

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ ΑΝΟΙΧΤΩΝ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ:
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗΣ
ΟΔΟΥ ΑΓΡΙΝΙΟΥ.**



**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ:
ΜΑΝΤΖΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

**ΕΠΟΠΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ**

ΠΑΤΡΑ - ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εφαρμογή αντιστηρίξεων σε μορφή πασσάλων οι οποίοι προστατεύουν τόσο από μετακινήσεις εδαφικών μαζών κατά τη διάρκεια των χωματουργικών εργασιών όσο και από καθιζήσεις του υπεδάφους μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του κτιρίου, βρίσκουν εφαρμογή από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα στις αναπτυγμένες τότε χώρες της Δύσης. Το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για τέτοιου είδους εφαρμογές υπήρξε το ξύλο, ενώ με την ανάπτυξη της βιομηχανίας στα τέλη του 19^{ου} αιώνα άρχισε η χρησιμοποίηση μεταλλικών πασσάλων.

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου συγκριτικά με άλλες ισοδύναμες τεχνικές οδήγησε στην όλο και ευρύτερη μετάδοση των αντιστηρίξεων πασσάλων (ή πασσαλότοιχων) αλλά και στην εξέλιξη των μεθόδων εφαρμογής.

Έτσι, παρουσιάστηκαν πάσσαλοι με περίπλοκες διατομές που συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας διαφράγματα, ή ακόμα και σύνθετοι πάσσαλοι με τον κατάλληλο συνδυασμό διαφορετικών υλικών εκμεταλλεύοντας στο έπακρο τις φυσικές ιδιότητες τους. Ακόμη κατάλληλα προσαρμοσμένες μέθοδοι βρίσκουν εφαρμογή σε υποθαλάσσιες εργασίες αντιστήριξης.

Η μέθοδος ανοικτού ορύγματος αποτελεί μια χαρακτηριστική μέθοδο στην οποία γίνεται χρήση μεμονωμένων πασσάλων ή άλλα είδη πασσάλων οι οποίοι συνδυάζονται κατάλληλα για το σχηματισμό πασσαλότοιχων αντιστήριξης. Η παραπάνω μέθοδος βρίσκει εφαρμογή στην κατασκευή σηράγγων και μελετάται εκτενώς στην παρούσα εργασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ύπαρξη μεγάλου αριθμού μεθόδων εφαρμογής πασσαλότοιχων καθιστά αναγκαίο να περιγραφούν αρχικά τα είδη των πασσάλων οι οποίοι και είναι τα υλικά τα οποία συνδυαζόμενα κατασκευάζουν τα συστήματα αντιστήριξης που ορίζονται ως πασσαλότοιχοι. Ο διαχωρισμός των πασσάλων σε κατηγορίες είναι πολυδιάστατος και περιλαμβάνει εκτός από την κατηγοριοποίηση με γνώμονα το υλικό κατασκευής τους (ξύλο, μέταλλο, σκυρόδεμα, σύνθετα υλικά κ.α.), το διαχωρισμό ανάλογα με το είδος της χρήσης τους, τη μέθοδο κατασκευής και εφαρμογής τους αλλά και το μηχανισμό μεταφοράς φορτίου.

Έτσι, γνωρίζοντας τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές ενός έργου ο μελετητής προσφεύγει στα κατάλληλα υλικά και διατάξεις τα οποία θα του αποδώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα στο μικρότερο δυνατό χρόνο κατασκευής και κατ' επέκταση στο μικρότερο δυνατό χρονικό διάστημα.

Επίσης, σημαντικός παράγοντας για τη σωστή εφαρμογή της σχεδιασμένης αντιστήριξης είναι να επιλεγεί ο συγκεκριμένος εξοπλισμός ο οποίος θα διασφαλίσει την καλύτερη δυνατή χρησιμοποίηση των υλικών αποφεύγοντας τυχόν αστοχίες κατά την εφαρμογή αλλά και εργατικά ατυχήματα.

Εφόσον, έχουν ξεκαθαριστεί τα παραπάνω θέματα σχετιζόμενα με την επιλογή του είδους των πασσάλων αλλά και με τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό, πρέπει να γίνει ορθή επιλογή του βέλτιστου συστήματος αντιστήριξης πασσαλότοιχων, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα του έργου.

Στη συνέχεια, φθάνοντας στο τελικό στάδιο του σχεδιασμού του έργου πρέπει να αποφασιστεί η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί ώστε να τοποθετηθεί το σύστημα αντιστήριξης λαμβάνοντας υπ' όψιν χαρακτηριστικά του εδάφους, σεισμικούς συντελεστές, προβλήματα όχλησης της κυκλοφορίας, αλλά και ελευθερίας κίνησης των μηχανημάτων λόγω ενδεχόμενου χωροταξικού περιορισμού. Στην παρούσα εργασία περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία ανοικτού ορύγματος η οποία είναι η κυρίαρχος τεχνική για την κατασκευή σηράγγων σε έργα οδοποιίας.

Η παρουσίαση του θέματος, στα στενά όρια μιας διπλωματικής εργασίας, ολοκληρώνεται με μια πραγματική εφαρμογή στην περιμετρική οδό Αγρινίου, με πλούσιο φωτογραφικό υλικό κατά τα στάδια της ολοκλήρωσης του έργου αλλά και από τα σχέδια λεπτομερειών τα οποία βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση της μεθόδου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ	7
1. ΕΙΔΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	7
i. ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ – ΔΙΑΤΟΜΕΣ.....	7
ii. ΕΙΔΟΣ ΧΡΗΣΗΣ.....	13
iii. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	14
iv. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ	22
2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	22
i. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΕΜΠΗΓΝΥΟΜΕΝΩΝ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	22
ii. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΣΕ ΟΠΕΣ	28
iii. ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	30
iv. ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΦΥΡΙΟΥ	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ	33
3. ΕΙΔΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΑΣΣΑΛΟΤΟΙΧΩΝ	33
i. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΛΛΗΛΟΤΕΜΝΟΜΕΝΩΝ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	33
Τα κύρια πλεονεκτήματα των αλληλοτεμνόμενων πασσαλότοιχων είναι τα παρακάτω:.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ	59
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ (CUT AND COVER)	59
i. ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΕΘΟΔΟΥ	61
ii. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ CUT AND COVER	61
iii. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ – COVER AND CUT	65
iv. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	70
Διαδικασία σχεδιασμού συμβατικής μεθόδου ανοικτού ορύγματος.....	70
Χαρακτηριστικά σχεδιασμού εναλλακτικής μεθόδου ανοικτού ορύγματος (cover and cut)	72
v. ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ	77
5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗΣ ΟΔΟΥ ΑΓΡΙΝΙΟΥ	77

i. Εισαγωγή – Γενικά χαρακτηριστικά έργου.....	77
ii. Γενικές κατασκευαστικές αρχές έργου	78
Σημεία ιδιαιτερότητας.....	78
Πορεία κατασκευής – προαπαιτούμενες φάσεις	78
Βοηθητικές εργασίες	79
iii. Διαμόρφωση στομίων.....	80
iv. Διάνοιξη σήραγγας	82
v. Αποστράγγιση – στεγάνωση	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	92

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λέξη πάσσαλος συναντάται στην αρχαία ελληνική γλώσσα με προερχόμενη από την πελασγική (προελληνική) γλώσσα ρίζα παγ-/πακ- που σημαίνει «στερεώνω, συνδέω, ενώνω». Άλλες λέξεις με ίδια ρίζα είναι οι: πάγιος, πήγνυμι, άπαξ, παγετός κ.α.

Ο πάσσαλος χρησίμευε από παλιά για την κατασκευή χαρακωμάτων και φρακτών, ενώ κατασκευαζόταν από ένα ίσιο κορμό δένδρου μυτερό και στις δύο άκρες. Η μία από τις άκρες καρφωνόταν στο έδαφος και η άλλη άκρη ήταν μυτερή με σκοπό να εμποδίσει τους ανεπιθύμητους εισβολείς να υπερπηδήσουν το φράκτη.

Από τα μέσα του 18^{ου} αιώνα οι πάσσαλοι κατασκευάζονται και από άλλα υλικά πλέον του ξύλου και χρησιμοποιούνται σε πολλά έργα αντιστήριξης, με αποκορύφωμα τον 21^ο αιώνα όπου πλέον σε πολλά έργα αντιστήριξης επιβάλλεται η χρησιμοποίηση πασσάλων διαφόρων υλικών κατάλληλης μεθοδολογίας εφαρμογής.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια εκτενής παρουσίαση της μεθόδου ανοικτού ορύγματος η οποία παρουσιάζεται και μέσω μιας πραγματικής εφαρμογής σε σήραγγα αυτοκινητόδρομου (περιμετρική οδός Αγρινίου). Ακολουθώντας περιγράφονται συνοπτικά τα περιεχόμενα των κεφαλαίων που απαρτίζουν την παρούσα εργασία.

Κεφάλαιο πρώτο: Είδη πασσάλων

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται αρκετά λεπτομερώς τα είδη των πασσάλων ανάλογα με: α) τα χρησιμοποιούμενα υλικά και τις διατομές τους, β) το είδος χρήσης τους, γ) τη μέθοδο κατασκευής – εφαρμογής τους και δ) το μηχανισμό μεταφοράς του ασκούμενου φορτίου. Σε όλες τις αναφερθείσες υποενότητες παρουσιάζεται πλούσιο φωτογραφικό υλικό, ενώ παρατίθενται παράλληλα και τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε είδους πασσάλου.

Κεφάλαιο δεύτερο: Εξοπλισμός εγκατάστασης πασσάλων

Στο δεύτερο κεφάλαιο κρίθηκε σκόπιμο να περιγραφεί επιγραμματικώς ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός όσον αφορά στην τοποθέτηση των εμπυγνόμενων πασσάλων, στην τοποθέτηση πασσάλων σε οπές αλλά και στις μεθόδους υποστήριξης και τοποθέτησης πασσάλων. Συνοψίζοντας το κεφάλαιο αναφέρονται οι παράγοντες οι οποίοι συντελούν στην επιλογή του κατάλληλου σφυριού για την εκάστοτε εφαρμογή.

Κεφάλαιο τρίτο: Είδη συστημάτων αντιστήριξης πασσαλότοιχων

Στο τρίτο κεφάλαιο εισερχόμαστε στην ενότητα όπου περιγράφονται τα είδη των συστημάτων αντιστήριξης στο σύνολό τους. Τα κυριότερα είδη που εφαρμόζονται και περιγράφονται στο παρόν κεφάλαιο είναι τα εξής: σύστημα αλληλοτεμνόμενων πασσάλων, σύστημα μεμονωμένων πασσάλων, σύστημα πασσάλων με αγκύρωση ήλων σε πρανές, σύστημα αντιστήριξης με πασσάλους/ελάσματα, σκυροδετούμενα συστήματα αντιστήριξης, συστήματα αντιστήριξης τύπου προβόλου, σύστημα αντιστήριξης υδατοστεγούς περιβλήματος και συνδυασμένο σύστημα αντιστήριξης πασσάλων/ελασμάτων. Για όλα τα παραπάνω είδη συστημάτων αντιστήριξης γίνεται πλήρης περιγραφή τους ενώ παρουσιάζονται παράλληλα και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

Κεφάλαιο τέταρτο: Μεθοδολογία ανοικτού ορύγματος (Cut and Cover)

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία ανοικτού ορύγματος. Αρχικά παρουσιάζεται η γενική διάταξη της μεθόδου, ενώ στη συνέχεια περιγράφεται πλήρως η συμβατική αλλά και η εναλλακτική μέθοδος ανοικτού ορύγματος. Στην εν λόγω περιγραφή γίνεται παράθεση της κατασκευαστικής διαδικασίας τους, των χαρακτηριστικών του σχεδιασμού τους και του πεδίου εφαρμογής τους.

Κεφάλαιο πέμπτο: Παρουσίαση εφαρμογής σε σήραγγα περιμετρικής οδού Αγρινίου

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια πραγματική εφαρμογή της μεθοδολογίας ανοικτού ορύγματος. Αναφέρονται τα γενικά χαρακτηριστικά του έργου, οι κατασκευαστικές αρχές που λήφθηκαν υπ' όψιν, οι προαπαιτούμενες φάσεις της κατασκευής, οι βοηθητικές εργασίες, η διαδικασία διαμόρφωσης των στομιών και η αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας διάνοιξης της σήραγγας. Παράλληλα παρατίθενται πολλές λεπτομέρειες σχεδιασμού του έργου από τα σχέδια της κατασκευής όπως αυτά σχεδιάστηκαν από την υπεύθυνη εταιρεία αλλά και φωτογραφίες από τα διάφορα στάδια κατασκευής του έργου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

1. ΕΙΔΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ

Η ορθή περιγραφή των διαφόρων συστημάτων πασσαλότοιχων αντιστήριξης προϋποθέτει την περιγραφή των διαφόρων ειδών πασσάλων, καθώς και τις κατηγορίες στις οποίες αυτοί χωρίζονται. Με τον τρόπο αυτό γίνεται καλύτερα κατανοητή η εφαρμογή των πασσαλότοιχων οι οποίοι στην πλειονότητά τους αποτελούνται από επί μέρους πασσάλους.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι διάφορες κατηγορίες πασσάλων, πλεονεκτήματά και μειονεκτήματά τους.

i. ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ – ΔΙΑΤΟΜΕΣ

Αναφορικά με το είδος των χρησιμοποιούμενων υλικών οι πάσσαλοι μπορούν να χωριστούν σε πασσάλους από: α) ξύλο, β) χάλυβα, γ) σκυρόδεμα και δ) σύνθετα υλικά.

Οι ξύλινοι πάσσαλοι είναι ο παλαιότερος τύπος χρησιμοποιούμενου υλικού πασσάλων. Από τη μεριά τους μπορούν να χωριστούν σε ανεπεξέργαστοι και επεξεργασμένοι. Και οι δύο κατηγορίες προέρχονται από κορμούς δέντρων και είναι κυκλικής διατομής, με τους επεξεργασμένους πασσάλους να έχουν επικαλυφθεί με ειδικό συντηρητικό για τον περιορισμό της φθοράς με το χρόνο. Τυπική εικόνα ξύλινων πασσάλων δίνεται στο **Σχήμα 1**.



Σχήμα 1: Τυπικοί ξύλινοι πάσσαλοι.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης ξύλινων πασσάλων μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- Υπάρχει μεγάλη ποικιλία διαστάσεων διαθέσιμη και σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα,
- Το κόστος τους είναι σχετικά μικρό,
- Ο χειρισμός τους είναι εύκολος με μικρά ποσοστά πιθανής αστοχίας κατά την εφαρμογή,
- Μετά την εισχώρηση στο κατάλληλο βάθος, μπορούν εύκολα να κοπούν στο επιθυμητό μήκος,
- Σε περίπτωση που η απομάκρυνσή τους από το έδαφος είναι αναγκαία, μπορεί να γίνει αρκετά εύκολα.

Στον αντίποδα, τα κυριότερα μειονεκτήματα που εμφανίζονται αφορούν κυρίως στα γεγονότα ότι:

- Ενδέχεται να είναι οικονομικά δυσχερής η απόκτηση πασσάλων αρκετά μεγάλου μήκους και ευθυτενείς,
- Καθίσταται αρκετά δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να εισέλθουν σε σκληρά υπόβαθρα,
- Είναι δύσκολο να ενωθούν ξύλινα τμήματα πασσάλων μεταξύ τους σε περίπτωση που χρειάζονται αυξημένα μήκη,
- Η χρήση τους σαν φέροντες πάσσαλοι με μεγάλα φορτία στην κεφαλή τους δεν συνίσταται,
- Αν δεν έχουν συντηρηθεί με κατάλληλη χημική επικάλυψη, η χρονική διάρκεια κατά την οποία μπορούν να φέρουν φορτία είναι πολύ περιορισμένη, ενώ τα παραπάνω χημικά μπορεί να επιφέρουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι **χαλύβδινοι πάσσαλοι** είναι από τους συνηθέστερους χρησιμοποιούμενους πασσάλους κυρίως για θεμελιώσεις μεγάλου βάθους. Οι κατηγορίες τους αφορούν κυρίως την μορφολογία της διατομής τους. Έτσι, χωρίζονται κυρίως σε διατομής Η και σωληνωτής διατομής. Εξειδικευμένοι τύποι πασσάλων αφορούν ειδικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες όπως το κλειστό άκρο ενός σωληνωτού πασσάλου ή η προσεγμένη κατασκευή του άκρου μιας διατομής Η με σκοπό την προστασία από τυχόντα κρουστικά φορτία κατά την εισαγωγή. Τα παραπάνω είδη χαλύβδινων πασσάλων παρουσιάζονται στο **Σχήμα 2**.



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Σχήμα 2: Τυπικοί χαλύβδινοι πάσσαλοι: α) διατομής H, β) σωληνωτής διατομής, γ) διατομής H ειδικά μορφοποιημένου άκρου και δ) σωληνωτής διατομής κλειστού άκρου.

Τα πλεονεκτήματα των χαλύβδινων πασσάλων μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

- Η εξελιγμένη βιομηχανία μπορεί να διαθέσει πασσάλους διαφόρων διαστάσεων παχών και διατομών,
- Ικανότητα μεταφοράς υψηλών φορτίων,
- Υψηλή καμπτική αντοχή,
- Ευκολία κοπής,
- Χρήση σε παράκτιες κατασκευές.

Τα μειονεκτήματα αφορούν κυρίως στην τρωτότητα που παρουσιάζει ο χάλυβας στην οξείδωση (σκουριά), γεγονός που μπορεί να αντιμετωπιστεί μόνο με κατάλληλη επικάλυψη (π.χ. ανοξείδωτος χάλυβας) η οποία ωστόσο αυξάνει το κόστος της εφαρμογής.

Οι **πάσσαλοι οπλισμένου σκυροδέματος** είναι η κατηγορία πασσάλων που μπορεί να προσαρμοστεί καλύτερα στις απαιτήσεις της ζητούμενης εφαρμογής καθώς οι διαστάσεις και τα χαρακτηριστικά της διατομής του πασσάλου εξαρτώνται από το καλούπι στο οποίο γίνεται η σκυροδέτηση. Οι πάσσαλοι οπλισμένου σκυροδέματος χωρίζονται σε προκατασκευασμένους, προεντεταμένους και σκυροδετούμενους στο πεδίο. Οι σκυροδετούμενοι στο πεδίο πάσσαλοι περιλαμβάνουν και μεταλλικό περίβλημα – μεταλλότυπο. Τυπικές φωτογραφίες των παραπάνω ειδών πασσάλων οπλισμένου σκυροδέματος δίνονται στο **Σχήμα 3**.



(α)



(β)

Σχήμα 3: Τυπικοί πάσσαλοι οπλισμένου σκυροδέματος: α) σκυροδετούμενοι στο πεδίο και β) προεντεταμένοι - προκατασκευασμένοι.

Τα πλεονεκτήματα των προκατασκευασμένων πασσάλων οπλισμένου σκυροδέματος είναι:

- Είναι ανθεκτικοί σε χημική προσβολή,
- Χαρακτηρίζονται από υψηλή αντοχή,
- Το ενδεχόμενο εφαρμογής περίσφιγξης αυξάνει την αντοχή με θλιπτικά φορτία.

Τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν:

- Είναι δύσκολο να αυξηθεί ή να μειωθεί το μήκος,
- Πάσσαλοι μεγάλων διαστάσεων χρειάζονται ακριβό εξοπλισμό βαρέως τύπου,
- Η κατασκευή τους μπορεί να καθυστερήσει την πρόοδο ολόκληρου του έργου,
- Είναι πιθανή η αστοχία των πασσάλων κατά την μεταφορά ή την τοποθέτηση.

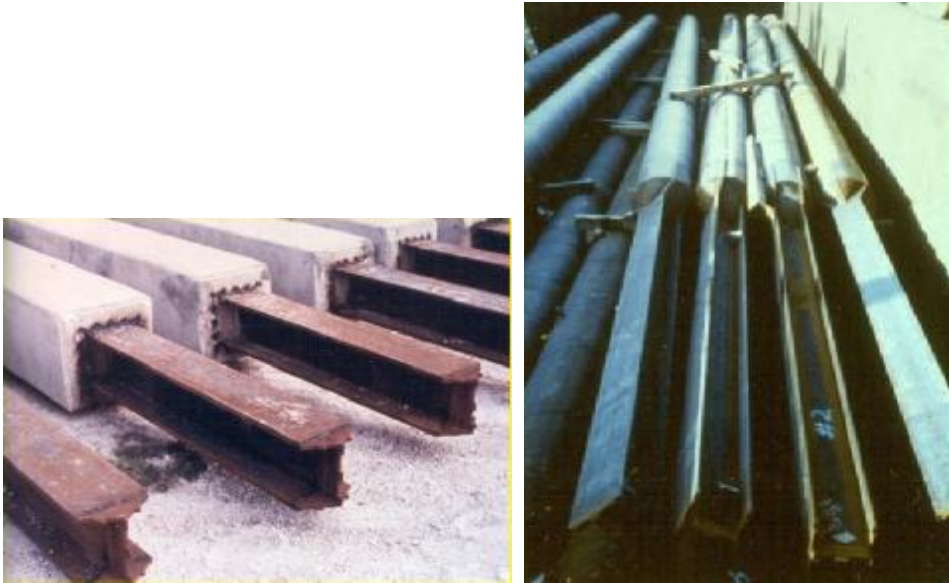
Οι σκυροδετούμενοι στο πεδίο πάσσαλοι πλεονεκτούν στα εξής:

- Τα μικρού βάρους μεταλλικά καλούπια μπορούν να μεταφερθούν με ευκολία,
- Η διακύμανση των διαστάσεων δεν αποτελεί πρόβλημα,
- Τα καλούπια μπορεί να είναι μικρού μήκους και να συγκολληθούν επί τόπου,
- Δεν τίθεται θέμα επιπλέον οπλισμού για φορτία κατά την μεταφορά του πασσάλου,
- Η αστοχία κατά την μεταφορά στο πεδίο δεν υφίσταται,
- Η παραγωγή επιπρόσθετων πασσάλων μπορεί να γίνει σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Μειονεκτήματα αποτελούν:

- Στην περίπτωση άοπλου πασσάλου, μια μικρή εδαφική κίνηση μπορεί να προκαλέσει την αστοχία του,
- Η εφαρμογή αξονικής δύναμης μπορεί να επιφέρει αστοχία λόγω εφελκυσμού,
- Η σκυροδετούμενη κάτω επιφάνεια του πασσάλου ενδέχεται να μην είναι συμμετρική.

Τελευταία κατηγορία αποτελούν οι **σύνθετοι πάσσαλοι** οι οποίοι κατασκευάζονται από συνδυασμό των παραπάνω υλικών συνήθως σκυροδέματος και χάλυβα. Η εφαρμογή αυτή γίνεται κυρίως σε περιπτώσεις πολύ σκληρού εδάφους, με το πάνω μέρος του πασσάλου να αποτελείται από προεντεταμένο σκυρόδεμα ενώ το κάτω τμήμα από χαλύβδινη διατομή τύπου Η. Το πάνω τμήμα από σκυρόδεμα μπορεί να είναι είτε ορθογωνικής είτε κυκλικής διατομής. Τυπικοί σύνθετοι πάσσαλοι δίνονται στο **Σχήμα 4**.



Σχήμα 4: Τυπικοί σύνθετοι πάσσαλοι.

Πλεονεκτήματα των σύνθετων πασσάλων είναι:

- Η επίλυση πολύπλοκων κατασκευαστικών προβλημάτων,
- Ενδεχόμενη υψηλή φέρουσα ικανότητα (αναλόγως των χρησιμοποιούμενων υλικών),
- Ενδεχόμενη μείωση κόστους θεμελίωσης

Μειονεκτήματα αποτελούν:

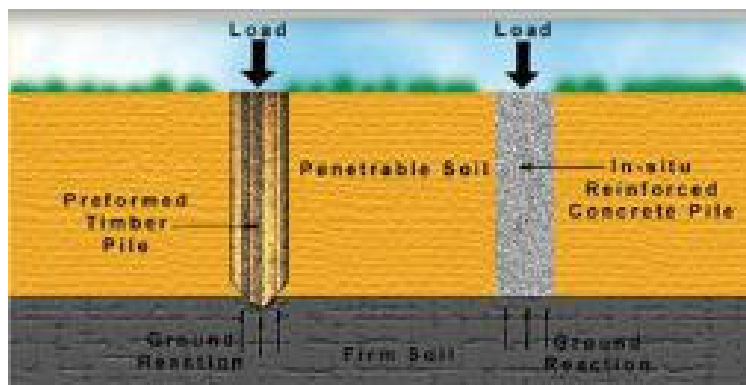
- Το υψηλό κόστος,
- Η δυσχέρεια επίτευξης καλής σύνδεσης μεταξύ των υλικών.

ii. ΕΙΔΟΣ ΧΡΗΣΗΣ

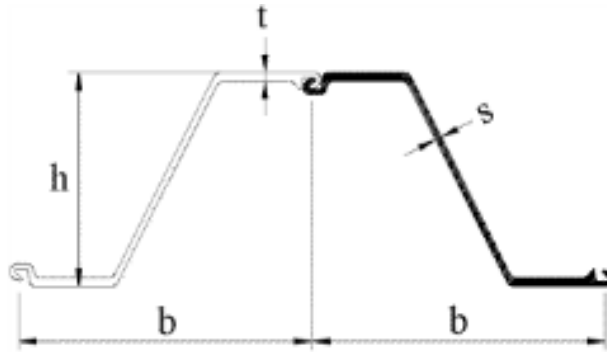
Επόμενη κατηγοριοποίηση πασσάλων είναι αυτή που αφορά στο είδος χρήσης τους και μπορούμε να διακρίνουμε φέροντες πασσάλους και πασσάλους τύπου επιφανειακού ελάσματος (sheet piles).

Οι φέροντες πάσσαλοι αποτελούν την υποκατηγορία των πασσάλων οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να φέρουν φορτία τα οποία είναι παράλληλα με τον άξονά τους. Σκοπός της χρήσης τους είναι η ασφαλής μεταφορά των φορτίων στο σκληρό υπέδαφος. Οι φέροντες πάσσαλοι μπορεί να είναι από οποιοδήποτε υλικό (Σχήμα 5).

Από την άλλη, οι πάσσαλοι τύπου επιφανειακού ελάσματος, χρησιμοποιούνται κυρίως για την αντίσταση έναντι εγκάρσιων δυνάμεων όπως ροής νερού ή χαλαρού εδάφους. Η χρήση τους μπορεί να είναι ακόμα και προσωρινή σε περίπτωση π.χ. επερχόμενης εκσκαφής για την κατασκευή κτιριακών εγκαταστάσεων. Έτσι, καθίσταται σαφές ότι στα φορτία σχεδιασμού πρέπει να συμπεριληφθούν και κινητά φορτία από τα μηχανήματα κατά την κατασκευή. Συχνά είναι αναγκαίο να συνοδεύεται ο συγκεκριμένος τύπος πασσάλων με ειδική αγκύρωση για την καλύτερη ανάληψη των εγκάρσιων φορτίων. Η κατασκευή τους αποτελείται από προκατασκευασμένα ελάσματα ή από συνδυασμό τους (Σχήμα 6).



Σχήμα 5: Φέροντες πάσσαλοι.



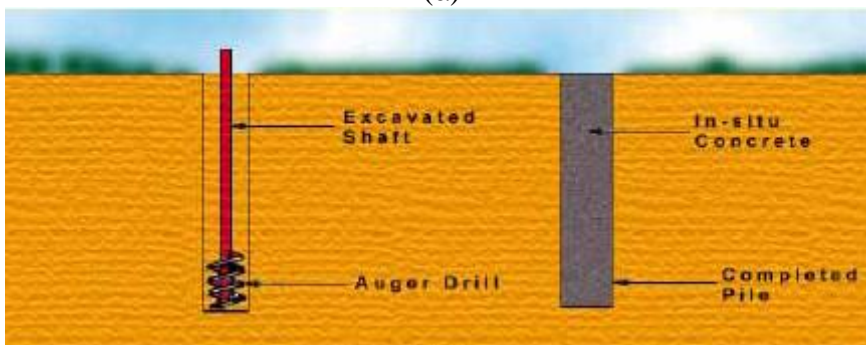
Σχήμα 6: Πάσσαλοι επιφανειακών ελασμάτων.

iii. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η γενικότερη κατηγορία κατάταξης των πασσάλων είναι αυτή που αφορά στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η εφαρμογή τους που με τη σειρά του σχετίζεται με τον τρόπο κατασκευής τους. Οι δύο κύριες κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται οι πάσσαλοι με βάση το παραπάνω κριτήριο είναι: α) **εμπηγνόμενοι** (driven) και β) **τοποθετούμενοι σε οπές** (bored). Τα βασικά στάδια κατασκευής των δύο ειδών πασσάλων φαίνονται στο **Σχήμα 7**, με την εφαρμογή φορτίου για την έμπηξη της πρώτης κατηγορίας και την εκσκαφή τρύπας κατάλληλης διαμέτρου για τη δεύτερη κατηγορία.



(α)



(β)

Σχήμα 7: Γενική μέθοδος εφαρμογής α) εμπηγνόμενων και β) τοποθετούμενων σε οπές πασσάλων.

Η κύρια διαφορά των δύο ειδών πασσάλων άπτεται του γεγονότος ότι οι εμπηγνυόμενοι πάσσαλοι προκαλούν στο σύνολό τους μετακινήσεις στο υπέδαφος στο οποίο εισέρχονται, σε αντίθεση με του τοποθετούμενους σε οπές πασσάλους.

Οι προκαλούμενες μετακινήσεις του εδάφους από τους εμπηγνυόμενους πασσάλους διαφέρει ανάλογα με το είδος τους. Έτσι, για συμπαγείς πασσάλους οι μετακινήσεις είναι μεγαλύτερες σε σύγκριση με πασσάλους σωληνοειδούς διατομής. Το ίδιο ισχύει και για τους πασσάλους που σκυροδετούνται στο πεδίο, ανάλογα με το είδος του μεταλλότυπου – περιβλήματος (ανοικτό ή κλειστό κάτω άκρο).

Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την αποτελεσματική εφαρμογή είναι:

- οι διαστάσεις και το βάρος των πασσάλων,
- η αντίσταση του υποκείμενου εδάφους,
- η επαρκής κατασκευή της κεφαλής του εμπηγνυόμενου πασσάλου (βλέπε **Σχήμα 8**),
- ενδεχόμενα προβλήματα κοινής ησυχίας σε περίπτωση εφαρμογής σε κατοικημένη περιοχή,
- το επαρκές διαθέσιμο ύψος για να καθίσταται πραγματοποιήσιμη η εφαρμογή μέσω του εξοπλισμού έμπηξης.



Σχήμα 8: Εσφαλμένοι και ορθοί τρόποι κατασκευής κεφαλής εμπηγνυόμενου πασσάλου.

Τα πλεονεκτήματα που εμφανίζει η μέθοδος εφαρμογής πασσάλων με έμπηξη είναι:

α) προκατασκευασμένοι πάσσαλοι

- Μπορούν να εισέλθουν σε πολύ μεγάλα βάθη,
- Η εφαρμογή δεν επηρεάζεται από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα,
- Μπορούν να σχεδιαστούν να αντέχουν μεγάλες καμπτικές και εφελκυστικές δυνάμεις,

β) σκυροδετούμενοι στο πεδίο πάσσαλοι

- Η σωστή εφαρμογή κρατά το νερό μακριά από τους πασσάλους προστατεύοντας από ενδεχόμενη διάβρωση,
- Υπάρχει δυνατότητα σκυροδέτησης θεμελίωσης των πασσάλων μεγάλων διαστάσεων,
- Δεν αναπτύσσονται επιπρόσθετες τάσεις από το μηχανισμό εφαρμογής (σε αντίθεση με την έμπηξη),
- Ελαχιστοποιείται ο θόρυβος κατά την εφαρμογή.

Αντίθετα τα μειονεκτήματα που παρουσιάζονται είναι κυρίως:

α) προκατασκευασμένοι πάσσαλοι

- Υπάρχει πιθανότητα αστοχίας κατά την εφαρμογή ή ακόμα και μη εμφανείς βλάβες οι οποίες μειώνουν τη φέρουσα ικανότητα του στοιχείου (**Σχήμα 9α**),
- Μη οικονομική λύση αν ο σχεδιασμός αναφέρεται κυρίως στις αναπτυσσόμενες από τον μηχανισμό προώθησης τάσεις,
- Προβλήματα στην εξασφάλιση της κοινής ησυχίας,
- Πιθανότητα λυγισμού στην περίπτωση έμπηξης σε μεγαλύτερο βάθος (κυρίως για χαλύβδινους πασσάλους – βλέπε **Σχήμα 9β**)
- Δυσκολία εφαρμογής σε χώρο περιορισμένων διαστάσεων.

β) σκυροδετούμενοι στο πεδίο πάσσαλοι

- Ενδεχόμενα προβλήματα σε χαλαρά εδάφη,
- Αδυναμία επιθεώρησης του σκυροδέματος μετά την εφαρμογή,
- Σκυρόδεμα ευπαθές σε μετακινήσεις κατά τις πρώτες μέρες της εφαρμογής,
- Δυσχερής εφαρμογή για πασσάλους μεγάλων διαμέτρων,
- Μήκος εφαρμογής περιορίζεται από μηχανήματα όρυξης.



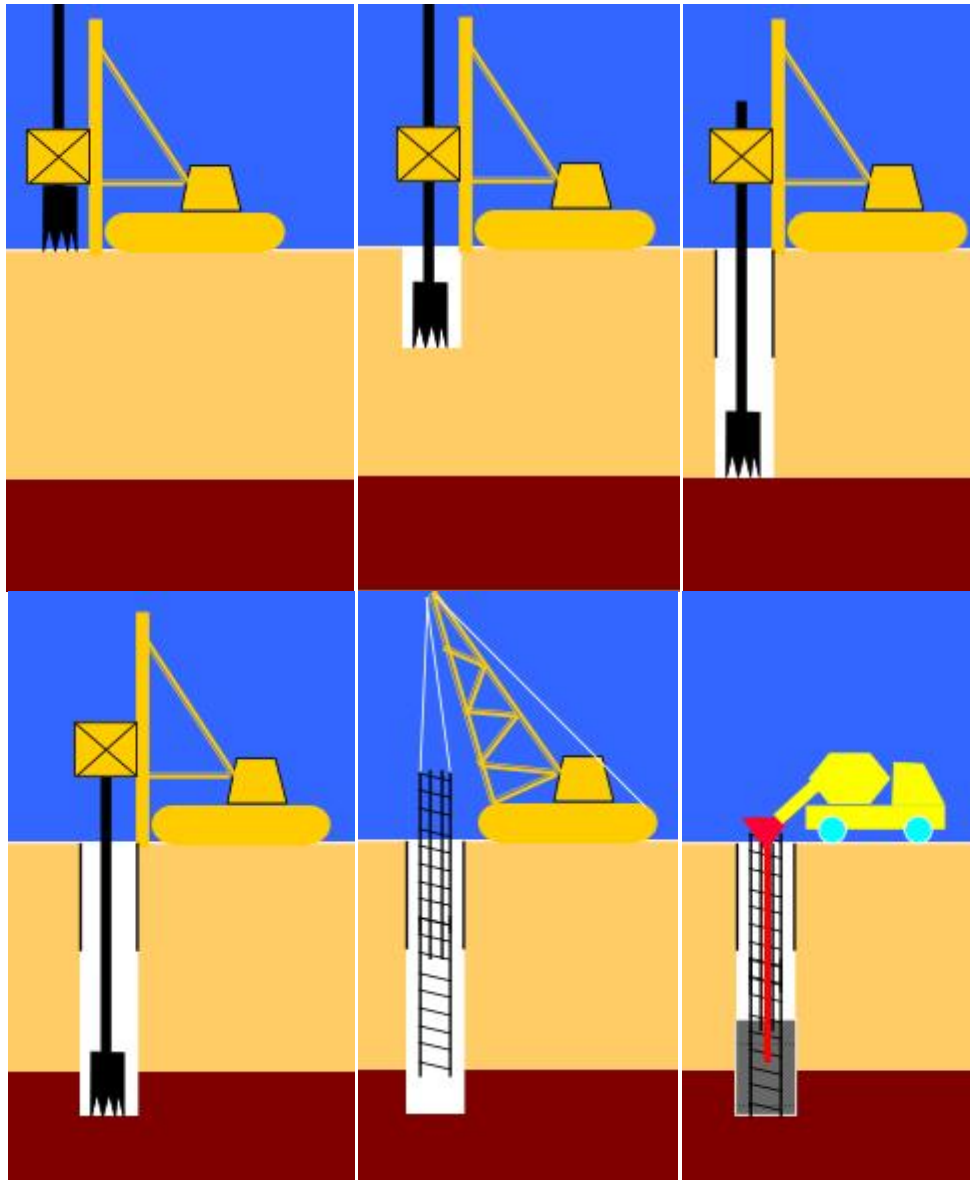
(α)



(β)

Σχήμα 9: Αστοχίες εμπηγνόμενων πασσάλων α) στην κεφαλή ή στον πόδα πασσάλου λόγω μεγάλων ασκούμενων τάσεων κατά την εφαρμογή και β) λόγω λυγισμού χαλύβδινου πασσάλου προωθούμενου σε μεγαλύτερο του επιτρεπόμενου βάθος.

Η μέθοδος τοποθέτησης πασσάλων σε οπές, έχει ως πρώτο και βασικό στάδιο την εκσκαφή – δημιουργία της οπής. Τα στάδια της διαδικασίας αναπαρίστανται στο **Σχήμα 10**, όπου βλέπουμε την εκσκαφή να φθάνει μέχρι το σκληρό εδαφικό υπόστρωμα (π.χ. βράχος), να τοποθετείται ο απαιτούμενος οπλισμός και στη συνέχεια να πραγματοποιείται η σκυροδέτηση.



Σχήμα 10: Στάδια εφαρμογής πασσάλου τοποθετούμενου σε οπή.

Τα πλεονεκτήματα που εμφανίζει η μέθοδος εφαρμογής πασσάλων τοποθετούμενων σε οπές είναι:

- Το μήκος εφαρμογής μπορεί να διακυμανθεί ανάλογα με τις ανάγκες του έργου με μεγάλη ευκολία,
- Δοκιμές εφαρμογής φορτίου μπορούν να γίνουν επί τόπου σε οπές μεγάλης διαμέτρου,
- Θεμελιώσεις διαμέτρου έως και 7m μπορούν να κατασκευαστούν όταν υπάρχει κατάλληλο υπέδαφος,
- Τα χρησιμοποιούμενα τρυπάνια μπορούν να σπάσουν τυχόν εμπόδια που θα δημιουργούσαν ζημιά στους πασσάλους,

- Δεν εφαρμόζονται τάσεις κατά την εφαρμογή και ο σχεδιασμός των πασσάλων αφορά αποκλειστικά στα φέροντα φορτία,
- Μειώνεται αισθητά η όχληση,
- Μπορεί να γίνει εφαρμογή σε χώρο περιορισμένων διαστάσεων.

Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζονται είναι κυρίως αναφορικά με:

- Το σκυρόδεμα είναι ευπαθές σε πιέσεις από χαλαρά εδάφη,
- Ειδικές τεχνικές χρειάζονται για σκυροδέτηση σε περιοχές με υψηλή στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα,
- Θεμελιώσεις μεγάλων διαστάσεων δεν είναι εφικτές σε εδάφη με μικρή συνοχή,
- Δυσκολία στην επέκταση των πασσάλων πάνω από το επίπεδο του εδάφους.

Τέλος, αναφέρονται οι **μικροπάσσαλοι** (micropiles) σαν υποκατηγορία των τοποθετούμενων σε οπές πασσάλων. Οι πάσσαλοι αυτοί κατατάσσονται στην συγκεκριμένη υποκατηγορία κυρίως επειδή δεν επιφέρουν σημαντικές μετακινήσεις στο υποκείμενο έδαφος. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η μικρή διάμετρος η οποία σπάνια υπερβαίνει τα 150mm. Η μέθοδος εφαρμογής τους μπορεί να είναι είτε τοποθέτηση σε οπές, είτε με έμπηξη του περιβλήματός τους. Και στις δύο περιπτώσεις, ωστόσο γίνεται σκυροδέτηση επί τόπου και η μικρή διάμετρος εξασφαλίζει τις περιορισμένες μετακινήσεις του εδάφους. Παράδειγμα εφαρμογής δίνεται στο **Σχήμα 11**.

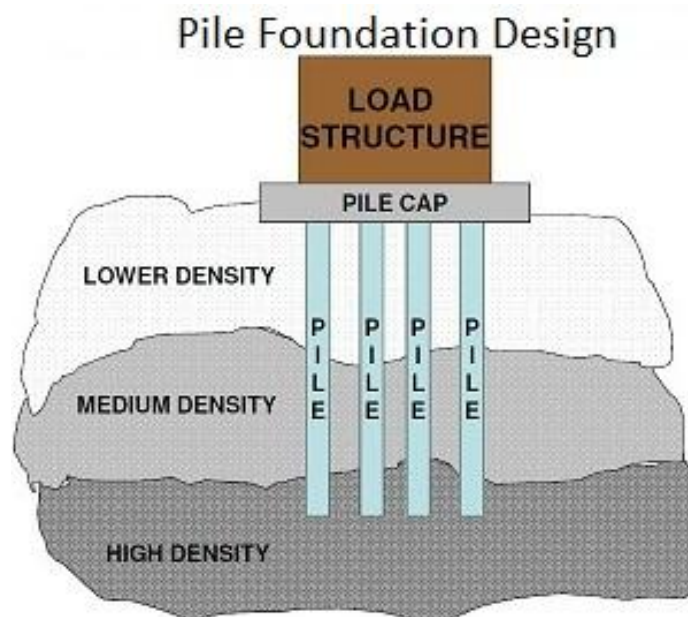


Σχήμα 11: Τυπική εφαρμογή μικροπασσάλων.

iv. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

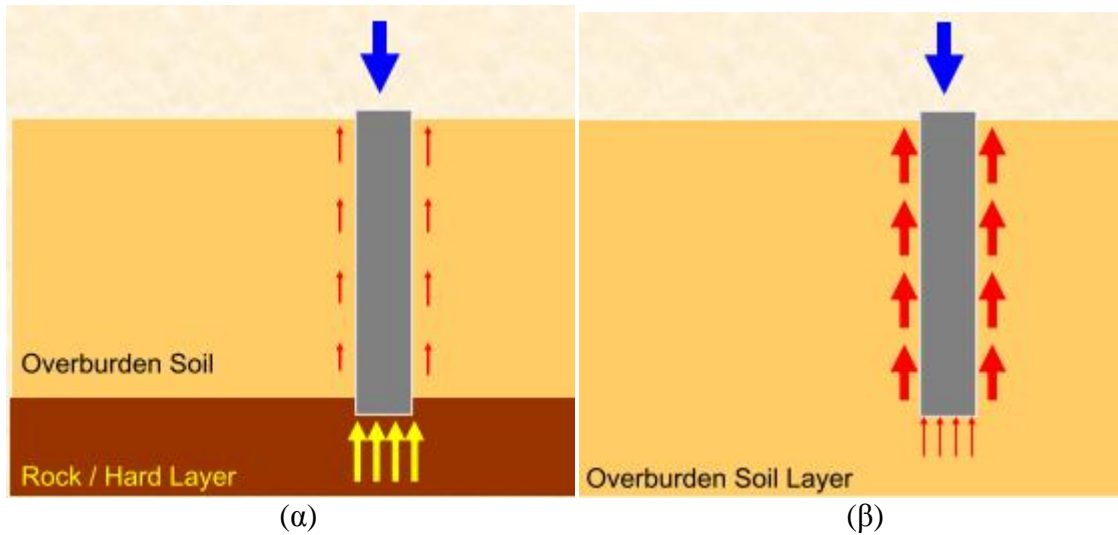
Ο διαχωρισμός των πασσάλων ανάλογα με τον μηχανισμό μεταφοράς φορτίου τους χωρίζει σε δύο κατηγορίες: τους **φέροντες φορτίο στο άκρο** (end bearing) και τους **πασσάλους τριβής**. Στην πρώτη περίπτωση ο μηχανισμός μεταφοράς φορτίου είναι απλούστερος καθώς ο πάσσαλος ο οποίος έχει τοποθετηθεί σε τέτοιο βάθος ώστε να στηρίζεται σε ισχυρό υπόβαθρο υψηλής πυκνότητας (π.χ. βράχος) φέρει το εφαρμοζόμενο φορτίο ως θλιπτικό στην κεφαλή του με ίση και αντίθετη αντίδραση στο άλλο άκρο (δράση – αντίδραση). Η βασική προϋπόθεση για την επιλογή αυτού του μηχανισμού μεταφοράς φορτίου, είναι το βάθος στο οποίο βρίσκεται ο βράχος ή κάποιο άλλο σκληρό εδαφικό στρώμα με επαρκή αντοχή ώστε να φέρει να υπερκείμενα φορτία. Σχηματική αναπαράσταση του παραπάνω μηχανισμού δίνεται στο **Σχήμα 12**.

Από την άλλη, σε περιπτώσεις χαλαρών εδαφών ή εδαφών με ανεπαρκή αντοχή για μεταφορά κατακόρυφων φορτίων από τους πασσάλους, ο σχεδιασμός γίνεται ώστε τα κατακόρυφα φορτία να παραληφθούν από τους πασσάλους υπό την μορφή τριβής η οποία αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια μεταξύ εδάφους και πασσάλου. Για το λόγο αυτό το κρίσιμο μέγεθος σχεδιασμού είναι το μήκος των πασσάλων έτσι ώστε η συνολική περιμετρική επιφάνειά τους να μπορεί να αναλάβει τα φορτία. Ακόμη, σε περιπτώσεις κατά τις οποίες υπάρχει σκληρό υπέδαφος αλλά είναι σε πολύ μεγάλο βάθος, η λύση των φερόντων πασσάλων ενδέχεται να είναι αντιοικονομική με αποτέλεσμα να επιλέγεται η χρήση πασσάλων τριβής. Ο μηχανισμός μεταφοράς δυνάμεων στους πασσάλους τριβής καθώς και η σύγκριση με τον αντίστοιχο μηχανισμό για τους πασσάλους που φέρουν φορτία στο άκρο δίνεται στο **Σχήμα 13**.



Σχήμα 12: Σχηματική αναπαράσταση πασσάλων φερόντων φορτίο στο άκρο.

Τέλος, αναφέρουμε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι πραγματικές εφαρμογές αφορούν σε μηχανισμούς περιπλοκότερους από αυτούς που αναφέρθηκαν παραπάνω με αποτέλεσμα να μιλάμε για μια **τρίτη κατηγορία**, τους πασσάλους που φέρουν φορτία στο άκρο αλλά και περιμετρικά λόγω τριβής.



Σχήμα 13: Μηχανισμοί μεταφοράς φορτίων α) πασσάλων φερόντων φορτίων στο άκρο και β) πασσάλων τριβής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ

Η κατάλληλη επιλογή του εξοπλισμού εγκατάστασης των πασσάλων είναι μεγάλης σημασίας για την επιτυχή τοποθέτησή τους, καθώς σχετίζεται με παράγοντες όπως η ασκούμενη δύναμη, οι διαστάσεις διαθέσιμου χώρου, η κατάσταση του εδάφους στην περιοχή εφαρμογής, το είδος του έργου κ.α. Ο κύριος διαχωρισμός των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση των πασσάλων σχετίζεται με τον τρόπο τοποθέτησης (εμπυγνυόμενοι και τοποθετούμενοι σε οπές πάσσαλοι).

i. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΕΜΠΗΓΝΥΟΜΕΝΩΝ ΠΑΣΣΑΛΩΝ

Η τοποθέτηση των εμπηγνυόμενων πασσάλων γίνεται με προώθησή τους (driving) εντός του υποκείμενου εδάφους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών σφυριά (hammers), σκοπός των οποίων είναι να παρέχουν την απαιτούμενη ενέργεια ώστε να οδηγηθεί ο πάσσαλος στην επιθυμητή θέση. Ο διαχωρισμός των σφυριών προώθησης γίνεται ανάλογα με το μέγεθός τους και με τη μέθοδο τοποθέτησης.

Οι βασικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν κατά την τοποθέτηση με σφυρί προώθησης είναι:

- α) το μέγεθος και το βάρος του πασσάλου,
- β) η αντίσταση κατά την προώθηση η οποία πρέπει να υπερνικηθεί για να επιτευχθεί η επιθυμητή διείσδυση,
- γ) ο διαθέσιμος χώρος και το διαθέσιμο ύψος στο πεδίο, καθώς το ύψος των μηχανημάτων είναι αρκετά μεγάλο, ενώ το σφυρί πρέπει να πέσει από συγκεκριμένο ύψος,
- δ) η διαθεσιμότητα των γερανών με τους οποίους θα γίνει η ανέλκυση των πασσάλων και
- ε) οι περιορισμοί αναφορικά με επίπεδα έντασης θορύβου τα οποία μπορεί να ισχύουν κυρίως σε κατοικημένες περιοχές.

Οι κυριότερες μέθοδοι τοποθέτησης είναι οι εξής:

- **κρουστικό φορτίο (dropping weight – impact hammers)**

Κατά την μέθοδο αυτή ειδικά διαμορφωμένο σφυρί ρίχνει ένα μεγάλο βάρος από δεδομένη απόσταση, η οποία είναι ανάλογη της δύναμης που θέλουμε να ασκηθεί. Η δύναμη ελέγχεται από την αντοχή του υλικού του πασσάλου καθώς και από την κατάσταση του υπεδάφους. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειάζεται έτσι ώστε ο πάσσαλος να φθάσει με ασφάλεια στο επιθυμητό βάθος.

Û Κρουστικό σφυρί (drop hammer)

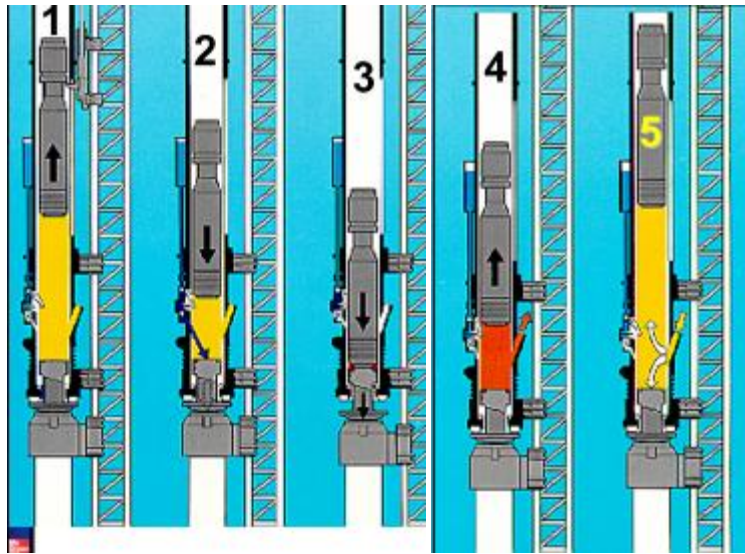
Η απλούστερη εφαρμογή αποτελεί το **κρουστικό σφυρί** (drop hammer) το οποίο είναι ο παλαιότερος τύπος χρησιμοποιούμενου σφυριού. Η διαδικασία περιλαμβάνει την απλή ανύψωση του σφυριού με ειδικό γερανό, με το σφυρί να αφήνεται στη συνέχεια να συγκρουστεί με την κορυφή του πασσάλου. Το συγκεκριμένο είδος έχει σχεδόν σταματήσει να χρησιμοποιείται έχοντας αντικατασταθεί με πιο σύγχρονα σφυριά. Εικόνα τέτοιου σφυριού δίνεται στο **Σχήμα 2.1**.



Σχήμα 2.1: Απεικόνιση κρουστικού σφυριού (drop hammer).

ü σφυρί ντίζελ (diesel hammer)

Εξέλιξη της παραπάνω μεθόδου αποτελούν τα σφυριά ντίζελ. Η διαδικασία δεν απαιτεί την εφαρμογή κάποιας εξωτερικής δύναμης και περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια: 1) την ανύψωση του πιστονιού, 2) την έγχυση καυσίμου ντίζελ και την μετέπειτα συμπίεση, 3) την πρόσκρουση και έκρηξη, 4) την έξοδο των αερίων καύσης από τις ειδικές εξόδους και 5) την είσοδο φρέσκου αέρα από τις ειδικές πύλες. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται σχηματικά στο **Σχήμα 2.2**, ενώ πραγματική εικόνα σφυριού τύπου ντίζελ δίνεται στο **Σχήμα 2.3**.



Σχήμα 2.2: Απεικόνιση σταδίων εφαρμογής έμπηξης με σφυρί τύπου ντίζελ.



Σχήμα 2.3: Εφαρμογή έμπηξης με σφυρί ντίζελ στο πεδίο.

ü Σφυριά ατμού/αέρα (air/steam hammers)

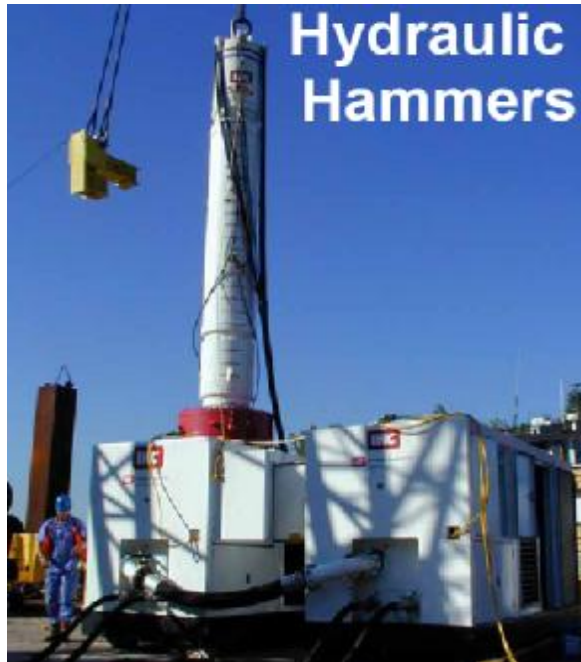
Η συγκεκριμένη κατηγορία σφυριών χρησιμοποιείται από τον 19^ο αιώνα και είναι πολύ απλά στη χρήση. Χαρακτηρίζονται από μικρό κόστος συντήρησης και ο χρόνος ζωής τους είναι αρκετά μεγάλος. Η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής μπορεί να επηρεαστεί από την ηλικία των σφυριών. Τυπικό σφυρί ατμού δίνεται στο **Σχήμα 2.4**.

ü Υδραυλικό σφυρί (hydraulic hammer)

Αποτελεί τον νεώτερο τύπο σφυριού έμπηξης πασσάλων και η λειτουργία του βασίζεται στην ύπαρξη υδραυλικού εμβόλου το οποίο μετακινείται στην κατακόρυφη διεύθυνση. Συνήθως συμπληρώνεται ένα είδος μηχανικής υποστήριξης για την καθοδική κίνηση. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει έλεγχο ρυθμού ενέργειας και προώθησης καθώς και καταγραφή δεδομένων. Υδραυλικό σφυρί παρουσιάζεται στο **Σχήμα 2.5**.



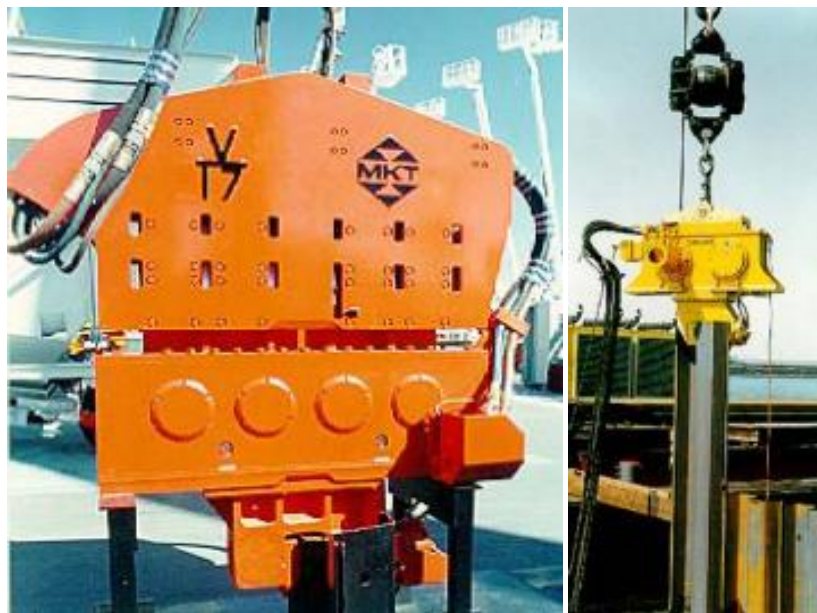
Σχήμα 2.4: Εφαρμογή έμπηξης με σφυρί ατμού.



Σχήμα 2.5: Εφαρμογή έμπηξης με υδραυλικό σφυρί.

- Δονητικά σφυριά (vibratory hammers)

Το δονητικό σφυρί είναι ειδικός εξοπλισμός ο οποίος χρησιμοποιεί διεγχειρόμενους άξονες οι οποίοι περιστρέφονται σε αντίθετες κατευθύνσεις. Ένα δονητικό σφυρί μπορεί να οδηγηθεί στην κορυφή του πασσάλου από υδραυλική ή ηλεκτρική μηχανή. Οι δύο μηχανισμοί δίνονται στο **Σχήμα 2.6**.



(α)

(β)

Σχήμα 2.6: α) Δονητικό σφυρί και β) εφαρμογή του στην κεφαλή του πασσάλου.

- **Ειδικός μηχανισμός γρύλων (jacking device)**

Τέλος, αναφέρουμε μια μέθοδο τοποθέτησης η οποία περιλαμβάνει την έμπηξη μέσω ειδικού μηχανισμού ο οποίος εφαρμόζεται στην βάση του πασσάλου στη στάθμη του εδάφους και με τη χρήση ειδικής διάταξης με γρύλους προωθεί τον πάσσαλο μέσα στο έδαφος. Εικόνα του μηχανισμού δίνεται στο **Σχήμα 2.7**.

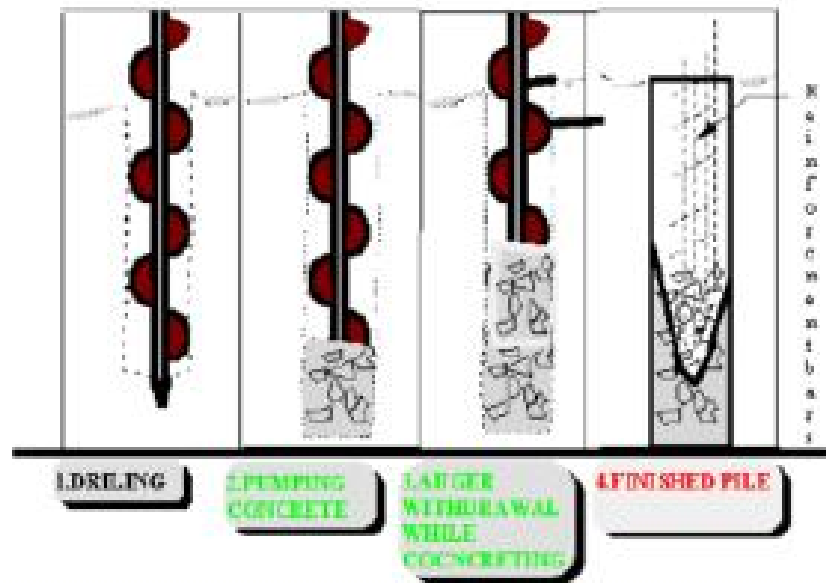


Σχήμα 2.7: Μηχανισμός σφυριού με γρύλους.

ii. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΣΕ ΟΠΕΣ

Η διαδικασία της τοποθέτησης των πασσάλων σε οπές περιλαμβάνει διάφορα στάδια στα οποία χρειάζεται ειδικός εξοπλισμός κυρίως ανυψωτικός και εκσκαπτικός. Κατά τη διαδικασία τοποθέτησης τα κυριότερα σημεία που πρέπει να δοθεί προσοχή είναι:

α) ο επαρκής καθαρισμός όλης της οπής και κυρίως η βάση αυτής στην οποία θα σκυροδετηθεί το αρχικό μπετό καθαρισμού για την μετέπειτα τοποθέτηση του οπλισμού ενίσχυσης, β) το σωστό άνοιγμα της οπής με ομοιομορφία διαμέτρου καθ' ύψος αποφεύγοντας ενδεχόμενα εδαφικά κενά στις περιμέτρο της οπής, γ) προσοχή σε ενδεχόμενη κατάρρευση των περιμετρικών τοιχωμάτων της οπής και δ) καλή διασαφήνιση των επιπέδων στα οποία το τρυπάνι θα συναντήσει βράχο. Σχηματικά τα στάδια εκσκαφής δίνονται στο **Σχήμα 2.8**.



