της σήραγγας χωρίς την εμπρός κεφαλή (12)



Εικόνα 3. 14: Εμπρός όψη της ασπίδας.

- Στο τέλος του έργου και στο τυφλό τμήμα της στοάς δεν προβλεπόταν κατασκευή φρεατίου ανάκτησης του μηχανήματος. Έτσι έπρεπε να ληφθεί μεριμνά για την ανάκτηση του μηχανήματος με τον οικονομικότερο τρόπο.

- Ο δεύτερος λόγος έγκειται σε λόγους ασφαλείας. Επειδή η διάνοιξη της σήραγγας γίνεται κάτω από δύσκολες γεωτεχνικά συνθήκες και με πολλές αβεβαιότητες όσον αφορά τις γεωλογικές παραμέτρους. Υπάρχει αυξημένος κίνδυνος να υπάρξει περίπτωση κολλήματος της συστοιχίας των σωλήνων και να σταματήσει η διάνοιξη της σήραγγας το μηχάνημα. Εφαρμόζοντας την τεχνική της τοποθέτησης του μηχανήματος μέσα στο σωλήνα μπορεί πολύ εύκολα αυτό να ανακτηθεί χωρίς την ανάγκη για κατασκευή επιπλέον φρεατίου ανάκτησης. Αυτό όπως θα δούμε πιο κάτω συνέβη κατά τη διάνοιξη του 1<sup>ου</sup> τμήματος λίγο πριν ολοκληρωθεί η διάνοιξη του πρώτου τμήματος της σήραγγας.

Τοποθετήθηκε εντός του εσωτερικού των σωλήνων, μηχάνημα με εξωτερική διάμετρο ασπίδας ( $OD_{Sh}=1,8$  m), δηλαδή λίγο μικρότερη από τη εσωτερική διάμετρο των σωλήνων ( $ID_{Pipe}=2,0$  m) όπως φαίνεται στην Εικόνα 3. 15.



Εικόνα 3. 15: Πίσω όψη του τοποθετημένου εντός του σωλήνα μηχανήματος εκσκαφής (12)



Εικόνα 3. 16: Πλάγια όψη του τοποθετημένου εντός δύο σωλήνων μηχανήματος εκσκαφής (12).

### 1.1.1 Καθοδήγηση εκσκαφής

Η καθοδήγηση της πορείας της εκσκαφής γίνεται με την βοήθεια σταθερής φωτεινής δέσμης ακτίνας Laser η οποία εκπέμπεται από συσκευή τοποθετημένη σε ορισμένο σημείο στο φρεάτιο αρχής της σήραγγας. Η φωτεινή δέσμη προσπίπτει σε στόχο εντός της ασπίδας που βρίσκεται σε ορατό σημείο από το χειριστή του μηχανήματος και προβάλλει διαρκώς τη σχετική θέση της κεφαλής του μηχανήματος.

Η δέσμη λέιζερ έχει ρυθμιστεί να ακολουθεί μια προκαθορισμένη ευθεία τόσο σε κατακόρυφο όσο και σε οριζόντιο επίπεδο. Ο χειριστής οφείλει να συμβουλευτεί το στόχο και την προσπίπτουσα δέσμη λέιζερ (Εικόνα 3. 17), ο στόχος εμφανίζει την σχετική θέση της κεφαλής του μηχανήματος σε σχέση με την προκαθορισμένη ευθεία. Δεδομένου ότι απαιτούνται κάποιες φορές διορθώσεις της πορείας του μηχανήματος η μετωπική στεφάνη της ασπίδας συνδέεται στο κυρίως σώμα του μηχανήματος μέσω υδραυλικών εμβόλων. Ο χειριστής με καταλλήλους χειρισμούς (εξωθεί την μια πλευρά και συστέλλει την άλλη) υπάρχει η δυνατότητα

ενεργώντας επί των υδραυλικών εμβόλων να κατευθύνει κατάλληλα την κεφαλή της ασπίδας ώστε να οδηγήσει τη διάνοιξη προς την ορθή κατεύθυνση (εντός κάποιων ορίων).

### 1.1.2 Σύστημα φόρτωσης – Μεταφοράς

Η μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής γίνεται με ηλεκτροκίνητο συρμό και φορείο με βαγονέτο, που κινείται σε σιδηροτροχιές και το οποίο τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές υγρού τύπου (2x12V). Το φορείο διευθύνεται από κατάλληλα ηλεκτρικά χειριστήρια, για τις κύριες κινήσεις (εμπρός, πίσω και φρένο).

Η φόρτωση του βαγονέτου πραγματοποιείται μέσω μεταφορικής ταινίας (Εικόνα 3. 19) που ξεκινά από το εμπρός άκρο της ασπίδας την οποία τροφοδοτεί ο μεταφορικός κοχλίας της κεφαλής. Το ηλεκτρικό φορείο κινείται πάνω σε σιδηροτροχιές ελαφρού τύπου και μεταφέρει το βαγονέτο με τα προϊόντα εκσκαφής στο φρεάτιο εισόδου όπου με την βοήθεια γερανού το βαγονέτο αποσπάται από το φορείο (Εικόνα 3. 20), ανελκύεται στην επιφάνεια και εκκενώνεται από το περιεχόμενό του (Εικόνα 3. 21).



Εικόνα 3. 17: Ο χειριστής του μηχανήματος στην θέση εργασίας (12)



Εικόνα 3. 18: Ο χειριστής του συρμού στο σημείο φόρτωση (12)



*Εικόνα 3. 19: Φόρτωση κουβά. (12)*



*Εικόνα 3. 20: Πρόσδεση κουβά στο σύστημα ανέλκυσης (12)*



*Εικόνα 3. 21: Εκκένωση του κουβά στην επιφάνεια (12)*

Στην συνέχεια καθελκύεται και τοποθετείται και πάλι στο ηλεκτροκίνητο φορείο για να μεταφερθεί μέσα στη σήραγγα έως το σημείο φόρτωσής του για να ξεκινήσει νέος κύκλος εκσκαφής, φόρτωσης, μεταφοράς, ώθησης.

### **1.1.3 Σύστημα προώθησης**

Η προώθηση των σωλήνων πραγματοποιείται μέσω υδραυλικών εμβόλων 4 τεμάχια σε αριθμό, τα οποία μεταφέρουν μέσω ενός μεταλλικού δακτυλίου τις δυνάμεις ώθησης στη συστοιχίας των σωλήνων (Εικόνα 3. 22). Η μέγιστη δύναμη που μπορεί να αναπτύξει το σύστημα ώθησης φθάνει έως τους 1000 ton.



Εικόνα 3. 22: Κύριος σταθμός ώθησης (12).

Η τροφοδοσία των υδραυλικών γρύλων με υδραυλικό λάδι επιτυγχάνεται μέσω μιας ηλεκτροκίνητης μονάδας υδραυλικής πίεσης (power rack). Μέσω της ωθούμενης συστοιχίας των σωλήνων επιτυγχάνεται και η προώθηση του μηχανήματος, για να υπάρχει διαρκής επαφής της μετωπικής στεφάνης με το μέτωπο εκσκαφής. Σε περίπτωση που οι αναπτυσσόμενες τριβές δυσκολέψουν την προώθηση του συνόλου της στήλης υπάρχει η δυνατότητα να ενεργοποιηθούν οι ενδιάμεσοι σταθμοί ώθησης, που βρίσκονται ήδη τοποθετημένοι σε συγκεκριμένα σημεία στη συστοιχία των σωλήνων. Με τον τρόπο αυτό η συστοιχία των σωλήνων χωρίζεται σε μικρότερα τμήματα ανάλογα του αριθμού των ενδιάμεσων σταθμών ώθησης.



Εικόνα 3. 23: Ενδιάμεσος σταθμός ώθησης (12)



Εικόνα 3. 24: Ενδιάμεσος σταθμός ώθησης (12)



Στο πρώτο τμήμα του έργου τοποθετήθηκαν και ωθήθηκαν από την εξωτερική μονάδα ώθησης έως 146 σωλήνες, ο αριθμός αυτός είναι ο μεγαλύτερος που έχει επιτευχθεί στην Ελλάδα.

#### **1.1.4 Ωθούμενοι σωλήνες**

Οι ωθούμενοι σωλήνες βρίσκονται σε συνεχή επαφή μεταξύ τους και δεν αφήνουν σε κανένα σημείο ανυποστήρικτη τη σήραγγα, αποτελούν δε και την μόνιμη επένδυση της σήραγγας. Οι σωλήνες επένδυσης είναι προκατασκευασμένοι από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C<sub>30/37</sub> με εσωτερικό διπλό κλωβό οπλισμού. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σωλήνα είναι: D<sub>εξ</sub>=2,42m, D<sub>εσ</sub>=2,00m, μήκος σωλήνα L=2,50m και πάχος τοιχώματος d=0,21m.

Επομένως επιτυγχάνεται άμεση και ισχυρή επένδυση της σήραγγας δια της συνεχούς προώθησης των σωλήνων από την κύρια μονάδα ώθησης. Η επέκταση της επένδυσης γίνεται με την συνεχή προσθήκη νέων σωλήνων μήκους 2,5m, τους οποίους τροφοδοτεί στη μονάδα ώθησης ένας ερπυστριοφόρος γερανός που είναι εγκατεστημένος στο φρεάτιο εισόδου ή εργασίας.

### **3.6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ**

Οι αποστραγγιστικές γεωτρήσεις κατασκευάστηκαν από το εσωτερικό της σήραγγας με μικρό ηλεκτροκίνητο γεωτρήπανο τοποθετημένο επάνω σε φορείο και κινούμενο από τον ηλεκτροκίνητο συρμό που μετέφερε και το κάδο με τα μπάζα, σε προηγούμενα στάδια των εργασιών. Πάνω στις σιδηροτροχιές που χρησιμοποιούνταν για την μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής στη διάνοιξη της σήραγγας.

Το γεωτρήπανο είχε κατάλληλο μήκος ιστού για να μπορεί να εργασθεί στη σήραγγα μικρής εσωτερικής διαμέτρου (Εικόνα 3. 25). Η διάτρηση γινόταν από κάτω προς τα επάνω έως ότου η γεώτρηση συναντήσει και διαπεράσει μια πιθανή επιφάνεια ολίσθησης. Η συμπεριφορά των πετρωμάτων που συναντούσε καθόριζε και την μέθοδο διάτρησης. Εφαρμόστηκε περιστροφική διάτρηση με τρίφτερο σε μαλακούς σχηματισμούς και περιστροφοκρουστική μέθοδος διάτρησης σε σκληρούς σχηματισμούς με σφύρα DTH (Down The Hole).



Εικόνα 3. 25: Προσαρμογή μικρού γεωτρύπανου (12).

#### 1.1.5 Περιγραφή εργασιών για την διάτρηση των αποστραγγιστικών.

Η κατασκευή των αποστραγγιστικών διατρήσεων εντός της σήραγγας ακολουθεί τα εξής βήματα.

- Επιλογή της θέσης διάτρησης και του προσανατολισμός της μπούμας σύμφωνα με την κλίση του διατρήματος ( $+60^\circ$  ή  $+45^\circ$  από την κατακόρυφο ) όπως Εικόνα 3. 26.
- Χρήση κοπτικής στεφάνης (καροταρίας)  $\Phi 90\text{mm}$  για την αδιατάρακτη κοπή του οπλισμένου σκυροδέματος των προκατασκευασμένων σωλήνων της μόνιμης επένδυσης της σήραγγας.
- Αλλαγή της κοπτικής στεφάνης με αερόσφουρα, όπου χρειάζεται, με κοπτικό διαμέτρου 4'' και διάτρηση της αποστραγγιστικής γεώτρησης έως το επιθυμητό μήκος. Μετά το πέρας της διάτρησης γίνεται η εξαγωγή της διατρητικής στήλης και η μετακίνηση του γεωτρύπανου σε επόμενη θέση.
- Τοποθέτηση εγχάρακτου πλαστικού σωλήνα PVC διαμέτρου  $\Phi 2''$  (σύμφωνα με το DIN 4925) με εξωτερικές νευρώσεις και εγκάρσιες σχισμές αποστράγγισης  $t=0,5\text{mm}$ ,  $L=5-6\text{mm}$  και στερέωση του πλαστικού σωλήνα στην επένδυση της σήραγγας.