Σχήμα 2.8: Στάδια εκσκαφής και καθαρισμού της οπής στην οποία θα τοποθετηθεί ο πάσσαλος.

Ο μηχανισμός εκσκαφής περιλαμβάνει τα εξής μέλη: α) το τρυπάνι εδάφους (rock auger), το εργαλείο μεγέθυνσης οπής (rock reamer) και το δοχείο στο οποίο συσσωρεύεται το έδαφος το οποίο απομακρύνεται κατά την διάνοιξη της οπής (cleaning bucket). Τα παραπάνω μέρη παρουσιάζονται στο **Σχήμα 2.9** και δίνονται εικόνες κατά τη διαδικασία εκσκαφής.

Στην περίπτωση συνάντησης σκληρού υποστρώματος όπως βράχος, χρησιμοποιείται ειδικός εξοπλισμός με τρυπάνι μικρότερης διαμέτρου, διαφορετικής διάταξης και από σκληρότερο υλικό. Το παραπάνω τρυπάνι λειτουργεί σαν κομπρεσέρ, σπάζοντας τον βράχο με την εργασία να συνεχίζεται με τον τυπικό μηχανισμό εκσκαφής. Τυπική εικόνα δίνεται στο **Σχήμα 2.10**.



(α)



(β)

Σχήμα 2.9: α) Μέρη μηχανισμού εκσκαφής (τρυπάνι, εργαλείο μεγέθυνσης οπής και δοχείο εκκαθάρισης) και β) εικόνες κατά τη διάρκεια εκσκαφής.



Σχήμα 2.10: Τρυπάνι από σκληρυμένο ατσάλι για την εκσκαφή σε βραχώδες υπόστρωμα.

iii. ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ

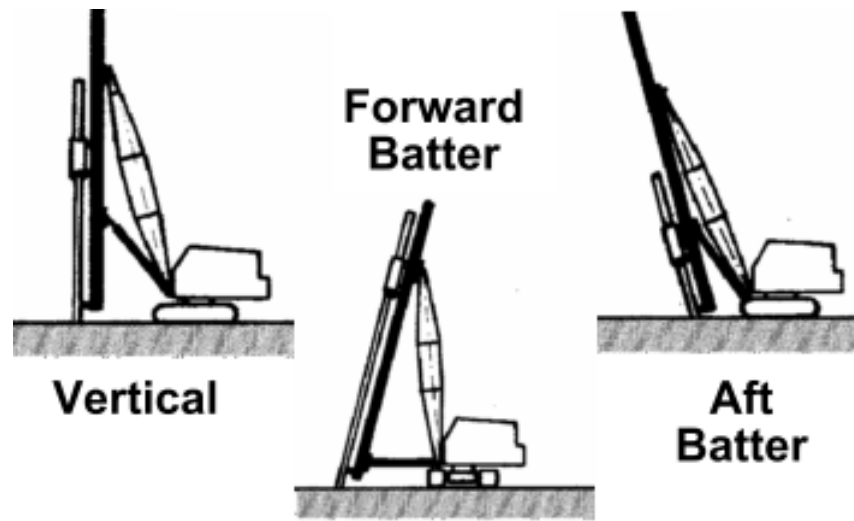
Ο μηχανισμός υποστήριξης των πασσάλων είναι μεγάλης σημασίας τόσο πριν αλλά και κατά τη διάρκεια της τοποθέτησής τους. Το παραπάνω γίνεται σαφές αν ληφθεί υπ' όψιν το μεγάλο βάρος τους καθώς και η πιθανότητα αστοχία κατά τη μεταφορά και την τοποθέτηση. Μεγάλης σημασίας είναι επίσης και η ακρίβεια με την οποία θα γίνει η ευθυγράμμιση του πασσάλου κάθετα στο έδαφος (ή με όποια γωνία εφαρμογής έχει σχεδιαστεί).

• Γερανός πασσάλων (pile lead)

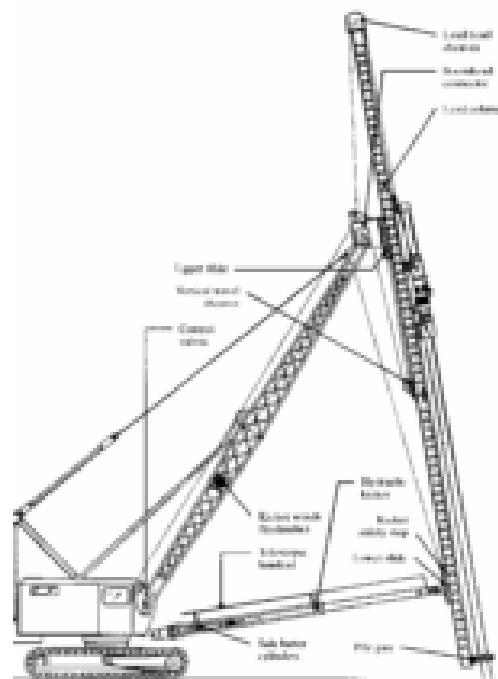
Ο γερανός πασσάλων χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση και την εξασφάλιση της σωστής εφαρμογής των πασσάλων. Το σύστημά του περιλαμβάνει ένα αριθμό μη υδραυλικών εμβόλων τα οποία συνδυάζονται για να δώσουν την απαιτούμενη κλίση στον υπό τοποθέτηση πάσσαλο, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.11**.

• Υδραυλικός γερανός (hydraulic lead)

Ο υδραυλικός γερανός είναι πολύ χρήσιμος για τοποθέτηση πασσάλων με κρουστικό φορτίο καθώς το σύστημα μπορεί γρήγορα και εύκολα να προσαρμόσει τη γωνία των εμβόλων για τη γεωμετρία που χρειάζεται. Το σύστημα αυτό είναι πιο κοστοβόρο συγκριτικά με κοινά έμβολα, ωστόσο το κόστος αυτό αντικατοπτρίζεται και στην ποιότητα της τοποθέτησης των πασσάλων. Στο **Σχήμα 2.12** δίνεται τυπικό σχεδιάγραμμα με υδραυλικό γερανό.



Σχήμα 2.11: Γερανός πασσάλων κατά την εφαρμογή απαιτούμενης κλίσης στον πάσσαλο πριν την τοποθέτηση.



Σχήμα 2.12: Υδραυλικός γερανός πασσάλων.

iv. ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΦΥΡΙΟΥ

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου σφυριού για την τοποθέτηση πασσάλων για δεδομένες συνθήκες έργου περιέχουν πολλούς παράγοντες οι σημαντικότεροι των οποίων είναι:

- Το μέγεθος και το είδος των πασσάλων
- Ο αριθμός των πασσάλων
- Τα χαρακτηριστικά του εδάφους
- Η τοποθεσία του έργου
- Η τοπογραφία στην εν λόγω τοποθεσία
- Το είδος των διαθέσιμων μηχανημάτων και
- Αν το έργο πρόκειται να πραγματοποιηθεί στη στεριά ή στη θάλασσα.

Τέλος, το ελάχιστο δυνατό κόστος που συνήθως είναι αυτό που τελικά καθορίζει το είδος του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

3. ΕΙΔΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΑΣΣΑΛΟΤΟΙΧΩΝ

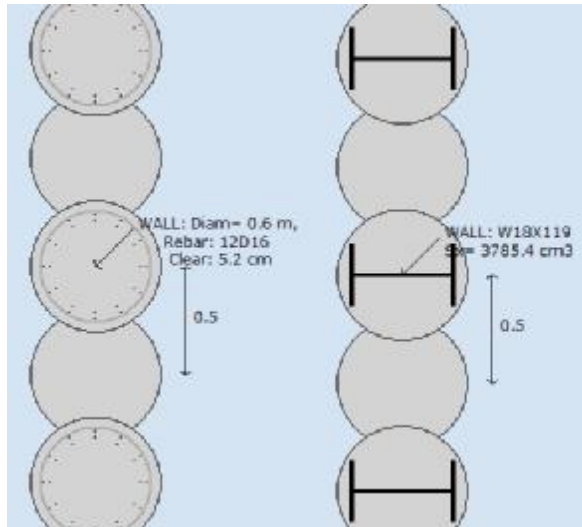
Τα συνήθη έργα αντιστήριξης βασίζονται σε συστήματα αντιστήριξης στα οποία ανάλογα με τις προδιαγραφές και τις ανάγκες του έργου χρησιμοποιούνται ένα ή περισσότερα είδη πασσάλων, όπως αυτά αναφέρθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο του παρόντος πονήματος. Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται τα κυριότερα συστήματα αντιστήριξης καθώς και πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα που αυτά παρουσιάζουν.

i. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΛΛΗΛΟΤΕΜΝΟΜΕΝΩΝ ΠΑΣΣΑΛΩΝ

Οι **αλληλοτεμνόμενοι πασσαλότοιχοι** σχηματίζονται κατασκευάζοντας διασταυρωνόμενους πασσάλους σκυροδέματος. Οι αλληλοτεμνόμενοι πάσσαλοι οπλίζονται είτε με ράβδους χάλυβα είτε με χαλύβδινες δοκούς και κατασκευάζονται με υγρή ή ξηρή όρυξη των οπών. Οι αρχικοί πάσσαλοι κατασκευάζονται πρώτοι με τους δευτερεύοντες πασσάλους να τοποθετούνται μεταξύ των πρώτων μόλις οι πρώτοι αποκτήσουν επαρκή αντοχή. Η επικάλυψη των πασσάλων είναι τυπική της τάξεως των 3 ιντσών (8 εκατοστά). Σε ένα **εφαπτόμενο πασσαλότοιχο**, δεν υπάρχει επικάλυψη των πασσάλων καθώς οι πάσσαλοι κατασκευάζονται σε επαφή ο ένας με τον άλλον. Τυπικό σχεδιάγραμμα δίνεται στο **Σχήμα 3.1**.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των αλληλοτεμνόμενων πασσαλότοιχων είναι τα παρακάτω:

- Αυξημένη ευελιξία κατασκευαστικής ευθυγράμμισης
- Αυξημένη δυσκαμψία τοίχου συγκριτικά με πασσαλότοιχους ελασμάτων
- Δυνατή η εφαρμογή σε σκληρά υπεδάφη
- Περιορισμένο θόρυβος κατά την κατασκευή



Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση αλληλοτεμνόμενου πασσαλότοιχου από πασσάλους σκυροδέματος οπλισμένους με οπλισμό χάλυβα (αριστερά) και χαλύβδινες δοκούς (δεξιά).

Τα εντονότερα μειονεκτήματα είναι:

- Οι ανοχές στην καθετότητα μπορεί να είναι δύσκολα επιτεύξιμες για πασσάλους μεγάλου βάθους
- Η πλήρης υδατοστεγανότητα είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί στην περιοχή των κόμβων
- Το κόστος είναι ανεβασμένο κυρίως συγκριτικά με πασσαλότοιχους ελασμάτων

Προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι κατά τον σχεδιασμό πασσαλότοιχου με δοκούς χάλυβα για ενίσχυση των πασσάλων σκυροδέματος χρησιμοποιείται σκυρόδεμα μικρότερης αντοχής, με αποτέλεσμα να καθίσταται επιτακτικός ο έλεγχος του πασσάλου που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο διαδοχικών δοκών χάλυβα σε διάτμηση και θλίψη.

Οι εφαπτόμενοι πασσαλότοιχοι είναι μια παραλλαγή των αλληλοτεμνόμενων πασσαλότοιχων και των πασσαλότοιχων μεμονωμένων πασσάλων. Ωστόσο, οι εφαπτόμενοι πασσαλότοιχοι κατασκευάζονται χωρίς επικαλύψεις των πασσάλων και ιδανικά ο ένας πάσσαλος είναι σε επαφή με τον άλλο. Συγκριτικά με τους αλληλοτεμνόμενους πασσαλότοιχους παρέχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Αυξημένη ευελιξία κατασκευαστικής ευθυγράμμισης
- Ευκολότερη και γρηγορότερη κατασκευή

Τα κυριότερα μειονεκτήματα συνοψίζονται στο γεγονός ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλες υπεδάφεις δεξαμενές χωρίς απώλειες του αποθηκευμένου υγρού.



Σχήμα 3.2: Έργο θεμελίωσης κτιριακής κατασκευής με χρήση εφαπτόμενου πασσαλότοιχου.

ii. ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΠΑΣΣΑΛΩΝ (BERLINER WALL)

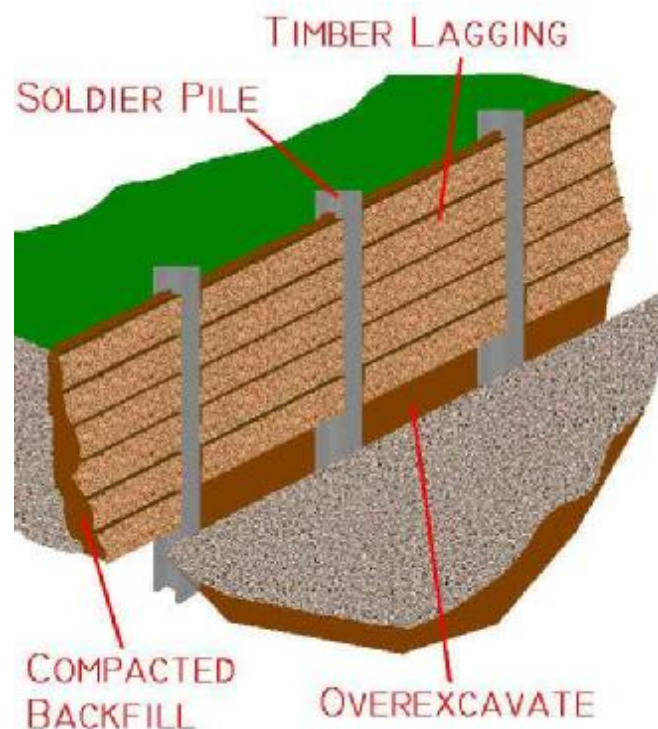
Οι πασσαλότοιχοι μεμονωμένων πασσάλων είναι από τα παλαιότερα συστήματα αντιστήριξης σε έργα βαθέων θεμελιώσεων. Οι συγκεκριμένοι πασσαλότοιχοι έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία από τα τέλη του 18^{ου} αιώνα σε μητροπολιτικές πόλεις όπως η Νέα Υόρκη, το Βερολίνο και το Λονδίνο. Η μεθοδολογία είναι επίσης γνωστή και ως “Berliner Wall” όταν χρησιμοποιούνται πάσσαλοι χάλυβα και ξύλινο ενδιάμεσο υλικό αντιστήριξης (lagging). Εναλλακτικά κυκλικοί σωλήνες ή πάσσαλοι σκυροδέματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλλά με αυξημένο κόστος. Το ξύλινο ενδιάμεσο υλικό χρησιμοποιείται τυπικά αν και τα πάνελ οπλισμένου σκυροδέματος μπορούν να τα αντικαταστήσουν για μόνιμες συνθήκες. Οι πασσαλότοιχοι μεμονωμένων πασσάλων κατασκευάζονται από:

- Κατασκευή των πασσάλων σε τακτικά διαστήματα των 2 έως 4 μέτρων
- Σταδιακή εκσκαφή και εγκατάσταση του ενδιάμεσου υλικού αντιστήριξης
- Γέμισμα του κενού πίσω από την αντιστήριξη και συμπύκνωση του κενού χώρου πίσω από το lagging.

Η καμπτική αντίσταση σε αυτού του είδους τους πασσαλότοιχους παρέχεται σχεδόν εξ ολοκλήρου από τους πασσάλους. Η παθητική αντίσταση εδάφους παρέχεται με την προώθηση των πασσάλων σε βάθος μεγαλύτερο από το βάθος εκσκαφής. Η ενδιάμεση αντιστήριξη παρέχει γεφύρωση και στήριξη του εδάφους κατά μήκος των πασσάλων και μεταφέρει το εγκάρσιο φορτίο στο σύστημα των μεμονωμένων πασσάλων. Τυπική διάταξη πασσαλότοιχου μεμονωμένων πασσάλων δίνεται στο **Σχήμα 3.3**.

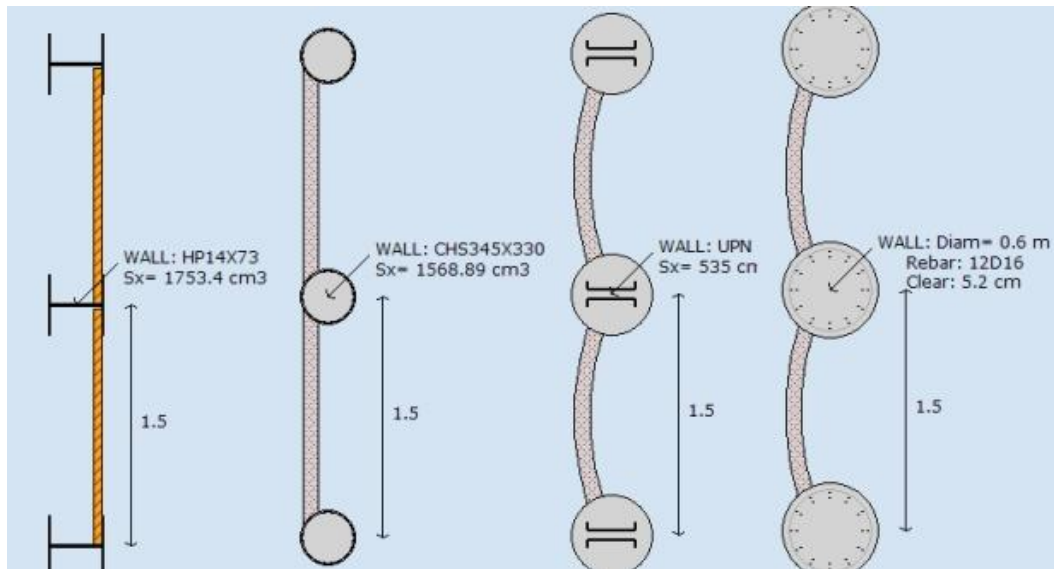
Οι πασσαλότοιχοι μεμονωμένων πασσάλων είναι τα πιο οικονομικά συστήματα αντιστήριξης. Επίσης, είναι πολύ εύκολα και γρήγορα στην κατασκευή τους. Τα κυριότερα μειονεκτήματα των εν λόγω πασσαλότοιχων είναι:

- Η εφαρμογή τους είναι κυρίως περιορισμένη σε προσωρινή κατασκευή
- Δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε βάθη κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα ή σε θαλάσσια έργα χωρίς εκτεταμένη απομάκρυνση των υδάτων
- Ανεπαρκές γέμισμα της εκσκαφής πίσω από την αντιστήριξη μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια εδαφικής ποσότητας καθώς και σε σημαντικές επιφανειακές καθιζήσεις
- Δεν είναι τόσο δύσκαμπτα όσο άλλα συστήματα αντιστήριξης
- Λαμβάνοντας υπ' όψιν το γεγονός ότι μόνο η βάση των πασσάλων είναι εμβυθισμένη στο εδαφικό υπόστρωμα, είναι πολύ δύσκολο να ελεγχθούν οι εδαφικές μετακινήσεις.



Σχήμα 3.3: Τυπική διάταξη συστήματος πασσαλότοιχων μεμονωμένων πασσάλων.

Στο **Σχήμα 3.4** δίνεται ένα σχεδιάγραμμα που περιλαμβάνει όλες τις δυνατές περιπτώσεις μεμονωμένων πασσάλων (δοκός χάλυβα, σωλήνας χάλυβα, σκυρόδεμα οπλισμένο με οπλισμό χάλυβα ή με χαλύβδινη διατομή). Τέλος, στο **Σχήμα 3.5** δίνεται μια εικόνα μιας πραγματικής εφαρμογής σε θεμελίωση κατασκευής μεγάλης κτιριακής μονάδας.



Σχήμα 3.4: Σχεδιάγραμμα πασσαλότοιχου με όλες τις δυνατές περιπτώσεις πασσάλων τύπου μεμονωμένων πασσάλων (δοκός χάλυβα, σωλήνας χάλυβα, σκυρόδεμα οπλισμένο με οπλισμό χάλυβα ή με χαλύβδινη διατομή).



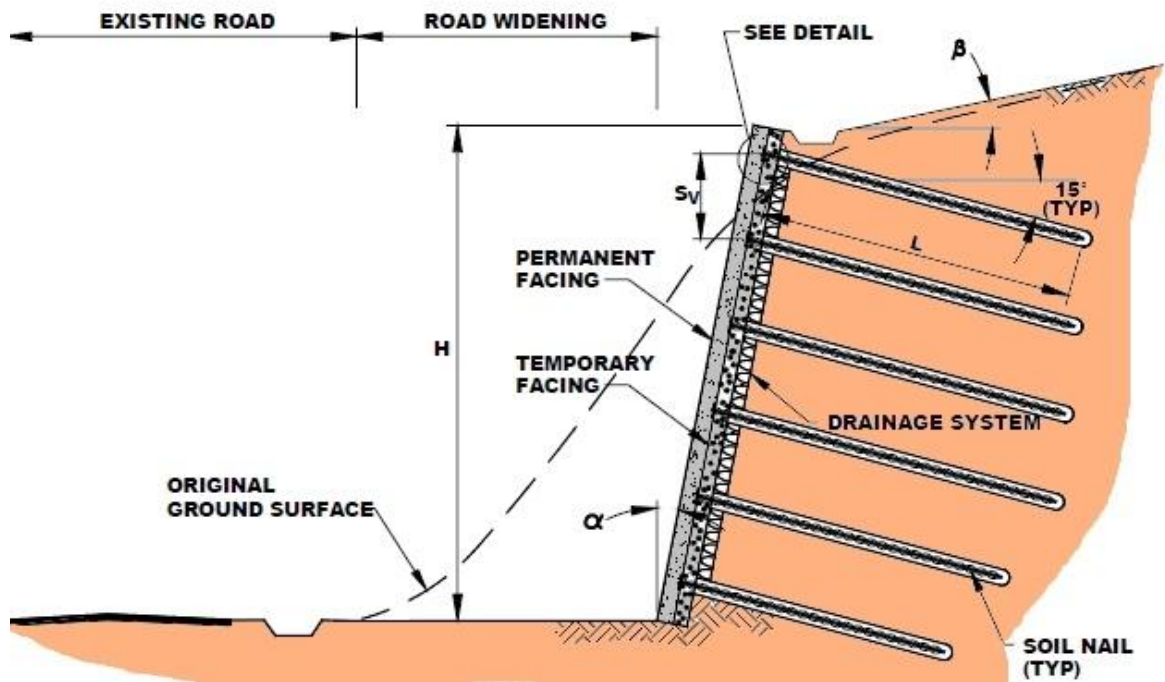
Σχήμα 3.5: Πραγματική εφαρμογή συστήματος πασσαλότοιχων μεμονωμένων πασσάλων.

iii. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΜΕ ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΗΛΩΝ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ (SOIL NAIL WALL)

Οι πασσαλότοιχοι με αγκύρωση ήλων σε πρανές αποτελούνται από την εγκατάσταση παθητικής ενίσχυσης (π.χ. αγκύρια χάλυβα) σε υπάρχον έδαφος τοποθετώντας ράβδους χάλυβα ή χαλύβδινες διατομές σε κοντινές αποστάσεις και στη συνέχεια τοποθετείται μια πρόσοψη αντιστήριξης, όπως φαίνεται σχηματικά στο **Σχήμα 3.6**. Στη συνέχεια, αν τα καρφιά (ήλοι) έχουν τοποθετηθεί σε οπές, οι οπές γεμίζονται με λεπτόκοκκο σκυρόδεμα. Στη περίπτωση εμπηγμένων καρφιών δεν χρειάζεται η σκυροδέτηση.

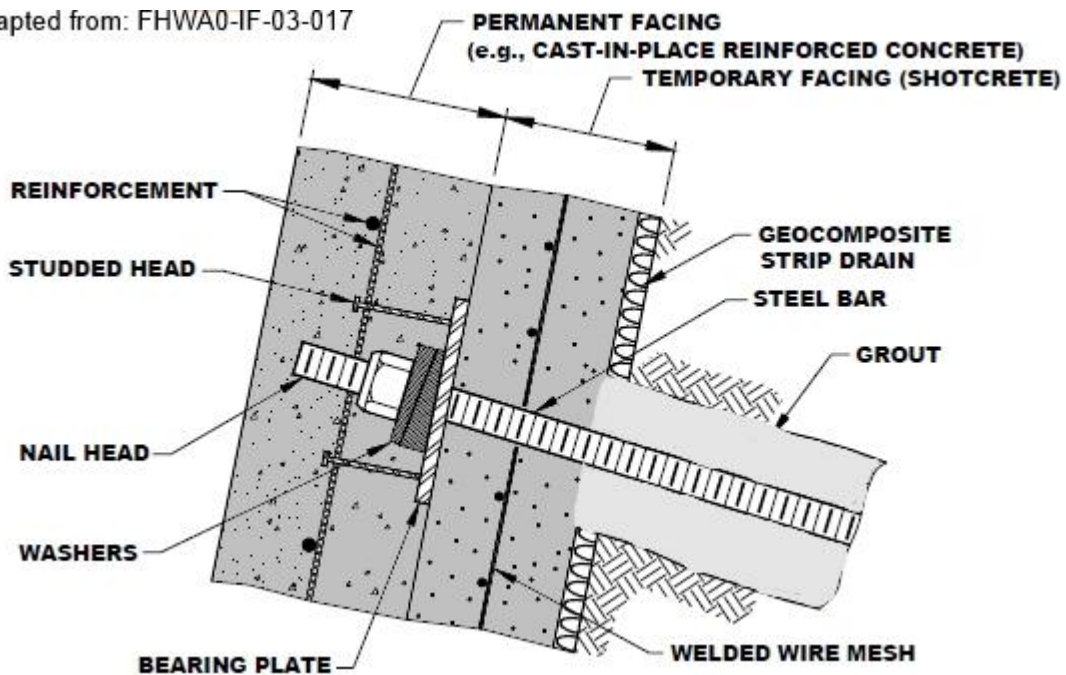
Η κατασκευή πασσαλότοιχων με αγκύρωση σε πρανές προχωράει από την κορυφή προ τα κάτω και πλάκες αγκύρωσης τοποθετούνται σε κάθε ήλο. Σε μια τυπική εφαρμογή εκτοξευόμενο ή συμβατικό σκυρόδεμα εφαρμόζεται στην όψη της εκσκαφής με σκοπό την εξασφάλιση της συνέχειας του πασσαλότοιχου. Η γενική διαδικασία κατασκευής για το συγκεκριμένο τύπο πασσαλότοιχου περιλαμβάνει το παρακάτω στάδια:

- Εκσκαφή για την τοποθέτηση του πρώτου ήλου, στάδιο κατά το οποίο πρέπει να εξασφαλιστεί η ικανότητα του εδάφους να μην αστοχεί χωρίς αντιστήριξη
- Εγκατάσταση του πρώτου ήλου
- 1^η φάση σκυροδέτησης της όψης με τη χρήση πλέγματος ενίσχυσης ή οποιοδήποτε άλλο είδος ενίσχυση κρίνεται απαραίτητο
- Τοποθέτηση της πλάκας αγκύρωσης του ήλου με ή χωρίς περαιτέρω στοιχεία αγκύρωσης (βλέπε αναλυτικά στο **Σχήμα 3.7**)
- 2^η φάση σκυροδέτησης, η οποία εξαρτάται από της συνθήκες του έργου
- Εκσκαφή μέχρι το επίπεδο του επόμενου ήλου, εγκατάσταση του δεύτερου ήλου, σκυροδέτηση κ.τ.λ.
- Επανάληψη των παραπάνω σταδίων μέχρι να προσεγγιστεί το τελικό βάθος εκσκαφής
- Κατασκευή επιπρόσθετων μόνιμων προσόψεων εφόσον έχει κριθεί απαραίτητο
- Τέλος, αναφέρεται ότι συνήθως τοποθετούνται φίλτρα αποστράγγισης και σωλήνες αποστράγγισης κατά την διάρκεια της κατασκευής.



Σχήμα 3.6: Σχηματική αναπαράσταση πασσαλότοιχου με αγκύρωση σε πρανές.

Adapted from: FHWA0-IF-03-017



Σχήμα 3.7: Λεπτομέρεια αγκύρωσης ήλου με εμφανή την πλάκα αγκύρωσης του ήλου, τις δύο φάσεις της σκυροδέτησης και την μόνιμη πρόσοψη.

Η διαδικασία της αγκύρωσης ήλων σε πρανές χρησιμοποιείται τυπικά για την σταθεροποίηση ήδη υπαρχόντων πρανών ή εκσκαφών ειδικά σε περιπτώσεις όπου η κατασκευή με φορά από την κορυφή προς τα κάτω παρουσιάζει σαφή πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες μεθοδολογίες συστημάτων αντιστήριξης. Για δεδομένες συνθήκες, η αγκύρωση ήλων σε πρανές προσφέρει μια βιώσιμη εναλλακτική λύση από την άποψη της τεχνικής επιτευξιμότητας, κόστος κατασκευής και διάρκεια κατασκευής συγκριτικά κυρίως με την κατασκευή τοίχων αγκύρωσης εδάφους (ground anchor walls) που είναι μια επίσης δημοφιλής εφαρμογή συστήματος αντιστήριξης με φορά κατασκευής από την κορυφή προς τα κάτω.