Έναρξη της κατασκευής των αποστραγγιστικών γεωτρήσεων σε θέσεις κατασκευής που ορίστηκαν σύμφωνα με την Τεχνική Περιγραφή του συμβατικού αντικειμένου του έργου και του υδρογεωλογικού προφίλ καθώς επίσης και από τα στοιχεία που προέκυψαν κατά τη διάρκεια διάνοιξης της σήραγγας.

Η πρώτη ομάδα γεωτρήσεων είχε κλίση  $+60^\circ$ . Σε περιοχή με έντονη υδροφορία προτάθηκε η κατασκευή επιπλέον αποστραγγιστικών γεωτρήσεων σε διαφορετική κλίση ( $45^\circ$ ), από τη κλίση της πρώτης ομάδας γεωτρήσεων στην πραγματικότητα όλες οι αποστραγγιστικές γεωτρήσεις κατασκευάστηκαν με την ίδια κλίση  $+60^\circ$ .

Ενδεικτικά αναφέρονται τα στοιχεία κατασκευής των αποστραγγιστικών γεωτρήσεων για στο πρώτο τμήμα του έργου.

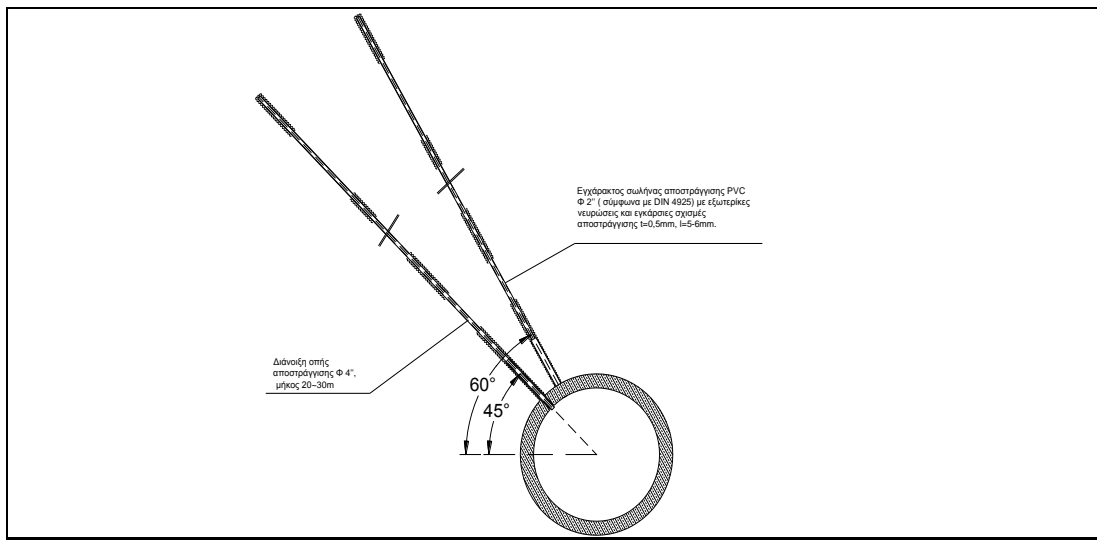
Από Χ.Θ.:+0,0m έως Χ.Θ.:+100,0m περίπου δεν προέκυψαν περιοχές με υδροφορία, οπότε κατασκευάστηκαν οι γεωτρήσεις σε αραιά διαστήματα ανά 30 μέτρα σήραγγας.

Από Χ.Θ.:+100,0m έως Χ.Θ.:+200,0 περίπου στη Χ.Θ.:+115,0m οι γεωτρήσεις κατασκευάστηκαν σε πυκνή διάταξη ανά 10 μέτρα σήραγγας.

Από Χ.Θ.:+200,0m έως Χ.Θ.:+300,0 παρατηρήθηκε υδροφορία οι γεωτρήσεις κατασκευάστηκαν σε πυκνή διάταξη ανά 10μέτρα σήραγγας.

Από Χ.Θ.:+300,0m έως Χ.Θ.:+350,0 οι γεωτρήσεις κατασκευάστηκαν σε πολύ πυκνή διάταξη ανά 5 μέτρα.

Ο συνολικός αριθμός των γεωτρήσεων σε όλους τους κλάδους της σήραγγας και στα φρεάτια, ήταν: **430 τεμ. x 30m=12900m** μήκος



Εικόνα 3. 26: Σκαρίφημα διάταξης κλίσης αποστραγγιστικών γεωτρήσεων



Εικόνα 3. 27: Διάτρηση αποστραγγιστικών γεωτρήσεων (12)



Εικόνα 3. 28: Εξοπλισμός διάτρηση (12)



Εικόνα 3. 29: Λειτουργία των αποστραγγιστικών γεωτρήσεων (12).

### 3.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΕΑΤΙΩΝ

#### 1.1.6 Φρέαρ Εισόδου Φ1

Η περιοχή αρχής της αποστραγγιστικής στοάς επιλέχθηκε έξω από την κατολίπηση σε ήρεμη γεωτεχνικά περιοχή στην οποία υπάρχουν ασβεστολιθικά πετρώματα. Στην περιοχή αυτή όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3. 30 υπάρχουν και τεχνικά έργα για την απορροή των νερών της ήδη υπάρχουσας μισγάγγειας. Στην πορεία των εργασιών θα κατασκευαστούν και τα έργα απορροής των νερών που θα συγκεντρώνονται από τη στοά.



Εικόνα 3. 30: Αρχική όψη του χώρου κατασκευής του φρεατίου αρχής Φ1 (12).



Εικόνα 3. 31: Εκσκαφές για την κατασκευή της του φρεατίου αρχής Φ1 (12).

Στην περιοχή της εισόδου της σήραγγας κατασκευάστηκε ανοικτή τάφρος – ορθογωνικής διατομής 8m x 6m για να εγκατασταθεί το φρεάτιο εργασίας Φ1 (Εικόνα 3. 31). Στην περιοχή του φρεατίου Φ1 αναπτύχθηκε πλήρως (Εικόνα 3. 32) το εργοτάξιο για την κατασκευή του πρώτου τμήματος του έργου.

Γύρω από το φρεάτιο αυτό λειτουργούν όλες οι διατάξεις υποστήριξης της εκσκαφή της σήραγγας. Εκεί τοποθετήθηκε η κύρια μονάδα ώθησης σωλήνων, εκεί

τροφοδοτούνται συνεχώς οι νέοι σωλήνες επένδυσης της σήραγγας. Από το φρεάτιο εισόδου ξεκινούν όλα τα δίκτυα τροφοδοσίας, με ηλεκτρικό ρεύμα το μηχάνημα εκσκαφής, με φρέσκο αέρα το προσωπικό της σήραγγας το τηλεφωνικό δίκτυο επικοινωνίας με το μέτωπο κλπ. Επίσης από εδώ τροφοδοτείται με υδραυλικό λάδι και ο ενδιάμεσος σταθμός ώθησης και το δίκτυο λίπανσης την συστοιχία των σωλήνων. Επίσης από το φρεάτιο αυτό απομακρύνονται τα προϊόντα εκσκαφής της σήραγγας.

Στην τελική χρήση του έργου το φρεάτιο Φ1 θα εξασφαλίζει την πρόσβαση στη σήραγγα και από εδώ θα απορρέουν όλα τα νερά που συγκεντρώνει η στοά.



Εικόνα 3. 32: Ανάπτυξη εργοταξίου στη περιοχή του φρεατίου εργασίας Φ1 (12).

Η πλευρά του φρεατίου απέναντι από το στόμιο της σήραγγας αποτελεί και τη πλάκα αντίδρασης για τις δυνάμεις ώθησης, επί της οποίας εδράζονται οι γρύλοι προώθησης ώστε να μπορέσουν να εξασκήσουν τις δυνάμεις ώθησης της στήλης των σωλήνων.

#### 1.1.7 Ενδιάμεσο Φρέαρ Προσπέλασης Φ2

Στη ΧΘ: 0+400 m κατασκευάστηκε ένα φρεάτιο προσπέλασης για την κατασκευή του δευτέρου τμήματος της σήραγγας. Αυτό το φρεάτιο ουσιαστικά βρίσκεται περίπου στην μέση της διαδρομής της σήραγγας.

Το φρέαρ Φ2 ξεκινά με κυκλική διατομή με διαμέτρου 7,0m από την επιφάνεια του εδάφους έως το βάθος των 19m. Από εκεί και κάτω διευρύνεται μόνο προς την μια πλευρά και αποκτά στο τελικό βάθος των 29m σχήμα ελλειψοειδές (με μεγάλο άξονα 8,50m). Αυτό έγινε για να υπάρχει αρκετός χώρος ώστε να μπορεί να εγκατασταθεί ο κύριος σταθμός ώθησης και προς τις δύο κατευθύνσεις, όταν θα γίνεται η εκσκαφή του δευτέρου τμήματος της σήραγγας.

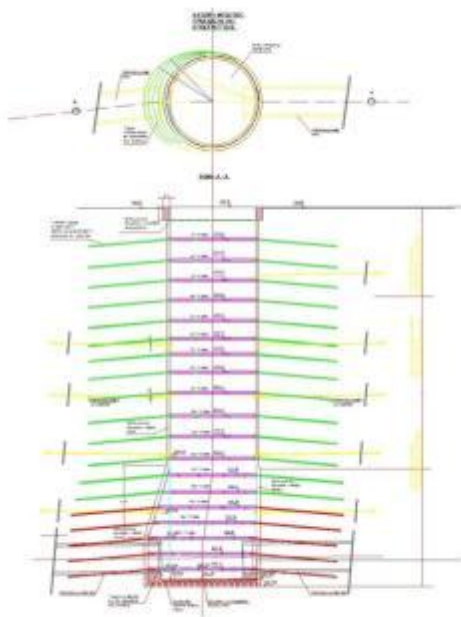


Εικόνα 3. 33: Ο χώρος για την κατασκευή του φρεατίου Φ2 (12)



Εικόνα 3. 34: Εκσκαφή φρεατίου Φ1 (12)

Η εκσκαφή του φρεατίου έγινε σε βήματα του 1,5m με μικρό ερπυστριοφόρο εκσκαφέα και η ανέλκυση των προϊόντων εκσκαφής στην επιφάνεια έγινε από γερανό. Το σύστημα αντιστήριξης των παρειών περιλαμβάνει, την τοποθέτηση δομικού πλέγματος και μεταλλικών δακτυλίων σύνθετης διατομής από 2UNP140, επένδυση των παρειών εκσκαφής με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 15cm, εγκατάσταση ήλων βράχου 12~14τεμ ανά 1,5m βάθος εκσκαφής με μήκος ήλων 6,0m, οι ήλοι εδράζονται πάνω στους μεταλλικούς δακτυλίους. Επίσης σε ορισμένα βάθη κατασκευάστηκαν αποστραγγιστικές διατρήσεις με μικρή ανιούσα κλίση (+1°) ως προς την οριζόντιο, ο σωλήνας που τοποθετήθηκε είναι ίδιων τεχνικών χαρακτηριστικών με αυτούς της σήραγγας.