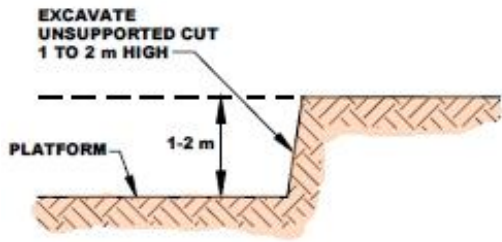
Οι πασσαλότοιχοι με αγκυρώσεις ήλων παρέχουν πολύ ικανοποιητική εφαρμογή ειδικά σε εδαφικές συνθήκες που απαιτούν κάθετες ή σχεδόν κάθετες τομές και έχει αποδειχτεί ότι είναι πολύ αποτελεσματική μεθοδολογία στις παρακάτω προσωρινές ή μόνιμες εφαρμογές:

- Εκσκαφές πρανών σε αυτοκινητόδρομους
- Διαπλάτυνση οδού που βρίσκεται κάτω από υπάρχουσα γέφυρα
- Επισκευή ή ανακατασκευή υπαρχόντων κατασκευών αντιστήριξης
- Προσωρινές ή μόνιμες εκσκαφές σε αστικό περιβάλλον.

Επίσης η τεχνική των πασσαλότοιχων με αγκυρώσεις ήλων έχει αποδειχθεί οικονομικά ελκυστική και τεχνικά εφαρμόσιμη στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Όταν το έδαφος στο οποίο διεξάγεται η εκσκαφή είναι ικανό να σταθεί αστήρικτο για μία με δύο ημέρες σε μια κάθετη ή σχεδόν κάθετη εκσκαφή βάθους 1 – 2 μέτρων
- Όταν όλοι οι ήλοι αγκύρωσης σε μια διατομή βρίσκονται πάνω από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα
- Όταν οι ήλοι αγκύρωσης είναι κάτω από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, και το υπόγειο νερό δεν επηρεάζει δυσμενώς τις πλάκες αγκύρωσης, την αντοχή συνάφεια της διεπιφάνειας μεταξύ του σκυροδέματος και του περιβάλλοντος σε αυτό εδάφους ή την μακροχρόνια ακεραιότητα των ήλων (π.χ. τα χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους δεν ενισχύουν τη διαδικασία οξείδωσης)

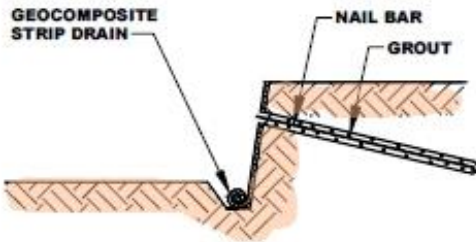
Στο **Σχήμα 3.8** δίνεται συνοπτικά η όλη διαδικασία κατασκευής ενός πασσαλότοιχου με αγκυρώσεις ήλων.



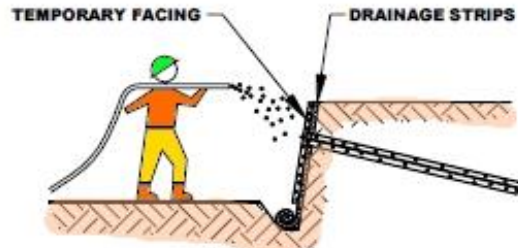
STEP 1. EXCAVATE SMALL CUT



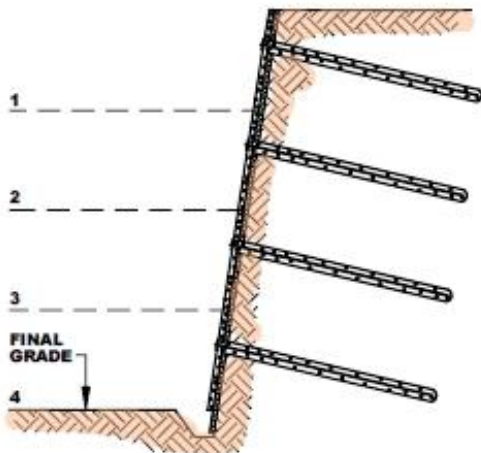
STEP 2. DRILL NAIL HOLE



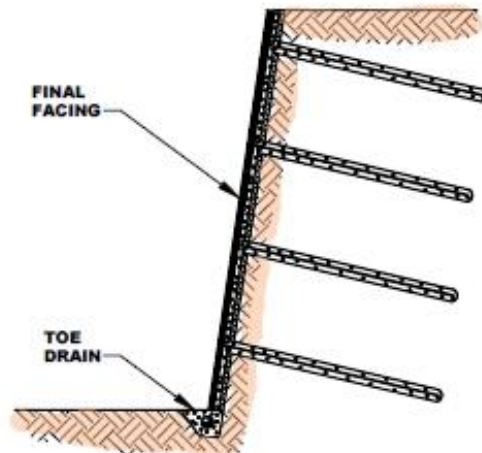
**STEP 3. INSTALL AND GROUT NAIL
(INCLUDES STRIP DRAIN INSTALLATION)**



**STEP 4. PLACE TEMPORARY FACING
(INCLUDES SHOTCRETE,
REINFORCEMENT,
BEARING PLATE, HEX NUT, AND
WASHERS INSTALLATION)**



**STEP 5. CONSTRUCTION OF
SUBSEQUENT LEVELS**



**STEP 6. PLACE FINAL FACING
ON PERMANENT WALLS
(INCLUDES BUILDING
OF TOE DRAIN)**

Σχήμα 3.8: Συνοπτική διαδικασία σταδίων κατασκευής πασσαλότοιχου με αγκυρώσεις ήλων.

Η κατασκευή πασσαλότοιχου με ήλους αγκύρωσης παρουσιάζει πληθώρα πλεονεκτημάτων όταν αυτή συγκρίνεται με αγκυρώσεις εδάφους και εναλλακτικές τεχνικές κατασκευής με κατεύθυνση από την κορυφή προς τα κάτω. Τα σημαντικότερα από τα πλεονεκτήματα παραθέτονται εδώ:

- Απαιτείται μικρότερη ποσότητα σκυροδέματος συγκριτικά με την αγκύρωση εδάφους καθώς οι ήλοι αγκύρωσης είναι τυπικά πιο μικρού μήκους
- Περιορισμός της κυκλοφοριακής συμφόρησης και με μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις συγκριτικά με άλλες κατασκευαστικές μεθόδους
- Παρέχει έναν λιγότερο υπερφορτωμένο εργασιακό χώρο, ειδικά σε σύγκριση με εκσκαφές συνδετήρων (braced excavations)
- Δεν χρειάζεται να τοποθετηθεί κανένα κατασκευαστικό στοιχείο υπεδάφια της εκσκαφής, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των δοκών μεμονωμένων πασσάλων οι οποίες χρησιμοποιούνται στους πασσαλότοιχους αγκύρωσης εδάφους
- Η εφαρμογή της μεθόδου είναι σχετικά γρήγορη και τυπικά χρησιμοποιεί λιγότερα κατασκευαστικά υλικά συγκριτικά με τους πασσαλότοιχους αγκύρωσης εδάφους
- Η τοποθεσία, η κλίση και τα μήκη των ήλων αγκυρώσεων μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν σε περίπτωση εμφάνισης εμποδίων. Από την άλλη η οριζόντια τοποθέτηση των αγκυρώσεων εδάφους είναι πολύ πιο δύσκολα προσαρμόσιμη αυξάνοντας σημαντικά το κόστος εφαρμογής
- Εφόσον χρησιμοποιείται αισθητά μεγαλύτερος αριθμός αγκυρώσεων σε σύγκριση με τους πασσαλότοιχους αγκύρωσης εδάφους, τυχόν προσαρμογές στη διάταξη σχεδιασμού είναι πολύ πιο εύκολα υλοποιήσιμες χωρίς να τίθεται σε αμφισβήτηση το επίπεδο ασφαλείας της κατασκευής
- Οι υπερκείμενες κατασκευαστικές απαιτήσεις είναι μικρότερες σε σύγκριση με τους πασσαλότοιχους αγκύρωσης εδάφους επειδή δεν χρειάζεται την εγκατάσταση δοκών μεμονωμένων πασσάλων (ειδικά όταν η κατασκευή γίνεται κάτω από γέφυρα)
- Η αγκύρωση ήλων πλεονεκτεί σε περιοχές με απομακρυσμένη πρόσβαση καθώς γενικά χρειάζεται λιγότερος κατασκευαστικός εξοπλισμός
- Η κατασκευή πασσαλότοιχων με αγκύρωση ήλων είναι στο σύνολό της σχετικά εύκαμπτη και σαν αποτέλεσμα μπορεί να δεχθεί σχετικά μεγάλες συνολικές και διαφορικές μετακινήσεις
- Με βάση μετρήσεις σε υπάρχουσες εφαρμογές οι αναπτυσσόμενες μετακινήσεις είναι συνήθως εντός των αποδεκτών ορίων

- Οι πασσαλότοιχοι με αγκυρώσεις ήλων έχουν κατά το παρελθόν συμπεριφερθεί ικανοποιητικά σε σεισμικά γεγονότα γεγονός που αποδίδεται στη προαναφερθείσα ευελιξία του κατασκευαστικού συστήματος
- Τα εν λόγω συστήματα αντιστήριξης είναι πιο οικονομικά από τα συμβατικά συστήματα σκυροδετούμενων τοίχων αντιστήριξης με κοινές μεθόδους αγκυρώσεων
- Οι πασσαλότοιχοι με αγκυρώσεις ήλων είναι τυπικά ισοδύναμες σε όρους κόστους ή καλύτερα αποδοτικότητας/κόστους σε σύγκριση με τους πασσαλότοιχους αγκύρωσης εδάφους
- Η πρόσοψη εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι τυπικά λιγότερο κοστοβόρα από την κατασκευαστική πρόσοψη η οποία απαιτείται σε άλλα αντίστοιχα συστήματα αντιστήριξης

Μερικά από τα ενδεχόμενα μειονεκτήματα των πασσαλότοιχων με αγκυρώσεις ήλων είναι:

- Οι πασσαλότοιχοι με αγκυρώσεις ήλων μπορεί να είναι ακατάλληλοι για εφαρμογές στις οποίες απαιτείται πολύ αυστηρός έλεγχος μετατοπίσεων σε κατασκευές βρισκόμενες πίσω από τον εν λόγω πασσαλότοιχο, καθώς το συγκεκριμένο σύστημα χρειάζεται μια αρχική εδαφική παραμόρφωση για να ενεργοποιηθεί η αντίστασή του. Οι μετακινήσεις μπορούν να περιοριστούν με την εφαρμογή προέντασης αλλά αυτό αυξάνει αισθητά το κόστος κατασκευής
- Υπάρχουσες εγκαταστάσεις μπορεί να εισάγουν περιορισμούς αναφορικά με την τοποθεσία, την κλίση και το μήκος των ήλων αγκύρωσης
- Οι πασσαλότοιχοι με αγκυρώσεις ήλων δεν είναι ιδανικοί σε περιπτώσεις με έντονες υπεδάφεις διαρροές εντός της εκσκαφής λόγω της ανάγκης να διατηρηθεί μια προσωρινή αστήρικτη πρόσοψη εκσκαφής
- Οι μόνιμοι πασσαλότοιχοι με αγκυρώσεις ήλων απαιτούν μόνιμες υπεδάφεις εγκαταστάσεις στράγγισης
- Η κατασκευή αυτού του είδους των πασσαλότοιχων απαιτεί εξειδικευμένο και πεπειραμένο προσωπικό

iv. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ/ΕΛΑΣΜΑΤΑ (SHEET PILE WALL)

Οι πασσαλότοιχοι με πασσάλους/ελάσματα κατασκευάζονται με έμπηξη προκατασκευασμένων διατομών στο έδαφος. Ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες μπορεί να εφαρμοστεί και δόνηση για την τοποθέτησή τους. Ο πλήρης τοίχος κατασκευάζεται ενώνοντας τους κόμβους των ειδικά προσαρμοσμένων διατομών ελασμάτων σε κατά τη διαδοχική εφαρμογή τους. Οι πασσαλότοιχοι με πασσάλους/ελάσματα παρέχουν κατασκευαστική αντίσταση εκμεταλλεύοντας το σύνολο της διατομής των πασσάλων. Χαλύβδινα ελάσματα είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα στην περίπτωση των εκσκαφών μεγάλου βάθους, αν και πάσσαλοι οπλισμένου σκυροδέματος έχουν επίσης εφαρμοστεί με επιτυχία. Τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των παραπάνω συστημάτων αντιστήριξης είναι το ξύλο, το σκυρόδεμα, το αλουμίνιο, το βινύλιο και ο χάλυβας.

Η χρησιμοποίηση χαλύβδινων ελασμάτων είναι η πιο κοινή εφαρμογή λόγω των διαφόρων πλεονεκτημάτων σε σύγκριση με τα υπόλοιπα υλικά:

- Παρέχει μεγάλη αντίσταση σε αναπτυσσόμενες ατά την προώθηση τάσεις
 - Έχουν μικρό βάρος
 - Μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε μεγάλο αριθμό διαφορετικών έργων
 - Παρέχουν μεγάλο χρόνο ζωής τόσο σε εφαρμογές με περιορισμένη υγρασία όσο και σε υποθαλάσσιες εφαρμογές με μικρή προστασία
 - Εύκολα προσαρμόσιμο μήκος των πασσάλων είτε με συγκόλληση είτε με κοχλίωση
 - Οι κόμβοι είναι λιγότερο πιθανό να παραμορφωθούν κατά την τοποθέτηση
- Οι πασσαλότοιχοι με πασσάλους/ελάσματα κατασκευάζονται ως εξής:

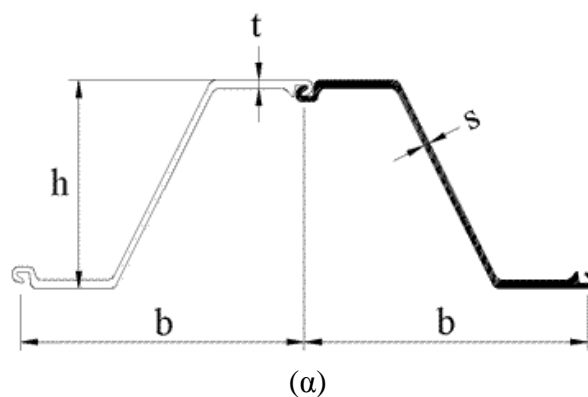
- Διατάσσεται μια ακολουθία διατομών πασσάλων/ελασμάτων εξασφαλίζοντας ότι οι πάσσαλοι/ελάσματα θα αλληλεμπλακούν
- Προωθείται ο κάθε πάσσαλος/έλασμα στο επιθυμητό βάθος
- Προωθείται ο επόμενος πάσσαλος/έλασμα ο οποίος και ενώνεται με τον προηγούμενο πάσσαλο στα συγκεκριμένα σημεία των εξοχών/εσοχών τους
- Επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρις ότου συνδεθεί ο πασσαλότοιχος σε όλο το μήκος του
- Χρησιμοποιούνται επιπλέον συνδετήρια μέλη σε περίπτωση περιπλοκών διατομών.

Τα μειονεκτήματα των πασσαλότοιχων με πασσάλους/ελάσματα είναι:

- Οι διατομές σπάνια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέλη της μόνιμης κατασκευής
- Η εφαρμογή των πασσάλων/ελασμάτων είναι δυσχερής σε εδάφη με ογκόλιθους ή άλλα εμπόδια
- Το σχήμα της εκσκαφής ορίζεται από το σχήμα των χρησιμοποιούμενων διατομών και των στοιχείων αλληλεμπλοκής
- Καθιζήσεις και μετακινήσεις σε παρακείμενα στοιχεία ή κατασκευές μπορεί να πραγματοποιηθούν κατά την τοποθέτηση με δόνηση.

Στο **Σχήμα 3.9** δίνεται τυπικό σχεδιάγραμμα δύο συνδεδεμένων διαδοχικών ελασμάτων καθώς και φωτογραφία πραγματικής εφαρμογής.

Η ανάλυση και διαστασιολόγηση των συστημάτων πασσάλων/ελασμάτων συνήθως γίνεται με την ειδικά υπολογιστικά προγράμματα ή ακόμα και με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων καθώς οι προκατασκευασμένες διατομές μπορούν να προσομοιωθούν με αρκετή ευκολία.



(α)
(β)
Σχήμα 3.9: Πασσαλότοιχοι με πασσάλους/ελάσματα: α) σχεδιάγραμμα διαδοχικών συνδεδεμένων ελασμάτων και β) φωτογραφία πραγματικής εφαρμογής.

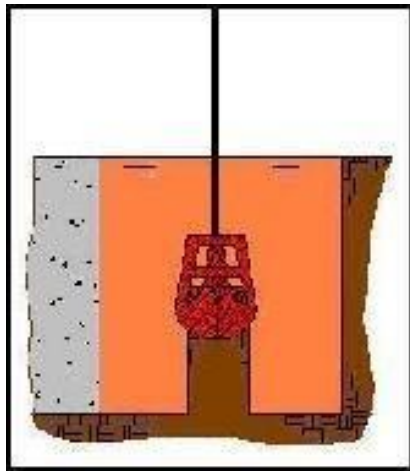
v. ΣΚΥΡΟΔΕΤΟΥΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ (SLURRY WALL) ΓΙΑ ΒΑΘΙΕΣ ΕΚΣΚΑΦΕΣ

Ο συνεχής διαφραγματικός τοίχος είναι μια κατασκευή η οποία σχηματίζεται και σκυροδετείται σε ένα όρυγμα (Ξανθάκος, 1994). Η εκσκαφή του ορύγματος στηρίζεται αρχικά με πρόχειρη σκυροδέτηση ή ειδικό υλικό συνήθως με πολυμερική βάση εμποδίζοντας την είσοδο του εδάφους στην τάφρο εκσκαφής. Ο όρος «διαφραγματικός τοίχος» αναφέρεται στην τελική κατάσταση κατά την οποία ο όγκος που έχει αφαιρεθεί από την εκσκαφή έχει αναπληρωθεί από οπλισμένο σκυρόδεμα το οποίο δρα ως κατασκευαστικό σύστημα είτε για προσωρινή αντιστήριξη της εκσκαφής, είτε ως μέρος την μόνιμης κατασκευής. Η διαδικασία κατασκευής όπως περιγράφηκε παραπάνω παρουσιάζεται στο **Σχήμα 3.10**. Ο όρος slurry wall χρησιμοποιείται επίσης και για τοιχία τα οποία κατασκευάζονται σαν προστατευτικό μέσο κυρίως σε χώρους ταφής απορριμμάτων, παρέχοντας ένα σύνορο περιορισμένης διαπερατότητας περιορίζοντας τυχόν περιβαλλοντική μόλυνση.

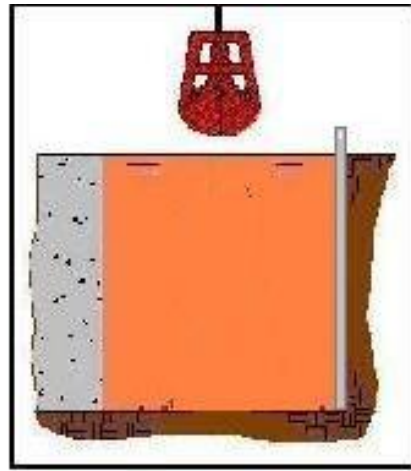
Η τεχνολογία της κατασκευής τοιχίων βασίζεται στη χρησιμοποίηση εξειδικευμένου εξοπλισμού για την εκσκαφή της τάφρο σκυροδέτησης. Ο απλούστερος τύπος εξοπλισμού εκσκαφής είναι το μηχανικό εκσκαπτικό με διπλοσάγωνα κουβά (clamshell) το οποίο είναι συνδεδεμένο με ειδικό γερανό, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.11**. Διάφορες τεχνικές έχουν εφαρμοστεί ανά καιρούς από μεμονωμένους εργολάβους όπως υδραυλικά μηχανήματα ή υδρόμυλοι.

Οι εφαρμογές των διαφραγματικών τοιχίων σχετίζονται κυρίως με τις παρακάτω περιπτώσεις:

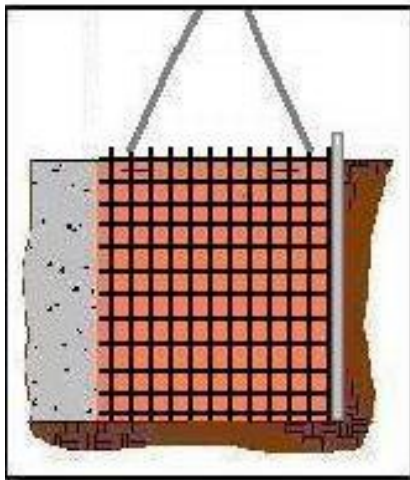
- Αντιστήριξης εδάφους σε έργα βαθέων εκσκαφών, σε υπόγεια και σε σήραγγες
- Κατακόρυφα στοιχεία θεμελίωσης υψηλών αντοχών
- Θεμελιώσεις τοιχίων αντιστήριξης
- Στοιχεία περιορισμού υπογείου υδροφόρου ορίζοντα
- Κατασκευές με φορά από την κορυφή προς τα κάτω όπου χρειάζεται μόνιμη αντιστήριξη



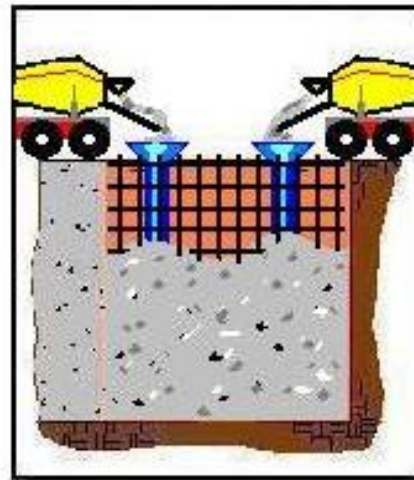
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Σχήμα 3.10: Τυπική διαδικασία κατασκευής σκυροδετούμενων τοιχίων θεμελίωσης:
 α) Εκσκαφή στην περιοχή δίπλα από το αρχικό τμήμα σκυροδέτησης, β) Τοποθέτηση άκρου
 αντιστήριξης (δεξιά) συνήθως από χάλυβα, γ) Τοποθέτηση κλωβού χάλυβα οπλισμού και δ)
 Τελική σκυροδέτηση όλου του εκσκαμμένου όγκου.



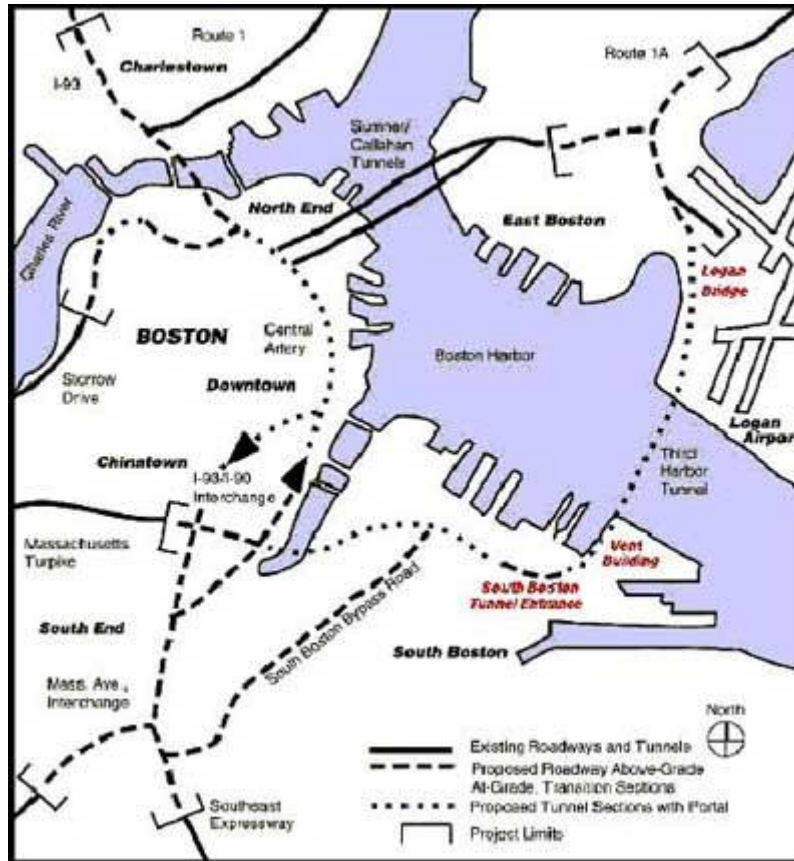
Σχήμα 3.11: Εξοπλισμός εκσκαφής (αριστερά υδραυλικό clamshell και δεξιά μηχανικό)

Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου. Κατ' αρχάς η κατασκευή σκυροδετούμενων στοιχείων slurry walls απαιτεί την χρήση βαρέως κατασκευαστικού εξοπλισμού ο οποίος χρειάζεται αρκετό διαθέσιμο χώρο στο πεδίο τη εφαρμογής και σημαντικά κόστη μετακίνησης. Σε περίπτωση περιορισμένου χώρου καθ' ύψος μπορεί να γίνει χρήση μικρότερων γερανών με μια παραλλαγή της τεχνικής εκσκαφής κατά την οποία το έδαφος που έχει εκσκαφεί μεταφέρεται και αναδεύεται σε άλλη τοποθεσία και στη συνέχεια επιστρέφει για τυχόν επαναχωματώσεις (remote backfill mixing).

Άλλη εναλλακτική μέθοδος είναι η κατασκευή τοιχίου αντιστήριξης από αιώρημα τσιμέντου και πηλού (μπεντονίτη) το οποίο στη συνέχεια σκληραίνεται και αποτελεί το όριο πίσω από το οποίο πραγματοποιείται η εκσκαφή. Η χρησιμοποίηση του παραπάνω είδους σκυροδέματος έχει το πλεονέκτημα ότι αντιστέκεται σε χημική προσβολή που μπορεί να γίνει από τα εντόπια εδάφη. Επίσης η συγκεκριμένη εφαρμογή σε συνδυασμό με το έδαφος μπορεί να δώσει πολύ υψηλές αντοχές.

Γενικά, μπορούμε να εξαγάγουμε το συμπέρασμα ότι η εφαρμογή στην οποία σκυροδετείται αρχικά ένα στοιχεία πίσω από το οποίο γίνεται η εκσκαφή είναι αισθητά πιο φθηνή από την κατασκευή διαφραγματικού τοιχίου. Η διαφορά έγκειται κυρίως στην διαφορετική μεθοδολογία κατασκευής. Στην πρώτη περίπτωση η κατασκευή είναι πολύ πιο γρήγορη καθώς γίνεται εκσκαφή μιας συνεχούς τάφρου και γεμίζεται με σκυρόδεμα με την προσθήκη χάλυβα οπλισμού να μην είναι πολύ συχνή. Από την άλλη η κατασκευή διαφραγματικού τοίχου η περίμετρος κατασκευάζεται κομμάτι – κομμάτι και οπλισμός ενίσχυσης χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα. Κατ' επέκταση η δημιουργία διαφραγματικού τοιχίου είναι πιο κοστοβόρα.

Στο **Σχήμα 3.12** δίνεται μια εκτεταμένη εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου με συστήματα αντιστήριξης από σκυρόδεμα στην πολιτεία της Βοστώνης. Οι διακεκομμένες γραμμές υποδεικνύουν τις θέσεις εφαρμογής.

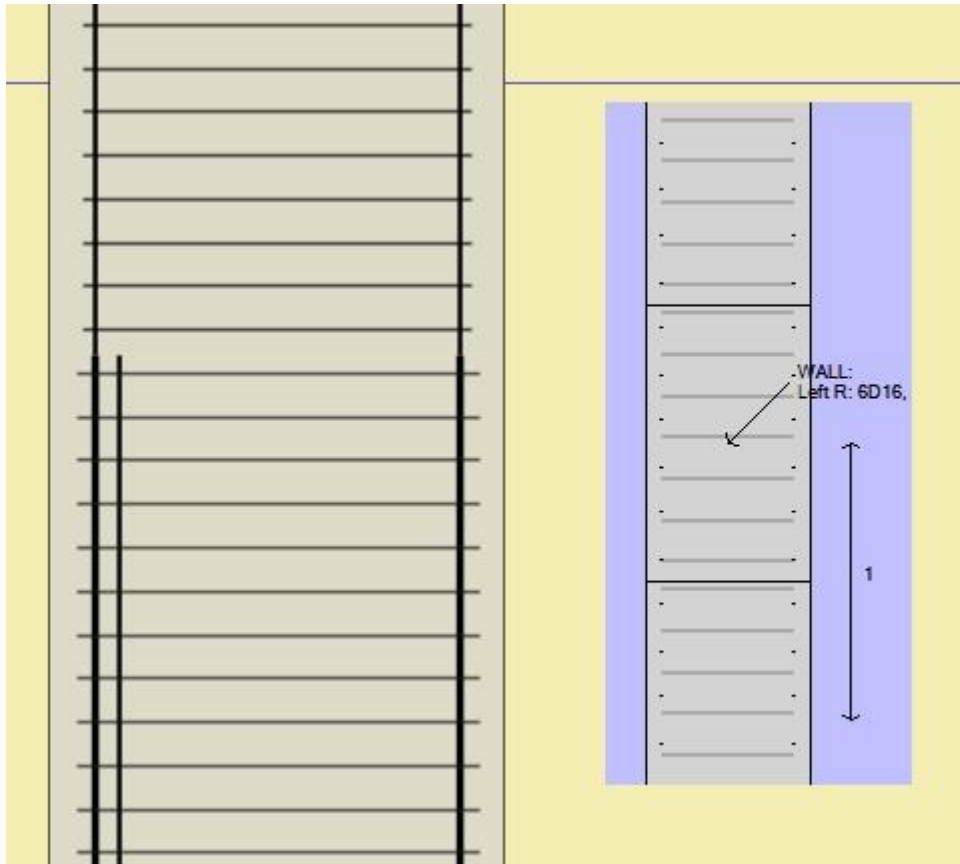


Σχήμα 3.12: Έργο «Σηράγγων κεντρικής αρτηρίας» (Βοστώνη, Ladd et al. 1999) με εκτεταμένη χρήση slurry walls.

vi. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΥΠΟΥ ΠΡΟΒΟΛΟΥ (CANTILEVER WALL)

Τα συστήματα αντιστήριξης τύπου προβόλου είναι τοιχία τα οποία δεν έχουν καθόλου στηρίξεις και έτσι γίνεται μια ελεύθερη αστήρικτη εκσκαφή. Έτσι ο πρόβολος συγκρατεί το έδαφος μέσω παθητικής αντίστασης του εδάφους το οποίο βρίσκεται στο πίσω μέρος της εκσκαφής. Πολλοί μηχανικοί χρησιμοποιούν τον ίδιο όρο και για τα τοιχία βαρύτητας (gravity walls). Στην πραγματικότητα κάθε τοιχίο κάθετου προσανατολισμού μπορεί να αναφερθεί ως τοιχίο προβόλου εφόσον δεν υποστηρίζεται εγκάρσια από αγκύρια, ήλους κ.τ.λ. Παρακάτω αναφέρονται οι βασικές μέθοδοι σχεδιασμού για την ανάλυση τοιχίων προβόλου.