Εικόνα 3. 35: Τομή του φρεατίου Φ2 (12)

### 1.1.8 Ενδιάμεσο Φρέαρ Προσπέλασης Φ3

Στη ΧΘ:0+760 m περίπου από την πορεία των εργασιών παρουσιάστηκε η ανάγκη για την κατασκευή και ενός επιπλέον φρεατίου προσβολής της σήραγγας. Αυτό ονομάστηκε Φρεάτιο Φ3

Το φρέαρ Φ3 είναι κυκλικό με διαμέτρου Φ7,8m και βάθος 42m η αντιστήριξη των παρειών εκσκαφής έγινε με 20 τεμ πασσάλους Φ1,0m και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 20cm. Επί των πασσάλων στην ανάντη πλευρά και προς την κατολίσθηση κατασκευάστηκαν προεντεταμένα αγκύρια 48τεμ x 17m και σε όλη την περίμετρο σε διάφορες στάθμες κατασκευάστηκαν και αποστραγγιστικές γεωτρήσεις με μήκος 24m. Συνολικά κατασκευάστηκαν στο φρέαρ αυτό **54τεμ.x24m=1296m** αποστραγγιστικές γεωτρήσεις που και αυτές δρουν συμπληρωματικά με τα υπόγεια αποστραγγιστικά έργα.

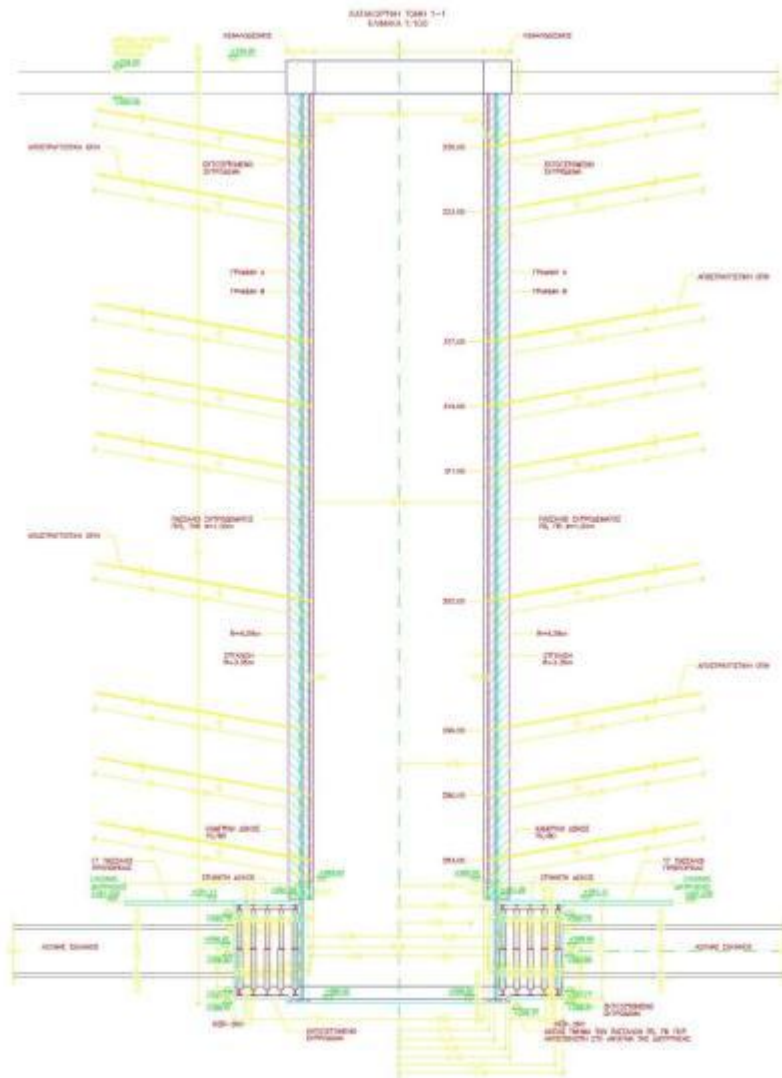
Από το φρέαρ Φ3 κατασκευάστηκαν δύο τμήματα σήραγγας. Προς το Φ2 και συνάντησε το μέτωπο τη σήραγγας και ολοκλήρωσε το 2<sup>ο</sup> τμήμα της σήραγγας. Από το Φ3 προς το τυφλό τέλος της σήραγγας σε μήκος 80m περίπου.



Εικόνα 3. 36: Εγκαταστάσεις φρεατίου Φ3 (12).



Εικόνα 3. 37: Εκσκαφή φρεατίου Φ3 (12)



Εικόνα 3. 38: Τομή φρεατίου Φ3 (12)

### 3.8 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Όσον αφορά την εκσκαφή του υπόγειου έργου με την μέθοδο υπόγειας εκσκαφή αγωγού η εμπειρία από το έργο αυτό μπορεί να συμπυκνωθεί στα παρακάτω.

Η εγκατάσταση του μηχανήματος εντός των σωλήνων επένδυσης έκανε τη λειτουργία του μηχανήματος περισσότερο δύσκολη απ' ότι συνήθως. Λόγω της υψηλότερης θέσης τοποθέτησης της μεταφορικής ταινίας όταν συναντήθηκαν υπόγεια νερά η φόρτωση του βαγονιού ήταν δύσκολη.

Όμως αυτή η διάταξη ήταν σωτήρια για τις δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν στο έργο, καθώς περίπου 35m πριν το πρώτο τμήμα της σήραγγας φτάσει στο φρεάτιο Φ1 η διάνοιξη βρήκε κατακερματισμένο υλικό κατολίστησης με αρκετά μεγάλη παροχή υπόγειων υδάτων δύσκολο να αντιμετωπισθεί από το μηχανήμα.



Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης ήταν η αστάθεια του μετώπου και η κατάρρευση αυτού με αποτέλεσμα η σήραγγα να σταματήσει (Εικόνα 3. 39) και (Εικόνα 3. 40).



Εικόνα 3. 39: Αστάθεια μετώπου (12)



Εικόνα 3. 40: Κατάρρευση μετώπου (12)

Το φαινόμενο του σιλό που δημιουργήθηκε από το υλικό που αφαιρέθηκε από το μέτωπο μετά από κάποιες ημέρες, περίπου 10 ημέρες μετά, οδηγήθηκε στην επιφάνεια κάνοντας την εμφάνιση ενός κρατήρα στο πρηνές του δρόμου (Εικόνα 3. 41) και (Εικόνα 3. 42).



Εικόνα 3. 41: Κρατήρας στην επιφάνεια (12)



Εικόνα 3. 42: Κρατήρας (12)

Αυτό βέβαια δεν είχε καμιά επίπτωση στην πορεία κατασκευής του έργου γιατί το μηχάνημα είχε την δυνατότητα να τραβηχτεί πίσω με μια διάταξη ενός βαρούλκου και συρματόσκαιων οδηγήθηκε στο φρεάτιο Φ1 όπου και έγινε η ανάκτησή του. Το τμήμα αυτό της σήραγγας ολοκληρώθηκε με εκσκαφή από το Φ2.

Μια δεύτερη εμπειρία από το έργο είναι η λανθασμένη χρήση του ενδιάμεσου σταθμού ώθησης. Η τοποθέτηση του σταθμού εντός της συστοιχίας πρέπει να γίνει όχι με βάση τις πιέσεις ώθησης αλλά νωρίς με κριτήριο τις αναμενόμενες τριβές σε σχέση με το μήκος ώθησης δηλαδή με το μήκος του τμήματος που θα ωθήσεις.



Εικόνα 3. 43: Σχετική περιστροφή του σταθμού και καταστροφή αυτού (12)

Η ενεργοποίηση του σταθμού πρέπει να γίνει με κριτήριο την πίεση ώθησης όταν αυτή ξεπεράσει κάποιο όριο (πχ. 60% της ικανότητας του συστήματος ώθησης). Η κατασκευή του σταθμού είναι μια άλλη παράμετρος. Ο σταθμός πρέπει να είναι έτσι κατασκευασμένος ώστε να μπορεί να αντέξει μια έκκεντρη φόρτιση που λόγω των υψηλών φορτίων ώθησης μπορεί να οδηγήσει σε περιστροφή και καταστροφή του σταθμού όπως φαίνεται στη Εικόνα 3. 43.

Όπως είναι γνωστό από την θεωρία οι ενδιάμεσοι σταθμοί χρησιμοποιούνται για την μείωση των δυνάμεων ώθησης και την αύξηση του μήκους των σωλήνων που ωθούνται. Η αυξημένη δύναμη στα άκρα των σωλήνων οδηγεί στο να ξεπεραστούν οι επιτρεπόμενες τάσεις στους σωλήνες και κατ' επέκταση την καταστροφή των άκρων από τον θρυμματισμό του σκυροδέματος.



Εικόνα 3. 44: Κατεστραμμένη σύνδεση σωλήνα. (12)

Προβλήματα θρυμματισμού παρουσιάστηκαν σε ορισμένες περιπτώσεις στους σωλήνες που έφτασαν σε τέτοιο σημείο που δεν μπορούσαν να ληφθούν πλέον άλλα μέτρα αποτροπής και επιδιόρθωσης όπως φαίνεται στην Εικόνα 3. 44. Επομένως τη μόνη λύση ήταν η καθαίρεση του κατεστραμμένου σωλήνα.

## ■ Κεφάλαιο 4

Κατασκευή του ΝΣΑΑ στο Ηράκλειο Κρήτης με  
υπόγειες μέθοδοι διάνοιξης



## 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η κατασκευή τμήματος αγωγού αποχέτευσης με την τεχνική υπόγειας διάνοιξης και ώθησης των σωλήνων γνωστής και ως Pipejacking.

Το κυρίως έργο αυτό ονομάζεται Νέος Συλλεκτήριο Αγωγός Ακαθάρτων Ηρακλείου Κρήτης (ΝΣΑΑ). Ο αγωγός αυτός κατασκευάστηκε για να επεκτείνει το ήδη υπάρχων δίκτυο αποχέτευσης της πόλης του Ηρακλείου Κρήτης στις ανατολικές και νότιες περιοχές της πόλης. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν προβλήματα δόμησης με ελάχιστους κοινόχρηστους χώρους. Το έργο αυτό λύνει σημαντικά προβλήματα αποχέτευσης των περιοχών αυτών. Με την κατασκευή του έργου αυτού είναι δυνατή η αποχέτευση ακαθάρτων του τμήματος της πόλης Νότια της οδού Μεγ. Αλεξάνδρου και της Νέας Εθνικής Οδού, και συγκεκριμένα από τις περιοχές Αγ. Ιωάννης, Λεωφ. Κνωσού, Φορτέτσα, Μεσαμπελιές, Ηλιούπολη, Ούλαφ Πάλμε, και Κορακοβούνι

Ο νέος συλλεκτήριο αγωγός ακαθάρτων ξεκινά από τις εργατικές κατοικίες Μπεντεβή (οδός Ανακρέοντος) και διαμέσου των οδών Μεγάλου Αλεξάνδρου, Μνησικλή, Ματθαιάκη, Μπακογιάννη και του δρόμου προς Φοινικιά, καταλήγει στις Εγκαταστάσεις του Βιολογικού Καθαρισμού Ηρακλείου. Ο αγωγός αυτός σχεδιάστηκε ώστε να εξυπηρετήσει τους Δήμους Ηρακλείου, Ν. Αλικαρνασσού και Γαζίου για τα επόμενα 50 χρόνια.