Γενικά το μέγιστο βάθος εκσκαφής για ένα σύστημα αντιστήριξης τύπου προβόλου είναι 6m. Η κατασκευή προβόλων μεγαλύτερου ύψους έχει πραγματοποιηθεί αλλά χρειάζονται πιο ακριβά συστήματα όπως διαφραγματικά τοιχία τύπου T. Στο Σχήμα 3.13 δίνεται τυπικό σχέδιο τοιχίου προβόλου.



Σχήμα 3.13: Τυπικό σχεδιάγραμμα συστήματος αντιστήριξης τύπου προβόλου.

Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αντιστήριξης τύπου προβόλου είναι τα παρακάτω:

- Προσφέρουν μια ανεμπόδιστη εκσκαφή ανοικτού τύπου
- Δεν απαιτείται η τοποθέτηση αγκυρίων εγκάρσιας στήριξης σε περιπτώσεις ύπαρξης γειτονικών κτιρίων
- Προσφέρουν μια εύκολη κατασκευαστική διαδικασία καθώς τα στάδια εφαρμογής είναι πολύ απλά

Από την άλλη μειονεκτήματα μπορούν να θεωρηθούν τα εξής:

- Το βάθος εκσκαφής για το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος είναι αρκετά περιορισμένο (τυπικά μέγιστο βάθος τα 6m)
- Γενικά δεν συνίσταται η συγκεκριμένη μέθοδος αντιστήριξης κοντά σε παρακείμενα κτίρια
- Ο έλεγχος των εγκάρσιων μετατοπίσεων του προβόλου εξαρτάται κυρίως στην παθητική αντίσταση του εδάφους
- Για βαθιές εκσκαφές η δυσκαμψία του τοιχίου μπορεί να αυξηθεί σημαντικά, γεγονός που μπορεί να περιορίσει το διαθέσιμο χώρο εντός της εκσκαφής.

Η μεθοδολογία ανάλυσης των συστημάτων αντιστήριξης τύπου προβόλου είναι πολύ σημαντική. Συνήθως σχεδιάζονται με μεθόδους οριακού ισοζυγίου. Σε αυτή την προσέγγιση, ο σχεδιαστής υπολογίζει ενεργές και παθητικές πιέσεις των εδαφών. Η ύπαρξη υπογείου υδροφόρου ορίζοντα ή άλλων προσαυξησεων μπορούν να ληφθούν υπ' όψιν. Οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

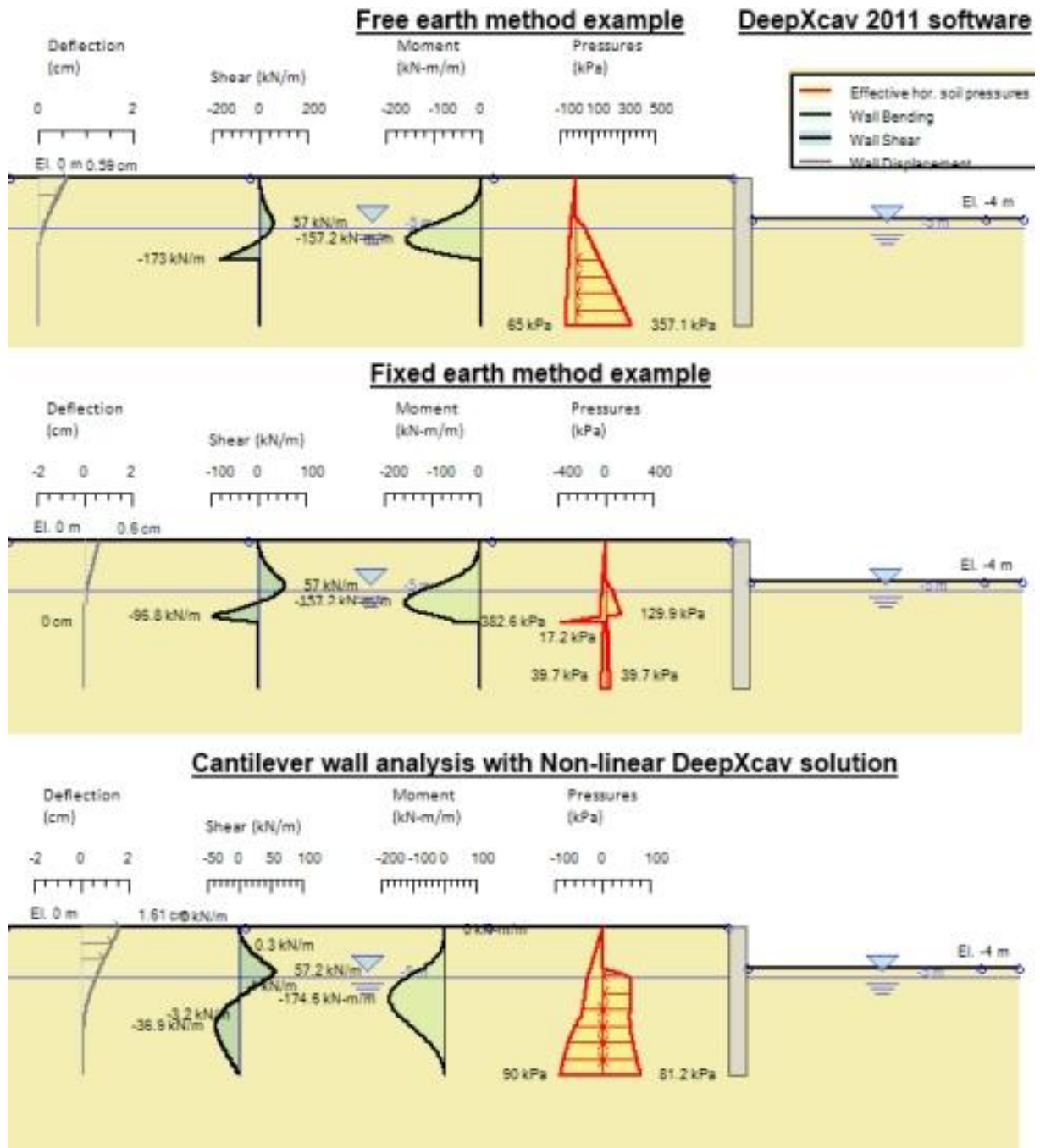
- Μέθοδος προβόλου με ελεύθερο έδαφος (free earth method for cantilever walls)

Αυτή είναι η απλούστερη προσέγγιση. Απαιτεί ο σχεδιαστής να πραγματοποιήσει μια ισορροπία ροπών ανατροπής ως προς το κάτω άκρο του προβόλου. Οι ενεργές πιέσεις εδάφους ορίζονται από την μεριά της αντιστήριξης ενώ οι παθητικές πιέσεις από την μεριά της εκσκαφής. Ο περιορισμός της μεθόδου είναι ότι οι τέμνουσες δυνάμεις δεν ισορροπούν. Σαν αποτέλεσμα, προτείνεται ότι το υπολογιζόμενο βάθος εμπέδωσης του προβόλου να πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή ασφαλείας ίσο με 1.2.

- Μέθοδος προβόλου με στηριγμένο το έδαφος (fixed earth method for cantilever walls)

Η μέθοδος υπολογισμού με στηριγμένο έδαφος παρέχει μια σθεναρή προσέγγιση κατά την οποία γίνεται ισορροπία τόσο των ροπών ανατροπής όσο και των τεμνουσών δυνάμεων. Ωστόσο, η αναλυτική λύση για την συγκεκριμένη μέθοδο είναι περιορισμένη σε πολύ ειδικές συνθήκες. Η μέθοδος υπολογίζει το κρίσιμο σημείο ανατροπής γύρω από το οποίο οι ροπές ανατροπής και ο τέμνουσες δυνάμεις ισορροπούν. Αυτό πραγματοποιείται θεωρώντας ενεργές εδαφικές πιέσεις στη μεριά της εκσκαφής και παθητικές εδαφικές πιέσεις στη μεριά της αντιστήριξης πίσω από το σημείο ανατροπής. Καθώς οι λύσεις κλειστού τύπου είναι περιορισμένες για την περίπτωση της μεθόδου με στηριγμένο έδαφος, συνίσταται να γίνεται ανάλυση με θεώρηση ελατηρίων Winkler η οποία και δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα.

Για να παραχθεί μια επαρκής ασφάλεια ένα τυπικό μήκος εμπέδησης σε τοίχιο προβόλου είναι 1.5 φορές το ύψος εκσκαφής. Ενώ η παρούσα μεθοδολογία παρέχει το πλεονέκτημα της εύκολης εκσκαφής, ωστόσο το τυπικό μέγιστο βάθος εκσκαφής είναι της τάξεως των 4.5 m. Κάτω από αυτό το βάθος απαιτούνται πιο δύσκαμπτες και λιγότερο οικονομικές διατομές ώστε να περιορίσουν τις οριζόντιες μετατοπίσεις. Οι μετατοπίσεις σε συστήματα προβόλων μεγαλύτερου βάθους πρέπει να παρακολουθούνται ηλεκτρονικά. Στο **Σχήμα 3.14** δίνεται τυπική ανάλυση με τις παραπάνω αναφερθείσες μεθόδους καθώς και με μη γραμμική ανάλυση.



Σχήμα 3.14: Αποτελέσματα ανάλυσης συστήματος αντιστήριξης τύπου προβόλου για ελεύθερο έδαφος, στηριγμένο έδαφος και μη γραμμική ανάλυση.

vii. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΥΔΑΤΟΣΤΕΓΟΥΣ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ (COFFERDAM SYSTEM)

Ένα σύστημα αντιστήριξης υδατοστεγούς περιβλήματος είναι μια κατασκευή η οποία συγκρατεί το νερό και το έδαφος επιτρέποντας να πραγματοποιηθεί άντληση υδάτων στην εγκλεισμένη περιοχή και να εκσκαφεί ξηρή. Τα υδατοστεγή περιβλήματα χρησιμοποιούνται συχνά σε κατασκευή πυλώνων σε γέφυρες και άλλες φέρουσες κατασκευές υποστήριξης οι οποίες κατασκευάζονται μέσα στο νερό. Οι τοίχοι αντιστήριξης υδατοστεγούς περιβλήματος κατασκευάζονται συχνά με πασσάλους/ελάσματα οι οποίοι στηρίζονται από ειδικού τύπου εγκάρσιες αγκυρώσεις (walers). Τα υδατοστεγή περιβλήματα συνήθως αποσυναρμολογούνται όταν οι μόνιμες εργασίες περαιώνονται. Εφόσον η παραπάνω μέθοδος εφαρμόζεται κατά κανόνα μέσα στο νερό τα ελάσματα τοποθετούνται με τη βοήθεια προκατασκευασμένων περιγραμμάτων τα οποία επιτρέπουν την σωστή τοποθέτηση κάθε ελάσματος από ειδικό πλωτό όχημα.

Ένα υδατοστεγές περίβλημα μπορεί κατ' ουσία να κατασκευαστεί σε κάθε επιθυμητό σχήμα. Ωστόσο, για πρακτικούς και οικονομικούς λόγους τα περισσότερα υδατοστεγή περιβλήματα είναι είτε τετράγωνο είτε κυκλικά. Γενικά τα κυκλικά περιβλήματα παρέχουν το πλεονέκτημα ότι παρέχουν μια πιο ανοικτού τύπου εκσκαφή στο σύνολο της έκτασης του έργου όταν η αγκύρωση παρέχεται αποκλειστικά από δοκούς δακτυλίους (ring beams). Ωστόσο, η τοποθέτηση των πασσάλων/ελασμάτων σε κυκλικά υδατοστεγή περιβλήματα απαιτεί αυστηρότερο κατασκευαστικό έλεγχο. Τα τετράγωνα περιβλήματα είναι πιο απλά στην κατασκευή αλλά τυπικά χρειάζονται πιο περίπλοκα συστήματα αγκύρωσης.

Τα κυριότερα είδη των συστημάτων αντιστήριξης με υδατοστεγές περίβλημα είναι τα παρακάτω:

- **Στηριζόμενα υδατοστεγή περιβλήματα (braced cofferdams)**

Σχηματίζονται από ένα μεμονωμένο τοίχο πασσάλων/ελασμάτων ο οποίο προωθείται εντός του εδάφους με σκοπό να σχηματίζει ένα είδος «κουτιού» γύρω από την εκσκαφή. Τα ελάσματα τότε αντιστηρίζονται μεταξύ τους από την εσωτερική μεριά και γίνεται άντληση του νερού του εσωτερικού εδάφους. Αυτό το είδος αντιστήριξης κυρίως χρησιμοποιείται σε πυλώνες γεφυρών σε ρηχά νερά (9-12m βάθος).

- **Πορώδη υδατοστεγή περιβλήματα (cellular cofferdams)**

Τα πορώδη περιβλήματα χρησιμοποιούνται μόνο σε περιπτώσεις που το μέγεθος της εκσκαφής απαιτεί την χρήση διαμπερών εγκάρσιων αντιστηρίξεων (διαπερνώντας την εκσκαμμένη περιοχή). Τυπική εφαρμογή του συστήματος εγκάρσιων αντιστηρίξεων δίνεται στο Σχήμα 3.15. Σε αυτή την περίπτωση, το περίβλημα πρέπει να είναι σταθερό από την άποψη της αντίστασης σε εγκάρσιες δυνάμεις από μόνο του.

- **Υδατοστεγή περιβλήματα διπλών ελασμάτων (double-walled sheet pile cofferdams)**

Είναι συστήματα τα οποία αποτελούνται από δύο παράλληλες σειρές πασσάλων/ελασμάτων τα οποία προωθούνται εντός του εδάφους και κατόπιν συνδέονται μεταξύ τους από ένα σύστημα ράβδων σύνδεσης σε ένα ή περισσότερα επίπεδα. Ο κενός χώρος μεταξύ των τοίχων συνήθως γεμίζεται με κοκκώδες υλικό όπως άμμος, χαλίκι ή θραυστός βράχος.



Σχήμα 3.15: Σύστημα εγκάρσιων αντιστηρίξεων για μεγάλο μέγεθος εκσκαφής (Βουκουρέστι – Ρουμανία).



Σχήμα 3.16: Σύστημα αντιστήριξης υδατοστεγούς περιβλήματος για την κατασκευή γέφυρας τραίνων (ποταμός Po, Ιταλία).

Τα στάδια της κατασκευής ενός συστήματος αντιστήριξης με υδατοστεγές περίβλημα είναι τα εξής:

1. Προκαταρκτική εκσκαφή με σκοπό την απομάκρυνση του εδάφους καθίζησης και την επιπέδωση της περιοχής κατασκευής του περιβλήματος
2. Προσωρινή προώθηση των πασσάλων για την κατασκευή του περιγράμματος και προσωρινή αντιστήριξή τους
3. Τοποθέτηση χαλύβδινων πασσάλων/ελασμάτων στις τέσσερις γωνίες της κατασκευής και επέκτασή τους μέχρι το μέσο της κάθε πλευράς.
4. Προώθηση των πασσάλων μέχρι το επιθυμητό βάθος
5. Στήριξη και αγκύρωση των πασσάλων στο πάνω μέρος τους όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο.
6. Εκσκαφή μέχρι το επιθυμητό βάθος αφήνοντας το υδατοστεγές περίβλημα γεμάτο με νερό. Στη συνέχεια αφαιρείται σταδιακά το νερό και τοποθετούνται εσωτερικές αντιστηρίξεις ανάλογα με το σχεδιασμό.
7. Τελική τοποθέτηση των πασσάλων εντός του περιβλήματος (αν αυτό χρειάζεται).
8. Γέμισμα με αδρανές κοκκώδες υλικό και επιπέδωση.
9. Σκυροδέτηση για τελική σφράγιση της αντιστήριξης.

Στο **Σχήμα 3.17** δίνεται πραγματική εφαρμογή αντιστήριξης υδατοστεγούς περιβλήματος σε πυλώνες γέφυρας.



Σχήμα 3.17: Εφαρμογή αντιστήριξης υδατοστεγούς περιβλήματος σε पुलώνες γέφυρας.

viii. ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ/ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ (COMBINED SHEET PILE WALL)

Το συνδυασμένο σύστημα αντιστήριξης πασσάλων/ελασμάτων σχηματίζεται τυπικά με την ένωση δύο χαλύβδινων ελασμάτων με διατομές πασσάλων τύπου king (king pile patterns) οι οποίες τοποθετούνται ανά τακτά διαστήματα. Η συγκεκριμένη μέθοδος αντιστήριξης χρησιμοποιείται κυρίως σε θαλάσσιες εφαρμογές όπου παρέχεται επιπρόσθετη δυσκαμψία συγκριτικά με τα κανονικά ελάσματα/πασσάλους. Σε τέτοιου είδους εφαρμογές συνηθίζεται να προωθούνται οι πάσσαλοι τύπου king σε μεγαλύτερο βάθος από τους υπόλοιπους ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αξονική φέρουσα ικανότητα.

Το συνδυασμένο σύστημα αντιστήριξης χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις μόνιμων κατασκευών. Οι διατομές σχεδιάζονται με σκοπό να παρέχουν τη μέγιστη αντοχή και ανθεκτικότητα. Ο σχεδιασμός μιας διατομής περιλαμβάνει τους συνδέσμους και τις αγκυρώσεις και καταλήγει σε έναν συνεχή τοίχο με μια σειρά από πλειστούς συνδέσμους. Προσοχή πρέπει να δοθεί καθώς ειδικοί σύνδεσμοι χρειάζονται μεταξύ των κοινών ελασμάτων και των πασσάλων τύπου king. Προστασία από διάβρωση χρειάζεται σε περίπτωση μόνιμης κατασκευής. Στο **Σχήμα 3.18** δίνεται τυπική εφαρμογή συνδυασμένου συστήματος αντιστήριξης.



Σχήμα 3.18: Τυπική εφαρμογή συνδυασμένου συστήματος αντιστήριξης.

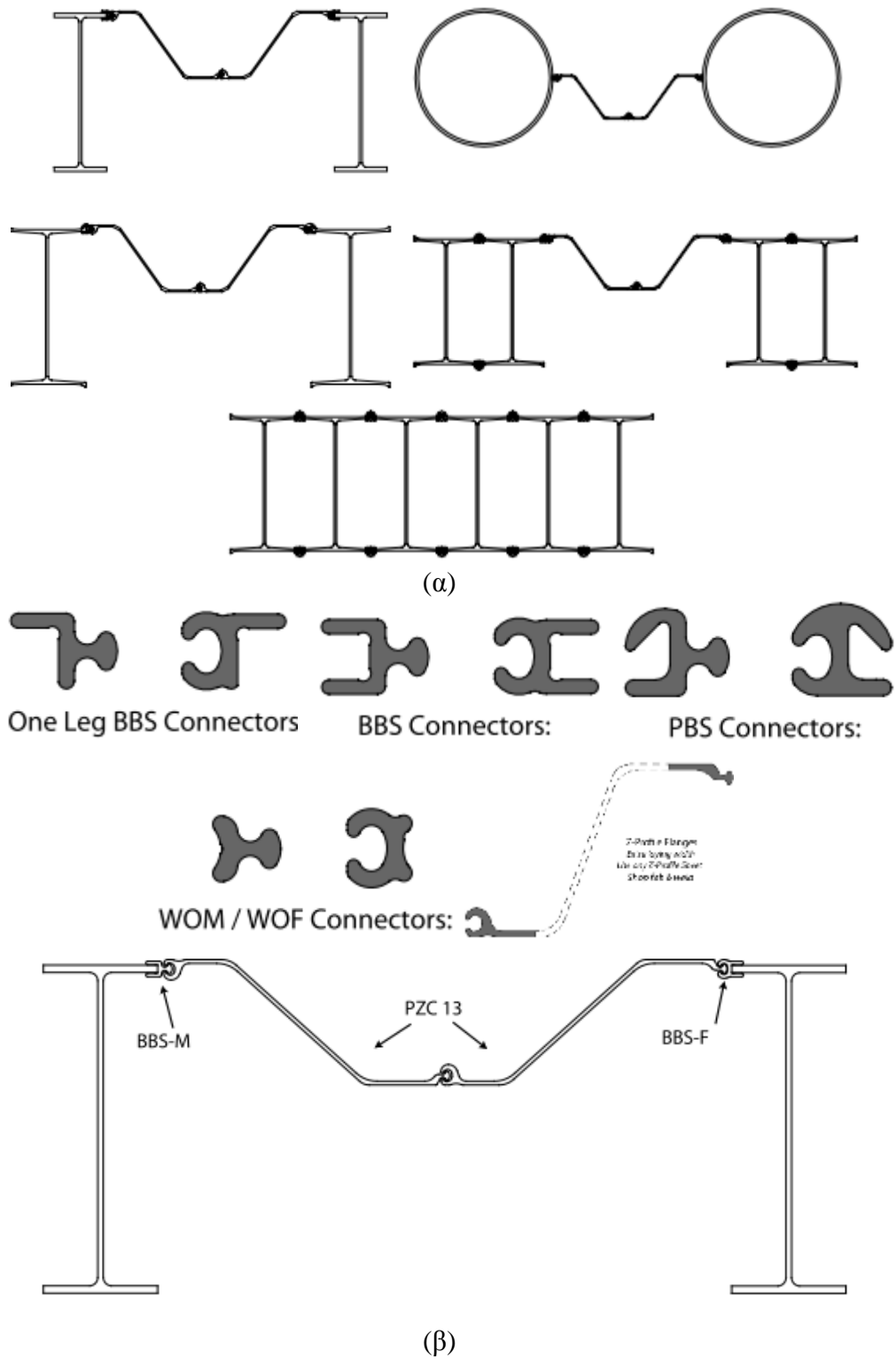
Οι πιο τυπικές διατομές σχηματισμών πασσάλων καθώς και τυπικοί σύνδεσμοι διατομών δίνονται στο **Σχήμα 3.19**.

Τα πλεονεκτήματα της παραπάνω μεθοδολογίας συνοψίζονται στα εξής:

- Αυξημένη δυσκαμψία συστήματος
- Αυξημένη καμπτική αντίσταση συστήματος
- Οι κοινοί πάσσαλοι/ελάσματα μπορούν να τερματιστούν σε μικρότερα βάθη
- Οι πάσσαλοι τύπου king μπορούν να εμπεδωθούν σε μεγαλύτερα βάθη αυξάνοντας την φέρουσα ικανότητα του συστήματος
- Ιδανική μέθοδος για θαλάσσιες εφαρμογές βαρέως τύπου.

Από την άλλη, συγκριτικά με την απλή εφαρμογή πασσάλων/ελασμάτων μειονεκτήματα αποτελούν τα παρακάτω:

- Αυξημένο κόστος
- Πιο περίπλοκη εφαρμογή
- Μεγαλύτερη επιφάνεια επικάλυψης



Σχήμα 3.19: α) Τυπικές διατομές συνδυνασμένων πασσάλων/ελασμάτων και β) τυπικοί ειδικοί σύνδεσμοι διατομών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ (CUT AND COVER)

Η μέθοδος ανοικτού ορύγματος (cut and cover ή cover and cut) είναι μια μεθοδολογία προηγμένης μηχανικής για την κατασκευή σηράγγων σε αστικές και υπεραστικές περιοχές. Ενώ αρχικά χρησιμοποιήθηκε για υπόγειες σήραγγες τα τελευταία χρόνια εφαρμόζεται ευρέως σε αυτοκινητόδρομους για την κατασκευή σηράγγων μικρού μήκους και βάθους.

Με βάση μετρήσεις από συστήματα στράγγισης και υδατοστεγανότητας, η κάλυψη της εκσκαμμένης περιοχής απαιτεί μια κατασκευαστική διαδικασία με καλή ηλεκτρονική παρακολούθηση η οποία να είναι επαρκής σε όρους εξοπλισμού και ποιότητας ελέγχου. Περιβαλλοντικά θέματα όπως φύτευση και σπορά αποτελούν το τελικό στάδιο, το οποίο συνοδεύεται συνήθως από την ανακατασκευή του δευτερεύοντος οδικού δικτύου που οδηγεί στον αυτοκινητόδρομο.

Η μεθοδολογία ανοικτού ορύγματος εφαρμόστηκε με βασικό σκοπό την λιγότερη δυνατή όχληση της κυκλοφορίας των οχημάτων. Επίσης, η εμπειρία των υπάρχουσών εφαρμογών έχει δείξει ότι αποτελεί μια μέθοδο που μπορεί να δώσει λύσεις σε θέματα χαλαρού και ασταθούς υπεδάφους. Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιείται μια ρηχή εκσκαφή η οποία ακολουθείται από την κατασκευή ενός θόλου υπεδάφιας κατασκευής από σκυρόδεμα. Η θολωτή κατασκευή ενεργεί ως αντιστήριξη παρέχοντας πλήρη προστασία στις κύριες εργασίες εκσκαφής οι οποίες πραγματοποιούνται με συμβατικές τεχνικές γεώτρησης και μεταφοράς εδαφικού υλικού.

Οι υπόγειες μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων, είτε με το μηχάνημα TBM είτε με συμβατικά μηχανικά μέσα (NATM), επιλέγονται ιδιαίτερα στις κεντρικές περιοχές των πόλεων, ενώ σε πιο απομακρυσμένες περιοχές προτιμάται η μέθοδος ανοικτής εκσκαφής για την κατασκευή τόσο σηράγγων όσο και σταθμών Μετρό. Χρήση αυτής της μεθόδου γίνεται και σε περιπτώσεις όπου, ακόμα και αν βρισκόμαστε στο κέντρο της πόλης, υπάρχει διαθέσιμος χώρος. Αυτό συμβαίνει διότι η μέθοδος ανοικτής εκσκαφής είναι περισσότερο απλή, ασφαλής και κυρίως ελέγξιμη στην υλοποίηση της.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι για την εφαρμογή της πρέπει:

- α) να απομακρυνθούν όλοι οι αγωγοί κοινής ωφελείας που ευρίσκονται στην περιοχή όπου θα γίνουν οι εκσκαφές,
- β) να προηγηθεί αρχαιολογική έρευνα για εντοπισμό τυχόν αρχαιοτήτων,
- και γ) να γίνουν οι απαιτούμενες παρακάμψεις της κυκλοφορίας. Οι επεμβάσεις αυτές είναι χρονοβόρες, αυξάνουν το κόστος, ενώ συγχρόνως οι αρχαιολογικές έρευνες εμπεριέχουν μεγάλη αβεβαιότητα όσον αφορά τη διάρκεια και το τελικό κόστος τους. Τυπική εφαρμογή της μεθόδου ανοικτού ορύγματος δίνεται στο **Σχήμα 4.1**, όπου οι εργασίες βρίσκονται στο στάδιο της εκσκαφής.



Σχήμα 4.1: Αρχικό στάδιο της μεθόδου ανοικτού ορύγματος όπου έχει γίνει η εκσκαφή και πρόκειται να ξεκινήσει η κατασκευή της σήραγγας.

i. ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η βασική ιδέα της μεθοδολογίας ανοικτού ορύγματος είναι να εκσκαφεί μια τάφος (όρυγμα) ή μια εδαφική τομή. Η παραπάνω εκσκαφή πρέπει να αντιστηριχθεί με ειδική κατασκευή και τελικά να σκυροδετηθεί επί τόπου σήραγγα η οποία στη συνέχεια καλύπτεται με πληρωτικό εδαφικό υλικό.

Η παραπάνω τεχνική περιλαμβάνει σταδιακή εκσκαφή και υποστήριξη του εδάφους με προσωρινούς τοίχους αντιστήριξης και συστήματα αγκύρωσης, έτσι ώστε να υποστηριχθούν τα πρανή της εκσκαφής. Σε περίπτωση υπερβολικά δυσμενών εδαφικών συνθηκών, η ενίσχυση του εδάφους με τεχνικές όπως οι τσιμεντενέσεις μπορεί να χρειάζονται ώστε να εξασφαλισθεί η εδαφική σταθερότητα κατά τη διάρκεια της εκσκαφής. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται συνήθως συστήματα αντιστήριξης πασσάλων/ελασμάτων ή μεμονωμένων πασσάλων (βλέπε Κεφάλαιο 3). Όταν έχει προσεγγιστεί το βάθος θεμελίωσης, αρχίζει η διαδικασία σκυροδέτησης της σήραγγας και ακολουθεί η στεγανοποίησή της και η τοποθέτηση της εδαφικής πλήρωσης.

Σε αστικές περιοχές το κριτήριο της όχλησης της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι καθοριστικό και υποδεικνύει την εφαρμογή της μεθόδου “cover and cut” στις περιπτώσεις κατά τις οποίες συμβατικές μέθοδοι κατασκευής σηράγγων δεν είναι εφαρμόσιμες. Από την άλλη σε αγροτικές περιοχές το κύριο κριτήριο που μπορεί να οδηγήσει στην εφαρμογή τη παραπάνω μεθόδου είναι η πιθανότητα εδαφικών καθιζήσεων. Σε σπάνιες περιπτώσεις όπου υπάρχουν κτίρια, εγκαταστάσεις ή φυσικά εμπόδια στην περιοχή κοντά στην επικείμενη εκσκαφή είναι προτιμότερη η εφαρμογή της μεθόδου ανοικτού ορύγματος κατά την οποία εφαρμόζεται σύστημα αντιστήριξης.

ii. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ CUT AND COVER

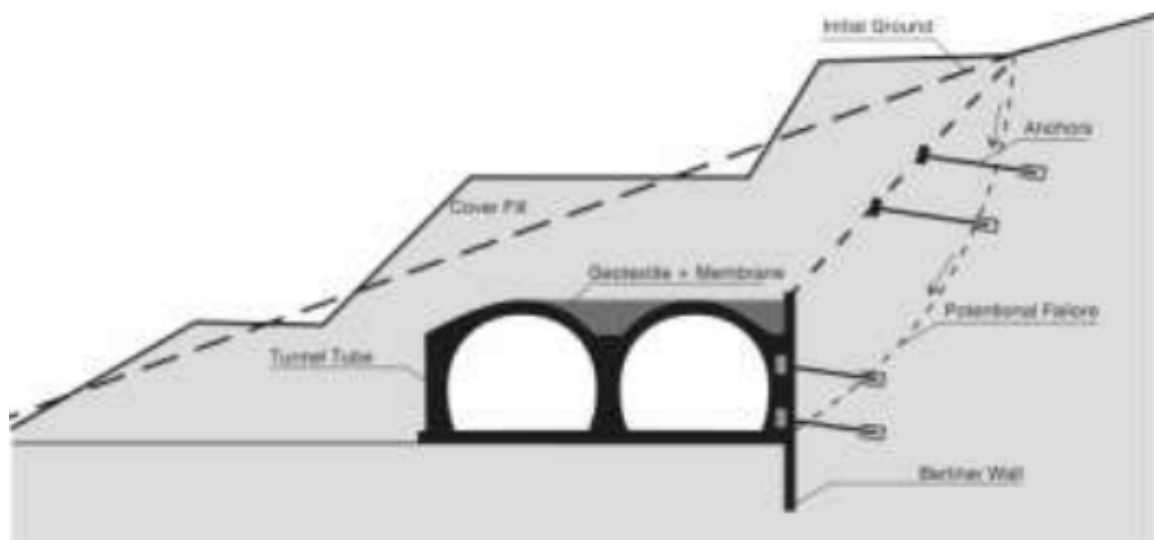
Η διαδικασία του ανοικτού ορύγματος είναι μια εύκολη μεθοδολογία που εφαρμόζεται ευρέως και οι βασικές προδιαγραφές είναι να κυριαρχεί η ύπαρξη μαλακού υπεδάφους ή/και μικρό βάθος εκσκαφής.