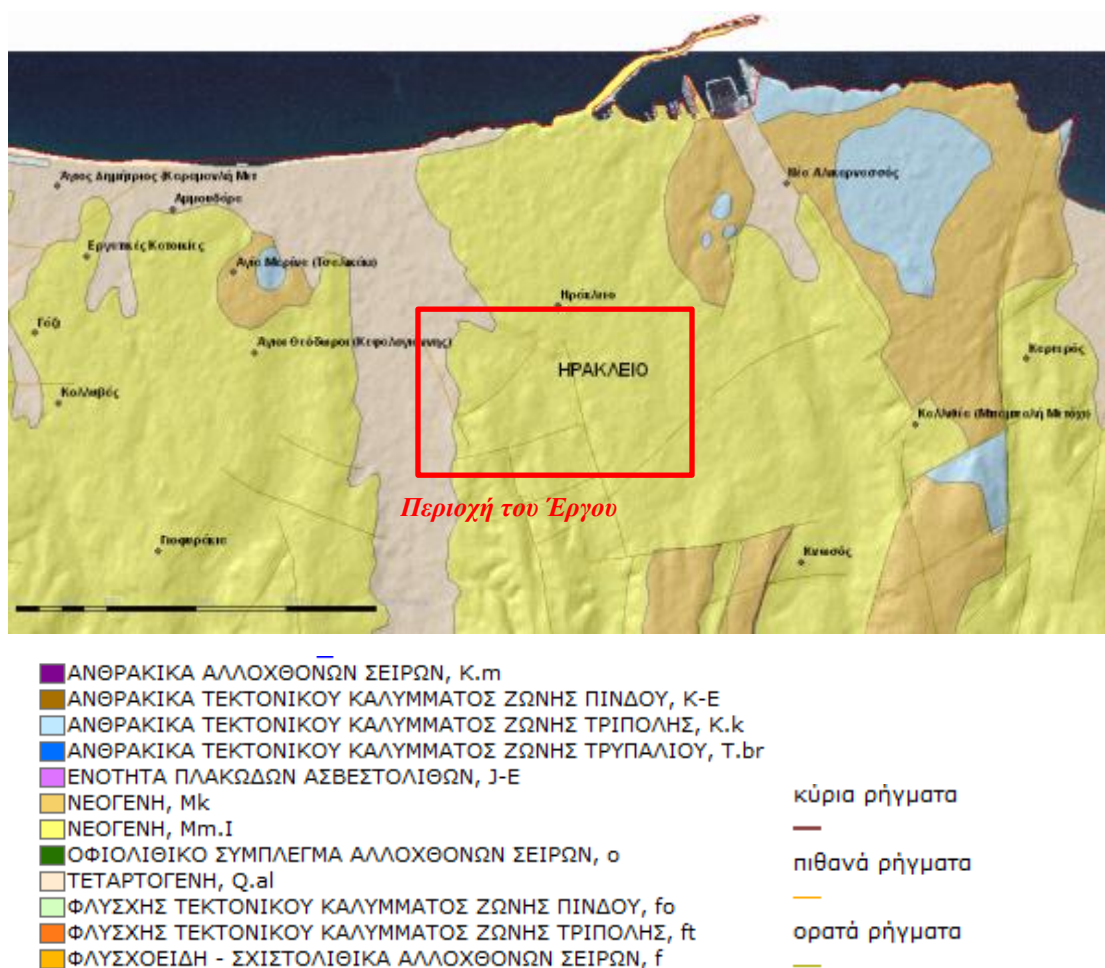
Ο αγωγός, αναπτύσσεται σε ένα μήκος 4,5 χιλ. και σε μέγιστο βάθος 35 m κάτω από την επιφάνεια της γης. Η σήραγγα πεταλοειδούς διατομής είναι ηλεκτροφωτισμένη, σε μεγάλο μήκος της και υπάρχει ειδικό ανοξείδωτο κάγκελο για προστασία. Επίσης υπάρχουν φρεάτια 5 μετώπων προσβολής και 48 φρεάτια επισκέψεως.

Πρόκειται για μια από τις μεγαλύτερες επενδύσεις στον τομέα της αποχέτευσης, κατασκευάστηκε με χρηματοδότηση του Ταμείου Συνοχής κατά 75% ,του Ελληνικού δημοσίου κατά 8,75% και ιδίων πόρων της ΔΕΥΑΗ κατά 16,25%.

## 4.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

### 4.2.1 Γενικά

Η περιοχή του έργου ανήκει στην λοφώδη λεκάνη του Ηρακλείου και παρουσιάζει όλα τα χαρακτηριστικά της εξέλιξης της νεογενούς λεκάνης.



Εικόνα 4. 1: Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής του Ηρακλείου Κρήτης. (26).

### 4.2.2 Γεωλογικά – Τεκτονικά χαρακτηριστικά (27)

Η λεκάνη του Ηρακλείου αποτελείται από νεογενείς σχηματισμούς : γκρι μάργες και κροκαλοπαγή Τορτονίου, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και γύψους του Μεσσηνίου και κίτρινες μάργες του Πλειόκαινου. Στην επιφάνεια της λεκάνης σπανίως εμφανίζεται το πρωτογενές υπόβαθρό της. Σε ορισμένα σημεία όπου αυτό εμφανίζεται πρόκειται συνήθως για ασβεστόλιθους ή φλύσχη της σειράς της Τρίπολης. Από τεκτονικής πλευράς παρατηρείται ότι η περιοχή που σήμερα αντιστοιχεί στην λεκάνη του Ηρακλείου, βυθίστηκε μετά το νεογενές άνω συγχρόνως η περιοχή του Ψηλορείτη ανυψώθηκε σημαντικά. Η κατακόρυφη μετακίνηση ξεπερνά τα 1000 m και συντελέστηκε κατά μήκος σημαντικών ρηγμάτων.

## 4.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΕΡΓΟΥ

### 4.3.1 Σκοπός του έργου

Το έργο κατασκευάζεται για να λειτουργήσει ως συλλεκτήριος αγωγός των ακαθάρτων υδάτων τα οποία θα συλλέγονται από επιφανειακά παράλληλα δίκτυα

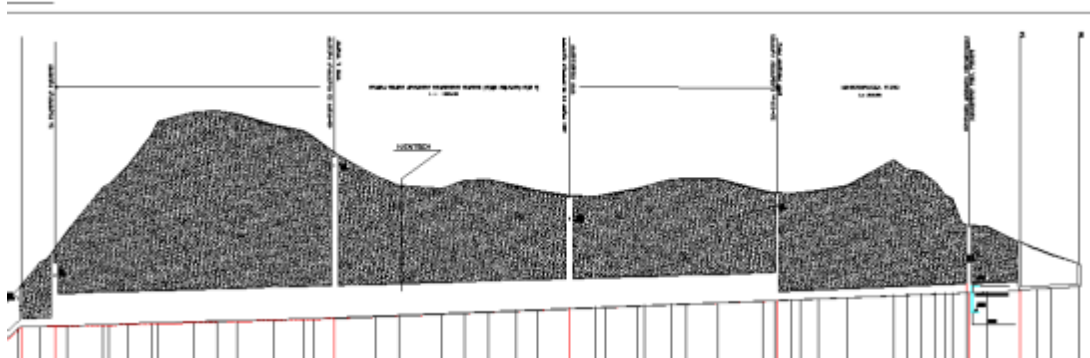


Εικόνα 4. 2: Δορυφορική φωτογραφία της περιοχής και γενική διάταξη του αγωγού ΝΣΑΑ.

αγωγών που θα τροφοδοτούν αυτόν τον κύριο αγωγό στα σημεία κατασκευής των φρεατίων προσβολής και εξόδου του μηχανήματος. Η περιοχή που εκτείνεται το έργο είναι αρκετά εκτεταμένη όπως φαίνεται στην Εικόνα 4. 2 πράγμα που δείχνει την σημαντικότητα του έργου.

### 4.3.2 Τεχνικό Αντικείμενο Έργου.

Στην πρώτη φάση του έργου πειρελάμβανε την κατασκευή σήραγγας πεταλοειδούς διατομής με δυνατότητα επίσκεψης.



Εικόνα 4. 3: Μηκτομή έργου.

#### Αρχική φάση

- Σήραγγα πεταλοειδούς διατομής από Φ4 – Φ3:~600m
- Σήραγγα πεταλοειδούς διατομής από Φ3 – Φ2:~500m
- Σήραγγα πεταλοειδούς διατομής από Φ2 – Φρέαρ Εξόδου:~300m
- Μικροσήραγγα διαμέτρου Φ1490mm από Φρέαρ Λεωφόρου Κνωσού - Φρέαρ Εξόδου :~285m
- Μικροσήραγγα διαμέτρου Φ1490mm Φρέαρ Λεωφόρου Κνωσού - Σημείο Εξόδου :~70m

Σύνολο υπόγειας διάνοιξης Αρχική Φάση έργου

Πεταλοειδής σήραγγα: ~1400m

Μικροσήραγγα : ~360m

Όμως κατά την διάνοιξη της πεταλοειδούς σήραγγας και περίπου 80 m μετά την διέλευση αυτής από το φρέαρ Φ3 σημειώθηκε κατάρρευση του μετώπου με μεγάλη ποσότητα λασπορροής να εισέρχεται εντός της σήραγγας. Ο κρατήρας που δημιουργήθηκε έφτασε έως την επιφάνεια του εδάφους και στις αυλές των οικιών που βρίσκονται εκατέρωθεν της οδού Μεγάλου Αλεξάνδρου. Η αναστάτωση και η ανησυχία των περιοίκων ήταν τόσο μεγάλη που η συνέχιση του έργου ήταν αμφίβολη. Η λύση που δόθηκε ήταν η επέκταση της χρήσης, της ήδη δοκιμασμένης στο έργο αυτό, τεχνικής η κατασκευή της σήραγγας με τη μέθοδο Pipejacking. Έτσι το τεχνικό αντικείμενο του έργου άλλαξε και η κατασκευή της μικροσήραγγας επεκτάθηκε από το φρέαρ εξόδου έως το φρέαρ εργασίας Φ2 και από εκεί προς την αντίθετη κατεύθυνση έως το νέο φρεάτιο εξόδου στην περιοχή της κατάπτωσης.

Σύνολο υπόγειας διάνοιξης Δεύτερη Φάση έργου μετά την κατάπτωση

Πεταλοειδής σήραγγα: ↓ ~700m

Μικροσήραγγα : ↑ ~1060m

#### 4.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΙΚΡΟ-ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Για την κατασκευή της μικροσήραγγας απαιτείται η κατασκευή ενός φρεατίου εργασίας ικανών διαστάσεων για την υποδοχή του συστήματος ώθησης των σωλήνων και του μηχανήματος. Αυτό το φρεάτιο κατασκευάστηκε σε κοινόχρηστο χώρο πάρκου στην λεωφόρο Κνωσού. Από το φρέαρ αυτό πραγματοποιήθηκε η κατασκευή δύο αντί-διαμετρικών τμημάτων του αγωγού.

Το πρώτο τμήμα του αγωγού διαπερνά έναν πλακοσκεπή οχετό όμβριων υδάτων εσωτερικών διαστάσεων 3,0m X 4,0m και καταλήγει στην οδό Ανακρέοντος σε σημείο εξόδου κατ' ευθείαν στο έδαφος το μήκος αυτού του τμήματος είναι περίπου 70m.

Το δεύτερο τμήμα του αγωγού κατασκευάστηκε στην αντίθετη κατεύθυνση από το πρώτο, κάτω από την οδό Μεγάλου Αλεξάνδρου έως την Μελετιίου Πήγα και



καταλήγει σε Φρεάτιο Εξόδου, το μήκος αυτού του τμήματος είναι περίπου 285 m.

#### 4.4.1 Χαρακτηριστικά του μηχανήματος εκσκαφής.

Για την κατασκευή του υπόγειου έργου χρησιμοποιήθηκε μηχανήμα εκσκαφής ανοικτού τύπου με μηχανικό βραχίονα εκσκαφής.