Το αρχικό στάδιο της μεθόδου περιλαμβάνει την εφαρμογή τεχνικών μέσων ταυτόσημων με τις τυπικές διαδικασίες εκσκαφής. Στη συνέχεια γίνεται κατασκευή ενός ή δύο σηράγγων υπό συμβατικές συνθήκες κατασκευής αντίστοιχων έργων. Εφόσον έχει τελειώσει η διαδικασία της σκυροδέτησης και της ωρίμανσης του σκυροδέματος ώστε να αναπτύξει τις επιθυμητές αντοχές, πραγματοποιείται η στεγανοποίηση και η κατασκευή του συστήματος στράγγισης των υδάτων. Τέλος, γίνεται η προσθήκη του εδαφικού πληρώματος όπου πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη συμπύκνωση του εδάφους κυρίως των κατώτερων στρωμάτων. Εφόσον ολοκληρωθεί η όλη διαδικασία με την

εμφύτευση πρασίνου ή ακόμα και δέντρων, έχουμε να κάνουμε με μια φιλική προς το περιβάλλον επέμβαση.

Σε αγροτικές περιοχές η μέθοδος ανοικτού ορύγματος γίνεται με άνοιγμα του ορύγματος δίνοντας ειδική προσοχή όταν η τοπογραφία της περιοχής εμποδίζει την κατασκευή των πρανών με την απαραίτητη κλίση. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να γίνουν επιπρόσθετες μετρήσεις ώστε να μειωθεί το εμβαδό της περιοχής εργασίας. Σε περιπτώσεις δυσμενών εδαφικών συνθηκών εφαρμόζεται ενίσχυση του εδάφους με αγκυρώσεις, προένταση και αντιστήριξη κατά τη διάρκεια της εκσκαφής.

Στο **Σχήμα 4.2** παρουσιάζεται η τελική μορφή της κατασκευής σήραγγας με τη μέθοδο του ανοικτού ορύγματος αλλά διαφαίνονται και τα υπόλοιπα στάδια πριν την κατασκευή της σήραγγας, όπως η εκσκαφή, η αντιστήριξη τύπου Berliner wall και οι αγκυρώσεις (οι οποίες τελικά παρέμειναν μόνιμα στη συγκεκριμένη περίπτωση).



Σχήμα 4.2: Σχηματική απεικόνιση της τελικής μορφής δίδυμης σήραγγας κατασκευασμένη με τη συμβατική μέθοδο ανοικτού ορύγματος – cut and cover. Απεικονίζονται επίσης και τα αρχικά στάδια της μεθόδου όπως οι εδαφικές τομές κατά την εκσκαφή, οι αγκυρώσεις και η αντιστήριξη τύπου Berliner wall.

Στην περίπτωση εγκάρσιας αντιστήριξης σε κατακόρυφη εκσκαφή συνήθως τοποθετείται ένα σύστημα αντιστήριξης το οποίο αποτελείται από πασσάλους/ελάσματα σε συνδυασμό με σύστημα πασσάλων τύπου soldier (Berliner wall). Επίσης, απαιτούνται υπεδάφειες μετρήσεις στραγγίσεων ώστε να εξασφαλιστεί η σταθερότητα της κλίσης του προσωρινού πρανούς μετά την εκσκαφή. Το υλικό που έχει εκσκαφεί συνήθως χρησιμοποιείται ως πληρωτικό υλικό ωστόσο περιορισμένη ποσότητα χαλικιού μπορεί να προστεθεί εφόσον αυτό κριθεί απαραίτητο. Η κάλυψη της σήραγγας με το εδαφικό υλικό δεν πρέπει να θεωρείται μόνο σαν μια διαδικασία περιβαλλοντικής αποκατάστασης αλλά και σαν μια ενέργεια που παρέχει ισοζύγιο ωθήσεων στην υπεδάφια περιοχή γύρω από τη σήραγγα.

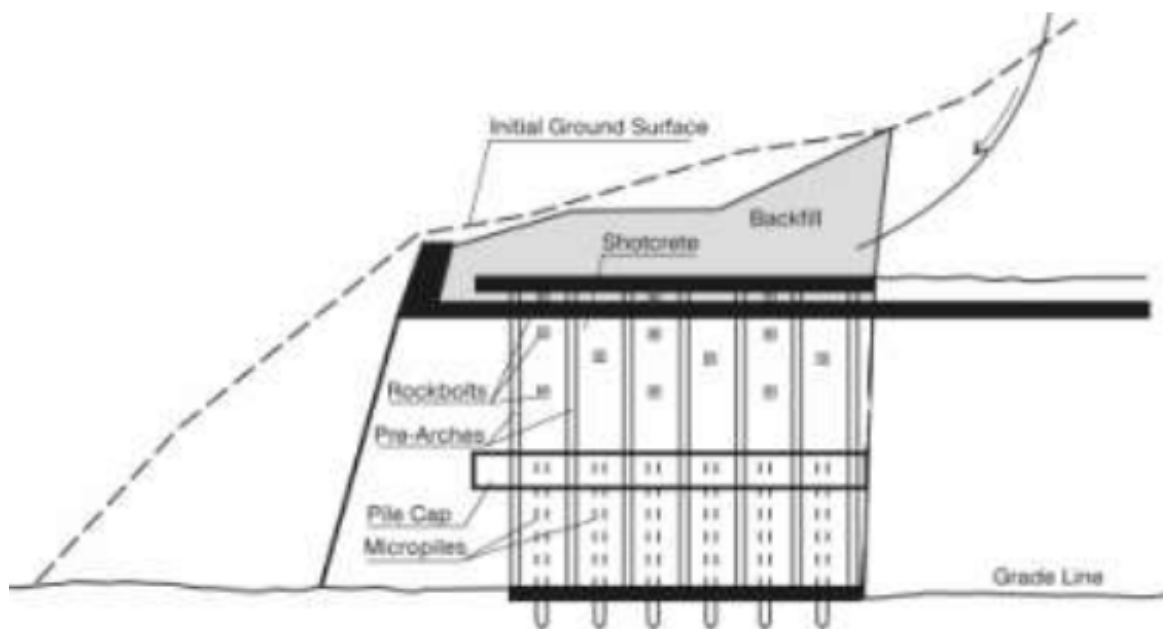
Μια συγκεκριμένη εφαρμογή του ανοικτού ορύγματος συναντάται στην περίπτωση των εισόδων σε τούνελ όπου τα συμβατικά συστήματα αντιστήριξης δεν επαρκούν ώστε να αντιμετωπιστούν μικρής κλίμακας, σαφώς ορισμένα προβλήματα αστάθειας. Ο σκοπός από γεωτεχνικής άποψης είναι να παραχθεί σταθερότητα του εδάφους κατά την κατασκευή. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- Διατήρηση του περιβάλλοντος χώρου
- Μειωμένη προσπάθεια για την κατασκευή της σήραγγας
- Εξασφάλιση ασφαλών γεωτεχνικών συνθηκών

Η μέθοδος ανοικτού ορύγματος θεωρείται εφικτή και προνομιούχα σε περίπτωση:

- Εκσκαφή σε χαλαρές εδαφικές διαμορφώσεις με μικρό υπερκείμενο βάρος, όπου μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα αστάθειας πάνω από τα ανοίγματα
- Περιορισμένη ολίσθηση τύπου σφήνας (wedge sliding) ή πτώση βράχων πάνω από τις εισόδους της σήραγγας αναμένονται ανεξάρτητα από την ποιότητα των βράχων
- Εγκάρσιες ολισθήσεις λόγω ανεπιθύμητων προσανατολισμών των εδαφικών στρωμάτων ή των ασυνεχειών ή/και λόγω χαλαρού εδάφους είναι πιθανές.

Το πρόβλημα της κατασκευής μιας πύλης εισόδου σήραγγας είναι ένα έργο με δύο συνιστώσες. Η προσωρινά στηριζόμενη εδαφική τομή (cut) κατασκευάζεται πριν από τις υπεδάφειες εκσκαφές, ενώ η μόνιμη κατασκευή κατασκευάζεται παράλληλα με την τελική εσωτερική επένδυση – μόνωση της σήραγγας. Η προσωρινή τομή αποτελείται από μια εκσκαφή η οποία συγκρατείται από μια σειρά χαλύβδινων δοκών (pre-arched section) οι οποίες συνήθως θεμελιώνονται σε θεμελίωση οπλισμένου σκυροδέματος η οποία μπορεί επίσης να ενεργεί ως κάλυμμα των πασσάλων εφόσον χρειάζεται μια σειρά πασσάλων (βλ. **Σχήμα 4.3**). Το μήκος αυτής της συστοιχίας δοκών εξαρτάται από τις εδαφικές συνθήκες και το μέγεθος των προσδοκόμενων ασταθειών. Η παραπάνω διάταξη κατασκευάζεται συνήθως με χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος και μερικές φορές ακινητοποιείται καλύπτοντας την μερικώς ώστε να μεγιστοποιηθεί η σταθερότητα του εδάφους. Το τελικό κέλυφος του ανοικτού ορύγματος είναι μια επέκταση της τελικής κατεύθυνσης της σήραγγας και συνήθως επεκτείνεται πιο μακριά από τη συστοιχία των δοκών. Σε περίπτωση μικρότερης αστάθειας το μήκος του τμήματος του ανοικτού ορύγματος κυμαίνεται μεταξύ 12 και 20 μέτρων.



Σχήμα 4.3: Αξιοποίηση της συμβατικής μεθόδου ανοικτού ορύγματος για την ασφαλή έναρξη των εργασιών υπόγειας εκσκαφής σχετικά μεγάλου βάθους.

iii. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ – COVER AND CUT

Το βασικό πεδίο εφαρμογών της εναλλακτικής μεθόδου ανοικτού ορύγματος (cover and cut) σχετίζεται με υπόγειες κατασκευές σε αστικές περιοχές με έντονο κυκλοφοριακό φόρτο. Αν και φαίνεται ότι τελευταία υπερέχει η μέθοδος της άμεσης υπόγειας γεώτρησης (direct subsurface drilling – TBM) σε εφαρμογές υπόγειων ή ημιυπογείων κατασκευών, σε ορισμένες περιπτώσεις, ειδικά για έργα όπου απαιτείται εκσκαφή μικρού βάθους, η μέθοδος cover and cut μπορεί να αποδειχτεί περισσότερο αποτελεσματική.

Από την άλλη, σε έργα αυτοκινητόδρομων, και συγκεκριμένα σε κατασκευή σηράγγων σε αυτούς, η εναλλακτική μέθοδος ανοικτού ορύγματος είναι πολύ αποτελεσματική όταν υπάρχει αστάθεια του εδάφους στις εισόδους/εξόδους της σήραγγας. Συνήθως, οι εισοδοί των σηράγγων κατασκευάζονται σε αποσαθρωμένα και θραυσμένα βραχώδη εδάφη για τα οποία απαιτείται να ληφθούν ειδικά μέτρα στήριξης και ασφάλειας.

Σε αυτές τις περιπτώσεις, μια εκτενής εκσκαφή χωρίς αντιστήριξη (non retained – χωρίς μέτρα αντιστήριξης κατά τη διάρκεια της εκσκαφής) μπορεί να ενεργοποιήσει αστάθεια του εδάφους και να αποδειχθεί μη εφαρμόσιμη (Σχήμα 4.4). Η πιο ευρέως διαδεδομένη συμβατική τεχνική του ανοικτού ορύγματος (cut and cover) μπορεί να εφαρμοστεί σε εισόδους σηράγγων σε έργα στα οποία τα προβλήματα εδαφικής αστάθειας είναι περιορισμένα και πολύ καλά ορισμένα. Αυτή η τεχνική για εισόδους σηράγγων είναι ελαφρώς διαφορετική από την μέθοδο εκσκαφής χωρίς αντιστήριξη καθώς λόγω των πιο εκτεταμένων εκσκαπτικών εργασιών, μπορεί να είναι απαραίτητα συστήματα εγκάρσιας αντιστήριξης ενώ προβλέπεται πάντα η εδαφική πλήρωση στο πίσω μέρος των εισόδων.

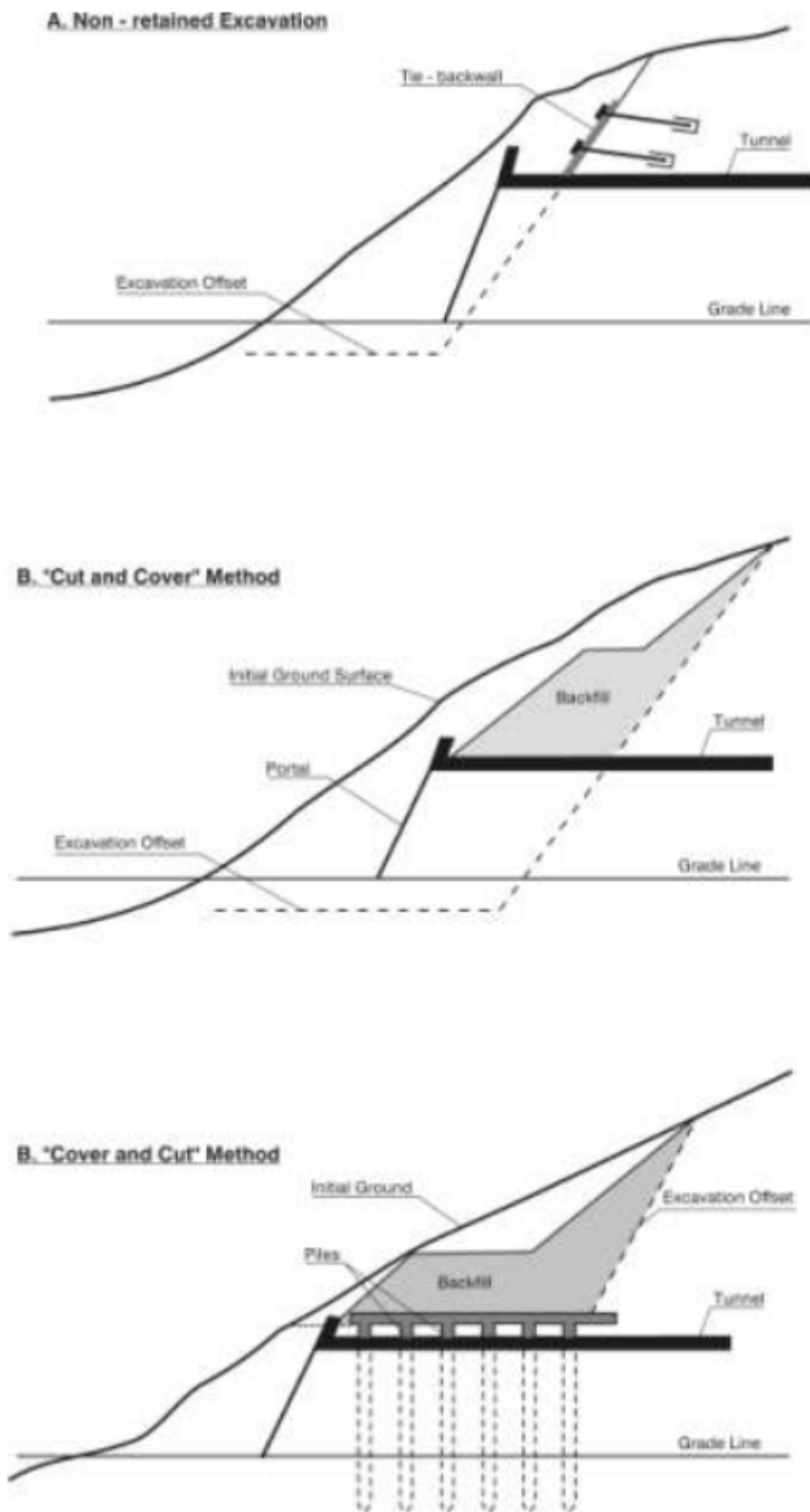
Όταν το ρίσκο των κατολισθήσεων, των πτώσεων βράχων ή και καθιζήσεων είναι πολύ σημαντικό η συμβατική μέθοδος ανοικτού ορύγματος δεν είναι κατάλληλη για την εφαρμογή. Η ζώνη εκσκαφής πρέπει να μειωθεί στο ελάχιστο δυνατό και πρέπει να είναι πλήρως στηριζόμενη έτσι ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες αναχωματικές εργασίες.

Αυτές οι απαιτήσεις πληρούνται εφαρμόζοντας την εναλλακτική μέθοδο ανοικτού ορύγματος η οποία παρέχει ένα κέλυφος οπλισμένου σκυροδέματος πλήρους αντιστήριξης σε κάθε σήραγγα προτού πραγματοποιηθούν οι εκσκαφές. Αυτό το προστατευτικό κέλυφος αποτελείται από πασσάλους σκυροδετημένους επί τόπου ή τοποθετημένους σε οπές οι οποίοι στηρίζουν μια οριζόντια πλάκα με μικρή κλίση. Η εν λόγω πλάκα σκυροδετείται στη συνέχεια στη επιφάνεια του εδάφους και ενώνεται στις πασσάλους με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθεί ο προστατευτικός θόλος. Η εκσκαφή κάτω από αυτή την προστατευτική κατασκευή είναι όμοια με την εκσκαφή εντός μιας σωστά διαμορφωμένης σήραγγας και είναι απόλυτα ασφαλής.

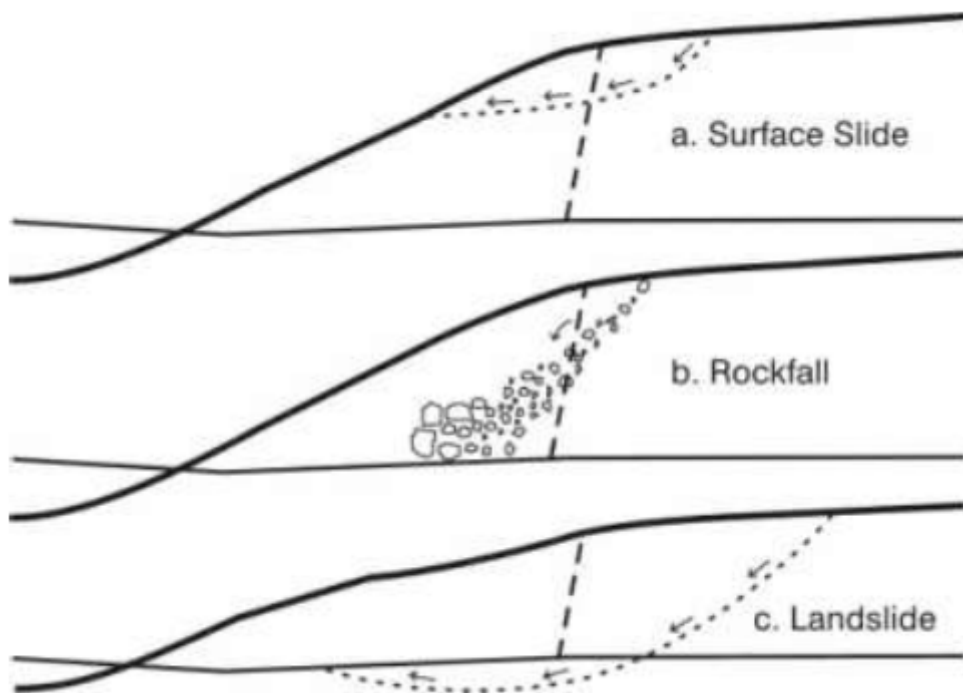
Η εναλλακτική μέθοδος ανοικτού ορύγματος cover and cut προτιμάται από τις μεθόδους για την κατασκευή εισόδων σηράγγων στις περιπτώσεις όπου:

- Υπάρχει σοβαρός κίνδυνος για πτώση βράχων ή η πιθανότητα κατολίσθησης σε κατεύθυνση κάθετη με τη διεύθυνση του δρόμου είναι μεγάλη (**Σχήμα 4.5**)
- Η διακινδύνευση βαθείας εδαφικής ολίσθησης στην εγκάρσια διεύθυνση (κάθετα στη διεύθυνση του δρόμου) είναι σημαντική
- Η διακινδύνευση βαθείας εδαφικής ολίσθησης λόγω εκτεταμένων εκσκαφών στην εγκάρσια διεύθυνση είναι σημαντική
- Εκτεταμένες ανοικτές εκσκαφές εμποδίζονται από υπάρχοντες εγκαταστάσεις/κτίρια ή απαγορεύονται λόγω περιβαλλοντικών περιορισμών

Στο **Σχήμα 4.4** παρουσιάζονται και συγκρίνονται οι δύο μέθοδοι ανοικτού ορύγματος καθώς και η συμβατική μη αντιστηριζόμενη μέθοδος στην περίπτωση των εισόδων σήραγγας. Από την άλλη στο **Σχήμα 4.5** απεικονίζονται όλοι οι πιθανοί τρόποι αστοχίας κατά την κατασκευή εισόδων σηράγγων.



Σχήμα 4.4: Σύγκριση μεθόδων για την κατασκευή εισόδων σηράγγων. Οι συγκρινόμενες μέθοδοι είναι οι δύο μέθοδοι ανοικτού ορύγματος και η μέθοδος μη αντιστηριζόμενης κατασκευής.



Σχήμα 4.5: Σχηματική απεικόνιση πιθανών τρόπων εδαφικής αστοχίας κατά την κατασκευή εισόδων σήραγγας.

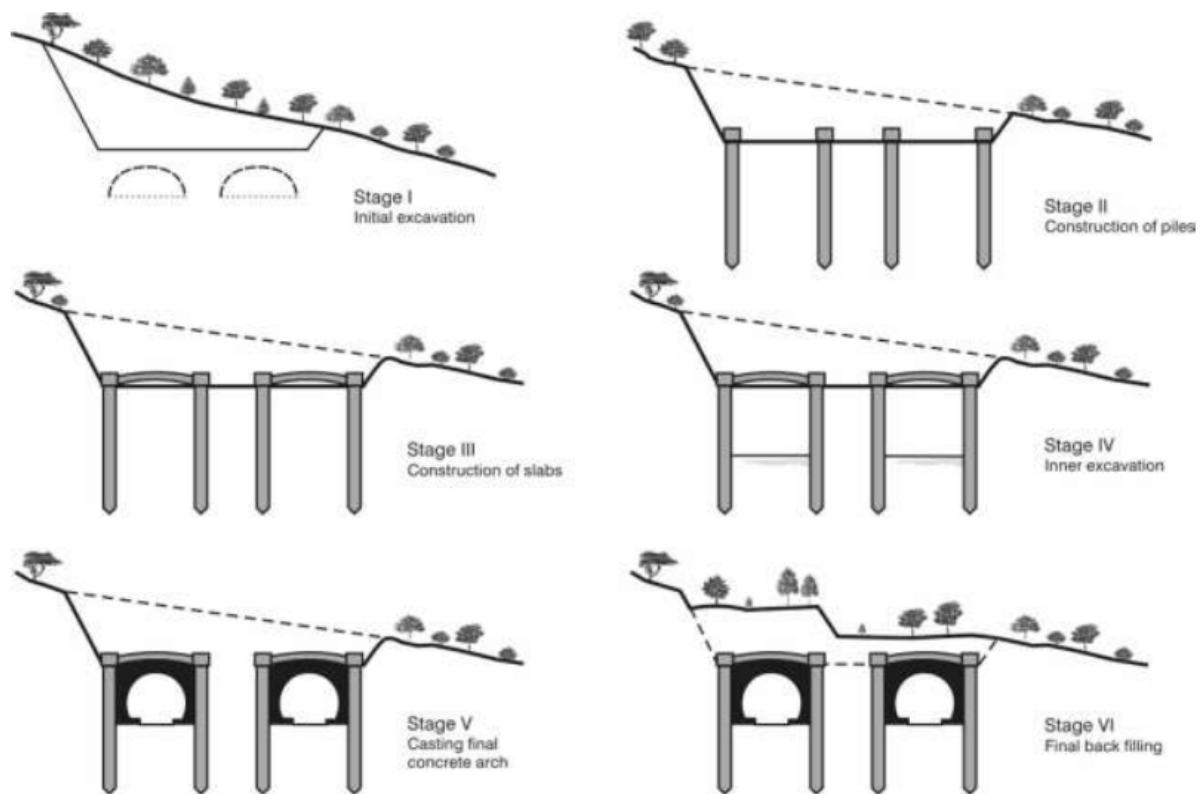
Η θεμελιώδης ιδέα της μεθόδου αποτελεί ένα συνδυασμό του να ελαχιστοποιηθεί η έκταση του μη στηριζόμενου εδαφικού ανοίγματος και να παραχθεί πλήρης κάλυψη στο υποκείμενο άνοιγμα της σήραγγας. Το πρώτο στάδιο της ανοικτής εκσκαφής με κατεύθυνση προς τα κάτω τελειώνει σε ένα επίπεδο πολύ πιο ψηλά από το αντίστοιχο προβλεπόμενο για μη στηριζόμενη εκσκαφή (Σχήμα 4.6) έτσι ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος εδαφικής αστάθειας. Στη διαμήκη διεύθυνση, η μέθοδος εφαρμόζεται σε όλο το μήκος κατά το οποίο υπάρχουν οι ασταθείς εδαφικοί σχηματισμοί ή οι συνθήκες αστάθειας.

Η διαδικασία κατασκευής αποτελείται από έξι διακριτά στάδια, συμπεριλαμβανομένων των εκσκαπτικών εργασιών, των απαραίτητων οπών, την κατασκευή των πασσάλων και την επιχωμάτωση, όπως φαίνονται στο Σχήμα 4.6:

- Στάδιο 1^ο: Πραγματοποιείται η προκαταρκτική εκσκαφή και ο διαχωρισμός του εκσκαπόμενου εδαφικού υλικού. Το επίπεδο του εδάφους προσαρμόζεται έτσι ώστε να παρέχει πρόσβαση και μετακίνηση των μηχανημάτων για την προώθηση των πασσάλων και την κατασκευή της πλάκας σκυροδέματος. Σε αρκετές περιπτώσεις, τοπική επίχωση μπορεί να χρειαστεί έτσι ώστε να παρέχεται μια ομοιόμορφη οριζόντια επιφάνεια εδάφους. Οι κεφαλές των πασσάλων πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο έτσι ώστε να δεθούν μεταξύ τους με μια οριζόντια συμπαγή δοκό.

- Στάδιο 2^ο: Γίνεται σκυροδέτηση και τοποθέτηση μια σειράς πασσάλων σε κάθε πλευρά της διατομής της σήραγγας. Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών πασσάλων είναι συνήθως ίση με δύο φορές τη διάμετρο του πασσάλου.
- Στάδιο 3^ο: Σε αυτό το στάδιο κατασκευάζονται και τοποθετούνται τόσο ο κεφαλόδεσμος που ενώνει τις δοκούς μεταξύ τους όσο και η πλάκα επιστέγασης αυτών.
- Στάδιο 4^ο: Στη συνέχεια πραγματοποιείται η υπόγεια εκσκαφή η οποία πλέον είναι απόλυτα προστατευμένη από την κελυφωτή κατασκευή αποτελούμενη από τις δοκούς και την πλάκα. Συνήθως σε αυτό το σημείο των εργασιών η επιφάνεια του εδάφους μεταξύ των πασσάλων ενισχύεται με (ινοπλισμένο) εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
- Στάδιο 5^ο: Κατασκευάζεται η εσωτερική προστατευτική επένδυση της σήραγγας.
- Στάδιο 6^ο: Τέλος γίνονται οι διεργασίες εδαφικής πλήρωσης με σκοπό όχι μόνο την περιβαλλοντική αποκατάσταση αλλά και την ενδεχόμενη αποκατάσταση του οδικού δικτύου.

Συμπερασματικά, η μέθοδος cover and cut εφαρμόζεται σε κατασκευαστικά έργα αυτοκινητοδρόμων για την κατασκευή των εσωτερικών των σηράγγων ή των εισόδων τους αντικαθιστώντας την συμβατική μέθοδο ανοικτού ορύγματος όταν η εδαφική αποσάθρωση είναι εκτεταμένη και η αστάθεια που την συνοδεύει μεγάλη. Συγκριτικά, η μέθοδος αυτή παρέχει την δυνατότητα να πραγματοποιηθεί εκσκαφή κάτω από δυσμενείς συνθήκες και να προσεγγιστεί εύκολα το συμπαγές εδαφικό βραχώδες υπόστρωμα ακόμη και αν βρίσκεται σε πολύ μεγάλα βάθη.



Σχήμα 4.6: Αναπαράσταση των σταδίων κατασκευής σήραγγας με την εναλλακτική μέθοδο ανοικτού ορύγματος.

iv. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Διαδικασία σχεδιασμού συμβατικής μεθόδου ανοικτού ορύγματος

Όπως συμβαίνει με κάθε μέθοδο κατασκευής σήραγγας, έτσι και με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος, μια σειρά αναλύσεων είναι απαραίτητη με σκοπό να εξασφαλιστεί η ασφαλής κατασκευή και η λειτουργικότητά της. Αυτές οι μελέτες περιλαμβάνουν προβλέψεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων, γεωτεχνική μελέτη, σχεδιασμό της εκσκαφής και της αντιστήριξης, στατική και κατασκευαστική μελέτη, σχεδιασμός της τελικής κατεύθυνσης της σήραγγας, ηλεκτρολογικομηχανική μελέτη κ.α.

Η γεωτεχνική μελέτη είναι εξαιρετικά σημαντική καθώς εκτιμά το θεμελιώδες δεδομένο που εισάγεται στους στατικούς υπολογισμούς της σήραγγας. Με βάση αποτελέσματα δοκιμών που διεξάγονται επί τόπου αλλά και στο εργαστήριο, προσδιορίζονται οι παράμετροι μάζας του εδάφους, συγκεκριμένα το φαινόμενο βάρος, η θέση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, η γωνία τριβής του εδάφους, η συνεκτικότητα και τα κατακόρυφα φορτία στο επίπεδο της θεμελίωσης.

Επιπλέον, η έρευνα εισάγει και θέματα σταθερότητας κλίσης εδάφους και αντιστήριξης εδάφους, καθώς η μέθοδος ανοικτού ορύγματος είναι κατ' ουσία ένα πρόβλημα μηχανικού ανοικτής εκσκαφής. Έτσι, η σταθερότητα του εδάφους ελέγχεται έναντι πιθανές αστοχίες (ολισθήσεις πρανών, κυκλικές ολισθήσεις, αποκόλληση σφήνας) και οι απαραίτητες μετρήσεις στήριξης σχεδιάζονται με σκοπό να ικανοποιούνται τα δύο κριτήρια της ευστάθειας μιας ανοικτής εκσκαφής, δηλαδή έναν επαρκή συντελεστή ασφαλείας και περιορισμένες παραμορφώσεις ερπυσμού. Το κύριο προμήνυμα της εδαφικής χαλάρωσης και της εγκάρσιας απότομης ολίσθησης των πλευρών της εκσκαφής είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ της εκσκαφής και της εφαρμογής των μέτρων αντιστήριξης. Η εγκάρσια αστοχία θα μπορούσε να προκαλέσει εδαφικές μετακινήσεις γύρω από την εκσκαφή αυξάνοντας τελικά την πιθανότητα της ολίσθησης. Πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι στην περίπτωση της εφαρμογής της μεθόδου ανοικτού ορύγματος με προσωρινές εκσκαφές και πρανή, οι προτεινόμενες μετρήσεις στοχεύουν στην παροχή ενός αποδεκτού συντελεστή ασφαλείας για βραχυπρόθεσμη ευστάθεια, θεωρώντας, ωστόσο, τις δυσμενέστερες εδαφικές ιδιότητες/συνθήκες.

Η στατική ανάλυση της σήραγγας λαμβάνει υπ' όψιν διάφορα μόνιμα φορτία όπως το ίδιο βάρος του σκυροδέματος, του οδοστρώματος, το φαινόμενο βάρος του εδάφους, τις τάσεις λόγω ερπυσμού, τις τάσεις λόγω συστολής ξήρανσης, τις υδροστατικές πιέσεις, πρόσθετα βάρη, όπως θερμοκρασιακές μεταβολές και ειδικά δυναμικά φορτία όπως εκρήξεις και σεισμούς.

Τα κυριότερα φορτία τα οποία δέχεται η σήραγγα είναι το βάρος του υπερκείμενου εδάφους (γxh) και οι πλευρικές πιέσεις του εδάφους ($K_0 \gamma xh$) όπου γ είναι το φαινόμενο βάρος του εδάφους, h είναι το ύψος της στήλης εδάφους σχεδιασμού και K_0 είναι ο συντελεστής των εγκάρσιων εδαφικών πιέσεων στην ηρεμία. Η εγκάρσια εδαφική πίεση συνήθως προσεγγίζεται με περιβάλλουσα τραπεζοειδούς κατανομής με αυξανόμενες τιμές από την κορυφή προς τα κάτω. Αυτή η κατανομή, ωστόσο, θα πρέπει να θεωρηθεί σαν μια φαινόμενη περιβάλλουσα καθώς η κατανομή της πραγματικής πίεσης είναι συνάρτηση της μορφολογίας της κατασκευαστικής διάταξης και της σχετικής δυσκαμψίας των καμπύλων και κατακόρυφων τμημάτων της κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος. Η εντατική κατάσταση του κυρίως μέρους της σήραγγας εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του εδαφικού υλικού (ομοιογένεια, μέγεθος κόκκου, ύπαρξη ή όχι ύδατος) και από τις μηχανικές ιδιότητες του χρησιμοποιούμενου σκυροδέματος.

Ο υπολογισμός των τάσεων στην κατασκευή γίνεται με τη βοήθεια ειδικών μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων επιτρέποντας την πλήρη προσομοίωση των φορτίων κατά το στάδιο της λειτουργικότητας. Η κατασκευή της σήραγγας αναπαριστάται από ένα πλαίσιο με τρία υποστυλώματα το οποίο είναι

θεμελιωμένο σε ελαστικό έδαφος. Η μοντελοποίηση της διεπιφάνειας με το έδαφος (το οποίο υπόκειται σε ελαστικές παραμορφώσεις υπό το φορτίο του πληρωτικού εδαφικού υλικού) γίνεται σε καλή προσέγγιση από έναν πεπερασμένο αριθμό ελατηρίων καθώς δεν αναμένεται καμία επιπρόσθετη εδαφική μετακίνηση ή υπεδάφια αστοχία. Το πληρωτικό εδαφικό υλικό προσομοιώνεται με συμβατικά τριγωνικά ή τετραγωνικά πεπερασμένα στοιχεία. Συνήθως, θεωρείται επίπεδη εντατική κατάσταση η οποία προκύπτει από ολοκλήρωση κατά μήκος του πάχους του στοιχείου.

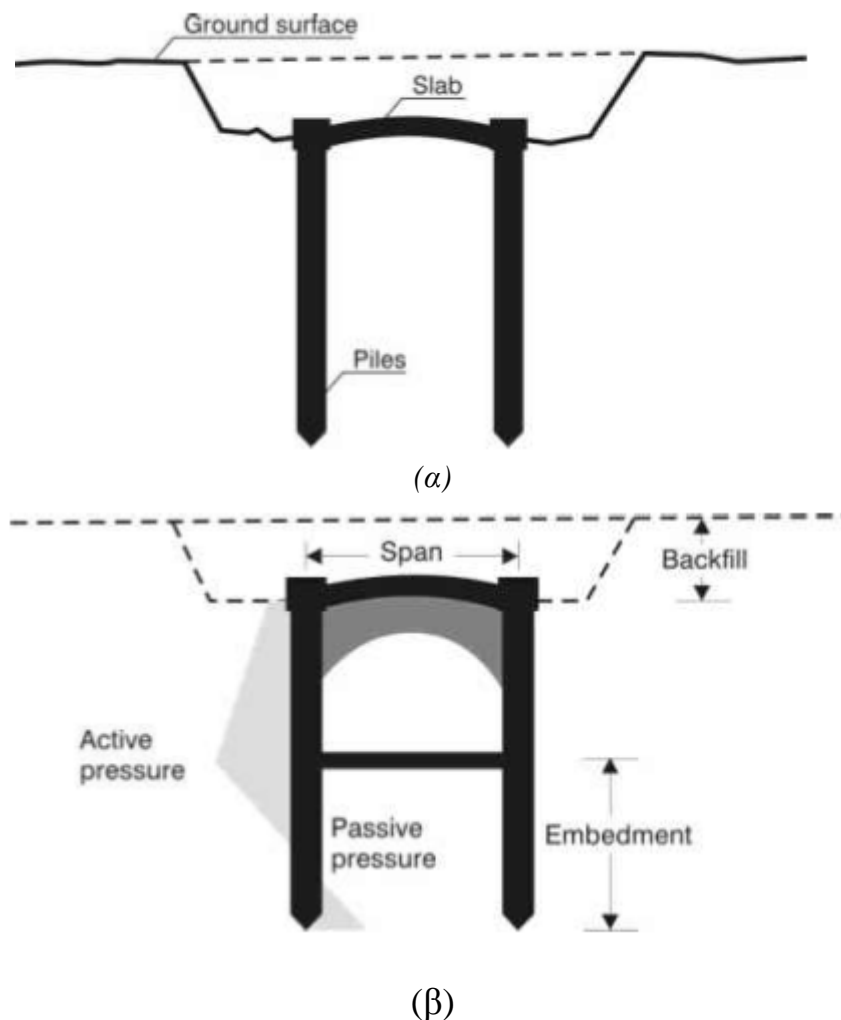
Χαρακτηριστικά σχεδιασμού εναλλακτικής μεθόδου ανοικτού ορύγματος (cover and cut)

Με σκοπό να απλοποιηθούν οι αναλυτικοί υπολογισμοί θεωρούνται δύο διακριτά στάδια της εναλλακτικής μεθόδου ανοικτού ορύγματος: το κατασκευαστικό (Α) και το στάδιο της τελικής φόρτισης (Β). Στο στάδιο Α, κατασκευάζονται (ή σκυροδετούνται) και τοποθετούνται οι πάσσαλοι και στη συνέχεια τοποθετείται η πλάκα σκυροδέματος στην προετοιμασμένη επιφάνεια του εδάφους. Σε αυτή τη φάση της κατασκευής ασκείται αμελητέο φορτίο στους πασσάλους και στην πλάκα (**Σχήμα 4.7α**). Η αφαίρεση του εδαφικού υλικού κάτω από τη προστατευτική κατασκευή – κέλυφος πραγματοποιείται με συμβατικές μεθόδους εκσκαφής ενώ στη συνέχεια γίνεται η κατασκευή της σήραγγας, με το σύνολο της διαδικασίας να αποτελεί το στάδιο Β.

Η σταθερότητα των πασσάλων, το σημείο ανατροπής και μήκος έμπηξης τους παρέχονται μέσα από μια συμβατική ανάλυση κατανομής ενεργητικών και παθητικών τάσεων κατά μήκος των πασσάλων όπως απεικονίζεται στο **Σχήμα 4.7β**. Οι πιέσεις του εδάφους στους πασσάλους προσδιορίζονται με βάση τα χαρακτηριστικά της διατμητικής δύναμης του περιβάλλοντος εδάφους και των βράχων. Αυτή η εντατική κατάσταση, η οποία αντιστοιχεί στο στάδιο Β, είναι η κυρίαρχη για το σχεδιασμό της κατασκευής «πασσάλων-κεφαλόδεσμου-πλάκας». Για τους σκοπούς του σχεδιασμού των πασσάλων, οι ωθήσεις του εδάφους σε ηρεμία θεωρούνται ότι ασκούνται κατά μήκος της εξωτερικής πλευράς της κάθε σειράς των πασσάλων, αντί για ενεργητικές ωθήσεις, προς τη μεριά της ασφάλειας κατά τη διάρκεια των αριθμητικών υπολογισμών.

Συνήθως στην ανάλυση για την εύρεση του απαιτούμενου μήκους έμπηξης των πασσάλων χρησιμοποιείται ένας συντελεστής ασφαλείας της τάξεως του 1.3-1.5. Οι ισχύοντες συντελεστές ασφαλείας (τιμή 1.5 για στατικά φορτία και τιμή 1.2 για σεισμικά φορτία) κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του σχεδιασμού ολοκληρώνονται σε όρους επιτρεπτών τάσεων.

Συχνά, η χαμηλή διατμητική αντοχή είναι αναμενόμενη κατά μήκος της επιφάνειας γύρω από τις εισόδους της σήραγγας, γεγονός που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν επαλήθευση των αποτελεσμάτων κατά την ανάλυση της μεθόδου cover and cut. Η αριθμητική ανάλυση κατά το στάδιο Β πραγματοποιείται με επαρκές λογισμικό πρόγραμμα τόσο για στατικά όσο και για δυναμικά φορτία. Στην περίπτωση διδύμων σήραγγων (μία για κάθε ρεύμα κυκλοφορίας) το μήκος έμπηξης κυμαίνεται μεταξύ $1/3$ και $1/2$ του συνολικού μήκους του πασσάλου, και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της βραχώδους μάζας. Κατά την ίδια περίπτωση, οι πλάκες σκυροδέματος συνήθως έχουν άνοιγμα της τάξεως των 11.5 με 13.0 μέτρων.



Σχήμα 4.7: Σχηματική απεικόνιση των δύο σταδίων διαφορετικής εντατικής κατάστασης όπως αυτά διαχωρίζονται κατά το σχεδιασμό. α) στάδιο μηδενικής τάσης και β) κατασκευή υπό πλήρη φόρτιση σχεδιασμού (απεικονίζονται και οι ενεργητικές και παθητικές τάσεις στους πασσάλους).

ν. ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η συμβατική και η εναλλακτική μέθοδοι ανοικτού ορύγματος είναι μέθοδοι κατασκευής σήραγγων οι οποίες εφαρμόζονται σε αυτοκινητόδρομους αστικών και υπεραστικών περιοχών. Στην πραγματικότητα αυτές οι κατασκευαστικές μέθοδοι είναι τεχνικές μεταξύ της επιλογής διάνοιξης σήραγγας, που εφαρμόζεται σε περιπτώσεις μεγάλου βάθους, και της κατασκευής με εκσκαφή ανοίγματος.

Είναι γνωστό ότι η επιλογή της διάνοιξης σήραγγας είναι ιδιαίτερα κοστοβόρα επιλογή και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου έχουμε μεγάλο ύψος υπερκείμενου εδάφους και ευαίσθητο περιβάλλον. Από την άλλη, μια παραδοσιακή εφαρμογή με εκσκαφή είναι μια τεχνική χαμηλού κόστους και η οποία επηρεάζει σημαντικά το περιβάλλον. Οι δύο μέθοδοι ανοικτού ορύγματος ενδείκνυνται για εφαρμογές στην περίπτωση του υπεδάφους μέσου ύψους και αρκετά ευαίσθητο περιβάλλον. Οι γενικές συνθήκες εφαρμογής για κάθε τεχνική συνοψίζονται στον **Πίνακα 4.1**.

Η μέθοδος ανοικτού ορύγματος προτιμάται από την παραδοσιακή μέθοδο κατασκευής σήραγγας με εκσκαφή για λόγους περιβαλλοντικής προστασίας και γεωτεχνικής σταθερότητας. Η αποκατάσταση των υπαρχόντων δευτερευόντων οδικών δικτύων που συνδέονται με τον αυτοκινητόδρομο μπορεί να είναι επίσης μια αιτία για να εφαρμοστεί η τεχνική παρά το κόστος της κατασκευής της σήραγγας.

Αναφορικά με την περιβαλλοντική επίδραση οι δύο μέθοδοι ανοικτού ορύγματος βρίσκονται πάλι μεταξύ των παραδοσιακών μεθόδων εκσκαφής και μη για την κατασκευή της σήραγγας. Η εναλλακτική μέθοδος ανοικτού ορύγματος είναι ακόμα λιγότερο βλαβερή και επεμβατική απέναντι προς το περιβάλλον καθώς πραγματοποιούνται μόνο επιφανειακές εργασίες εκσκαφής για την κατασκευή της προστατευτικής κελυφωτής κατασκευής.

Συμπερασματικά η συμβατική μέθοδος ανοικτού ορύγματος cut and cover εφαρμόζεται συνήθως σε έργα αυτοκινητοδρόμων αστικών περιοχών στις περιπτώσεις όπου έχουμε:

- Περιορισμένο βάθος εκσκαφής σήραγγας (<50m) σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές, όπου αντικαθιστά τη μέθοδο της εκσκαφής
- Περιορισμένο βάθος εκσκαφής σήραγγας σε περιοχές όπου τα τοπικά οδικά δίκτυα και οι εγκαταστάσεις μπορεί να μετακινηθούν μόνο προσωρινά, όπου αντικαθιστά τη μέθοδο της εκσκαφής
- Δυσμενείς γεωτεχνικές συνθήκες, με εδαφικές ασυνέχειες και χαλαρά εδάφη, αντικαθιστώντας την διάνοιξη σήραγγας μικρού μήκους

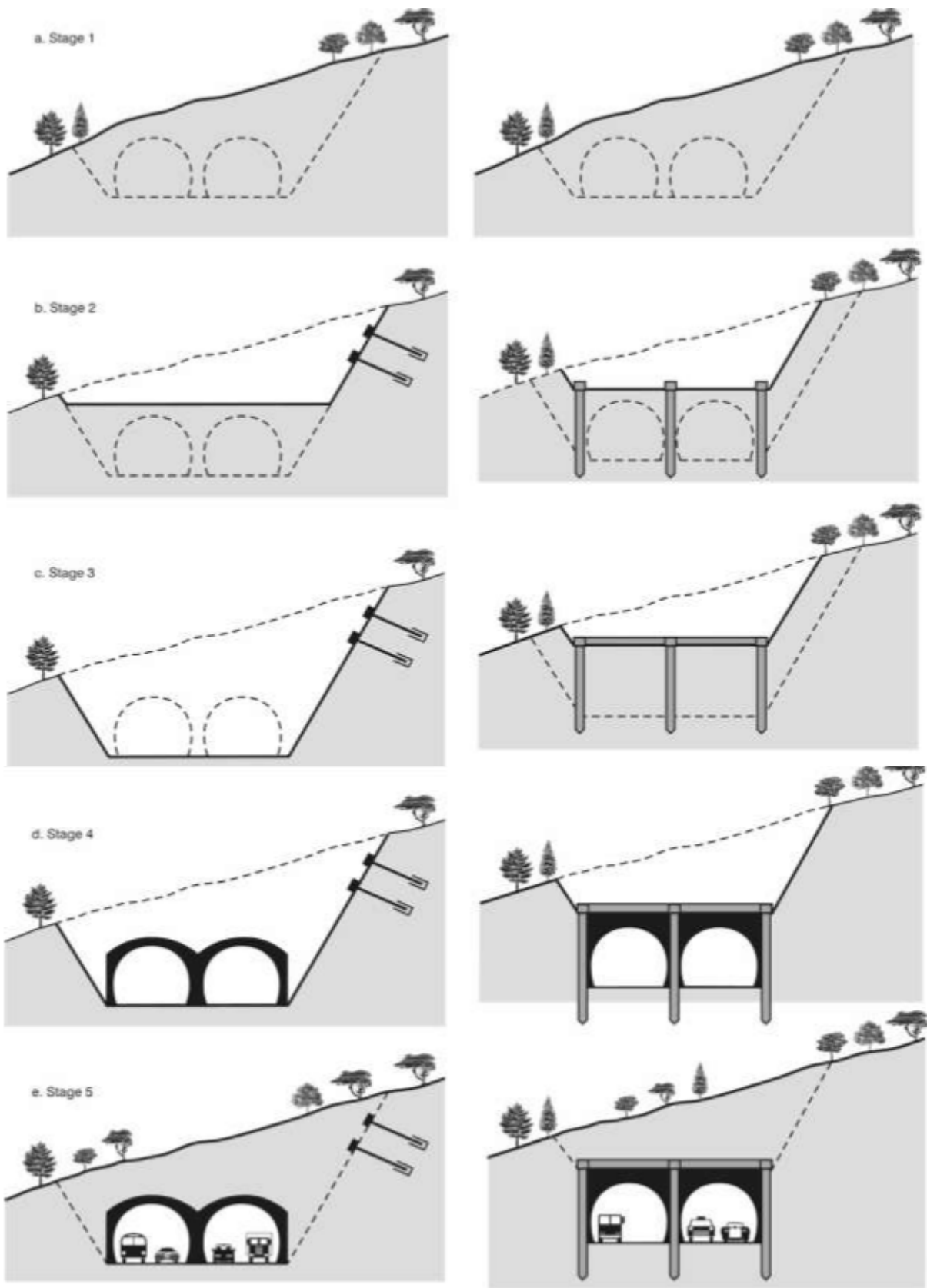
Παρομοίως, η εναλλακτική μέθοδος ανοικτού ορύγματος cover and cut συνίσταται για εφαρμογές κατά τις οποίες έχουμε:

- Μικρό ύψος υπερκείμενου εδάφους σε πολύ ευαίσθητες περιοχές, αντικαθιστώντας την μέθοδο εκσκαφής ή cut and cover
- Μικρό ύψος υπερκείμενου εδάφους σε συνδυασμό με οδικά δίκτυα, εγκαταστάσεις και κτιριακές κατασκευές τα οποία μπορεί να μετακινηθούν μόνο προσωρινά, όπου αντικαθιστά τη μέθοδο της εκσκαφής ή cut and cover
- Μεγάλη πιθανότητα εδαφικών αστοχιών σχετιζόμενες με διεργασίες εκσκαφής, αντικαθιστώντας την cut and cover

Στο **Σχήμα 4.8** γίνεται μια τελική σύγκριση των δύο μεθόδων ανοικτού ορύγματος σε όρους βάθους εκσκαφής, συστήματος αντιστήριξης και τελικής μορφής της κατασκευής και του περιβάλλοντος χώρου.

Πίνακας 4.1: Πεδία εφαρμογής για τις μεθόδους ανοικτού ορύγματος και σύγκριση με παραδοσιακές μεθόδους.

Συνθήκες	Ανοικτή εκσκαφή	Cut and Cover	Cover and Cut	Διάνοιξη σήραγγας
Εκσκαφή ή μήκος σήραγγας	Απεριόριστο	Περιορισμένο, L<300m	Μικρό, L<150m	Σημαντικό, L>150m
Βάθος εκσκαφής σήραγγας	Περιορισμένο, H<30m	Ενδιάμεσο, H<50m	Μικρό, H<15m	Μεγάλο, H>30m
Περιβάλλον	Αδιάφορη διαμόρφωση	Αρκετά ευαίσθητες περιοχές	Ευαίσθητες περιοχές	Πολύ ευαίσθητες περιοχές
Γεωλογία	Εδάφη, χαλίκι, μαλακός βράχος	Εδάφη, χαλίκι, μαλακός βράχος	Χαλαρές άμμοι, ασταθή εδάφη	Μαλακός και σκληρός βράχος



Σχήμα 4.8: Σύγκριση των δύο μεθόδων ανοικτού ορύγματος σε όρους βάθους εκσκαφής, συστήματος αντιστήριξης και τελικής μορφής κατασκευής και περιβάλλοντος χώρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗΣ ΟΔΟΥ ΑΓΡΙΝΙΟΥ

i. Εισαγωγή – Γενικά χαρακτηριστικά έργου

Η παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με την παρουσίαση και περιγραφή μιας πραγματικής κατασκευής σήραγγας με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος η οποία έλαβε χώρα στην περιμετρική οδό του Αγρινίου και συγκεκριμένα στο τμήμα από την έξοδο προς Καρπενήσι έως το νοσοκομείο. Η μελέτη του έργου διεξήχθη το έτος 2007 ενώ το σύνολο του έργου παραδόθηκε στην κυκλοφορία τέλη τον Οκτώβριο 2010.

Η σήραγγα, μήκους περίπου 90 μέτρων βρίσκεται στη Χ.Θ. 1+052 του έργου. Λόγω της διαμόρφωσης κεκλιμένων στομιών (εισόδων) εκτείνεται κατά 13 μέτρα περίπου πέραν του ορίου της σήραγγας εκατέρωθεν. Το ύψος των υπερκειμένων εδαφικών πληρώσεων δεν υπερβαίνει τα 4 μέτρα, ενώ στις θέσεις των στομιών απαιτήθηκε ελαφρά επίχωση πέραν του φυσικού εδάφους στην κατάντη περιοχή της σήραγγας.

Η σήραγγα βρίσκεται σε αστικό περιβάλλον με κατοικίες στις δύο πλευρές της. Κατά συνέπεια δεν υπήρχε διαθέσιμος χώρος για διεξαγωγή εκσκαφών υπό κλίση. Τα μέτωπα των εκσκαφών έγιναν κατακόρυφα ενώ σε ορισμένες θέσεις γειτνιάζουν άμεσα με υφιστάμενες κατασκευές.

Επίσης, κρίθηκε απαραίτητη η κατασκευή έργων αντιστήριξης ικανών να προστατεύσουν τις παραπάνω κατασκευές έναντι θραύσης και έναντι μετακινήσεων ικανών να προκαλέσουν διαφορικές καθιζήσεις. Τα έργα αντιστήριξης περιλαμβάνουν πασσάλους και διπλή σειρά αντηρίδων έτσι ώστε να είναι σε θέση να αναλάβουν τις πλευρικές ωθήσεις στο σύνολό τους χωρίς να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια και την λειτουργικότητα των παρακείμενων κτιρίων.

Η διαδοχή των διαφόρων φάσεων του έργου επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ασφαλή κατασκευή της σήραγγας. Έτσι, στους στατικούς υπολογισμούς λήφθηκαν υπ' όψιν τα διάφορα στάδια αλλά και η σειρά πραγματοποίησής τους. Τα παραπάνω στάδια αφορούν εν πολλοίς τα στάδια εκσκαφής και αντιστήριξης, τα οποία περιγράφονται παρακάτω.

ii. Γενικές κατασκευαστικές αρχές έργου

Σημεία ιδιαιτερότητας

Καθοριστικά σημεία για την κατασκευή της σήραγγας στο εν λόγω κτίριο υπήρξαν πέραν της ποιότητας της βραχομάζας και η άμεση γειτνίαση με υφιστάμενα κτίρια, η οποία συνοδεύεται με απαιτητικά έργα αντιστήριξης.

Το σύστημα αντιστήριξης επιλέχθηκε να αποτελείται από πασσάλους, ενώ συνοδεύτηκε από τμηματική καθ' ύψος εκσκαφή με τοποθέτηση αντηρίδων στις προβλεπόμενες θέσεις. Οι πάσσαλοι δεν κατασκευάστηκαν ως αλληλοτεμνόμενοι για λόγους οικονομίας. Το μέτωπο εδάφους ανάμεσα στους πασσάλους εξασφαλίζεται έναντι θραύσης με την ενίσχυσή του με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα οπλισμένο με δομικό πλέγμα. Τέλος, θεωρήθηκε απαραίτητη η χρήση διπλής σειράς αντηρίδων σωληνωτής διατομής οι οποίες εδράστηκαν σε δοκό ζυγό των πασσάλων. Η παραπάνω ενίσχυση προέκυψε μετά από σχετικούς υπολογισμούς καθώς λόγω του μεγάλου βάθους εκσκαφών το ανυποστήρικτο τμήμα των πασσάλων δεν μπορούσε να παραλάβει τις εδαφικές ωθήσεις με θεώρηση εν προβόλω λειτουργίας.

Πορεία κατασκευής – προαπαιτούμενες φάσεις

Το πρώτο στάδιο κατασκευής της σήραγγας υπήρξε η κατασκευή των πασσάλων. Ωστόσο, πριν την έναρξη των εργασιών κατασκευής πρέπει να έχει προσδιοριστεί τοπογραφικά η ακριβής περιοχή διέλευσης της σήραγγας, να καθαιρεθούν όλα τα κτίσματα τα οποία βρίσκονται εντός της ζώνης διέλευσης και να διαμορφωθεί δάπεδο εργασίας για την κατασκευή των πασσάλων.

Μετά την κατασκευή των πασσάλων ακολουθούν τρεις φάσεις εκσκαφής με διαδοχική προσθήκη των στοιχείων αντιστήριξης. Στη συνέχεια κατασκευάζεται η πλάκα σκυροδέματος όπου εδράζεται η σήραγγα και το τοίχωμα αντιστήριξης. Ακολουθεί η κατασκευή της σήραγγας, με τις απαραίτητες επιχώσεις, οι εργασίες στεγανοποίησης και η τελική εξωτερική διαμόρφωση του συνόλου του έργου.

Βοηθητικές εργασίες

- *Τοπογραφικές εργασίες*

Προτού αρχίσουν οι εργασίες στο πρώτο στάδιο της κατασκευής του έργου γίνεται η τοποθέτηση ενός τριγωνομετρικού δικτύου στην περιοχή των μετώπων της σήραγγας. Το συγκεκριμένο δίκτυο αναφέρεται ως τριγωνομετρικό δίκτυο IV τάξεως με βάση τις ισχύουσες διατάξεις για γεωδαιτικές εργασίες. Αφού οριστικοποιηθεί το τριγωνομετρικό δίκτυο γίνονται οι απαραίτητες τοπογραφικές εργασίες δρόμων προσπέλασης και περιοχών διαμόρφωσης των στομιών καθώς και κατασκευή των πασσάλων.

- *Απόθεση – χρήση προϊόντων εκσκαφής*

Στο συγκεκριμένο έργο, στις θέσεις των στομιών ο διαθέσιμος χώρος υπήρξε περιορισμένος και σαν αποτέλεσμα καθίσταται αδύνατη η έστω και προσωρινή απόθεση των προϊόντων εκσκαφής. Κατά συνέπεια οδηγήθηκαν στο χώρο της εξόδου, όπου και έγινε διαλογή τους για περαιτέρω χρήση ή απόθεση. Μέρος του υλικού αυτού χρησιμοποιήθηκε για την επανεπίχωση της σήραγγας. Οι κατάλληλες θέσεις απόθεσης επιλέχθηκαν με κριτήρια τη μελέτη οδοποιίας και τυχόν περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Εδαφικό υλικό εκσκαφής το οποίο χρησιμοποιήθηκε για οδοστρωσία ή κατασκευή επιχωμάτων, υποβλήθηκε στις κατάλληλες δοκιμές αντοχής και κρούσης, όπως προβλέπεται από τους κανονισμούς. Οι ανωτέρω δοκιμές προβλέπεται να διεξάγονται τουλάχιστον κάθε 1000m³, όπως και έγινε.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι για την εφαρμογή της πρέπει:

- α) να απομακρυνθούν όλοι οι αγωγοί κοινής ωφελείας που ευρίσκονται στην περιοχή όπου θα γίνουν οι εκσκαφές,
- β) να προηγηθεί αρχαιολογική έρευνα για εντοπισμό τυχόν αρχαιοτήτων,
- και γ) να γίνουν οι απαιτούμενες παρακάμψεις της κυκλοφορίας. Οι επεμβάσεις αυτές είναι χρονοβόρες, αυξάνουν το κόστος, ενώ συγχρόνως οι αρχαιολογικές έρευνες εμπεριέχουν μεγάλη αβεβαιότητα όσον αφορά τη διάρκεια και το τελικό κόστος τους. Τυπική εφαρμογή της μεθόδου ανοικτού ορύγματος δίνεται στο **Σχήμα 4.1**, όπου οι εργασίες βρίσκονται στο στάδιο της εκσκαφής.

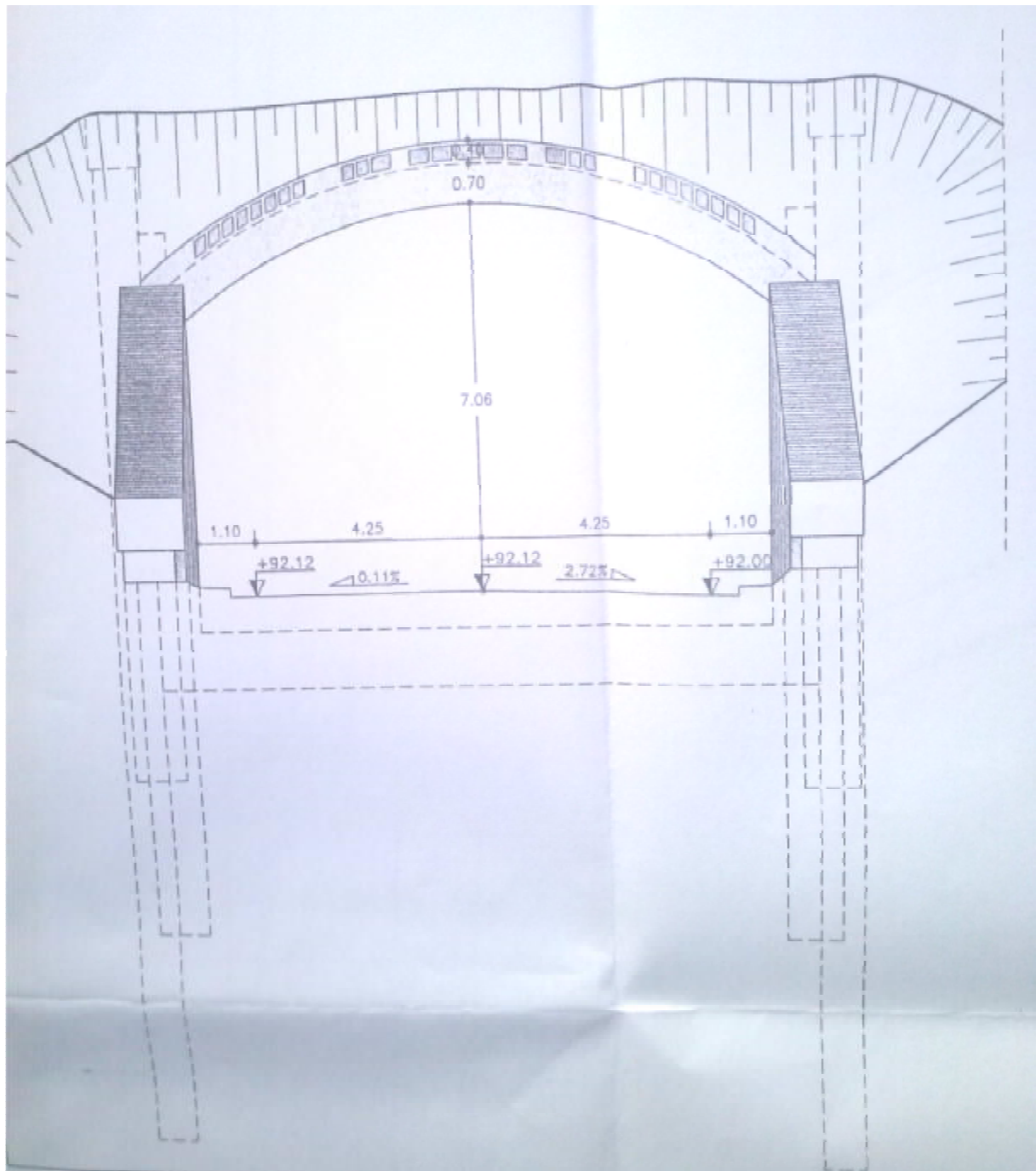
iii. Διαμόρφωση στομίων

- *Γενικά:* Οι μορφές των στομίων υπήρξαν απλουστευμένες επιφάνειες καθώς η ήπια μορφολογία επέτρεψε την κατασκευή των εισόδων των δύο κλάδων στην ίδια διατομή. Απαιτήθηκε παράλληλα η κατασκευή περυγοτοιχίων για την ευστάθεια των πρανών και τον εγκιβωτισμό των υλικών επίχωσης, στις θέσεις όπου το φυσικό έδαφος βρίσκεται σε στάθμη χαμηλότερη από το περυγοτοιχίο. Τα έργα αντιστήριξης στη θέση αυτή είναι μόνιμα και για το λόγω αυτό δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή κατά τη διαμόρφωσή τους. Πάνω από τη στέψη της σήραγγας κατασκευάστηκε ειδική μετώπη με σκοπό να συγκρατεί εδαφικά υλικά κατάπτωσης, ενώ ταυτόχρονα απάγει τα κατισδύοντα ύδατα πλευρικά, όπου και υπάρχουν ημιδιάτρητοι σωλήνες αποστράγγισης.

- *Εκσκαφές:* Οι εκσκαφές στα στόμια πραγματοποιήθηκαν μετά την κατασκευή των πασσάλων σε όλο το έργο. Ειδικά για το στόμιο εισόδου κρίθηκε καλύτερο να ολοκληρωθεί πρώτα η κατασκευή του απαιτούμενου οχετού προτού αρχίσουν οι εκσκαφές στην περιοχή, με σκοπό να διευκολυνθεί η μετακίνηση φορτηγών και βαρέων οχημάτων.

- *Αντιστηρίξεις – αποστραγγίσεις:* Το ύψος των περυγοτοιχίων διαμόρφωσης δεν υπήρξε ιδιαίτερα μεγάλο (περίπου 7m) και σε συνδυασμό με τους πάσσλους διαμέτρου 100 εκατοστών δεν προέκυψε κατά τις αναλύσεις ανάγκη για αγκυρώσεις ή τοποθέτηση αντηρίδων. Έργα αποστραγγίσεων δεν κρίθηκαν αναγκαία, καθ' ότι δεν παρεμποδίζεται η εκφόρτωση υδραυλικού φορτίου το οποίο ούτως ή άλλως είναι μικρό σε ένταση και περιορισμένης χρονικά δράσης.

Στο **Σχήμα 5.1** παρουσιάζεται μια τυπική διατομή στομίου εισόδου της σήραγγας με την αντίστοιχη διαστασιολόγηση, όπως αυτή έχει αποτυπωθεί στα σχέδια της μελέτης του έργου.



Σχήμα 5.1: Τυπική διατομή όψης στομίου εισόδου της σήραγγας με την αντίστοιχη διαστασιολόγηση.

iv. Διάνοιξη σήραγγας

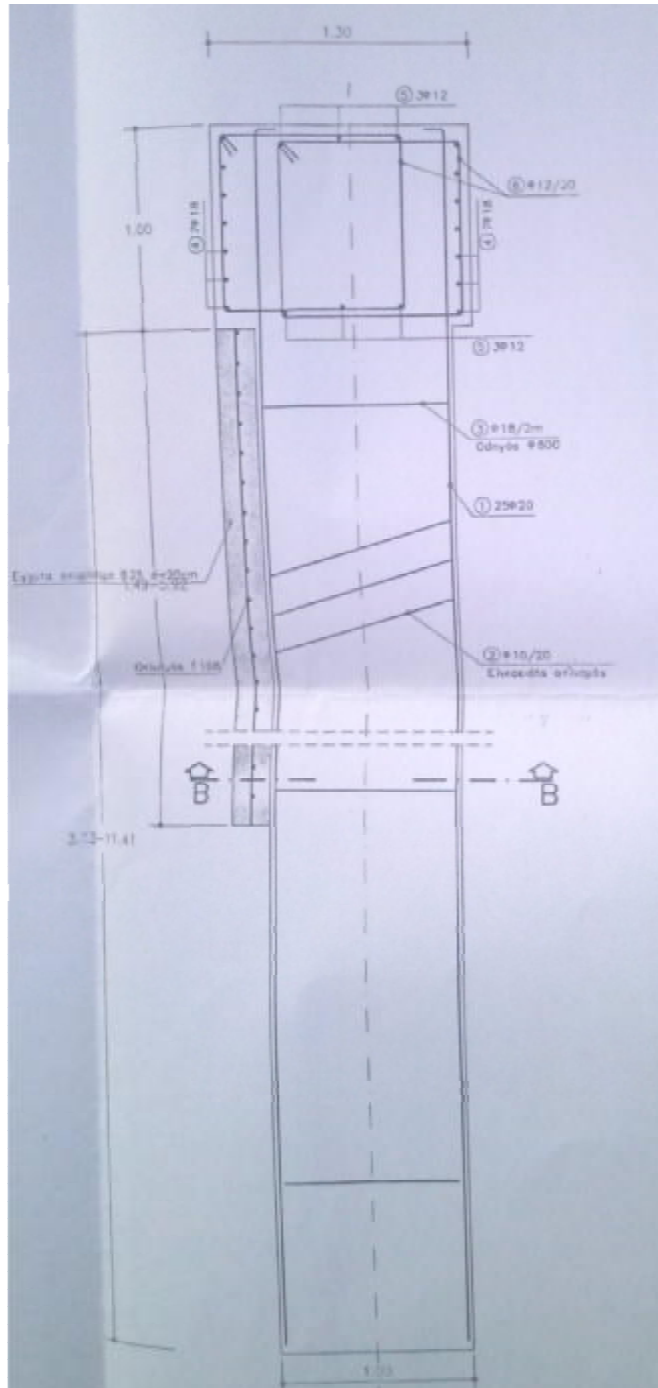
- Γενικές αρχές μεθόδου κατασκευής

Ο σχεδιασμός της σήραγγας έγινε λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα επιμέρους στάδια και φάσεις της κατασκευής. Η κατασκευή της σήραγγας άρχισε με την κατασκευή των πασσάλων. Οι πάσσαλοι τοποθετήθηκαν κατάλληλα με σκοπό να σχηματιστεί πασσαλοδιάφραγμα. Μετά την κατασκευή των πασσάλων ακολούθησε η πρώτη φάση εκσκαφής, σε μικρό σχετικά βάθος (1.1 m από την άνω στάθμη). Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν οι ειδικές σωληνωτές αντηρίδες οι οποίες και στηρίχθηκαν πάνω στον κεφαλόδεσμο ο οποίος ενώνει τους πασσάλους μεταξύ τους στη στάθμη της κεφαλής τους.

Στο **Σχήμα 5.2** παρουσιάζονται οι πάσσαλοι που έχουν τοποθετηθεί ανά τακτά διαστήματα εντός του εδάφους καθώς και ο διαφραγματικός τοίχος ο οποίος βρίσκεται στο πρώτο στάδιο της κατασκευής του. Οι λεπτομέρειες όπλισης των πασσάλων αλλά και του κεφαλόδεσμου με τον οποίον συνδέονται δίνονται στο **Σχήμα 5.3**.



Σχήμα 5.2: Σειρά πασσάλων στη πλαϊνή μεριά της σήραγγας με την πρώτη φάση σκυροδέτησης του διαφραγματικού τοίχου να έχει ολοκληρωθεί.



Σχήμα 5.3: Λεπτομέρεια όπλισης πασσάλων και κεφαλόδεσμου.

Μετά την τοποθέτηση των αντηρίδων πραγματοποιήθηκε το δεύτερο στάδιο εκσκαφής σε βάθος 5.6 μέτρα κάτω από τον κεφαλόδεσμο (6.7m από την άνω στάθμη) και η τοποθέτηση της δεύτερης σειράς αντηρίδων. Η συγκεκριμένη σειρά αντηρίδων στηρίχθηκε σε ζυγούς από σιδηροδοκούς πρότυπης διατομής ΗΕΒ. Η τελευταία εκσκαφή έγινε σε βάθος 4 μέτρων από την δεύτερη σειρά αντηρίδων ((10.7m από την άνω στάθμη) με τη στάθμη αυτή να είναι και η στάθμη του δαπέδου έδρασης της σήραγγας.

Στο Σχήμα 5.4 παρατηρείται ενδεικτικά η δεύτερη φάση εκσκαφής, όπου φαίνονται οι τοποθετημένες αντηρίδες (1^η σειρά), ο κεφαλόδεσμος των πασσάλων στον οποίο στηρίζονται αλλά και η πρόοδος των εργασιών εκσκαφής. Επίσης, παρουσιάζεται λεπτομέρεια σύνδεσης της αντηρίδας με τον κεφαλόδεσμο σκυροδέματος.



(α)



(β)

Σχήμα 5.4: α) δεύτερο στάδιο εκσκαφής με εμφανή τη πρώτη σειρά αντηρίδων και τον κεφαλόδεσμο των πασσάλων στον οποίο στηρίζονται. β) λεπτομέρεια σύνδεσης αντηρίδας.

Ακολούθησε η διάστρωση του σκυροδέματος καθαριότητας και η κατασκευή της πλάκας έδρασης της σήραγγας καθώς και τμήματος των τοιχωμάτων που περιβάλλουν την σήραγγα μέχρι ύψος 0.5 μέτρα κάτω από τη δεύτερη σειρά των αντηρίδων. Για τη συνέχιση της κατασκευής των τοιχωμάτων, και αφού είχε περάσει χρονικό διάστημα τουλάχιστον 7 ημερών ώστε να αναπτύξει τις κατάλληλες αντοχές το σκυρόδεμα, πραγματοποιήθηκε αφαίρεση της δεύτερης σειράς των αντηρίδων.

Μετά την ολοκλήρωση της καθ' ύψος κατασκευής των τοιχωμάτων έγινε η σκυροδέτηση της οροφής της σήραγγας και στη συνέχεια η απομάκρυνση και της πρώτης σειράς των αντηρίδων. Το στάδιο αυτό φαίνεται στην εικόνα του **Σχήματος 5.5**.

Τα έργα στην σήραγγα ολοκληρώνονται με την πλευρική διαμόρφωση συλλογής και απαγωγής των υδάτων τα οποία κατισχύουν λόγω όμβριων και με την τοποθέτηση στεγνωτικής μεμβράνης, γεωφασμάτων προστασίας και ημιδιάτρητου αγωγού απορροής. Το τελευταίο έργο υπήρξε η επίχωση της σήραγγας, η οποία πραγματοποιήθηκε μετά την παρέλευση 28 ημερών από την ημέρα σκυροδέτησης της οροφής.



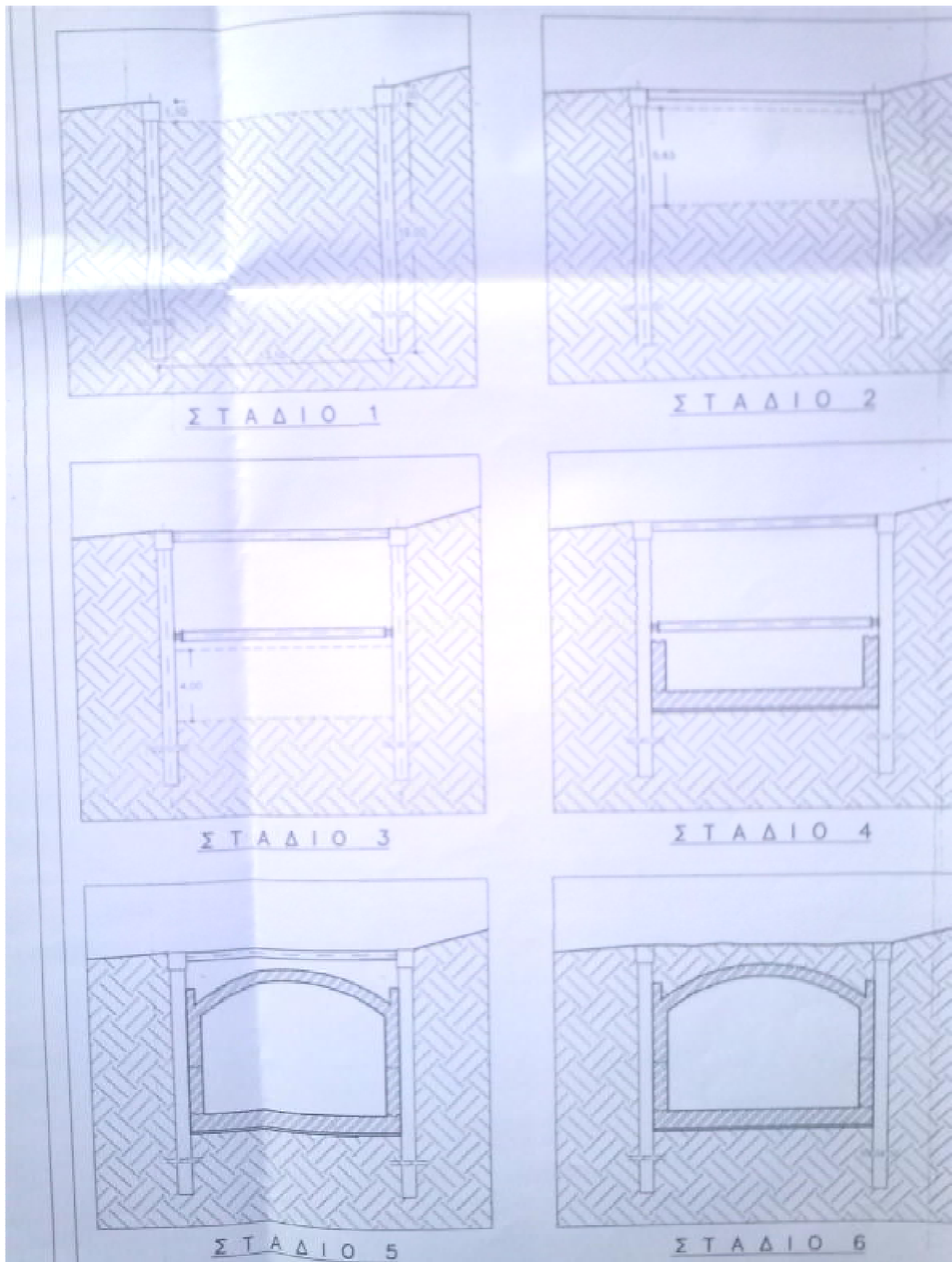
Σχήμα 5.5: Στάδιο έναρξης σκυροδέτησης οροφής σήραγγας.

Οι πάσσαλοι διαμόρφωσης των στομίων κατασκευάστηκαν μαζί με τους υπόλοιπους πασσάλους, ενώ η διάμετρός τους υπήρξε μεγαλύτερη, δεδομένου του ότι λειτουργούν εν προβόλω. Ο κεφαλόδεσμός τους κατασκευάστηκε πριν την εκσκαφή στη θέση των στομίων, ενώ η τελική διαμόρφωση κάλυψης των πασσάλων έγινε μετά την σκυροδέτηση της διατομής της σήραγγας με σκοπό να επιτευχθεί το βέλτιστο δυνατό οπτικό αποτέλεσμα.

Στο **Σχήμα 5.7** παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα στάδια κατασκευής της σήραγγας, όπως αυτά παρουσιάζονται στα σχέδια της μελέτης του έργου.



Σχήμα 5.6: Τελική μορφή σήραγγας πριν τα έργα επίχωσης και στεγάνωσης.



Σχήμα 5.7: Στάδια κατασκευής σήραγγας.

- *Μόνιμη επένδυση*

Κατά το σχεδιασμό της μόνιμης επένδυσης λήφθηκαν υπ' όψιν όλες οι δράσεις καθώς και ο συνδυασμός μερικής ή ολικής λειτουργίας των πασσάλων αντιστήριξης. Κατά τη φάση κατασκευής της μόνιμης επένδυσης δόθηκε προσοχή να ληφθούν όλα τα μέτρα (δόννηση σκυροδέματος κ.α.) ώστε να μην μείνουν κενοί θύλακες.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στη μάτιση των οπλισμών ώστε να ικανοποιούνται τα κριτήρια παράθεσης. Τέλος, οι ξυλότυποι αφαιρέθηκαν τουλάχιστον 7 ημέρες μετά τη σκυροδέτηση, ενώ η οροφή για την οποία απαιτείται πρόσθετη προσοχή λόγω της επίχωσης αφαιρέθηκε 28 ημέρες μετά τη σκυροδέτηση.

- *Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις*

Πριν την έναρξη των εργασιών εγκαταστάθηκαν οι απαραίτητες ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις ώστε να εξασφαλιστεί απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος φωτισμού και άλλων λειτουργιών που θεωρούνται που θεωρούνται απαραίτητες για την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία των συνεργείων.

- *Μετρήσεις – τροποποιήσεις κατασκευής κατά τη διάνοιξη*

Η ενοργάνωση και η συνεχής λήψη και επεξεργασία μετρήσεων αποτελεί μέρος της μεθοδολογίας σχεδιασμού και διαστασιολόγησης κατά την κατασκευή των σηράγγων. Η κατάλληλη διάταξη οργάνων ικανών να καταγράφουν την εντατική και κινηματική κατάσταση του περιβάλλοντος εδαφικού σχηματικού και της εντατικής κατάστασης των στοιχείων άμεσης υποστήριξης επιτρέπουν τον άμεσο έλεγχο του έργου. Σε συνδυασμό μάλιστα με τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων είναι δυνατή η διεξαγωγή αντίστροφων αναλύσεων ώστε να γίνει η καλύτερη δυνατή προσέγγιση του προβλήματος.

Επιπλέον, τυχόν ευπαθείς ζώνες τοπικού χαρακτήρα οι οποίες δύσκολα προσδιορίζονται από την γεωτεχνική έρευνα, μπορούν να εντοπιστούν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων. Για το λόγο αυτό προαγματοποιήθηκε η συνεχής παρακολούθηση του κινηματικού πεδίου στις κεφαλές των πασσάλων, ενώ παράλληλα παρακολουθείται η εντατική κατάσταση των πασσάλων στις κρίσιμες διατομές μέσω μηκυνσιομέτρων (strain gauges) τα οποία τοποθετήθηκαν ανά δύο μέτρα στην εξωτερική και την εσωτερική παρεία των εν λόγω πασσάλων.

Μετρήσεις των μηκυνσιομέτρων λήφθηκαν πριν από κάθε κύρια μεταβολή της εντατικής κατάστασης π.χ. πραγματοποίηση εκσκαφής, τοποθέτηση αντηρίδας, σκυροδέτηση. Στο βαθμό που οι καταγραφές καταδεικνύουν εξέλιξη φαινομένου επιδείνωσης οι καταγραφές εντάθηκαν σε ημερήσια, εβδομαδιαία ή/και μηνιαία βάση.

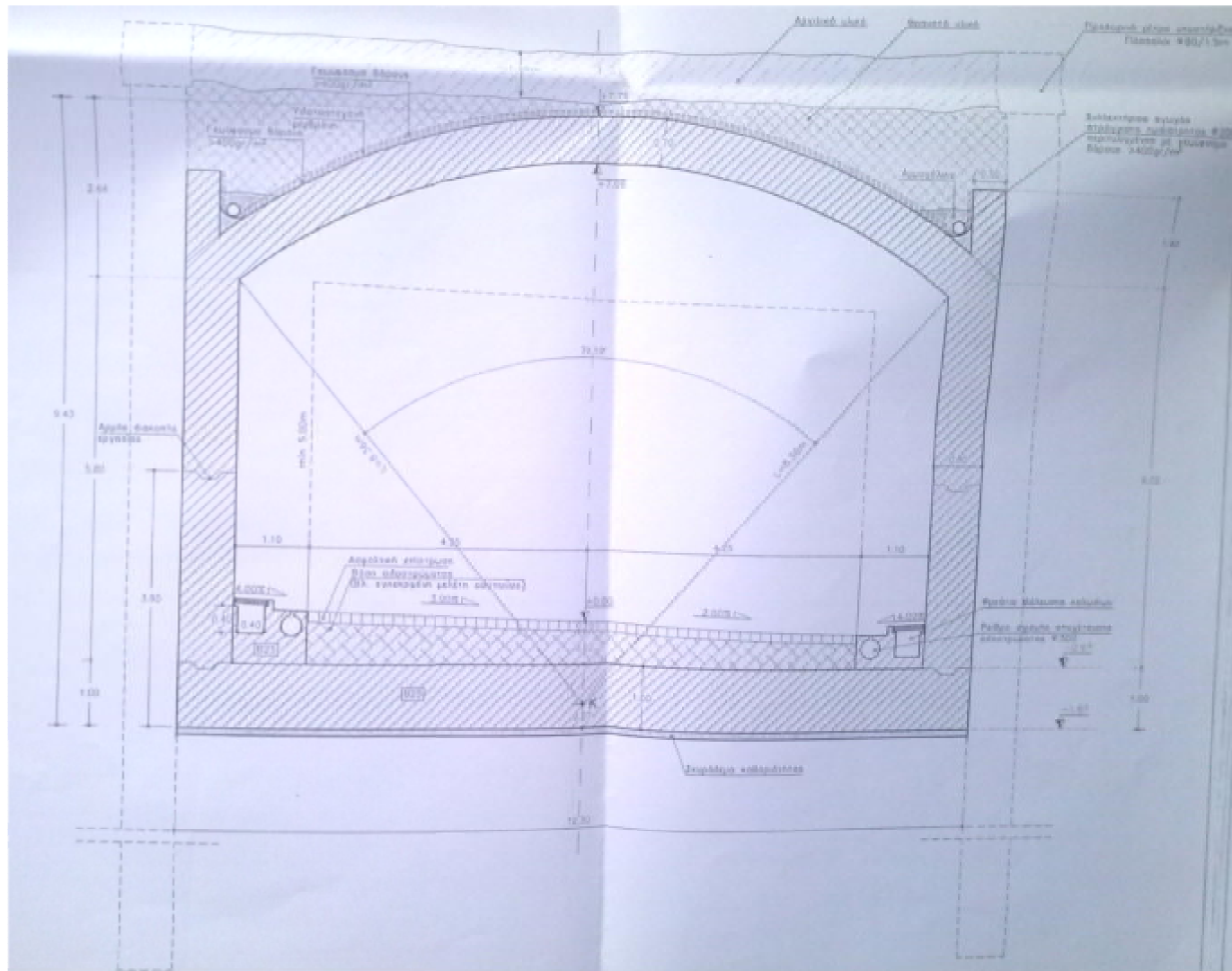
v. Αποστράγγιση – στεγάνωση

Το σύστημα αποστράγγισης υδατοστεγάνωσης της σήραγγας αποτελείται από στεγανωτική μεμβράνη η οποία διαστρώθηκε πάνω σε μη υφαντό γεωύφασμα συνεχών ινών πολυπροπυλενίου μηχανικής πλέξης. Το σύστημα της υδατοστεγάνωσης τοποθετήθηκε στην οροφή της σήραγγας αφού προηγουμένως είχε εξομαλυνθεί κατάλληλα. Η στράγγιση γίνεται σε διάτρητους αγωγούς PVC .

Προ της τοποθέτησης της στεγανωτικής μεμβράνης τοποθετήθηκε γεωύφασμα για την προστασία της. Το γεωύφασμα τοποθετήθηκε επί του σκυροδέματος με τη βοήθεια λωρίδων PVC πλάτους 8cm σε μεταξύ τους απόσταση 1m. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε στεγανωτική μεμβράνη PVC πάχους 2mm.

Η στεγανοποίηση της σήραγγας υλοποιήθηκε με την κατασκευή υδρομαστευτικής στρώσης από κατάλληλο γεωύφασμα μέσω του οποίου τα στραγγιζόμενα νερά οδηγούνται σε διάτρητο σωλήνα. Τα υλικά αποστράγγισης προστατεύονται από το εδαφικό υλικό κάλυψης της σήραγγας. Σε θέσεις όπου το εδαφικό υλικό έχει πάχος μικρότερο των 50cm ή όπου αλλού κρίνεται αναγκαίο για λόγους προστασίας χρησιμοποιείται ισχνό σκυρόδεμα (C12/15) με οπλισμό από δομικό πλέγμα T188. Τέλος, πλευρικά της σήραγγας υπάρχουν ημιδιάτρητοι αγωγοί από πλαστικό PVC, οι οποίοι καταλήγουν στην άκρη της εξόδου σε συμπαγή σωλήνα που οδηγεί τα νερά σε φρεάτια τα οποία έχουν προβλεφθεί από την μελέτη οδοποιίας στη θέση του στομίου εξόδου.

Στο **Σχήμα 5.8** παρουσιάζεται η κάτοψη των στομίων εξόδου στράγγισης – απορροής όπως δίνονται στα σχέδια του έργου. Τέλος, στο **Σχήμα 5.9** δίνεται η συνολική γεωμετρία μιας τυπικής διατομής της σήραγγας ανοικτού ορύγματος του παρόντος έργου με εμφανείς όλες τις διαστάσεις αλλά και τις λεπτομέρειες στράγγισης και υδατοστεγανότητας.



Σχήμα 5.9: Γεωμετρία τυπικής διατομής σήραγγας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] http://hdrecorp.com/lecture_notes_334/Chapter19.pdf
- [2] http://www.gnpgeo.com.my/download/publication/L2009_03.pdf
- [3] http://www.hssmge.gr/Lecture_Zervogiannis.pdf
- [4] <http://www.slideshare.net/RIZWANKHURRAM/piles-types-presentation>
- [5] “The Cut-and-Cover and Cover-and-Cut Techniques in Highway Engineering”, A. Mouratidis, EJGE, Vol. 13 Bund F, 2008.
- [6] http://www.slideshare.net/ved_ram/pile-foundations
- [7] www.waterproofmag.com/downloads/2012-01/WP_2012-01.pdf
- [8] <http://www.choicelandscapingservices.com/services/lawn-services-ideas/115-top-5-residential-retaining-wall-types-and-their-uses>
- [9] <http://www.deepexcavation.com/en/>
- [10] www.lbfoster.com
- [11] <http://www.lta.gov.sg/content/dam/ltaweb/corp/PublicTransport/files/CBP%20Final.pdf>
- [12] “Bridge design specifications”, Section 5 – Retaining Walls, August 2004 (<http://www.dot.ca.gov/hq/esc/techpubs/manual/bridgemanuals/bridge-design-specifications/page/section5.pdf>)
- [13] <http://www.sefindia.org/rangarajan/retainingWalls.pdf>
- [14] “Basic Types of Sheet Pile Walls and Their Application in the Construction Industry – a Review”, L. Eskandari and B. Kanantari, EJGE, Vol. 16, Bund. L, 2011.