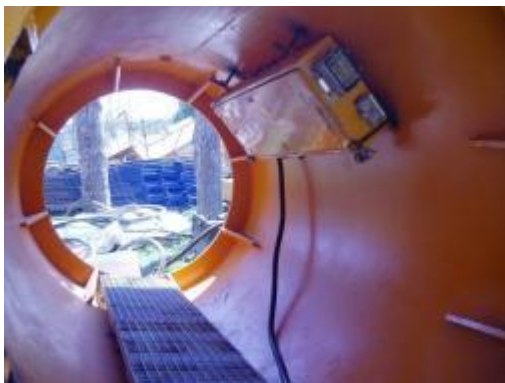


Εικόνα 4. 4: Εμπρόσθια όψη του μηχανήματος εκσκαφής (9).



Εικόνα 4. 5: Οπίσθια όψη του μηχανήματος εκσκαφής (9).

Τα Κύρια εξαρτήματα που απαρτίζουν το μηχανήμα εκσκαφής είναι τα ακόλουθα: ο μηχανικός βραχίονας για την εκσκαφή του μετώπου και η μεταφορική ταινία φόρτωσης του κάδου των μάζων, που ξεκινά από το εμπρός μέρος της ασπίδας και καταλήγει πίσω από αυτήν (Εικόνα 4. 4 και Εικόνα 4. 5). Επίσης πίσω από την ασπίδα τοποθετείται και μια δεύτερη ασπίδα η οποία ονομάζεται Back Up Trailer (Εικόνα 4. 6) μέσα στην οποία τοποθετούνται βοηθητικές διατάξεις του μηχανήματος, (πχ. ο ηλεκτρικός πίνακας παροχής ενέργειας), που λόγω στενότητας χώρου δεν μπορεί να τοποθετηθεί σε άλλο σημείο



Εικόνα 4. 6: Back Up Trailer (9).

εντός του μηχανήματος. Επίσης μέσα σε αυτό το χώρο γίνεται και η διαδικασία της φόρτωσης του κάδου μεταφοράς των μάζων.

#### 4.4.2 Καθοδήγηση εκσκαφής

Η καθοδήγηση της πορείας της εκσκαφής γίνεται με την βοήθεια φωτεινής ακτίνας Laser η οποία εκπέμπεται από σταθερά τοποθετημένη συσκευή σε ορισμένο σημείο στο φρεάτιο αρχής της σήραγγας (Εικόνα 4. 7). Η φωτεινή δέσμη προσπίπτει σε στόχο εντός της ασπίδας που βρίσκεται σε ορατό σημείο από το χειριστή του

μηχανήματος και προβάλλει διαρκώς τη σχετική θέση της κεφαλής του μηχανήματος.



Εικόνα 4. 7: Συσκευή λέιζερ (9).



Εικόνα 4. 8: Δέσμη ακτίνα λέιζερ (9).

Η δέσμη λέιζερ έχει τοποθετηθεί ώστε να ακολουθεί μια προκαθορισμένη ευθεία τόσο σε κατακόρυφο όσο και σε οριζόντιο επίπεδο. Ο χειριστής οφείλει να συμβουλευτεί το στόχο και την προσπίπτουσα σε αυτόν δέσμη λέιζερ, ο στόχος εμφανίζει την σχετική θέση της κεφαλής του μηχανήματος σε σχέση με την προκαθορισμένη ευθεία. Δεδομένου ότι απαιτούνται κάποιες φορές διορθώσεις της πορείας του μηχανήματος η μετωπική στεφάνη της ασπίδας συνδέεται στο κυρίως σώμα του μηχανήματος μέσω υδραυλικών εμβόλων.



Εικόνα 4. 9: Έμβολο καθοδήγησης της κεφαλής (9).



Εικόνα 4. 10: Κεφαλή οδήγησης της ασπίδας (9).

Με καταλλήλους χειρισμούς (εξωθεί την μια πλευρά και κρατά σταθερή την άλλη) ο χειριστής έχει τη δυνατότητα ενεργώντας επί των υδραυλικών εμβόλων (Εικόνα 4. 9) να κατευθύνει κατάλληλα την κεφαλή της ασπίδας, Εικόνα 4. 10, ώστε να οδηγήσει τη διάνοιξη προς την ορθή κατεύθυνση (εντός κάποιων ορίων).

#### 4.4.3 Σύστημα φόρτωσης – Μεταφοράς

Η μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής γίνεται με ηλεκτροκίνητο συρμό και κάδο, που κινείται σε σιδηροτροχιές ελαφρού τύπου και το οποίο τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές υγρού τύπου (2x12V).

Το φορείο διευθύνεται από κατάλληλα ηλεκτρικά χειριστήρια, για τις κύριες κινήσεις (εμπρός, πίσω και φρένο).

Η φόρτωση του βαγονέτου πραγματοποιείται μέσω μεταφορικής ταινίας που ξεκινά από το εμπρός άκρο της ασπίδας την οποία τροφοδοτεί ο κάδος εκσκαφής. Το ηλεκτρικό φορείο κινείται πάνω σε σιδηροτροχιές ελαφρού τύπου και μεταφέρει το κάδο (Εικόνα 4. 11) με τα προϊόντα εκσκαφής στο φρεάτιο εισόδου όπου με την βοήθεια γερανού το βαγονέτο αποσπάται από το φορείο (Εικόνα 4. 12), ανελκύεται στην επιφάνεια και εκκενώνεται από το περιεχόμενό του.



Εικόνα 4. 11: Κενός κάδος πάνω στον ηλεκτροκίνητο συρμό (9).



Εικόνα 4. 12: Ανέλκυση του φορτωμένου κάδου (9).

#### 4.4.4 Σύστημα προώθησης

Η μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής γίνεται με ηλεκτροκίνητο συρμό, με φορείο, κάδο που κινείται σε σιδηροτροχιές. Ο συρμός κινείται με ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές υγρού τύπου (2x12V). Το φορείο διευθύνεται από κατάλληλα ηλεκτρικά χειριστήρια, για τις κύριες κινήσεις (εμπρός, πίσω). Η φόρτωση του βαγονέτου πραγματοποιείται μέσω μεταφορικής ταινίας που ξεκινά από το εμπρός άκρο της ασπίδας και τροφοδοτείται από τον βραχίονα εκσκαφής. Το ηλεκτρικό φορείο κινείται πάνω σε σιδηροτροχιές ελαφρού τύπου και μεταφέρει το κάδο με τα προϊόντα εκσκαφής στο φρέαρ εργασίας όπου με την βοήθεια γερανού το βαγονέτο αποσπάται από το φορείο, ανελκύεται στην επιφάνεια και εκκενώνεται από το περιεχόμενό του.

#### 4.4.5 Σύστημα ώθησης

Η προώθηση των σωλήνων πραγματοποιείται μέσω υδραυλικών γρύλων (2τεμ.) οι οποίοι μεταφέρουν μέσω ενός μεταλλικού δακτυλίου τις δυνάμεις ώθησης στη συστοιχία των σωλήνων. Η μέγιστη δύναμη που μπορεί να αναπτύξει το σύστημα ώθησης φθάνει έως τους 500 ton.



Εικόνα 4. 13: Σύστημα προώθησης σωλήνων (9).

Η λειτουργία των υδραυλικών γρύλων επιτυγχάνεται μέσω μιας ηλεκτροκίνητης υδραυλικής μονάδας παροχής υδραυλικού λαδιού υπό πίεση (power pack).

Η μονάδα διαθέτει μανόμετρα για την μέτρηση της παρεχόμενης πίεσης. Με την μέτρηση αυτών των τιμών μπορούμε να κάμουμε αναγωγή στις ασκούμενες δυνάμεις ώθησης.

#### 4.4.6 Ωθούμενοι σωλήνες

Οι σωλήνες από οπλισμένο σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, με εξωτερική διάμετρο  $\Phi 1490\text{mm}$  και εσωτερική διάμετρο  $\Phi 1200\text{mm}$  και μήκους 2,5m.



Εικόνα 4. 14: Εσωτερικό σωλήνων (9).

Οι σωλήνες που τοποθετούνται είναι η μόνιμη επένδυση της σήραγγας και θα αποτελέσουν και των αγωγό που θα λειτουργεί για μερικές δεκάδες χρόνια. Ως εκ τούτου οι σωλήνες χρειάζονται προστασία έναντι της διάβρωσης. Για το λόγω αυτό βάφονται με βαφή εποξειδικής Λιθανθρακόπισσας που ονομάζεται B237 Solvent της SINTECNO. Η βαφή των σωλήνων γίνεται με ρολό στην επιφάνεια του εδάφους και αφήνεται για ωρίμανση μερικές ημέρες πριν τη χρήση. Στην Εικόνα 4. 14 φαίνεται η εικόνα του εσωτερικού του αγωγού.

#### 4.4.7 Αλλαγή σωλήνων

Η πρόοδο των εργασιών κατασκευής γίνεται ως εξής. Ο χειριστής με τον εκσκαφέα αποκόπτει υλικό από το μέτωπο ομοιόμορφα σε ολόκληρη την διατομή. Έτσι δημιουργείται ένα κενό μπροστά από την ασπίδα. Όταν δημιουργηθεί αυτό το ανυποστήρικτο μήκος της σήραγγας δίνεται εντολή για να ξεκινήσει η διεργασία ώθησης των σωλήνων από τον κύριο σταθμό ώθησης. Όταν ακουμπήσει η ασπίδα στο μέτωπο σταματά η ώθηση των σωλήνων. Το βήμα της κάθε ώθησης μεταβάλλεται ανάλογα των αναγκών υποστήριξης του μετώπου, αν διαπιστωθεί αστάθεια στο μέτωπο οι ωθήσεις είναι συνεχείς και μικρές σε μήκος, αλλιώς το βήμα μπορεί να φτάσει και τα 50 εκ.

Όταν εξαντληθεί το ωφέλιμο μήκος της διαδρομής των εμβόλων ο χειριστής βγαίνει από το μηχάνημα. Αποσυνδέονται όλα τα δίκτυα παροχής στο μηχάνημα ηλεκτρικού ρεύματος και αερισμού, τα έμβολα και ο δακτύλιος ώθησης συστέλλονται για να δημιουργήσουν χώρο για την τοποθέτηση ενός νέου σωλήνα. Προετοιμάζεται ένας νέος σωλήνας στην επιφάνεια του φρεατίου, καθελκύεται στο φρεάτιο και συνδέεται με την υπόλοιπη συστοιχία των σωλήνων.

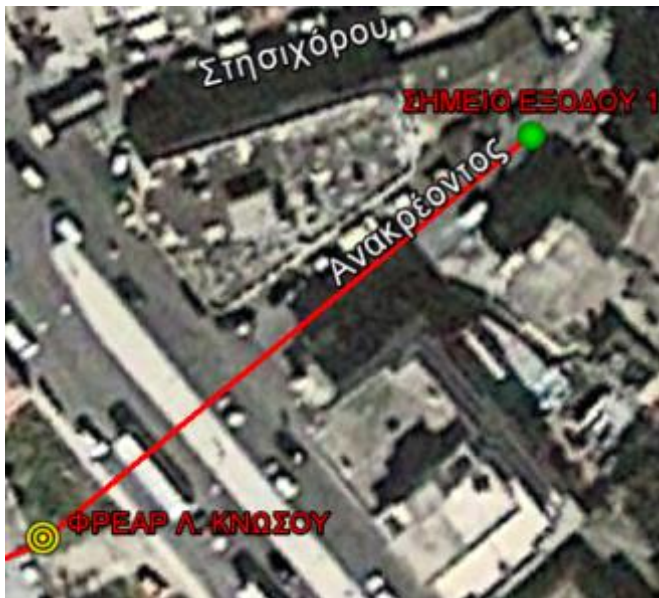


Εικόνα 4. 15: Σύστημα προώθησης σωλήνων σε πλήρη έκταση (9).



Εικόνα 4. 16: Σύστημα προώθησης σωλήνων σε συστολή διαδικασία προσθήκης νέου σωλήνα (9).

#### 4.5 1<sup>ο</sup> Πέρασμα Φρ. Λ. Κνωσού - Ανακρέοντος



Εικόνα 4. 17: Αεροφωτογραφία περιοχής και σχηματική αναπαράσταση του πρώτου περάσματος.

Το πέραςμα πάνω από τον πλακοσκεπή αγωγό γίνεται με ταυτόχρονη καθαίρεση της οροφής του αγωγού. Το μηχάνημα είχε την δυνατότητα να εφοδιασθεί με κρουστικό σφυρί για την καθαίρεση του οπλισμένου σκυροδέματος της οροφής, όμως μεγάλο τμήμα της οροφής καθαιρέθηκε με τα χέρια.



Εικόνα 4. 18: Μέτωπο εκσκαφής πάνω από τον πλακοσκεπή αγωγό (9)



Εικόνα 4. 19: Σωλήνες πάνω από τον πλακοσκεπή αγωγό (9).



*Εικόνα 4. 20: Ανομοιογενές μέτωπο εκσκαφής πάνω από τον πλακοσκεπή αγωγό (9).*

Ο αγωγός που κατασκευάστηκε στο πρώτο πέρασμα είναι εξωτερικής διαμέτρου  $\Phi 1490\text{mm}$  με καθαρή εσωτερική διάμετρο  $\Phi 1200\text{mm}$ . Το ύψος των υπερκειμένων εδαφών στο ξεκίνημα του περάσματος είναι 10m και στο τέλος του περάσματος είναι 7,8m. Η έξοδο του μηχανήματος έγινε σε προσωρινή τάφρο επί του εδάφους χωρίς την απαίτηση περεταίρω αντιστήριξης Εικόνα 4. 21.



*Εικόνα 4. 21: Έξοδος του μηχανήματος σε σημείο εξόδου κατ' ευθείαν στο έδαφος (9).*



*Εικόνα 4. 22: Ο αγωγός πίσω στο φρεάτιο της Α. Κνωσού (9).*

#### 4.6 2<sup>ο</sup> Πέρασμα Φρ. Λ. Κνωσού – Φρέαρ Εξόδου



Εικόνα 4. 23: Αεροφωτογραφία περιοχής και σχηματική αναπαράσταση του δεύτερου περάσματος.

Ο αγωγός που κατασκευάστηκε και στο δεύτερο πέρασμα είναι και πάλι εξωτερικής διαμέτρου  $\Phi 1490\text{mm}$  με καθαρή εσωτερική διάμετρο  $\Phi 1200\text{mm}$ . Το ύψος των υπερκειμένων εδαφών στο ξεκίνημα του περάσματος είναι 10,0 m και στο τέλος του περάσματος είναι 16,8 m με μέγιστο ύψος υπερκειμένων περίπου τα 19,0m σε απόσταση περίπου 100m από το φρέαρ την Λ. Κνωσού. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που διαπέρασε η σήραγγα ήταν μάργες με λίγη άμμο χωρίς υδροφορία στην αρχή της διαδρομής από κάποιο σημείο και μετά βρέθηκε ένα στρώμα με μικρή υδροφορία. Η έξοδο του μηχανήματος έγινε σε φρέαρ εξόδου που κατασκευάστηκε ειδικά για το λόγο αυτό και ονομάστηκε φρέαρ εξόδου.



Εικόνα 4. 24: Μηκοτομή δεύτερου περάσματος.

Το πέρασμα αποτελείται από μια ευθεία με μήκος περίπου 235m και στη συνέχεια από ένα τόξο με μήκος περίπου 50m. Η δυσκολία αυτού του περάσματος



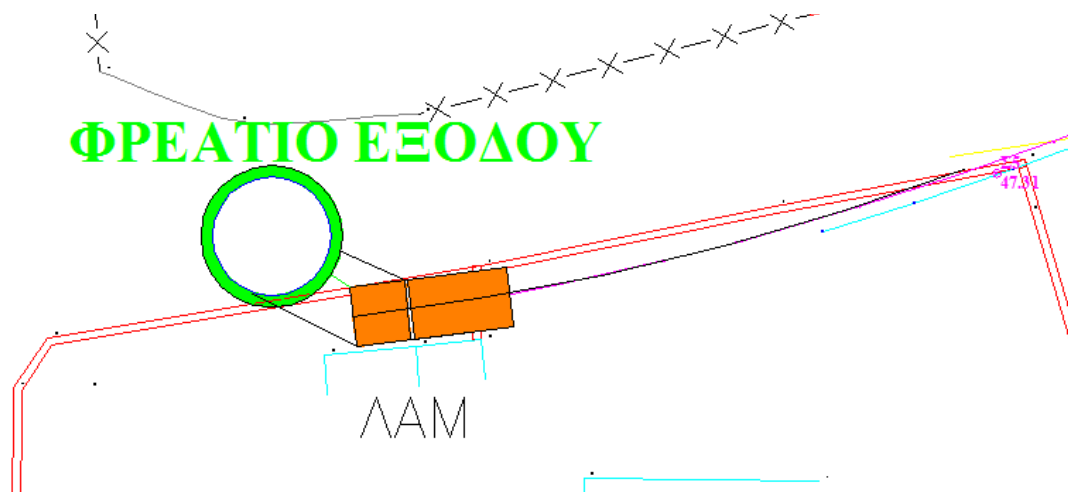
βρίσκεται 1<sup>ο</sup> στην ανάποδη κλίση του αγωγού πράγμα που σημαίνει ότι τα νερά συγκεντρώνονται εμπρός μέσα στο μηχανήμα, και 2<sup>ο</sup> στην υλοποίηση του τόξου στα τελευταία μέτρα της διαδρομής.

1<sup>ο</sup> ) για να ξεπερασθεί η πρώτη δυσκολία τοποθετήθηκε μια μικρή ηλεκτρική βυθιζόμενη αντλία σε καίριο σημείο του μηχανήματος για την άντληση των νερών και τις λάσπες που συγκεντρωνόταν εκεί. Η αντλία τροφοδοτούσε δίκτυο σωλήνων μικρής διατομής που ήταν τοποθετημένο δίπλα στις σιδηροτροχιές και έφτανε έως το φρέαρ εργασίας. Η αντλία συνδέθηκε στο δίκτυο της ΔΕΗ για να λειτουργεί όλες τις ημέρες και ώρες για να προστατέψει το μηχανήμα από τον κίνδυνο να ανέβει η στάθμη του νερού και να προκαλέσει βλάβη στα ηλεκτρικά του εξαρτήματα.

2<sup>ο</sup> ) η υλοποίηση του τόξου ήταν κάτι πιο δύσκολο καθώς με το ξεκίνημα της στροφής η κεφαλή του μηχανήματος έφευγε από την νοητή ευθεία που υλοποιούσε η δέσμη της ακτίνας λέιζερ και χανόταν κάθε δυνατότητα ελέγχου και καθοδήγησης.

Για το λόγο αυτό σε ορισμένη απόσταση πίσω από το στόχο καθοδήγησης τοποθετήθηκε δεύτερη συσκευή λέιζερ στην οροφή του σωλήνα. Όταν ο σωλήνας αυτός είναι σε ευθεία με την κεφαλή και τον στόχο, η κουκίδα του λέιζερ είναι στο κέντρο. Όταν αυτά ακολουθούν την πορεία που διαγράφει ένα τόξο τότε η κουκίδα αποκλίνει από το κέντρο του στόχου ανάλογα με το πόσο κλειστό είναι το τόξο αυτό. Διατηρώντας την απόσταση αυτής της απόκλισης σταθερή γράφουμε τόξο κύκλου. Μειώνοντας την απόκλιση αυτή επανερχόμαστε στην ευθεία. Βέβαια η μέθοδος είναι χονδροειδής και όχι ακριβείας αλλά μας παρέχει την αίσθηση για το που πάμε.

Η στροφή έγινε στο μέγιστο των δυνατοτήτων του μηχανήματος όμως και αυτό δεν ήταν αρκετό καθώς δεν ήταν γνωστή από την αρχή η ελάχιστη ακτίνα κύκλου που μπορεί να διαγράψει το μηχανήμα. Αν ήταν γνωστή αυτή η ακτίνα θα μπορούσε να ξεκινήσει η στροφή νωρίτερα για να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα.



Εικόνα 4. 25: Θέση του μηχανήματος σε σχέση με το φρέαρ εξόδου.

Το μηχάνημα δεν κατέληξε στο στόχο του όπως δείχνει η Εικόνα 4. 25 αλλά είχε μια μικρή απόκλιση για το λόγο αυτό από το πυθμένα του φρεατίου κατασκευάστηκε διευρυμένος θάλαμος για την αποκάλυψη του μηχανήματος Εικόνα 4. 39

## 4.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΕΑΤΙΩΝ

### 4.7.1 Κατασκευή φρεατίου εργασίας στη Λ. Κνωσού.

Το φρεάτιο αυτό έχει εσωτερική διάμετρο 7,5 m και βάθος περίπου 10,5μ. Η εκσκαφή έγινε με μικρό εκσκαφέα τύπου Hanix και η αντιστήριξη των παρειών της εκσκαφής περιελάμβανε τοιχίο από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με σπλισμό από διπλό δομικό πλέγμα Εικόνα 4. 26.



Εικόνα 4. 26: Εκσκαφή φρεατίου εργασίας στην Λ. Κνωσού. Διακρίνεται η οροφή του πλακοσκεπούς αγωγού (9).



Εικόνα 4. 27: Καθαίρεση της οροφής και του τοιχίου του πλακοσκεπούς αγωγού (9).

Περίπου στα 9,0m βάθους του αγωγού αποκαλύφθηκε η οροφή του πλακοσκεπούς οχετού, Εικόνα 4. 27, που υπάρχει κάτω από την Λεωφόρο Κνωσού και αποχετεύει τα όμβρια ύδατα της ανάντη λεκάνης απορροής.



Εικόνα 4. 28: Επέκταση της βάσης τοποθέτησης του μηχανήματος για την γεφύρωση του πλακοσκεπούς αγωγού (9).



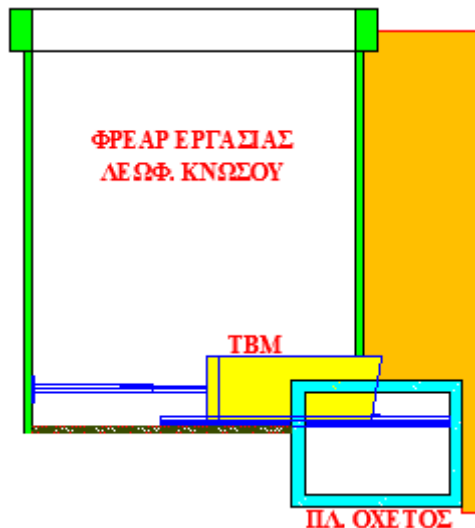
Εικόνα 4. 29: Βάση του μηχανήματος (9).



Εικόνα 4. 30: Στερέωση με κοχλίες των επίπεδων μεταλλικών πλακών στο απέναντι τοίχιο του πλακοσκεπούς αγωγού (9).



Εικόνα 4. 31: Η γεφύρωση του πλακοσκεπούς αγωγού έχει τελειώσει (9).



Εικόνα 4. 32: Σχηματική αναπαράσταση της θέσης του Πλακοσπετούς Αγωγού σε σχέση με το φρέαρ εργασίας.

Η διέλευση της σήραγγας πάνω από τον πλακοσκεπή αγωγό ήταν το πρώτο πρόβλημα που απαιτούσε άμεση λύση, (Εικόνα 4. 32). Προτάθηκε η λύση της κατασκευής ικρίωματος μέσα στον αγωγό και σε ύψος 3,5m να συγκρατήσει το μηχάνημα και τους σωλήνες επένδυσης μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης της σήραγγας και μέχρι την κατασκευή μιας μόνιμης κατασκευής. Όμως η λύση αυτή είχε δύο σημαντικά μειονεκτήματα. Πρώτον: Το ικρίωμα θα έπρεπε να στηριχθεί στον πυθμένα του αγωγού το οποίο μάλλον δεν είναι σταθερό. Δεύτερον: Ακόμα και αν στερεωθεί με ασφάλεια στον πυθμένα, θα πρέπει να αντέξει την απότομη αύξηση της ροής του αγωγού όποτε αυτή συμβεί. Η λύση αυτή φυσικά απορρίφθηκε. Επικράτησε η λύση της γεφύρωσης του ανοίγματος του αγωγού με την επέκταση της βάσης της στερέωσης του μηχανήματος και την στερέωση αυτής μέσω πλάκας και κοχλίων στο απέναντι τοίχιο του αγωγού (Εικόνα 4. 30).

#### 4.7.2 Φρέαρ Εξόδου

Το φρέαρ εξόδου είχε διάμετρο  $\Phi$  3,05m και βάθος 16,8m. Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκε μεγάλο γεωτρήπανο πασσάλων. Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε ήταν η κατασκευή μιας οπής μικρότερης διαμέτρου στο κέντρο του φρεατίου στην συνέχεια διεύρυνση της οπής στην τελική διάμετρο. Τα μάζα από τη διεύρυνση πέφτουν μέσα στην πρώτη οπή. Μετά ακολουθεί η αντιστήριξη των παρειών της εκσκαφής με την τοποθέτηση πλέγματος και ρήψη εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Η απομάκρυνση των μάζων γίνεται με τη χρήση του πρώτου κοπτικού τις μικρής διάμετρο.

Το φρεάτιο κατασκευάστηκε σε πολύ περιορισμένο χώρο όπως φαίνεται στις φωτογραφίες.



*Εικόνα 4. 33: Κατασκευή κεφαλόδεσμου στο φρέαρ εξόδου (9).*



*Εικόνα 4. 34: Εγκατάσταση του γεωτρόπανου (9).*



*Εικόνα 4. 35: Στήσιμο του γεωτρόπανου (9).*



*Εικόνα 4. 36: Εργασία κατασκευής του φρεατίου εξόδου (9).*

Αξίζει να σημειωθεί ότι περίπου στα 10,0m από την επιφάνεια βρέθηκε ένα στρώμα αμμοχάλικων πάχους μερικών εκατοστών το οποίο λόγω της σημαντικής υδροφορίας που είχε προκάλεσε πολλά προβλήματα στην κατασκευή του φρεατίου.



*Εικόνα 4. 37: Τοποθέτηση διπλού πλέγματος στην παρειά του φρεατίου (9).*



*Εικόνα 4. 38: Πως φαίνεται ο έξω κόσμος μέσα από το φρεάτιο εξόδου (9).*

Η αντιστήριξη των παρειών της εκσκαφής περιλαμβάνει την τοποθέτηση διπλού πλέγματος και την κατασκευή τοιχίου από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Για για την εργασία του προσωπικού χρησιμοποιήθηκε σαν βάση εργασίας ο ίδιος ο διευρυντήρας, όπως φαίνεται στην φωτογραφία.

Με την ολοκλήρωση της εκσκαφής του φρεατίου ξεκίνησε η χειρονακτική κατασκευή θαλάμου για την αναζήτηση του μηχανήματος εκσκαφής της σήραγγα όπως δείχνει η Εικόνα 4. 39



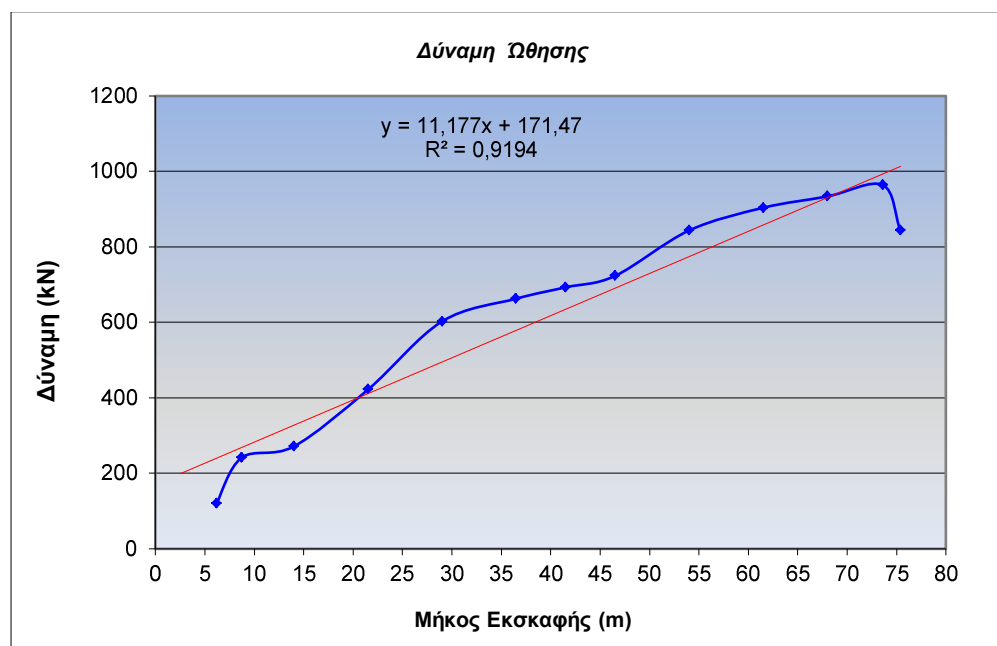
*Εικόνα 4. 39: Αποκάλυψη του μηχανήματος εκσκαφής της σήραγγα (9).*

## 4.8 Καταγραφή και επεξεργασία των δυνάμεων ώθησης

Και στα δυο περάσματα εφαρμόστηκε απλό σύστημα για την καταγραφή των δυνάμεων ώθησης. Για το λόγο αυτό καταγράφηκε η πίεση του υδραυλικού κυκλώματος παροχής λαδιού στα έμβολα ώθησης. Με γνωστή την επιφάνεια που έχουν τα έμβολα μπορεί να γίνει αναγωγή σε δύναμη ώθησης.

Διάμετρος Εμβόλου (cm)	27,70
Διατομή Εμβόλου (cm <sup>2</sup> )	602,63
Αριθμός Εμβόλων	2
Δύναμη ώθησης με πίεση 1 bar (kN)	12,05
Δύναμη ώθησης με πίεση 1 bar (τόνους)	1,229

### Α) Πέρασμα της οδού Ανακρέωντος



Εικόνα 2. 11: Καταγραφή δυνάμεων για το πέρασμα στην οδό Ανακρέωντος.

### Καταγραφή δεδομένων

Μέτωπο	Πίεση Ωθησης	Δύναμη Ωθησης
6,2	10,00	120,5
73,6	80,00	964

Κλίση  
της  
ευθείας  
 $j = 12,51 \text{ kN/m}$

Σύμφωνα με τη σχέση (6) κεφάλαιο 2 η κλίση του γραφήματος

$$j = \frac{dR}{dx} = \frac{W_t}{l_t} \cdot \tan\delta + c \cdot b = P_u \cdot \tan\delta + c' \cdot b \Leftrightarrow c' \cdot b = j - P_u \cdot \tan\delta$$

$$\Leftrightarrow 12,51 - P_u \cdot \tan\delta = c' \cdot b$$

$$b=0,25\text{m}$$

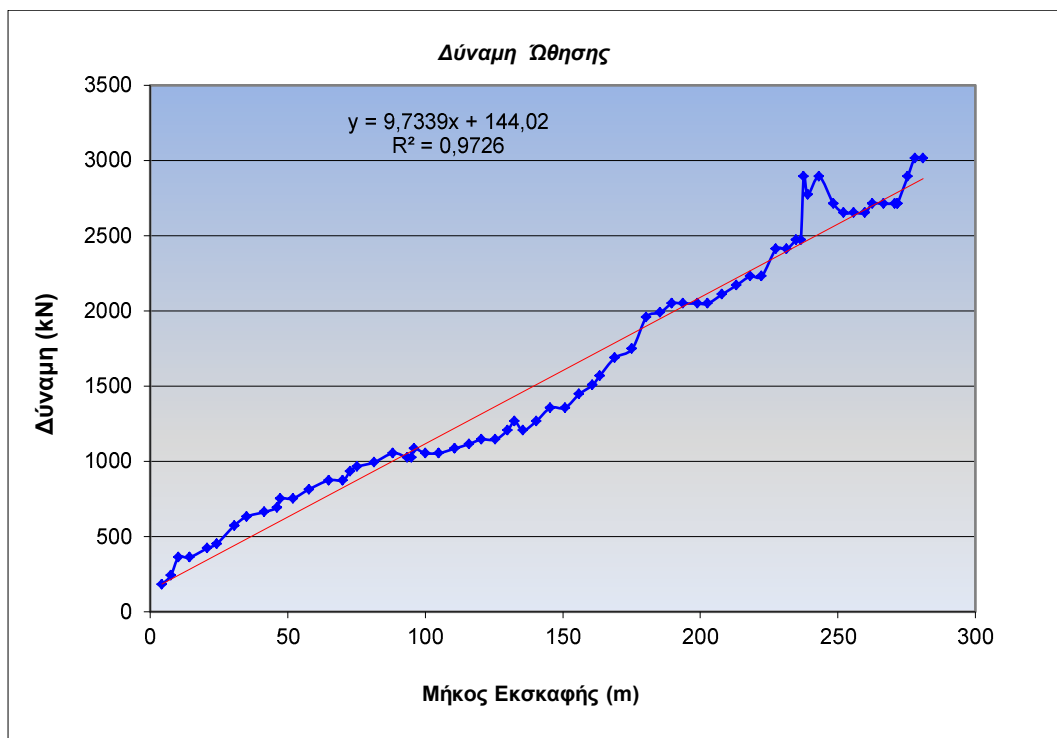
$$P_u=15,9\text{kN/m}$$

$$\Leftrightarrow c' = 50,04 - 63,6 \cdot \tan\delta$$

$$c'=0 \text{ kN} \Leftrightarrow \delta=38,19^\circ$$

$$c'=100 \text{ kN} \Leftrightarrow \delta=38,01^\circ$$

## B) Πέρασμα στην Μεγ. Αλεξάνδρου



Εικόνα 2. 12: Καταγραφή δυνάμεων ώθησης στο πέρασμα στην οδό Μεγ. Αλεξάνδρου.

### Καταγραφή δεδομένων

Ημερομηνία	Μέτωπο	Δύναμη Ωθησης
01/06/05	7,5	241
08/09/05	278,0	3012,5



$$j = 10,25 \text{ kN/m}$$

Σύμφωνα με τη σχέση (6) κεφάλαιο 2 η κλίση του γραφήματος

$$j = \frac{dR}{dx} = \frac{W_t}{l_t} \cdot \tan\delta + c \cdot b = P_u \cdot \tan\delta + c' \cdot b \Leftrightarrow c' \cdot b = j - P_u \cdot \tan\delta$$

$$10,25 - P_u \cdot \tan\delta = c' \cdot b$$

$$b=0,25\text{m}$$

$$P_u=15,9 \text{ kN/m}$$

$$\Leftrightarrow c' = 41 - 63,6 \cdot \tan\delta$$

$$c'=0 \text{ kN} \Leftrightarrow \delta=32,81^\circ$$

$$c'=100 \text{ kN} \Leftrightarrow \delta=42,85^\circ$$

Υπολογισμός αύξησης της δύναμης ώθησης λόγω σταματήματος της ώθησης για μεγάλο χρονικό διάστημα 12 Ημερών ~288 Ωρες.

Ημερομηνία	Μέτωπο	Πίεση Ωθησης	Δύναμη Ωθησης
11/08/05	236,5	205,00	2470,25
23/08/05	237,6	240,00	2892

$$dP = 421,75\text{kN}$$

$$J=dP/ dS = 421,75/236,5 = 1,78 \text{ kN/m}$$

$$d\sigma = J/\pi D_e = 1,78/(3,14*1,5\text{m}) = 0,377 \text{ kPa}$$



# ■ Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

## **5.1 Εφαρμογές και πλεονεκτήματα**

### **5.1.1 Εφαρμογές**

Κύριες εφαρμογές για τις μεθόδους υπόγειας διάνοιξης με την τεχνική Pipejacking (PJ) και Microtunneling (MT) είναι κυρίως οι νέες κατασκευές αγωγών μεταφοράς λυμάτων, αγωγών αποστράγγισης όμβριων υδάτων, κεντρικών αγωγών νερού και αερίου, αγωγούς πετρελαίου, αγωγούς για εγκατάσταση καλωδίων ηλεκτρισμού ή τηλεπικοινωνιών.

Η επέκταση εφαρμογής των μεθόδων υπόγειας διάνοιξης στην ώθηση μεγάλων διατομών τετραγωνικής ή κυκλικής διατομής για εγκατάσταση υπόγειων διαβάσεων πεζών, υπόγειες διαβάσεις οδών για τη κατασκευή ακρόβαθρων υπόγειων γεφυρών και του καταστρώματος αυτών, υπόγειων σταθμών μετρό, χώρων στάθμευσης χώρων αποθήκευσης.

Η τεχνική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ξεπεραστούν τα εμπόδια που υπάρχουν στην επιφάνεια και σχετίζονται με την πορεία κατασκευής ενός έργου, αλλά και για να ελαχιστοποιηθεί η διατάραξη των δραστηριοτήτων στην επιφάνεια του δρόμου που συχνά συνδέεται με τις μεθόδους ανοικτού ορύγματος για την κατασκευή αγωγών σε αστικές περιοχές.

Αυτές οι κατασκευαστικές μέθοδοι είναι ικανές να αντιμετωπίσουν και τα δύο είδη εδαφών: συνεκτικά εδάφη και μη συνεκτικά εδάφη σε ξηρές ή υγρές συνθήκες. Επίσης υπάρχουν διαθέσιμες τεχνικές και μηχανήματα για εκσκαφή σε βράχους ή σε μικτές εδαφικές συνθήκες με κροκάλες και ογκόλιθους. Επομένως οι παραπάνω μέθοδοι μπορούν να εφαρμοσθούν σε κάθε τύπο εδάφους.

### **5.1.2 Τεχνικά Πλεονεκτήματα**

Τα τεχνικά πλεονεκτήματα που συνδέονται με τις μεθόδους υπόγειας διάνοιξης είναι:

- Άμεση και ισχυρή υποστήριξη της σήραγγας που διανοίχθηκε
- Μικρός κίνδυνος μετακινήσεων στην επιφάνεια
- Ελάχιστη επιφανειακή ενόχληση
- Μειωμένες απαιτήσεις για εκτροπές δικτύων κοινής ωφέλειας σε αστικές περιοχές.
- Δεν υπάρχουν απαιτήσεις για δευτερεύουσα επένδυση.
- Σημαντικά λιγότερες συνδέσεις από ότι μια σήραγγα με προκατασκευασμένα στοιχεία.
- Πρόληψη εισροών υπόγειου νερού με την χρήση σωλήνων με στεγανές και εύκαμπτες συνδέσεις.
- Αποτροπή της καταστροφής του οδοστρώματος και μείωσης της ζωής αυτού.

### **5.1.3 Πλεονεκτήματα στην Ασφάλεια**

Η τεχνική Pipejacking (PJ) είναι εκ φύσεως μια ασφαλής μέθοδος εργασίας από ότι η κατασκευή με ανοικτή εκσκαφή ή η παραδοσιακή κατασκευή με

προκατασκευασμένα στοιχεία. Κατά την εξέταση των κινδύνων που συνδέονται με το βάθος, με τη μεγάλη διατομή ή με τις ανοικτές εκσκαφές, υπάρχει ο γενικό κανόνας για την Ασφάλεια και Υγεία για τη μείωση του κινδύνου:

“αν είναι δυνατή η χρήση τεχνολογίας υπόγειας διάνοιξης “trenchless” να αποφεύγεται η χρήση μεθόδων εκσκαφή ορύγματος σε πρώτη φάση”.

Με δεδομένο το διαφορετικό μέγεθος της ομάδας εργασίας μεταξύ των δύο τεχνικών και της αποτελεσματικής μείωσης των εργατοωρών, οι πιθανότητες για να γίνει ατύχημα είναι λιγότερες με τεχνικές υπόγειας διάνοιξης.

#### **5.1.4 Πλεονεκτήματα για το περιβάλλον**

Υπάρχουν ουσιαστικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα που θα προκύψουν από τη χρήση των μεθόδων υπόγειας διάνοιξης και της τεχνικής Pipejacking (PJ) όταν συγκρίνονται με την παραδοσιακή προσέγγιση των ανοικτών ορυγμάτων. Τυπικά οι μέθοδοι υπόγειας διάνοιξης “trenchless” θα μειώσουν τις ποσότητες των μπαζών, που εξέρχονται προς απόθεση με συνακόλουθο και τη μείωση των υλικών λατομείου που απαιτούνται για τη πλήρωση των ορυγμάτων. Αυτό με την σειρά του οδηγεί στην μείωση της κίνησης των οχημάτων και ακολούθως στην σχετιζόμενη παρενόχληση στην επιφάνεια.

Σε πολλές περιπτώσεις χρήσης των μεθόδων υπόγειας διάνοιξης και της τεχνικής Pipejacking (PJ) σε αντίθεση με τις τεχνικές με ανοικτά ορύγματα, συμβάλει θετικά προς την αλληλεπίδραση με το ευρύ κοινό το τοπικό και ευρύτερο περιβάλλον.



## Βιβλιογραφία

1. **Mr Robert Zlokovitz, Prf Ilan Juran.** Trenchless Technology Solutions for Professional Training Sessions. *COstruction iNterference COst Reduction Demonstration -CONCORD-*. NY : The Urban Utility Center, 2005.
2. **United Kingdom Society for Trenchless Technology.** [Ηλεκτρονικό] [http://www.ukstt.org.uk/trenchless\\_technology/](http://www.ukstt.org.uk/trenchless_technology/).
3. **Australasian Society for Trenchless Technology.** *Gidelines for Horizontal Directional Drilling, Pipe Bursting, Microtunnelling and Pipe Jacking.* 2009.
4. **Nieder Gregor, Dr.-Ing.** International No-Dig 2011 29th International Conference Exhibition. *New Milestone in Guided Auger Boring with Front Steer Technology.* [Ηλεκτρονικό] 2011. <http://www.nodigberlin2011.com/index.cfm?cmd=PDFcenter&pdfID=1>. Paper 3A-1.
5. **Bohrtec GmbH, Konrad-Zuse-Str. 24 Alsdorf, Germany.** [www.bohrtec.de/index.php?id=34](http://www.bohrtec.de/index.php?id=34). [www.bohrtec.de/index.php?id=34](http://www.bohrtec.de/index.php?id=34). [Ηλεκτρονικό] <http://www.bohrtec.de/artikel/guided-steel-pipe-drilling-with-front-steer.html>.
6. *Trenchless Technology Guidelines. Pipejacking and Microtunneling.* s.l. : International Society for Trenchless Technology, August 2005.
7. **LUDWIG PFEIFFER.** [Ηλεκτρονικό] <http://www.ludwigpfeiffer.com/>.
8. **The Pipe Jacking Association.** *An introduction to pipe jacking and microtunelling design.* s.l. : The Pipe Jacking Association.
9. **Ράζος Ηλίας - Έδραση Χ. Ψαλλίδας Α.Τ.Ε.** Προσωπικό Αρχείο έργου 2004 053. Ηράκλειο Κρήτης : 2004 053, 2006.
10. *2010 Pipe Materials Guide.* Peninsula, OH44264 USA : Bernard P. Kizys, 2010.
11. *Long Distance (Micro-) Tunneling with Polymer Concrete.* **Gerhard Lang, Dr.-Ing., MBA, Amiantit Meyer Polycrrete Ltd.** Roma : Mediterranean No Dig 2007-XXVth International Conference & Exhibition, 2007.
12. **Ράζος Ηλίας - Έδραση Χ. Ψαλλίδας Α.Τ.Ε.** Προσωπικό Αρχείο έργου 2006 020. Παραμυθία Θεσπρωτίας : 2006 020, 2007.
13. **Schmah, Peter.** International No-Dig 2011 29th International Conference Exhibition. *Herrenknecht VSM - Innovation in Mechanizes Shaft Construction.* [Ηλεκτρονικό] 2011. <http://www.nodigberlin2011.com/index.cfm?cmd=PDFcenter&pdfID=1>. Paper 2-A-03.
14. **Herrenknecht AG, Germany.** [Ηλεκτρονικό] <http://www.herrenknecht.com/products/vertical-drilling/shaft-sinking-machines.html>.
15. **Jacked Structures SA.** *Engeniering Specialists and Consultants.* [Ηλεκτρονικό] <http://www.jackedstructures.com/box-jacking.html>.

16. **Marshall, Mark.** *Pipe-Jacked Tunnelling: Jacking Loads and Ground Movements.* s.l. : University of Oxford, 1998. Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy.
17. **Britta Schoesser, Markus Thewes, Marc Peters, Steffen Praetorius.** International No-Dig 2011 29th International Conference Exhibition. *Practice-Oriented Guideline for the Choice of an Adequate Bentonite Suspension for Lubrication in Pipe Jacking.* [Ηλεκτρονικό] 2-5 May 2011. <http://www.nodigberlin2011.com/index.cfm?cmd=PDFcenter&pdfID=1>. Paper 3A-3.
18. *Development of a new pipe jacking method for ultra-long distances.* **Fuji, H.** Taiwan : International NoDIG, 1997. Paper 3-2-1 - 3-2-10.
19. *Stability of slurry trenches in inhomogeneous subsoil.* **Mueller-Kirchenbauer, H.** Tokyo : Proceedings of 9th International Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering, 1977.
20. **DIN 4126.** *Stability analysis of diaphragm walls - explanations.* 2004.
21. **G. Milligan, P. Norris.** *Pipe Jacking Research Result and Recommendations.* s.l. : Pipe Jacking Association on behalf of The Pipe Jacking Research Group.
22. **Milligan, G W E, and Norris, P.** Pipe-soil interaction during pipe jacking. *Proc. Instn Civ Engrs.* London : Geotech. Engng, 1998.
23. **A.-L. Pellet-Beaucour, R. Kastner.** Experimental and analytical study of friction forces during microtunneling operations. *Trenchless Technology Research.* s.l. : PERGAMON, 2002.
24. **A. I. Sofianos, P. Loukas, Ch. Chantzakos.** *Pipe jacking a sewer under Athens.* s.l. : Tunnelling and Underground Space Technology, 2004. Page 193-203.
25. **ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ ΤΜΗΜΑ 1.1.5-1.1.6. ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.** Ν. ΗΡΑΚΛΕΙΟ : ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΤΕ, 2002. ΕΜ. ΠΑΠΑΔΑΚΗ 19.
26. Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών - ΙΤΕ. *EMERIC.* [Ηλεκτρονικό] [http://webgis.ims.forth.gr/WebGisSites/Default.aspx?service=Emeric\\_geological](http://webgis.ims.forth.gr/WebGisSites/Default.aspx?service=Emeric_geological).
27. **Βεργής, Γεώργιος Εμμ.** *Μεταπτυχιακή Εργασία "Διερεύνηση δυνατοτήτων δημιουργίας ταμειυτήρα στην περιοχή Τύλισου Ηρακλείου Κρήτης για αποθήκευση νερών πηγής Αλμυρού".* ΑΘΗΝΑ : ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 2006. ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ".