

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ: ΣΤΕ
ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ενίσχυση εδαφών με
χαλικοπασσάλους.
Ενίσχυση της μεθόδου κατά την
μελέτη και κατασκευή του
τερματικού σταθμού του νέου
λιμένα Πατρών



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

ΤΖΟΥΜΕΡΚΙΩΤΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ
ΚΡΕΜΜΥΔΑΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ
ΜΠΑΤΣΟΥΛΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

Dr. ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΠΑΤΡΑ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία με τίτλο «Ενίσχυση εδαφών με χαλικοπασσάλους. Ενίσχυση της μεθόδου κατά την μελέτη και κατασκευή του τερματικού σταθμού του νέου λιμένα Πατρών» αφορά την ενίσχυση του υπεδάφους με την κατασκευή χαλικοπασσάλων για να εδρασθούν οι κτηριακές εγκαταστάσεις του Νέου Λιμένα Πατρών, με ανάδοχο την Κοινοπραξία των κατασκευαστικών εταιριών Ε.Λ.Τ.Ε.Ρ. Α.Τ.Ε. – Κ.Α.Σ.Τ.Ω.Ρ. Α.Ε. .

Αντικείμενο της εργασίας αποτέλεσε η παρουσίαση της γεωτεχνικής έρευνας στη θέση του έργου και των τιμών των εδαφικών παραμέτρων που προέκυψαν από αυτή, καθώς και η τεκμηρίωση του τρόπου επιλογής της μεθόδου κατασκευής των χαλικοπασσάλων. Τέλος περιγράφεται η διαδικασία κατασκευής της ξηρής μεθόδου τοποθέτησης χαλικοπασσάλων, με βάση τη συστηματική παρακολούθηση των σχετικών εργασιών και με τη βοήθεια φωτογραφικού υλικού.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την κ. Ειρήνη Βγενοπούλου Καθηγήτρια του Τμήματος Πολιτικών Έργων Υποδομής του Α.ΤΕΙ Πατρών, που μας ανέθεσε την εκπόνηση αυτής της Πτυχιακής Εργασίας. Η καθοδήγηση και η συμπαράστασή της όλο αυτό το διάστημα υπήρξε καθοριστική για την σωστή και ομαλή διεκπεραίωση της. Επίσης ευχαριστήσουμε τον κ. Δημήτριο Μπάρο Β. Καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Έργων Υποδομής του Α.ΤΕΙ Πατρών, ο οποίος μας παρείχε πληροφορίες και βοήθησε στις κατευθυντήριες γραμμές για την σύνταξη της πτυχιακής εργασίας.

Ευχαριστίες επίσης, θα θέλαμε να εκφράσουμε στο μηχανικό, υπεύθυνο εργοταξίαρχη, της κοινοπραξίας κ. Αρβανίτη Δημήτρη αγρονόμο-τοπογράφο μηχανικό Ε.Μ.Π. για όλες τις πολύτιμες πληροφορίες και απαντήσεις που μας παρείχε όλο αυτό το διάστημα. Χωρίς την συνδρομή του, η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής θα ήταν αδύνατη. Επιπλέον στον υπεύθυνο πολιτικό μηχανικό της KELLER GRUNDBAU Dr. Wolfgang Smon, για την βοήθεια του και την επίλυση των αποριών που προέκυπταν καθώς και για τις πληροφορίες και το πλούσιο υλικό που μας παρείχε γύρω από την μελέτη της κατασκευής των χαλικοπασσάλων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσας Πτυχιακής εργασίας αφορά την ενίσχυση του υπεδάφους με την κατασκευή χαλικοπασσάλων για να εδρασθούν οι κτηριακές εγκαταστάσεις του Νέου Λιμένα Πατρών.

Στο 1^ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον όρο της ρευστοποίησης εδαφών, το μηχανισμό εκδήλωσης του φαινομένου βγάζοντας τα απαιτούμενα αποτελέσματα για την περίπτωση της ρευστοποίησης στα τεχνικά έργα. Συγκεκριμένα για την περιοχή του νέου λιμένα Πατρών αναλύονται αστοχίες θεμελιώσεων, ανάδυση υπόγειων κατασκευών, αστοχίες φυσικών ή τεχνητών πρανών και λιμενικών κρηπιδότοιχων.

Επίσης διατυπώνουμε μεθόδους αντιμετώπισης της ρευστοποίησης και βελτίωσης του εδάφους.

Αναφορά στην μέθοδο της δονητικής αντικατάστασης γίνεται στο 2^ο κεφάλαιο έχοντας εισαγωγική αναφορά στους βασικούς ορισμούς, τις προδιαγραφές και τα κανονιστικά κείμενα.

Στην συνέχεια γίνεται περιγραφή στην μέθοδο κατασκευής χαλικοπασσάλων με μια πρώτη συνοπτική παρουσίαση των βασικών μεθόδων και με αναλυτική περιγραφή των βασικών τεχνικών της κατασκευής.

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός και οι απαιτήσεις που χρειάζονται πριν και κατά την διάρκεια της κατασκευής αναλύονται στην συνέχεια. Όπως απαιτήσεις, προϋποθέσεις εγκατάστασης του εξοπλισμού και κριτήρια υλικών και ποιοτικού ελέγχου.

Την μέθοδο της δονητικής αντικατάστασης βλέπουμε στο κεφάλαιο 3, κατά την θεμελίωση του τερματικού σταθμού του νέου Λιμένα Πατρών. Επίσης παρουσιάζεται η διαδικασία επιμέτρησης και πληρωμής των χαλικοπασσάλων, αναφέροντας τον χρησιμοποιηθέν εξοπλισμό, τις μετρήσεις και την διαδικασία των καθιζήσεων.

Τέλος, γίνεται μια παρουσίαση των συμπερασμάτων που προέκυψαν στο εν λόγω έργο καθώς επίσης και συνοπτική βιβλιογραφία και Παραρτήματα Φωτογραφιών Προόδου Εργασιών και Σχεδίων Τερματικών Σταθμών Νέου Λιμένα Πατρών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	6
ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΔΑΦΩΝ.....	6
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ.....	6
1.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ.	8
1.3 ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΛΙΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΤΡΑΣ.....	12
1.4 ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ – ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	17
Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΔΟΝΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	17
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	17
2.2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ.....	18
2.3 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΑ ΚΕΙΜΕΝΑ	19
2.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ – ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΩΝ	19
2.5 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	27
2.6 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	34
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΔΟΝΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΛΙΜΕΝΑ ΠΑΤΡΩΝ	34
3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	34
3.2 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ.....	36
3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΝΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	38
3.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΩΝ ΣΤΟΝ ΝΕΟ ΛΙΜΕΝΑ ΠΑΤΡΩΝ	41
3.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΩΝ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ.....	43
3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ	50
3.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΟΥ	54
3.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΛΟΓΩ ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΩΝ.....	57
3.9 ΕΠΙΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΛΗΡΩΜΗ	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	62
4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	64
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	71

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα της θεμελίωσης κτιρίων σε περιοχές όπου το έδαφος περιέχει σχετικά μεγάλο ποσοστό υγρασίας δεν είναι καινούργιο. Εδώ και πολλά χρόνια είναι ένα πρόβλημα που απασχολεί τους μηχανικούς. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας έχουν επιτευχτεί εντυπωσιακά αποτελέσματα όσον αφορά το συγκεκριμένο πρόβλημα. Από τις σημαντικότερες μεθόδους εξυγίανσης του εδάφους είναι και αυτή της τοποθέτησης χαλικοπασσάλων. Μια μέθοδος που επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο έργο πρώτον γιατί στο υπέδαφος υπήρχε μεγάλο ποσοστό υγρασίας και δεύτερον γιατί το έδαφος είναι τεχνητό και κατά συνέπεια δεν ήταν αρκετά συμπυκνωμένο. Είναι παραδεκτό ότι ο ρόλος του Λιμανιού της Πάτρας είναι σημαντικός όσον αφορά την οικονομική ανάπτυξη της πόλης της Πάτρας αλλά και της ευρύτερης περιοχής όπως και της Ελλάδας γενικότερα.

Οι δυνατότητες εξυπηρέτησης του σημερινού Λιμανιού όμως είναι περιορισμένες, λόγω ελλείψεως χερσαίων χώρων για την αντιμετώπιση της μεγάλης κίνησης φορτηγών και ΙΧ οχημάτων. Επίσης υπάρχουν μεγάλες δυσχέρειες στη σύνδεση του με το υπεραστικό δίκτυο, δεδομένου ότι το Λιμάνι περιβάλλεται ασφυκτικά από την πόλη και κατά συνέπεια όλη η κίνηση διέρχεται μέσα από το αστικό δίκτυο το οποίο είναι τελείως ανεπαρκές. Λόγω των παραπάνω προβλημάτων ο Οργανισμός Λιμένος Πατρών Α.Ε. σε συνεργασία με το Υπουργείο Χωροταξίας Περιβάλλοντος και Δημοσίων Έργων ολοκλήρωσε τη μελέτη και ήδη από το 1997 άρχισε η κατασκευή Νέου Λιμένα στην ακτή Δυμαίων 1 χλμ. νότια του υπάρχοντος και προβλέπεται να εξυπηρετήσει όλα τα είδη των συνδυασμένων μεταφορών. Με την συμπλήρωση των έργων σε συνδυασμό με την κατασκευή του λιμένα της Ηγουμενίτσας θα εξυπηρετείται ικανοποιητικά η ζήτηση από/προς Ιταλία / Ευρωπαϊκή Κοινότητα τουλάχιστον μέχρι το έτος 2010. Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο την ενίσχυση εδαφών με την μέθοδο των χαλικοπασσάλων και την εφαρμογή της μεθόδου στον τερματικό σταθμό του νέου λιμένα Πατρών και πιο συγκεκριμένα στο υπέδαφος, όπου πρόκειται να στεγαστούν τα κτίρια .

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 γίνεται μια αναφορά στην ρευστοποίηση των εδαφών και στον τρόπο αντιμετώπισης των προβλημάτων.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 γίνεται μια εκτενής ανάπτυξη της μεθοδολογίας κατασκευής των εν λόγω χαλικοπασσάλων με την ξηρή μέθοδο τοποθέτησης.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 γίνεται πλήρης παρουσίαση της μελέτης θεμελίωσης που πραγματοποιήθηκε για τον τερματικό σταθμό στα πλαίσια του εν λόγω έργου.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 γίνεται μια παρουσίαση των συμπερασμάτων που προέκυψαν στο εν λόγω έργο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΛΑΦΩΝ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Ο όρος ρευστοποίηση χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη συμπεριφορά των κοκκωδών μη-συνεκτικών (ψαθυρών) εδαφών όταν υποβάλλονται σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση (κυρίως σεισμική).

Το φαινόμενο της ρευστοποίησης ενός ψαθυρού υλικού για να εμφανιστεί θα πρέπει:

- να είναι κορεσμένο (π.χ. υψηλός υδροφόρος ορίζοντας)
- να βρίσκεται σε χαλαρή κατάσταση
- να είναι λεπτόκοκκο με σχετικά ομοιόμορφη κοκκομετρική διαβάθμιση και να περιέχει πολύ μικρό ποσοστό αργιλικού κλάσματος
- η σεισμική φόρτιση να έχει κάποια διάρκεια ώστε να προλάβει να αναπτυχθεί η πίεση του νερού των πόρων
- η διαπερατότητα να είναι τέτοια ώστε να μην υπάρχει η δυνατότητα αποτόνωσης της αναπτυσσόμενης υπερπίεσης του νερού των πόρων.

Γενικά τέτοια εδάφη είναι οι χαλαρές και λεπτές άμμοι, οι ιλυώδεις άμμοι και οι αμμώδεις ιλύς καθώς και οι άμμοι με ποσοστά λεπτόκοκκων.

Στα συνεκτικά εδάφη είναι δυνατόν να αναπτυχθεί υπερπίεση νερού των πόρων όμως εξαιτίας της συνοχής τους αποτρέπεται ο διαχωρισμός των κόκκων και επομένως η απώλεια της αντοχής του εδάφους (Perlea, 2000). Κατηγορίες συνεκτικών εδαφών με πιθανότητα ρευστοποίησης είναι οι αργιλώδεις ιλύς και ιλυώδης άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας καθώς και ευαίσθητοι άργιλοι. Ωστόσο, για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα απαιτούνται κατάλληλες εργαστηριακές δοκιμές στα εδάφη αυτά .

Η ρευστοποίηση ενός ψαθυρού εδάφους οφείλεται στην ταχεία αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων κάτω από την δράση του εδαφικού σεισμικού κραδασμού. Η αύξηση αυτή της πίεσης του νερού των πόρων έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των τιμών των ενεργών ορθών τάσεων και την επακόλουθη μείωση της διατμητικής αντοχής και της φέρουσας ικανότητας του εδαφικού υλικού η οποία οδηγεί στην ανάπτυξη μεγάλων καθιζήσεων. Επομένως στην περίπτωση εκδήλωσης του φαινομένου τίθεται σε κίνδυνο η ακεραιότητα

και η λειτουργικότητα όλων των κατασκευών που εδράζονται στην επιφάνεια ή το εσωτερικό των επηρεαζόμενων εδαφικών σχηματισμών.

Το παραπάνω φαινόμενο οφείλεται στο γεγονός ότι η σεισμική φόρτιση είναι πρακτικά μια επανάληψη κύκλων φόρτισης-αποφόρτισης μεταβλητού πλάτους που διαρκεί μικρό χρονικό διάστημα σε σχέση με τον χρόνο που χρειάζεται το έδαφος για να αποστραγγιστεί. Πρακτικά δηλαδή έχουμε αστράγγιστες συνθήκες φόρτισης.

Για ένα κλειστό κύκλο φόρτισης η συμπεριφορά του εδάφους είναι μη γραμμική και περιγράφεται από ένα βρόχο υστέρησης, που η επιφάνεια του και η κλίση του εξαρτώνται από το πλάτος της διατμητικής παραμόρφωσης στον συγκεκριμένο κύκλο. Όσο αυξάνει η διατμητική παραμόρφωση τόσο μεγαλώνει η επιφάνεια του βρόγχου και μικραίνει η κλίση του ως προς τον άξονα των παραμορφώσεων. Κάθε κύκλος φόρτισης μπορεί να περιγραφεί με δύο παραμέτρους :

- την κλίση της ευθείας που ενώνει τα δύο άκρα του βρόγχου. Η ευθεία εκφράζει το μέσο μέτρο διάτμησης G_m .
- το συντελεστή απόσβεσης D που μετρά την επιφάνεια του βρόγχου και εκφράζει την ενέργεια που αποδόθηκε από το υλικό για την πραγματοποίηση του κύκλου.

Ταυτόχρονα με τις διατμητικές παραμορφώσεις κατά το πέρασμα των σεισμικών κυμάτων είναι δυνατόν να παρατηρηθεί ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, αφ' ενός μια μεταβολή του όγκου, αφ' ετέρου μια απότομη αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων. Κατά την διάρκεια του σεισμού οι συνθήκες είναι αστράγγιστες και παρατηρείται μια ανάπτυξη της υπερπίεσης του νερού των πόρων ως συνέπεια της αδυναμίας παραμόρφωσης όγκου. Ενδέχεται να λάβει χώρα μείωση της ενεργού τάσης $\sigma' = \sigma - u$ και μηδενισμός της σε ακραίες περιπτώσεις, που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια της διατμητικής αντοχής, σύμφωνα με το κριτήριο θραύσης Mohr-Coulomb: $\tau = c + \sigma' \tan \varphi$ ($c = 0$ για μη συνεκτικά εδάφη). Αποτέλεσμα αυτών είναι να μειώνονται ή να εξαφανίζονται οι επαφές με καταστροφικά αποτελέσματα όσον αφορά τη φέρουσα ικανότητα του εδάφους. Δηλαδή το έδαφος συμπεριφέρεται ως ρευστό (Ishihara, 1993) για το μικρό χρονικό διάστημα μερικών λεπτών.

Η ρευστοποίηση μπορεί να πάρει ποικίλες μορφές από καταστροφική «εδαφική ροή» έως μικρές (ανεκτές) παραμένουσες παραμορφώσεις και μεγάλες αιφνίδιες παραμορφώσεις. Η κατάσταση στην οποία το έδαφος στιγμιαία χάνει ολοκληρωτικά τη διατμητική αντοχή του ονομάζεται αρχική ρευστοποίηση. Συνοδεύεται από περιορισμένες παραμορφώσεις και συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρεται με τον όρο «κυκλική κινητικότητα». Εάν η φόρτιση διαρκεί ένα μεγάλο σχετικά χρονικό διάστημα και το έδαφος δεν έχει μεγάλη διαπερατότητα, τότε η υψηλή πίεση των πόρων δεν μπορεί να εκτονωθεί, διατηρείται σε πολύ υψηλές τιμές και το έδαφος αρχίζει να παρουσιάζει μεγάλες παραμορφώσεις που

προοδευτικά το οδηγούν στην πλήρη θραύση. Ο παράγοντας χρόνος υπεισέρχεται με έμμεσο τρόπο, μέσα από τους κύκλους φόρτισης και την ταχύτητα εκτέλεσης του κάθε κύκλου. Η κυκλική διατμητική αντοχή του κάθε εδάφους εξαρτάται από τον αριθμό των κύκλων φόρτισης και φυσικά την κατακόρυφη τάση εδάφους «σ» και την πυκνότητα του εδαφικού υλικού. Ο αριθμός των ισοδύναμων κύκλων φόρτισης για τον οποίο παρατηρείται ρευστοποίηση εξαρτάται από το μέγεθος του σεισμού.

1.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ.

Οι επιπτώσεις της ρευστοποίησης στα τεχνικά έργα μπορεί να είναι ιδιαίτερα καταστροφικές, όπως π.χ. η μείωση της φέρουσας ικανότητας και αστοχία στη θεμελίωση έργων (Silos Ιαπωνία, 1964), η καταστροφή χωμάτων φραγμάτων (Αλάσκα, 1964). Σε πολλές περιπτώσεις η ρευστοποιημένη άμμος εμφανίζεται στην επιφάνεια υπό μορφή μικρών κρατήρων και το φαινόμενο είναι άμεσα εμφανές (Κεφαλονιά, Ζάκυνθος 1983 και Μυγδονία 1978).

Αν λάβει σημαντική έκταση είναι δυνατό να επιφέρει σημαντικές βλάβες σε κτίρια, επιχώματα, πρανή, αντιστηρίξεις, οδοστρώματα, δεξαμενές, δίκτυα ύδρευσης. Για σημαντικές κατασκευές όπως δημόσια κτίρια, γέφυρες, φράγματα, εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας, δεξαμενές υγροποιημένου αερίου η πιθανότητα ρευστοποίησης πρέπει να αποκλείεται.

Για την πρόβλεψη του φαινομένου της ρευστοποίησης έχουν προταθεί αρκετές μέθοδοι. Σαν κυριότερη παρουσιάζεται η μέθοδος των *Seed* και *Idriss* (1971) με τις τροποποιήσεις που έχει υποστεί και γνωστή με το όνομα «απλοποιημένη μέθοδος». Για τη μέθοδο αυτή απαιτείται η γνώση των δυναμικών χαρακτηριστικών παραμέτρων αντοχής του εδάφους που παίρνονται με τη χρήση ειδικών δυναμικών εργαστηριακών συσκευών.

Χαρακτηριστικές επιπτώσεις της ρευστοποίησης του εδάφους σε τεχνικά έργα που παρατηρήθηκαν σε περιοχές που επλήγησαν από ισχυρούς σεισμούς είναι οι ακόλουθες (Μπουκοβάλας, 2007):

(α) **Αστοχίες θεμελιώσεων** κτιρίων που σε αρκετές περιπτώσεις οδήγησαν και σε ανατροπή τους (Εικ. 1.1 και 1.2).



Εικόνα 1.1 Αστοχία θεμελιώσεων κτιρίων λόγω ρευστοποίησης του εδάφους κατά το σεισμό της Niigata, 1964 (Μπουκοβάλας, 2007).



Εικόνα 1.2 Αστοχία θεμελιώσεων κτιρίων λόγω ρευστοποίησης του εδάφους κατά το σεισμό του Izmit, 1999 (Μπουκοβάλας, 2007).

(β) **Ανάδυση υπογείων κατασκευών**, με χαρακτηριστικές περιπτώσεις αυτές των φρεατίων στην Ιαπωνία (Εικ. 1.3).



Εικόνα 1.3 Ανάδυση φρεατίου λόγω ρευστοποίησης του εδάφους στην Hokkaido, 2003 (Μπουκοβάλας, 2007).

(γ) **Αστοχία φυσικών ή τεχνητών πρανών** με συνέπειες π.χ. σε έργα οδοποιίας (Εικ. 1.4).



Εικόνα 1.4 Αστοχία πρανούς σε δρόμο λόγο ρευστοποίησης του στην Hokkaido, 2003 (Μπουκοβάλας, 2007).

(δ) Αστοχία λιμενικών κρηπιδότοιχων με σημαντικές επιπτώσεις στα συγκεκριμένα έργα υποδομής (Εικ. 1.5 και 1.6).



Εικόνα 1.5 Αποτελέσματα της αστοχίας λιμενικού κρηπιδότοιχου λόγω ρευστοποίησης του εδάφους κατά το σεισμό του Kobe, 1995 (Μπουκοβάλας, 2007).



Εικόνα 1.6 Αστοχία λιμενικού κρηπιδότοιχου λόγω ρευστοποίησης του εδάφους κατά το σεισμό του Kobe, 1995 (Μπουκοβάλας, 2007).

1.3 ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΛΙΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΑΤΡΑΣ.

Ο Νέος Λιμένας Πατρών αποτελεί ένα από τα πλέον σημαντικά έργα τα οποία κατασκευάστηκαν στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας. Η επιλογή αξιόπιστων τιμών για τις παραμέτρους σχεδιασμού των διαφόρων τύπων κατασκευών του λιμένα αποτέλεσε τμήμα της οριστικής μελέτης του έργου και είχε ως στόχο την βελτιστοποίηση της ασφάλειας και της οικονομίας των κατασκευών αυτών.

Το είδος των εδαφικών σχηματισμών της περιοχής των έργων και η σεισμικότητα της περιοχής έκαναν επίσης αναγκαία την διερεύνηση της επικινδυνότητας ρευστοποίησης των εδαφικών υλικών (Αθανασόπουλος και Ατματζίδης, 1994).

Οι έλεγχοι ασφάλειας περιορίστηκαν σε θέσεις στις οποίες ήταν διαθέσιμα στοιχεία για την σύσταση του υπεδάφους καθώς και τιμές ορισμένων παραμέτρων των εδαφικών υλικών. Οι θέσεις αυτές καλύπτουν όλες τις περιοχές

θεμελίωσης κατασκευών όπως ο κυματοθραύστης, οι κρηπιδότοιχοι, οι επιχωματώσεις και τα υπόλοιπα έργα ξηράς.

Τα εδαφικά υλικά που συναντώνται στην θέση των έργων ταξινομήθηκαν σε τρεις ενότητες (Αθανασόπουλος και Ατματζίδης, 1994):

- Ενότητα Α: Περιλαμβάνει τις μαλακές ιλυώδεις-αμμώδεις αργίλους οι οποίες συναντώνται σε όλες τις θαλάσσιες γεωτρήσεις κάτω από τον πυθμένα.
- Ενότητα Β: Περιλαμβάνει εναλλασσόμενες στρώσεις ιλυωδών άμμων και αμμωδών ιλύων οι οποίες συναντώνται ως ενστρώσεις σε ποίκιλα βάθη κάτω από τα εδάφη του πυθμένα της θάλασσας.
- Ενότητα Γ: Περιλαμβάνει κυρίως στρώσεις αμμωδών χαλικών οι οποίες συναντώνται σε μεγάλα πάχη τόσο στις θαλάσσιες όσο και στις χερσαίες γεωτρήσεις.

Ο έλεγχος της επικινδυνότητας ρευστοποίησης διεξάγεται συνήθως με την απλοποιημένη μέθοδο δυναμικής ανάλυσης η οποία βασίζεται στην γνώση των τιμών του αριθμού κτύπων της τυποποιημένης δοκιμής διείσδυσης ή της δοκιμής διείσδυσης κώνου ως συνάρτηση του βάθους. Χρησιμοποιούνται επίσης συχνά και πιθανότατα μέθοδοι αντιμετώπισης του προβλήματος. Συγκεκριμένα στο Νέο Λιμένα Πατρών διεξήχθη έλεγχος με βάση την κοκκομετρική διαβάθμιση, τα κινεζικά κριτήρια και την μέθοδο *Seed-Idriss*.

Ο αρχικός έλεγχος της επικινδυνότητας ρευστοποίησης των τριών εδαφικών ενοτήτων έγινε με βάση κριτήρια κοκκομετρικής διαβάθμισης (Ishihara, 1985, National Research Council, 1985). Ο έλεγχος έδειξε ότι τα εδαφικά υλικά της Ενότητας Γ είναι μη ρευστοποιήσιμα ενώ το κύρια επιρρεπές σε ρευστοποίηση εδαφικό υλικό είναι αυτό της Ενότητας Β. Τα υλικά της Ενότητας Α περιέχουν σχετικά υψηλό ποσοστό λεπτών κόκκων και για το λόγο αυτό έγινε περαιτέρω έλεγχος της επικινδυνότητας ρευστοποίησής τους με βάση τα Κινεζικά κριτήρια.

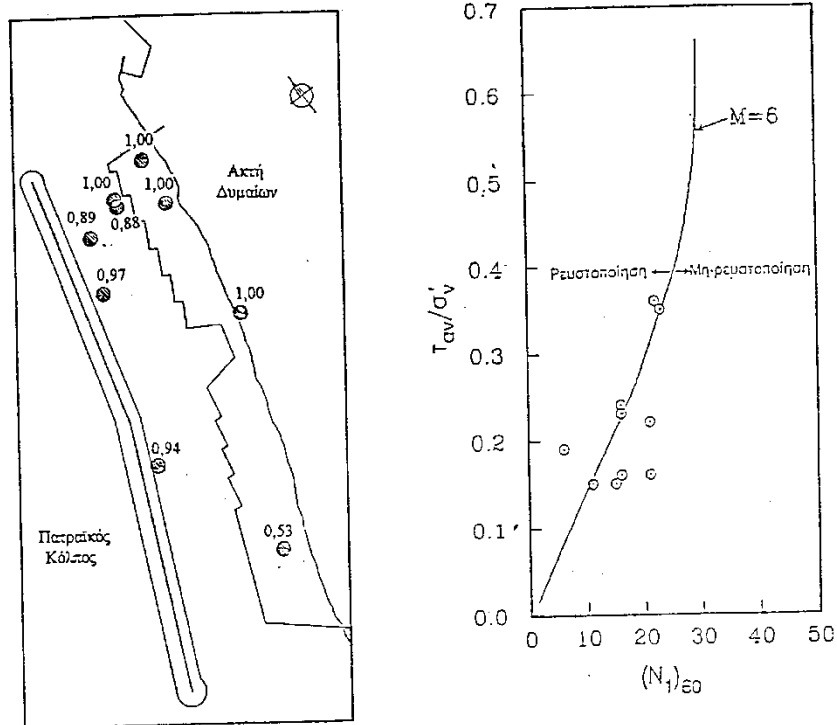
Σύμφωνα με τα Κινεζικά κριτήρια ρευστοποίησης ένα εδαφικό υλικό είναι ρευστοποιήσιμο όταν περιέχει ποσοστό κόκκων διαμέτρου 0.005 mm μικρότερο ή ίσο του 20%, όριο υδαρότητας $LL \leq 35\%$ και φυσική υγρασία $W_n \geq (0.9)LL$.

Λαμβάνοντας υπόψη και τις συνήθως εφαρμοζόμενες διορθώσεις στις τιμές των μετρηθέντων παραμέτρων, προέκυψε (Αθανασόπουλος και Ατματζίδης, 1994) ότι για τα εδάφη της Ενότητας Α είναι:

- ποσοστό κόκκων διαμέτρου 0.005 mm =28%
- όριο υδαρότητας =35%
- φυσική υγρασία =35%.

Με βάση τις παραπάνω τιμές και δεδομένου ότι το ποσοστό λεπτών είναι σημαντικά μεγαλύτερο του 20%, έγινε δεκτό ότι τα υλικά της Ενότητας Α είναι μη ρευστοποιήσιμα.

Συνεπώς, ως πιθανώς ρευστοποιήσιμα θεωρήθηκαν τα εδάφη της παραπάνω Ενότητας Β στις θέσεις που φαίνονται στο Σχήμα 1.2. Η πιθανότητα ρευστοποίησης του εδάφους ελήφθη υπόψη κατά το σχεδιασμό των θεμελιώσεων των έργων του λιμένα, όπως και του τερματικού σταθμού που παρουσιάζεται στην εργασία αυτή.



Σχήμα 1.2 Θέσεις με επικινδυνότητα ρευστοποίησης στο Νέο Λιμένα της Πάτρας και αποτελέσματα ελέγχων στις πλέον κρίσιμες από αυτές (Αθανασόπουλος και Ατματζίδης, 1994).

1.4 ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ – ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

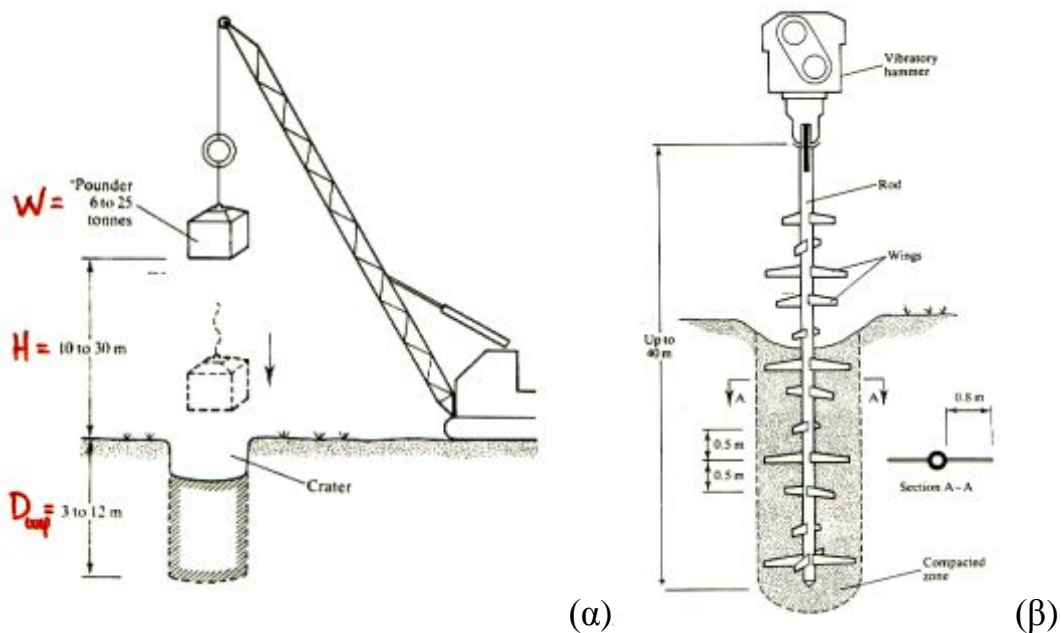
Τρεις είναι οι βασικοί μηχανισμοί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον περιορισμό, την αποτροπή της ρευστοποίησης ψαθυρών εδαφών (Μπουκοβάλας, 2007). Κάθε μηχανισμός αντιστοιχεί σε μεθόδους επέμβασης – βελτίωσης του πιθανώς ρευστοποιήσιμου εδάφους.

Ο πρώτος μηχανισμός είναι ο περιορισμός με κατάλληλες μεθόδους των διατμητικών παραμορφώσεων του εδάφους που επιβάλει ο σεισμός και που, όπως αναφέρθηκε, μπορούν να οδηγήσουν σε ρευστοποίησή του. Ο μηχανισμός αυτός υλοποιείται με (Μπουκοβάλας, 2007):

- διαφραγματικούς τοίχους ή
- τη μέθοδο της βαθιάς εδαφικής ανάμειξης (ανάμειξη του εδάφους σε κατάλληλες θέσεις με κάποιο υλικό σταθεροποίησης)

Εναλλακτικά μπορεί να αυξηθεί η πυκνότητα του εδάφους (δεύτερος μηχανισμός) με τις παρακάτω μεθόδους:

- την επιφανειακή συμπίκνωση (Σχ. 1.3(α))
- τη βαθιά δονητική συμπίκνωση (Σχ. 1.3(β)) ή
- τη βαθιά δονητική αντικατάσταση



Σχήμα 1.3 Αύξηση της πυκνότητας του εδάφους για την αντιμετώπιση της πιθανότητας ρευστοποίησής του με (α) επιφανειακή συμπίκνωση (β) βαθεία δονητική συμπίκνωση (Μπουκοβάλας, 2007)

Τέλος για την διευκόλυνση της ταχείας αποτόνωσης των υδατικών υπερπλίσεων χρησιμοποιείται η μέθοδος των Χαλικοπασσάλων - Στραγγιστηρίων. Με την κατασκευή των χαλικοπασσάλων επιτυγχάνεται, πέραν της ταχείας αποτόνωσης της υπερπίεσης του νερού των πόρων (Μπουκοβάλας, 2007):

- Συμπύκνωση των αμμώδων εδαφών
- Ανάληψη φορτίου από τους χαλικοπασσάλους
- Αύξηση της ισοδύναμης διατμητικής αντοχής του εδάφους.

Πρόκειται δηλαδή για μία μέθοδο με σύνθετη δράση (αποτροπή ρευστοποίησης και ενίσχυση του εδάφους).

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για τη βελτίωση του εδάφους κατά τη θεμελίωση του τερματικού σταθμού του Νέου Λιμένα της Πάτρας και παρουσιάζεται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια της εργασίας.

Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΔΟΝΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η δονητική αντικατάσταση του εδάφους είναι μια τεχνική η οποία δημιουργήθηκε ως εξέλιξη της διαδικασίας δονητικής συμπύκνωσης. Εδάφη όπως ιλύς, άργιλος και άμμος δεν μπορούν εύκολα να συμπυκνωθούν με τη μέθοδο της δονητικής συμπύκνωσης, καθώς αδυνατούν να ανταποκριθούν στη δόνηση, αφού πρακτικά υλικά δεν υπάρχει τη δυνατότητα ολίσθησης έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα πιο συμπυκνωμένο «συμπαγές» έδαφος.

Η μέθοδος δονητικής αντικατάστασης χρησιμοποιεί σαν υλικά απόθεσης χονδρόκοκκα σαγρέ υλικά, τα οποία αποτελούνται από χαλίκι και θραυστά αδρανή. Η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως στους παραπάνω τύπους εδαφών (π.χ ιλυώδη και αργιλικά εδάφη) όπου η δονητική συμπύκνωση δεν έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Με την τεχνική αυτή εκτοπίζεται οριζοντίως μια στήλη του επιτόπου εδαφικού υλικού και αντικαθίσταται από χαλικώδες υλικό, το οποίο επιπλέον συμπυκνώνεται με τη δόνηση δημιουργώντας έναν «χαλικοπάσσαλο».

Οι χαλικοπάσσαλοι διατάσσονται σε κάρναβο με αποστάσεις που ικανοποιούν την απαιτούμενη βελτίωση των γεωτεχνικών συνθηκών, όπως έχει καθορισθεί από τη Μελέτη και έχει προκύψει από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των προκαταρκτικών δοκιμών εφαρμογής της μεθόδου. Λόγω της μεγάλης διαπερατότητας του χαλικώδους υλικού σε σχέση με το περιβάλλον έδαφος, οι χαλικοπάσσαλοι λειτουργούν και ως κατακόρυφα στραγγιστήρια διευκολύνοντας την εκτόνωση των υπερπίεσεων του νερού των πόρων, που οφείλονται είτε στην εφαρμογή δυναμικών-σεισμικών φορτίων είτε στην επιβολή στατικών επιφορτίσεων (π.χ. από επιχώματα προφόρτισης). Στην τελευταία περίπτωση (προφόρτιση), με τους χαλικοπασσάλους επιτυγχάνεται πέραν της αύξησης της αντοχής του εδάφους και της μείωσης της συμπιεστότητας μείωση του χρόνου πραγματοποίησης των καθιζήσεων λόγω στερεοποίησης.

Συμπερασματικά η μέθοδος της δονητικής αντικατάστασης του εδάφους μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία για την αύξηση της φέρουσας ικανότητας και τη μείωση των καθιζήσεων του εδάφους θεμελίωσης τεχνικών έργων, την επιτάχυνση της πραγματοποίησης των καθιζήσεων σε συνδυασμό με την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους, και τη βελτίωση της συνολικής ευστάθειας επιχωμάτων και άλλων τεχνικών έργων. Στις παραγράφους που ακολουθούν αναφέρονται γενικά στοιχεία για την εφαρμογή της μεθόδου και την

κατασκευή χαλικοπασσάλων προερχόμενα κυρίως από τις προσωρινές προδιαγραφές. (ΠΕΤΕΠ 11-03-03-00):

2.2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

- 1) **Δονητική αντικατάσταση (Vibro replacement):** Διαδικασία κατασκευής χαλικοπασσάλων σε συνεκτικά κυρίως εδάφη με τη βοήθεια του συστήματος δονητή-στήλη.
- 2) **Χαλικοπάσσαλος (Stone Column):** Στήλη από χαλικώδες υλικό που κατασκευάζεται εκτοπίζοντας το περιβάλλον έδαφος και χρησιμεύει για την παραλαβή κατακόρυφων φορτίων ή/και την επιτάχυνση της στράγγισης. Χαλικοπάσσαλοι κατασκευάζονται κυρίως σε αργιλικά εδάφη στα οποία η δονητική συμπύκνωση δεν είναι ιδιαίτερος αποδοτική.
- 3) **Δονητική Τορπίλη (Vibro-flot):** Το κυρίως τμήμα του δονητή, αποτελούμενο από ένα κυλινδρικό μεταλλικό σωλήνα με μορφή τορπίλης στην αιχμή του. Μέσα στον σωλήνα αυτό, ένα βάρος δύναται να περιστρέφεται έκκεντρα, μεταδίδοντας την δόνηση στο έδαφος.
- 4) **Δονητική Στήλη:** Το σύνολο της δονητικής τορπίλης και των στελεχών (αποτελούμενων από απλούς χαλύβδινους σωλήνες). Τα στελέχη συνδέονται με τον κυρίως δονητή μέσω ενός ελαστομερούς μονωτήρα απόσβεσης των δονήσεων. Η δονητική στήλη περιέχει εσωτερικά σωλήνες για την διοχέτευση νερού στην αιχμή του δονητή. Στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου με εσωτερική τροφοδοσία χαλικιού προς την αιχμή, η δονητική στήλη φέρει στο εσωτερικό της και έναν ειδικό σωλήνα τροφοδοσίας με χοάνη στην κεφαλή.
- 5) **Υγρή μέθοδος** κατασκευής ονομάζεται η διαδικασία δονητικής αντικατάστασης όπου το έδαφος είναι βρεγμένο.
- 6) **Ξηρά μέθοδος** κατασκευής ονομάζεται η διαδικασία δονητικής αντικατάστασης όπου το έδαφος είναι στεγνό.
Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε στο έργο που παρουσιάζεται στα πλαίσια της παρούσης. Περισσότερα στοιχεία δίνονται σε επόμενη παράγραφο.

2.3 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΑ ΚΕΙΜΕΝΑ

Οι ισχύουσες προδιαγραφές και τα κανονιστικά κείμενα, τα οποία αφορούν εργασίες δονητικής αντικατάστασης είναι τα εξής:

- 1) ΠΕΤΕΠ 11-01-01-00: Ε1/2004 «Πάσσαλοι δι' εκσκαφής (Εγχυτοι Πάσσαλοι) και Κεφαλόδεσμοι».
- 2) EN 791:1995 «Drill rigs – Safety» -- Προδιαγραφές για Γεωτρύπανα και Ασφάλεια.
- 3) EN 1991-1-1:2002 Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings -- Ευρωκώδικας 1: Δράσεις σε δομήματα - Μέρος 1-1 : Γενικές δράσεις - Πυκνότητες, ίδια βάρη και φορτία εκμετάλλευσης κτιρίων.
- 4) EN 1997-1:2004 Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules Ευρωκώδικας 7: Γεωτεχνικός σχεδιασμός - Μέρος 1: Γενικοί κανόνες.
- 5) EN 10025-1:2004 Hot rolled products of structural steels - Part 1: General technical delivery conditions. -- Δομικοί χάλυβες θερμής εξέλασης. Μέρος 1: Γενικοί τεχνικοί όροι παράδοσης.

2.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ – ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΩΝ

2.4.1 Γενικά

Η εφαρμογή της βαθιάς δόνησης απαιτεί ιδιαίτερη γνώση και εμπειρία με εξειδικευμένο κατά περίπτωση εξοπλισμό και προσωπικό. Η κατασκευή χαλικοπασσάλων εκτελείται με τις εξής φάσεις:

1. Την αρχική φάση που περιλαμβάνει την διείσδυση της δονητικής στήλης ή του κλειστού σωλήνα μέχρι το επιθυμητό βάθος.
2. Την φάση που περιλαμβάνει διαδικασία συμπύκνωσης και πλήρωσης με το κατάλληλο υλικό που περιγράφηκε.

Πριν από την έναρξη των εργασιών, θα πρέπει να υποβάλλεται προς έγκριση η μεθοδολογία της βαθιάς δόνησης, η οποία θα περιέχει κατ' ελάχιστον τα παρακάτω στοιχεία:

- Σκοπός των εργασιών βελτίωσης του εδάφους με την τεχνική της βαθιάς δόνησης.
- Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών του εδάφους.

- Περιγραφή της προτεινόμενης μεθόδου κατασκευής η οποία κρίνεται ως κατάλληλη για τις αναμενόμενες γεωτεχνικές συνθήκες ή άλλες συνθήκες του εργοταξιακού χώρου.
- Σχηματική εγκατάσταση του εξοπλισμού και της διαχείρισης των άχρηστων υλικών.
- Διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου καθώς και τις ελάχιστες απαιτήσεις αυτού (π.χ. μεταβολή της υδραυλικής πίεσης ή της έντασης του ηλεκτρικού φορτίου με το βάθος και τον χρόνο). Επιπροσθέτως, θα καταγράφονται οι ποσότητες του χαλικιού πλήρωσης της οπής ώστε να εκτιμηθεί η διάμετρος του δημιουργούμενου χαλικοπασσάλου.
- Τα χαρακτηριστικά του αμμοχάλικου ή χαλικιού πλήρωσης με την αντίστοιχη κοκκομετρική καμπύλη.
- Κατασκευαστικά σχέδια και τεχνικές εκθέσεις όπου θα φαίνεται ο κάρναβος και το εφαρμογής, καθώς και η αλληλουχία των εργασιών.

Η τελική απόφαση για την μέθοδο και την διαδικασία κατασκευής θα ληφθεί μετά την εκτέλεση ενός δοκιμαστικού πεδίου, (τουλάχιστον 12 σημεία εφαρμογής σε ένα κάρναβο 3 x 4). Το δοκιμαστικό αυτό πεδίο θα αποτελέσει και την βάση του ποιοτικού ελέγχου για το σύνολο της κατασκευής.

i. Συνοπτική παρουσίαση βασικών μεθόδων

Οι βασικές μέθοδοι κατασκευής χαλικοπασσάλων είναι οι ακόλουθες:

1. **«Υγρή» μέθοδος με τροφοδοσία στην αιχμή (Wet bottom feed method)** : Κατασκευή χαλικοπασσάλου με την βοήθεια του συστήματος δονητή-δονητική στήλη, όπου αφενός μεν η διάτρηση γίνεται με την βοήθεια νερού που εκτοξεύεται από την αιχμή του δονητή, αφετέρου δε το υλικό πλήρωσης (χαλίκι) μεταφέρεται στην αιχμή του δονητή μέσω του ειδικού σωλήνα τροφοδοσίας που είναι ενσωματωμένος στην δονητική στήλη.
2. **«Υγρή» μέθοδος με τροφοδοσία από πάνω (Wet top feed method):** Όμοια μέθοδος με αυτήν της υγρής τροφοδοσίας στην αιχμή, μόνο που τώρα η τροφοδοσία με χαλίκι γίνεται από πάνω εκτοξεύοντας συνεχώς νερό στην αιχμή και καθ' ύψος της στήλης, ούτως ώστε να διατηρείται ανοικτός ο δακτύλιος μεταξύ του εδάφους και της στήλης.
3. **«Ξηρά» μέθοδος με τροφοδοσία στην αιχμή (Dry bottom feed method):** Κατασκευή χαλικοπασσάλου με την βοήθεια του συστήματος δονητή-δονητική στήλη, όπου το υλικό πλήρωσης, (χαλίκι), μεταφέρεται μέσω ειδικού σωλήνα τροφοδοσίας που είναι ενσωματωμένος στην δονητική στήλη στην αιχμή με την βοήθεια πεπιεσμένου αέρα.

4. **«Ξηρά» μέθοδος με τροφοδοσία από πάνω (Dry top feed method) :** Όμοια μέθοδος με αυτήν της ξηράς τροφοδοσίας στην αιχμή, μόνο που τώρα η τροφοδοσία με χαλίκι γίνεται από πάνω και αφού πρώτα έχει εξαχθεί από το έδαφος η δονητική στήλη. Η μέθοδος αυτή είναι δυνατόν να εφαρμοστεί μόνο στην περίπτωση που δεν υπάρχουν καταπτώσεις στην οπή, π.χ. σε σταθερά εδάφη πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα.
5. **Μέθοδος κλειστού σωλήνα:** Μέθοδος με την οποία ο χαλικοπάσσαλος κατασκευάζεται με την τεχνική των πασσάλων εμπήξεως με την βοήθεια ενός κλειστού σωλήνα. Το υλικό πλήρωσης εισάγεται μέσα στον σωλήνα και συμπυκνώνεται ανά μικρά διαστήματα (με ταυτόχρονη ανύψωση του σωλήνα), και εισχωρεί στο περιβάλλον έδαφος.
6. **Ενεμάτωση με υψηλή πίεση (Jet grouting):** Μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορα είδη εδαφών με μεγάλη ευελιξία στην εφαρμογή της γεωμετρίας.
7. **Κατασκευή μικροπασσάλων λόγω άνωσης:** Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν λόγω της γεωμετρίας του έργου και του υψηλού υδροφόρου ορίζοντα στο παρακείμενο έδαφος .Απαιτείται να εξασφαλιστεί η μελλοντική κατασκευή από την αναπτυσσόμενη άνωση.
8. **Gravel jet:** Η μέθοδος είναι παρόμοια τη δονητική αντικατάσταση με τροφοδοσία στην αιχμή, με διαφορά στη μεταφορά του χαλικιού. Χρησιμοποιείται για την θεμελίωση κατασκευών όταν απαιτείται βελτίωση του εδάφους με κατασκευή χαλικοπασσάλων, κάτω από επίχωμα προφόρτισης, με μέγιστο βάθος 27μ.

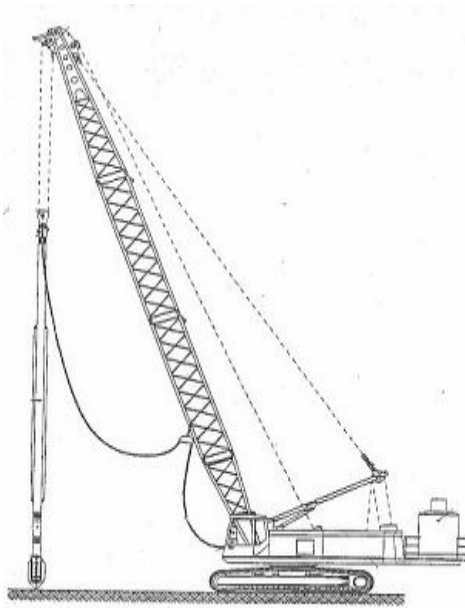
2.4.3 Αναλυτική περιγραφή των βασικών τεχνικών κατασκευής χαλικοπασσάλων

1. Μέθοδος με τροφοδοσία αδρανών στην κεφαλή της δονητικής στήλης

Η δονητική στήλη τοποθετείται σε κατακόρυφη θέση (με την βοήθεια του ανυψωτικού γερανού) στο σημείο όπου πρόκειται να εφαρμοστεί η κατασκευή του χαλικοπασσάλου (Σχήμα 2.1) . Με το ίδιο βάρος της δονητικής στήλης, τη βοήθεια του νερού που διοχετεύεται από τα ακροφύσια στην αιχμή του δονητή και σε συνδυασμό με τη δόνηση που επιβάλλεται, η δονητική στήλη εισάγεται στο έδαφος μέχρι το επιθυμητό βάθος. Η διάτρηση γίνεται στις θέσεις, κλίσεις, μήκη, βάθη και ανοχές αποκλίσεων που προβλέπονται από τη Μελέτη, ή όπως απαιτηθεί από τις επιτόπου συνθήκες και με την έγκριση της αρμόδιας Υπηρεσίας. Σε περίπτωση που επιφανειακά υπάρχει σκληρό εδαφικό στρώμα που

εμποδίζει την διείσδυση του δονητή, θα πρέπει να γίνεται προ-διάτρηση με διάμετρο τουλάχιστον ίση με αυτήν της δονητικής στήλης.

Η επιβαλλόμενη δόνηση σε συνδυασμό με τη χρήση του εκτοξευόμενου νερού έχει ως αποτέλεσμα την πλευρική εκτόπιση και (εν-μέρει) απομάκρυνση (ξέπλυμα) του επιτόπου αργιλικού εδάφους, δημιουργώντας οπή με διάμετρο μεγαλύτερη από τη διάμετρο του δονούμενου στελέχους. Τα τοιχώματα της οπής συγκρατούνται από το ανερχόμενο μίγμα νερού και εδαφικού υλικού γύρω από το στέλεχος καθ' όλη τη διάρκεια κατασκευής του χαλικοπασσάλου.



Σχήμα 2.1 Τυπική διάταξη ανυψωτικού γερανού που συγκρατεί δονητική στήλη σε κατακόρυφη θέση.

Αφού η δονητική στήλη φθάσει στο επιθυμητό βάθος, αρχίζει η διαδικασία κατασκευής του χαλικοπασσάλου με ανιόντα βήματα της τάξεως των 30 έως 50 cm μέχρι την επιφάνεια και σε κάθε βήμα διοχετεύεται χαλίκι από την επιφάνεια του εδάφους με την βοήθεια ενός φορτωτή. Η τροφοδοσία των αδρανών (χαλίκων) που προδιαγράφονται γίνεται συνεχώς από την επιφάνεια του εδάφους μεταξύ των τοιχωμάτων της οπής και του δονητικού στελέχους. Σε κάθε βήμα ανόδου, ο δονητής ξαναβυθίζεται και με την δόνησή του προκαλεί συμπύκνωση του χαλικιού και περαιτέρω εκτόπιση του εδάφους, έτσι ώστε να σχηματίζεται χαλικοπάσσαλος με διάμετρο μεγαλύτερη από αυτήν της οπής. Η βύθιση του δονητή επαναλαμβάνεται σε κάθε βήμα, μέχρις ότου επιτευχθεί συγκεκριμένη αύξηση της υδραυλικής πίεσης (bars) ή της ηλεκτρικής έντασης (Ampers), ανάλογα εάν χρησιμοποιείται

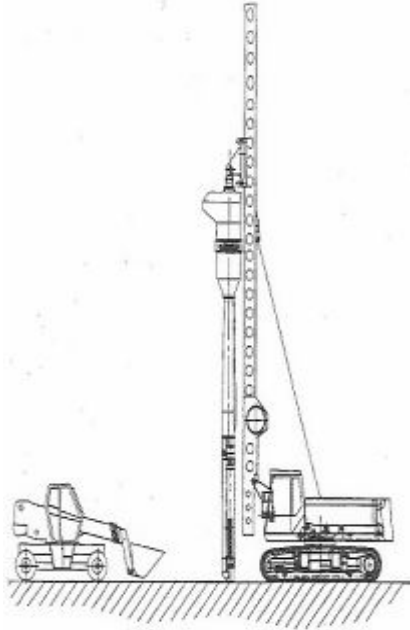
υδραυλικός ή ηλεκτρικός δονητής. Τα κριτήρια ανόδου του δονητή, δηλαδή βήμα ανόδου, αύξηση της πίεσης ή της έντασης, αριθμός παλινδρομικών κινήσεων προσδιορίζονται από τα αποτελέσματα στο αρχικό δοκιμαστικό πεδίο

Το χαλίκι πλήρωσης μπορεί να προέρχεται από προκατασκευασμένο στρώμα χαλικιών («κουβέρτα»), στην επιφάνεια του φυσικού εδάφους και πάχους τέτοιου (2 έως 3 m), ώστε ο όγκος του να αντιστοιχεί περίπου στο συνολικό απαιτούμενο όγκο συμπυκνωμένου υλικού για την κατασκευή και ολοκλήρωση κάθε χαλικοπασσάλου. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στα λιμενικά έργα όπου δεν είναι δυνατή η συνεχής τροφοδοσία χαλίκων στην επιφάνεια του πυθμένα. Στην περίπτωση όπου το προς συμπύκνωση έδαφος βρίσκεται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα και κατά την διάτρηση δεν έχουμε καταπτώσεις των παρειών της οπής, είναι δυνατόν να εφαρμοστεί η «ξηρά» μέθοδος κατά την οποία η τροφοδοσία με χαλίκι γίνεται με πλήρωση της οπής από την επιφάνεια χωρίς τη χρήση εκτοξευόμενου ύδατος, αφού πρώτα έχει εξαχθεί από το έδαφος η δονητική στήλη.

2. Μέθοδος με εσωτερική τροφοδοσία αδρανών από την αιχμή

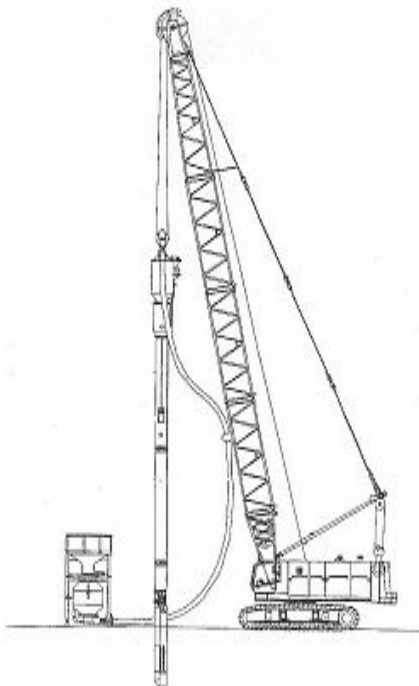
Στην μέθοδο αυτή, η ανάρτηση της δονητικής στήλης από τον ανυψωτικό γερανό μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

A) Η δονητική στήλη αναρτάται από γερανό με κατακόρυφο οδηγό (μπούμα), επί του οποίου ολισθαίνουν ανεξάρτητα (α) η δονητική στήλη και (β) μία χοάνη για την τροφοδοσία του δονητικού στελέχους με σύρτη στο κάτω μέρος (Σχήμα 2.2). Ο σωλήνας τροφοδοσίας χαλικιού φθάνει μέχρι την αιχμή του δονητή και τροφοδοτείται με σκύρα από τη χοάνη στο άνω άκρο του. Η χοάνη μπορεί να ανεβοκατεβαίνει με τη βοήθεια συρματόσχοινου, ολισθαίνουσα πάνω στον κατακόρυφο οδηγό, έτσι ώστε να μεταφέρει τα αδρανή από το δάπεδο εργασίας στο άνω μέρος του δονητικού στελέχους. Μεταξύ της χοάνης και της εξόδου του σωλήνα στην αιχμή, υπάρχει ένας θάλαμος προσωρινής αποθήκευσης με μία βαλβίδα με την οποία απομονώνεται από τον κυρίως σωλήνα τροφοδοσίας. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η τροφοδοσία με πεπιεσμένο αέρα στην φάση διεύδυσης του δονητή στο έδαφος και στην φάση ανύψωσης.



Σχήμα 2.2 Δονητική στήλη αναρτημένη από γερανό με κατακόρυφο οδηγό (μπούμα), επί του οποίου ολισθαίνουν ανεξάρτητα (α) η δονητική στήλη και (α) μία χοάνη για την τροφοδοσία του δονητικού στελέχους

- 2) Στην δεύτερη περίπτωση, η δονητική στήλη απλώς αναρτάται με συρματόσχοινο από κεκλιμένη μπούμα του γερανού (Σχήμα 2.3), και η τροφοδοσία στην χοάνη (που βρίσκεται στην κεφαλή της στήλης) γίνεται μέσω ελαστικού σωλήνα με μία κατάλληλη αντλία αδρανών



Σχήμα 2.3 Η δονητική στήλη απλώς αναρτημένη με συρματόσχοινο από κεκλιμένη μπούμα γερανού.

Και στις δύο περιπτώσεις, η μέθοδος περιλαμβάνει τις εξής επιπλέον φάσεις εργασίας :

- i. Τοποθέτηση του δονητικού στελέχους στην θέση όπου πρόκειται να κατασκευαστεί ο χαλικοπάσσαλος.
- ii. Πλήρωση όλου του δονητικού στελέχους μέσω της χοάνης στην κεφαλή, με αδρανή υλικά (σκύρα) όπως προδιαγράφονται.
- iii. Αν απαιτείται, κλείνει η βαλβίδα μεταξύ θαλάμου προσωρινής αποθήκευσης και σωλήνα και παρέχεται πεπιεσμένος αέρας μέσα στο θάλαμο. Η παροχή πεπιεσμένου αέρα χρησιμοποιείται προκειμένου να μειωθεί η υποπίεση που δημιουργείται στο έδαφος κατά την ανύψωση του δονητικού στελέχους και η οποία δημιουργεί αστάθεια των τοιχωμάτων του διατρήματος.
- iv. Έμπηξη του δονητικού στελέχους μέσα στο έδαφος με σύγχρονη δόνηση, μέχρι το
- v. προβλεπόμενο βάθος.
- vi. Μερική ανύψωση του δονητικού στελέχους κατά 0.50 m περίπου, εκκένωση των σκύρων και δονητική επανέμπηξη του στελέχους προκειμένου να συμπτυκνωθούν τα σκύρα.
- vii. Προοδευτική ανύψωση, με παράλληλη εκκένωση των σκύρων, με ταυτόχρονες συνεχείς μικρές επανεμπήξεις και συνεχή δόνηση, προκειμένου να συμπτυκνωθούν τα σκύρα και να σχηματιστεί ο χαλικοπάσσαλος. Σε κάθε βήμα, η επιτυγχανόμενη συμπίκνωση ελέγχεται μέσω της καταγραφής της αύξησης της υδραυλικής πίεσης (bars) ή της ηλεκτρικής έντασης (Ampers), ανάλογα εάν χρησιμοποιείται υδραυλικός ή ηλεκτρικός δονητής. Τα κριτήρια ανόδου του δονητή, δηλαδή βήμα ανόδου, αύξηση της πίεσης ή της έντασης, αριθμός παλινδρομικών κινήσεων προσδιορίζονται από τα αποτελέσματα στο αρχικό δοκιμαστικό πεδίο. Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας, ο σωλήνας τροφοδοτείται τακτικά με σκύρα, ανάλογα με τις ανάγκες.

3. Μέθοδος με έμψηξη κλειστού σωλήνα

Η κατασκευή χαλικοπασσάλων με την μέθοδο έμψηξης κλειστού σωλήνα περιλαμβάνει τις εξής φάσεις εργασίας:

1) Έμψηξη στο έδαφος (μέχρι την τελική στάθμη), ενός άκαμπτου χαλύβδινου σωλήνα πωματισμένου προσωρινά στο κάτω άκρο και εξωτερικής διαμέτρου κατ' ελάχιστον 600 mm. Η τοποθέτηση του σωλήνα θα γίνεται είτε δονητικά είτε κρουστικά, με κατάλληλο δονητή ή σφυρί, ικανό να επιτύχει την έμψηξη και ανύψωση του σωλήνα κατά τον παραπάνω περιγραφόμενο τρόπο, σύμφωνα με τα προδιαγραφόμενα κατασκευής πασσάλων με έμψηξη. Το πωμάτισμα επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός αρθρωτά συνδεδεμένου και ανοιγόμενου πώματος (κλαπέ), κωνικού ή επιπέδου σχήματος, αποτελουμένου από ένα ή περισσότερα τμήματα, που τοποθετείται μόνιμα στο κάτω άκρο του σωλήνα έμψηξης. Πλήρωση του σωλήνα, μετά το πέρας της έμψηξης, με τα αδρανή υλικά που προδιαγράφονται, με τη βοήθεια χοάνης που τοποθετείται στο άνω άκρο του σωλήνα.

2) Ελαφρά ανύψωση του σωλήνα, ούτως ώστε να ανοίξει το πώμα στην αιχμή του σωλήνα και το χαλικώδες υλικό του σωλήνα να πληρώσει το αντίστοιχο τμήμα του διατρήματος, ερχόμενο σε άμεση επαφή με το έδαφος. Στην συνέχεια λειτουργεί ξανά ο δονητής (ή το σφυρί έμψηξης) προκαλώντας μετατόπιση του σωλήνα προς τα κάτω, ούτως ώστε το πώμα να ξανακλείσει. Με την επανέμψηξη του σωλήνα συμπυκνώνεται το υλικό των σκύρων και διευρύνεται συγχρόνως η διάμετρος του χαλικοπασσάλου. Το μήκος ανύψωσης του σωλήνα θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μην υπάρχουν καταπτώσεις των τοιχωμάτων της οπής που μένει χωρίς επένδυση. Συνήθως, η έμψηξη γίνεται στο ήμισυ περίπου μήκος της ανεπένδυτης οπής. Εκτελούνται διαδοχικές ανυψώσεις και επανεμψήξεις του σωλήνα, μέχρις ότου γίνει πλήρης ανύψωση του σωλήνα, πλήρωση του διατρήματος με χαλικώδες υλικό και συμπύκνωσή του.

3) Κατά τη διάρκεια των φάσεων ανύψωσης και επανεμψήξης, ο σωλήνας πρέπει να τροφοδοτείται συνεχώς με υλικό τέτοιου όγκου, ώστε η συνολική τελικά διοχετευόμενη ποσότητα χαλίκων να αρκεί για την ολοκλήρωση του υπό κατασκευή χαλικοπασσάλου. Για να μειωθούν οι τριβές επαφής των σκύρων τόσο μεταξύ τους όσο και με τα εσωτερικά τοιχώματα του σωλήνα έμψηξης, θα πρέπει να διοχετεύεται μέσα στο σωλήνα μαζί με τα σκύρα και ποσότητα νερού, αρκετή για να γεμίσουν τα κενά.

2.5 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Με βάση όσα περιγράφηκαν παραπάνω, για την εκτέλεση των εργασιών κατασκευής χαλικοπασσάλων είναι απαραίτητος ο παρακάτω εξοπλισμός (κατά περίπτωση αναλόγως του είδους της εφαρμοζόμενης μεθόδου) :

1. Ερπυστριοφόρος ανυψωτικός γερανός ικανής ανυψωτικής ικανότητας, ανάλογης με το βάρος της δονητικής στήλης, με κατακόρυφη ή κεκλιμένη μπούμα.
2. Δονητική Τορπίλη υδραυλική ή ηλεκτρική κατάλληλης ισχύος. Τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά του δονητή θα προσδιορίζονται από την μελέτη και θα επιβεβαιώνονται από την αρχική εφαρμογή στο δοκιμαστικό πεδίο. Ενδεικτικά, ως ελάχιστα χαρακτηριστικά για την εκτέλεση των εργασιών αυτών είναι:
 - ✚ Ισχύς 100 kW
 - ✚ Αθροιστικό πλάτος δόνησης 7 cm
 - ✚ Φυγοκεντρική δύναμη 150 kN
3. Ειδικά στελέχη ικανού μήκους ώστε να είναι δυνατή η διείσδυση του δονητή μέχρι το τελικό επιθυμητό βάθος. Στην περίπτωση τροφοδοσίας στην αιχμή τα στελέχη αυτά φέρουν και τον ειδικό σωλήνα τροφοδοσίας με την χοάνη στην κεφαλή.
4. Χωματοουργικά μηχανήματα για την εκτέλεση των πάσης φύσεως χωματοουργικών εργασιών πριν, κατά, και μετά την δονητική αντικατάσταση. Τα μηχανήματα αυτά είναι εκσκαφείς, φορτωτές, φορτηγά αυτοκίνητα κλπ.
5. Αντλίες νερού και δίκτυα διαχείρισης του απαιτούμενου ύδατος, που στην περίπτωση της υγρής μεθόδου οι ποσότητες είναι σημαντικές.
6. Αεροσυμπιεστής για την περίπτωση εφαρμογής της ξηράς μεθόδου.
7. Κρουστική ή δονητική σφύρα για την διείσδυση του σωλήνα στην μέθοδο του κλειστού σωλήνα.
8. Βοηθητικός εξοπλισμός όπως π.χ. δεξαμενές, δίκτυα κλπ.

2.6 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

2.6.1 Προυποθέσεις εγκατάστασης του εξοπλισμού

Οι προϋποθέσεις κινητοποίησης και εγκατάστασης του απαιτούμενου εξοπλισμού για την εκτέλεση των εργασιών βαθιάς δονητικής αντικατάστασης είναι οι ακόλουθες :

- 1) Ύπαρξη επαρκών γεωτεχνικών στοιχείων για το εδάφος στην περιοχή εφαρμογής της τεχνικής της βαθιάς δόνησης.
- 2) Γνώση των απαραίτητων πληροφοριών που αφορούν στις επικρατούσες συνθήκες στην περιοχή, δηλαδή έκταση και όρια της περιοχής, τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής, δυνατότητα πρόσβασης ή άλλοι περιορισμοί.
- 3) Πληροφορίες σχετικά με την ύπαρξη, την ακριβή θέση και την κατάσταση παρακείμενων υφιστάμενων κατασκευών (π.χ. κτίρια, δρόμοι, δίκτυα κοινής ωφέλειας), υπογείων κατασκευών και στοιχείων θεμελίωσης καθώς και τυχόν αρχαιολογικών ευρημάτων.
- 4) Πληροφορίες σχετικά με την ύπαρξη ρυπογόνων ουσιών εντός των σχηματισμών ή με πιθανούς κινδύνους, οι οποίοι είναι δυνατόν να επηρεάσουν την μέθοδο κατασκευής, τις επιλογές ως προς την απόρριψη των υλικών διάτρησης, ή την ασφάλεια του προσωπικού.
- 5) Ικανοποίηση των νομικών και περιβαλλοντικών περιορισμών (π.χ. πιθανή ρύπανση, περιορισμοί υπερβολικού θορύβου, περιορισμοί των προκαλούμενων δονήσεων και της γενικότερης όχλησης στα γειτονικά κτίσματα).
- 6) Περιγραφή της μεθοδολογίας εκτέλεσης των εργασιών με σαφή και λεπτομερή αναφορά:
 - (α) στον κατάλογο των μηχανημάτων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν,
 - (β) στη σύνθεση του τεχνικού προσωπικού, με ορισμό του επικεφαλής, ο οποίος θα πρέπει να είναι εργοδηγός βεβαιωμένης πείρας σε παρόμοιες εργασίες και
 - (γ) στον κάρναβο εφαρμογής της μεθόδου και την χρονική αλληλουχία της κατασκευής.
- 7) Εκτέλεση ενός δοκιμαστικού πεδίου, για την επαλήθευση της διαδικασίας εκτέλεσης των εργασιών, της απαιτούμενης πυκνότητας του καννάβου και βεβαίως της επιτυγχανόμενης συμπύκνωσης.

2.6.2 Απαιτούμενες

Οι γεωτεχνικές έρευνες θα πρέπει να εκτείνονται σε ικανό βάθος, έτσι ώστε να προσφέρουν επαρκή στοιχεία (αντοχής και παραμορφωσιμότητας) για όλες τις γεωτεχνικές ενότητες, οι οποίες εκτιμάται ότι επηρεάζουν την επιλογή και εφαρμογή της μεθόδου. Η εκτέλεση των παραπάνω ερευνών θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις και τις γενικές αρχές που αναφέρονται στον (Ευρωκώδικα7 1997-1,2004).

Επιπλέον, για τον τελικό καθορισμό των ποσοτήτων των προς εκτέλεση αναγκαίων γεωτεχνικών ερευνών, είναι απαραίτητη η συνεκτίμηση της υπάρχουσας σχετικής εμπειρίας στην δονητική αντικατάσταση σε ανάλογες γεωτεχνικές συνθήκες ή/και των γεωτεχνικών πληροφοριών στην ευρύτερη περιοχή των εργασιών.

Οι γεωτεχνικές έρευνες μπορεί να είναι :

- 1) Δοκιμές πεντρομέτρου με στατικό ή δυναμικό κώνο.
- 2) Δοκιμές πρότυπων δοκιμών διείσδυσης (SPT).
- 3) Δοκιμές πρεσσιομέτρου.
- 4) Γεωφυσικές, σεισμικές δοκιμές.
- 5) Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις.

Επισημαίνεται ότι θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις ακόλουθες γεωτεχνικές συνθήκες :

- Στρώσεις κροκαλών και ογκολίθων, οι οποίες είναι δυνατόν να προκαλέσουν δυσκολίες στην διείσδυση του δονητή και εξ αυτού να απαιτηθεί η εφαρμογή μεθόδων με χρήση προ-διάτρησης.
- Παρουσία ανθεκτικού φέροντος σχηματισμού ικανού πάχους που είναι δυνατόν να προκαλέσει δυσκολίες στην διείσδυση του δονητή και εξ αυτού να απαιτηθεί η εφαρμογή μεθόδων με χρήση προ-διάτρησης.
- Συστηματική καταγραφή της στάθμης του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα.
- Παρουσία αρτεσιανού ή επικρεμάμενου υδροφόρου ορίζοντα.

2.6.3 Κριτήρια Αποδοχής Ενσωματωμένων Υλικών

Τα υλικά τα οποία ενσωματώνονται στις εργασίες δονητικής αντικατάστασης είναι τα αδρανή υλικά πλήρωσης που θα πρέπει να ικανοποιούν τις ακόλουθες απαιτήσεις :

1) Στην περίπτωση κατασκευής χαλικοπασσάλων με την μέθοδο της δονητικής αντικατάστασης και με τροφοδοσία από πάνω (top feed), το χρησιμοποιούμενο υλικό θα είναι χαλίκια προερχόμενα από σχετικά σκληρά και ανθεκτικά βραχώδη προϊόντα με διαβάθμιση από 3/8 έως 2 ίντσες (1 έως 5 cm), ενώ σε ειδικές περιπτώσεις είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και κροκάλες έως 4 ίντσες (10 cm) όπως π.χ. στην μέθοδο της «κουβέρτας» στα λιμενικά έργα.

2) Στην περίπτωση κατασκευής χαλικοπασσάλων με την μέθοδο του κλειστού σωλήνα ή της δονητικής αντικατάστασης και με τροφοδοσία από την αιχμή (bottom feed), το χρησιμοποιούμενο υλικό θα είναι χαλίκια προερχόμενα από σχετικά σκληρά και ανθεκτικά βραχώδη προϊόντα με διαβάθμιση από 1/4 έως 1.5 ίντσες (0.6 έως 3.8 cm) δεδομένου ότι αυτά θα πρέπει να μεταφέρονται ευχερώς στην αιχμή μέσω του ειδικού σωλήνα τροφοδοσίας.

3) Γενικά, και εφόσον δεν προδιαγράφεται διαφορετικά στη μελέτη, το υλικό πλήρωσης των χαλικοπασσάλων θα αποτελείται κατά προτίμηση από θραυστά γωνιώδη σκύρα (χαλίκια) σε σχέση με τα στρογγυλευμένα, λόγω της μεγαλύτερης εσωτερικής γωνίας τριβής που επιτυγχάνουν.

2.6.4 Απαιτήσεις Ποιοτικού Ελέγχου για την Παραλαβή

- 1) Συμμόρφωση με τα κριτήρια της μελέτης.
- 2) Έλεγχος Πρωτοκόλλων Παραλαβής ενσωματούμενων υλικών.
- 3) Στην φάση της κατασκευής θα πρέπει, η δονητική στήλη ή ο κλειστός σωλήνας, να είναι αριθμημένος σε όλο το μήκος του ανά 0.25 m, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εύκολη μέτρηση την στάθμης αιχμής συνεχώς από την επιφάνεια.
- 4) Προκειμένου να εκτιμηθεί η μέση διάμετρος του κατασκευασμένου χαλικοπασσάλου θα πρέπει να μετράται ο όγκος των χρησιμοποιούμενων αδρανών σε κάθε χαλικοπάσσαλο και να αναγράφεται σε σχετικό μητρώο.
- 5) Ο έλεγχος επίτευξης ικανοποιητικού βαθμού συμπύκνωσης σε κάθε βήμα κατά την ανύψωση πραγματοποιείται μέσω της αναπτυσσόμενης πίεσης λαδιών στο υδραυλικό σύστημα ή της έντασης του ρεύματος του τροφοδοτικού του ηλεκτροκίνητου δονητικού στελέχους, ανάλογα με τον

εξοπλισμό που χρησιμοποιεί ο Ανάδοχος. Η τιμή αυτή (πίεση λαδιών ή ένταση ρεύματος) θα πρέπει να καθοριστεί μετά από δοκιμές που θα γίνουν στις συγκεκριμένες εδαφικές συνθήκες, πριν από την έναρξη των εργασιών.

- 6) Έλεγχος Φακέλου Στοιχείων και Δοκιμών. Στο μητρώο της εκτελεσμένης εργασίας θα πρέπει να καταγράφονται: το σημείο εφαρμογής της συμπύκνωσης ή κατασκευής χαλικοπασσάλου με την αρίθμησή του, η ημερομηνία συμπύκνωσης, οι στάθμες κεφαλής και αιχμής της συμπυκνωμένης στήλης, η πίεση και η παροχή του νερού ή αέρα στις διάφορες φάσεις της εργασίας, καταγραφή της υδραυλικής πίεσης ή ηλεκτρικής έντασης με το βάθος και τον χρόνο, καταγραφή των ποσοτήτων των αδρανών πλήρωσης και όλες οι τυχόν άλλες λεπτομέρειες που χρήζουν να μνημονεύονται.
- 7) Γεωτεχνικές έρευνες, (πρεσσιόμετρα, δοκιμές SPT, δοκιμές πενετρομέτρου, δοκιμαστικής φόρτισης πλάκας, κλπ) ώστε να διαπιστωθεί άμεσα η βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους

2.6.5 Υλικά Κατασκευής Χαλικοπασσάλων

Τα υλικά που απαιτούνται για την κατασκευή του χαλικοπασσάλου είναι χαλίκι 16/32mm. Αυτό το υλικό είναι σκληρό και χημικά αδιάβρωτο και θα παραμείνει σταθερό κατά τη διαδικασία της συμπύκνωσης αλλά στη διάρκεια ζωής του έργου τόσο σε σταθερά εδάφη αλλά και σε υγρά/σαθρά. Τα χαλίκια θα φτάσουν στο έργο σε φορτηγά τα οποία θα αποθέτουν το υλικό σε τοποθεσίες που είναι κοντά στο χώρο εργασίας. Άλλα μηχανήματα θα μεταφέρουν το υλικό από το χώρο αποθήκευσης στο χώρο εργασίας.

2.6.6 Ποιοτικός Έλεγχος Και Ηλεκτρονική Παρακολούθηση

Η παρακολούθηση κάθε χαλικοπασσάλου γίνεται μέσω μιας αυτόματης καταγραφικής μηχανής τύπου KELLER M-Series computer (Φωτογρ. 2.1).

Οι πληροφορίες που παρέχει η συσκευή περιλαμβάνουν:

- α)** τον αριθμό του χαλικοπασσάλου,
- β)** την ημερομηνία τοποθέτησης,
- γ)** το χρόνο που απαιτήθηκε για την τοποθέτηση,
- δ)** το μέγιστο βάθος.

Επιπλέον η συσκευή δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης της διαδικασίας κατασκευής του χαλικοπασσάλου μέσω γραφημάτων (βάθος προς χρόνο, καταναλώση ρεύματος προς χρόνο)



Φωτογραφία 2.1 Μια αυτόματη μηχανή καταγραφής τύπου KELLER M- Series computer για την παρακολούθηση χαλικοπασσάλων

Η εκτυπωμένη αναφορά από τον υπολογιστή η οποία καταγράφει πλήρως διαδικασία τοποθέτησης είναι η κύρια μέθοδος ελέγχου της ποιότητας.

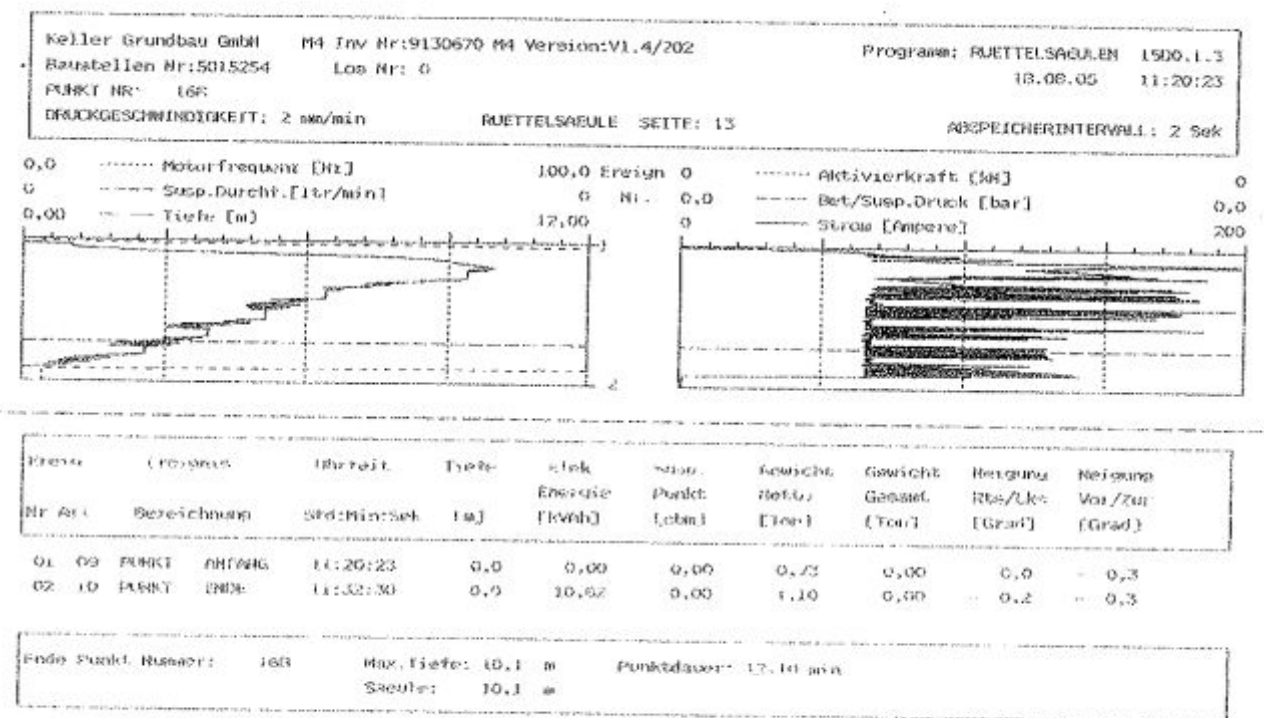


Fig.5 Typical M-series computer printout

Εικόνα 2.5 Εκτυπωμένη αναφορά από τον Υπολογιστή

2.6.7 Πιθανοί Κίνδυνοι κατά τις Εργασίες

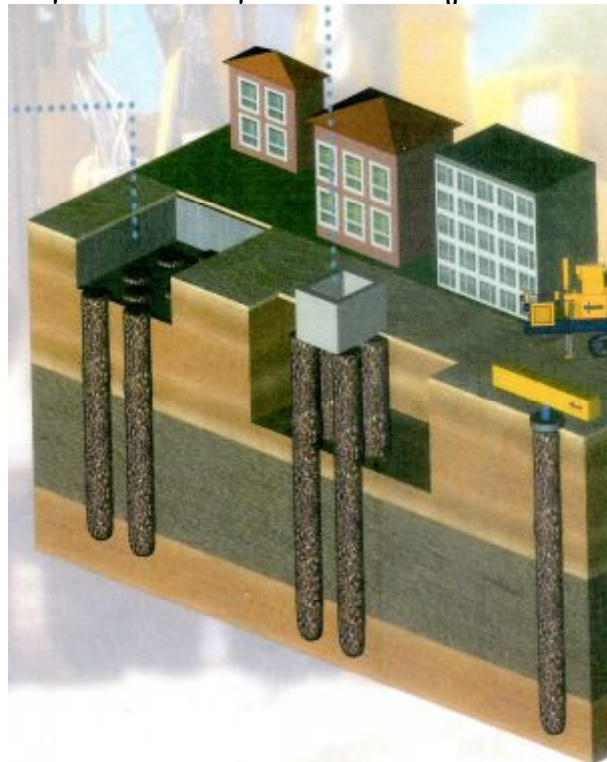
- - Κίνδυνος από χρήση βαρέων ανυψωτικών μηχανημάτων.
- - Κατά περίπτωση, συνθήκες εργασίας σε περιορισμένο χώρο ή και σε ύψος από την επιφάνεια του εδάφους.
- - Κίνδυνος ηλεκτροπληξίας
- - Κίνδυνος βραχυκυκλώματος και πυρκαγιάς ή επέκταση της πυρκαγιάς σε υδραυλικά λάδια.
- - Κίνδυνος εργασίας με πεπιεσμένο αέρα.
- - Κίνδυνος μεταφοράς βαριών αντικειμένων.
- - Κίνδυνος τραυματισμού κατά την εκτέλεση δοκιμών.
- - Εργασία σε συνθήκες θορύβου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΔΟΝΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΛΙΜΕΝΑ ΠΑΤΡΩΝ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Το κτήριο προβλέπεται να εδραστεί σε πεδילוδοκούς σύμφωνα με την στατική μελέτη του έργου. Η στάθμη θεμελίωσης του έργου είναι περίπου $\pm 0,00$. Κάτω από την στάθμη έδρασης των κτηρίων προβλέπεται εκσκαφή σε πάχος 1μ. και αντικατάσταση με λιθορριπή έδρασης. Επιπρόσθετα τοποθετούνται και χαλικοπάσσαλοι, η τοποθέτηση των οποίων κρίνεται απαραίτητη λόγω της έντονης ανομοιομορφίας του εδάφους στην περιοχή κατασκευής των κτηρίων καθώς αποτελείται στα ανώτερα 2 έως 5μ. από επιχώσεις ενώ και οι υποκείμενες εδαφικές στρώσεις είναι σχετικά μικρής αντοχής. Η διάμετρος των χαλικοπασσάλων επιλέγεται ενιαία για όλα τα κτήρια και ίση με $\Phi 80$.



Εικ. 3.1 Σχηματική απεικόνιση τομής θεμελίωσης κτιρίων με χαλικοπασσάλους

Ο κάρναβος των χαλικοπασσάλων είναι με μικρές προσαρμογές ώστε οι άξονες των χαλικοπασσάλων να ταυτίζονται κατά το δυνατόν με τους άξονες των θεμελιοδοκών. Κατά την κατασκευή ο ανάδοχος θα πρέπει να έχει «χαράζει» κατάλληλα επί του εδάφους τη θεμελίωση του κτιρίου ώστε πάντα να εξασφαλίζεται η κατασκευή των χαλικοπασσάλων κάτω από τις θεμελιοδοκούς χωρίς αποκλίσεις. Για την περίπτωση που εξετάζουμε οι πεδילוδικοί τοποθετούνται σε απόσταση 4,40μ. μεταξύ τους, οπότε για να εξασφαλιστεί η ύπαρξη Χ/Π κάτω από αυτές επιλέγεται τετραγωνικός κάρναβος χαλικοπασσάλων 2,20μ. Χ 2,20μ. με πραγματική διάμετρο Φ80.



Εικόνα 3.2 Χαλικοπάσσαλος διαμέτρου Φ80

Μετά την ολόκληρωση της κατασκευής των χαλικοπασσάλων είναι δυνατόν να κατασκευασθεί άμεσα η απαιτούμενη υποδομή για τη θεμελίωση του κτιρίου, με χρήση κατάλληλων προκατασκευασμένων στοιχείων. (Εικόνα 3.3 (α) και (β)).



Εικ. 3.3 α) Απλή και άμεση έναρξη της υποδομής των θεμελιώσεων μετά την κατασκευή των χαλικοπασσάλων

Το υπέδαφος αποτελούνταν από ιλυώδη άμμο, άργιλο και ίλη σε χαλαρές ή αδύναμες συνθήκες μέχρι τα 22μ. Το μήκος των πασσάλων επιλέχθηκε να είναι 15μ. Συνολικά κατασκευάστικαν 24.000μ χαλικοπασσάλων, με διάμετρο Φ80..



Εικ. 3.3 β) Όψη επιφάνειας εργασίας θεμελιώσεων μετά την τοποθέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων, πριν τη σκυροδέτηση
 Η γεωμετρία της θεμελίωσης του κτιρίου και ο κάναβας με τις θέσεις των χαλικοπασσάλων φαίνονταν αναλυτικά στο επισυναπτόμενο σχέδιο του παραρτήματος.

3.2 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της Γεωτεχνικής Έρευνας προέκυψε η ακόλουθη στρωματογραφία υπολογισμού στην περιοχή κατασκευής του κτηρίου (Πίνακας 3.1):

Θέση Τερματικού Σταθμού (Γεώτρηση ΓΝΧ-1 & ΓΝΧ-2)

0,00μ (+1,38μ)

$$\gamma = 19,0\text{KN/m}^3$$

$$\phi = 32^0$$

$$c_u = 0 \text{ kPa}$$

$$E_s = 10000 \text{ KPa}$$

Στρώση 0

Τεχνητές επιχώσεις

3,30μ (-1,92μ)

$$\gamma = 20,50\text{KN/m}^3$$

$$\varphi = 28^0$$

Στρώση I

$$c_u = 0 \text{ kPa}$$

$$E_s = 6000 \text{ KPa}$$

Ιλυώδης άμμος

5,00μ (-3,62μ)

$$\gamma = 19,5\text{KN/m}^3$$

$$\varphi = 0^0$$

Στρώση II

$$c_u = 30 \text{ kPa}$$

$$E_s = 4000 \text{ KPa}$$

Τεφρομέλανη έως Τεφροκάστανη Άργιλος

10,50μ (-9,12μ)

$$\gamma = 20,50\text{KN/m}^3$$

$$\varphi = 28^0$$

Στρώση I

$$c_u = 0 \text{ kPa}$$

$$E_s = 6000 \text{ KPa}$$

Ιλυώδης άμμος

15,30μ (-13,92μ)

$$\gamma = 20,0\text{KN/m}^3$$

$$\varphi = 0^0$$

Στρώση II

$$c_u = 60 \text{ kPa}$$

$$E_s = 6000 \text{ KPa}$$

36,00μ (-34,62μ)

όπου: γ = ειδικό βάρος

φ = γωνία εσωτερικής τριβής

c_u = αστράγγιστη συνοχή

E_s = μέτρο ελαστικότητας (συμπιεστότητας)

3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΝΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Για την κατασκευή των χαλικοπασσάλων στο Νέο Λιμένα Πατρών χρησιμοποιήθηκε από την Αυστριακή υπεργολαβική εταιρία ένα πρωτοποριακό μηχάνημα με την ονομασία «**VIBROCAT**». Επειδή η εταιρία **KELLER GRUNDBAU** θέλει να κρατήσει κρυφή την συνδεσμολογία του «**VIBROCAT**» δεν μας έδωσε πλήρη στοιχεία του εσωτερικού του μηχανήματος. Βέβαια από την παρατήρηση της λειτουργίας είναι δυνατόν να βγούν συμπεράσματα για τον τρόπο λειτουργίας, καθώς και για την συνδεσμολογία του.

Το «**VIBROCAT**» (Εικ. 3.4) αποτελείται στη βάση του από ερπύστριες που του επιτρέπουν να κινείται με σχετική ακρίβεια. Στα άκρα του έχει τέσσερις πόδες στήριξης για να μπορεί με ακρίβεια να τοποθετεί τους χαλικοπασσάλους τόσο στη σωστή τους θέση (σύμφωνα με τα σημάδια του τοπογράφου) όσο και με την απαιτούμενη κλίση σύμφωνα με τη μελέτη κατασκευής.

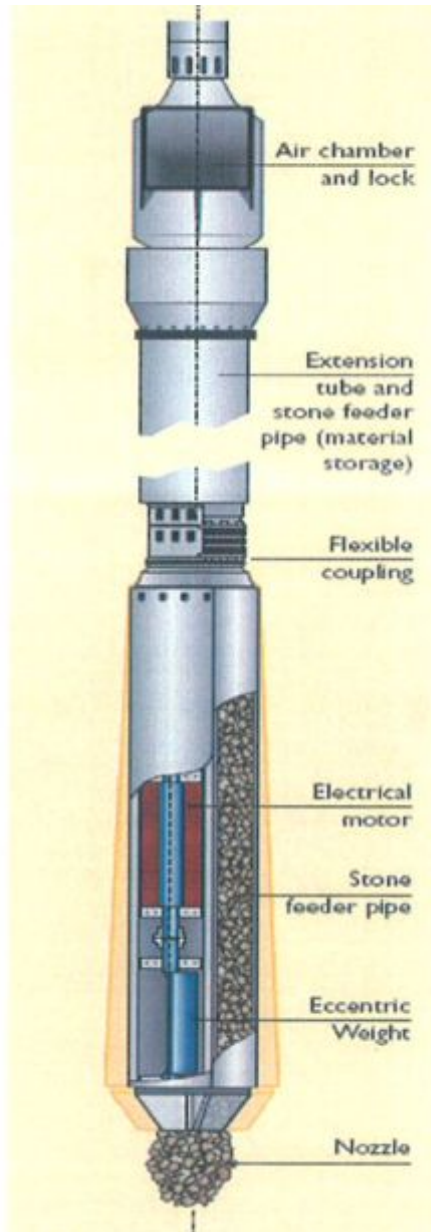
Στο μπροστινό του τμήμα βρίσκεται μια μούμα μήκους 21 μέτρων, που έχει τη δυνατότητα να κλίνει και στην οποία στηρίζεται ο δεκαεπτάμετρος δονητής. Στο πίσω μέρος της μούμας βρίσκεται ανυψωτικός μηχανισμός για τον κάδο (ο οποίος βρίσκεται μπροστά από το δονητή), στον οποίο φορτώνεται το χαλίκι (με τη βοήθεια ενός φορτοεξκαφέα), έτσι ώστε να μπορεί να προμηθεύει το δονητή, σε όποιο ύψος και αν βρίσκεται αυτός, χαλίκι.



Εικ. 3.4 Το **Ειδικό** μηχάνημα(Vibrocat) που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των χαλικοπασσάλων στο Νέο Λιμένα Πατρών

Ο δονητής του «**VIBROCAT**» είναι το πιο σημαντικό κομμάτι του. Ο δονητής που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των χαλικοπασσάλων στο Νέο Λιμένα Πατρών έχει την ονομασία BETA και έχει ύψος 15 μέτρα και 0,6 μέτρα διάμετρο. Ο BETA αποτελείται από έξι μέρη (Εικόνα 3.5):

- α) Τον χώρο πεπιεσμένου αέρα, που βρίσκεται στο πάνω τμήμα του δονητή,
- β) Το κομμάτι επιμήκυνσης του δονητή ακριβώς από κάτω και προς τη μεριά της μπούμας βρίσκεται, το οποίο προσθαιρείται ανάλογα με το επιθυμητό μήκος του BETA,
- γ) Τον ειδικό χώρο για την εισροή χαλικιού που βρίσκεται μπροστά από το κομμάτι επιμήκυνσης,
- δ) Τον εκτονωτή της δόνησης κάτω από τα κομμάτια Β και Γ έτσι ώστε να μην προκαλούνται προβλήματα λόγω δονήσεων στο χώρο πεπιεσμένου αέρα,
- ε) Το δονητή μήκους 15 μέτρων που είναι το βασικότερο στέλεχος του BETA που βρίσκεται κάτω από το Δ και προς το μέρος της μπούμας
- στ) Τον αγωγό για τη διέλευση του χαλικιού στη μύτη του BETA που υπάρχει μπροστά από το κομμάτι Ε.



Εικόνα 3.5 Σχηματική αναπαράσταση του στελέχους του δονητή ΒΕΤΑ όπου διακρίνονται τα επιμέρους τμήματα του.

Φωτογραφίες από ο μηχανήματα Vibrocat κατά την κατασκευή των χαλικοπασσάλων στο Νέο λιμένα της Πάτρας παρουσιάζονται σε συνοδευτικό παράρτημα της εργασίας.

3.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΩΝ ΣΤΟΝ ΝΕΟ ΛΙΜΕΝΑ ΠΑΤΡΩΝ

Η διαδικασία κατασκευής των χαλικοπασσάλων στο Νέο Λιμένα Πατρών περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

A) Προετοιμασία:

Το Vibrocat τοποθετεί το δονητή στην κατάλληλη τοποθεσία πάνω από το σημείο που πρέπει να συμπυκνωθεί και το σταθεροποιεί μέσω υδραυλικού συστήματος.

B) Φόρτιση:

Η δονητική στήλη αναρτάται από γερανό με κατακόρυφο οδηγό (μπούμα), επί του οποίου ολισθαίνουν ανεξάρτητα (α) η δονητική στήλη και (β) μία χοάνη για την τροφοδοσία του δονητικού στελέχους με σύρτη στο κάτω τμήμα της. Ο σωλήνας τροφοδοσίας χαλικιού φθάνει μέχρι την αιχμή του δονητή και τροφοδοτείται με σκύρα από τη χοάνη στο άνω άκρο του. Η χοάνη μπορεί να ανεβοκατεβαίνει με τη βοήθεια συρματόσχοινου, ολισθαίνουσα πάνω στον κατακόρυφο οδηγό, έτσι ώστε να μεταφέρει τα αδρανή από το δάπεδο εργασίας στο άνω μέρος του δονητικού στελέχους. Μεταξύ της χοάνης και της εξόδου του σωλήνα στην αιχμή, υπάρχει ένας θάλαμος προσωρινής αποθήκευσης με μία βαλβίδα με την οποία απομονώνεται από τον κυρίως σωλήνα τροφοδοσίας. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η τροφοδοσία με πεπιεσμένο αέρα στην φάση διείσδυσης του δονητή στο έδαφος και στην φάση ανύψωσης. Ο κουβάς ανυψώνεται και αδειάζει το περιεχόμενο του στον κλωβό.

Γ) Διείσδυση:

Ο δονητής μετατοπίζει το έδαφος μέχρι το επιθυμητό βάθος υποβοηθούμενο από το συμπιεσμένο αέρα καθώς και από το Vibrocat.

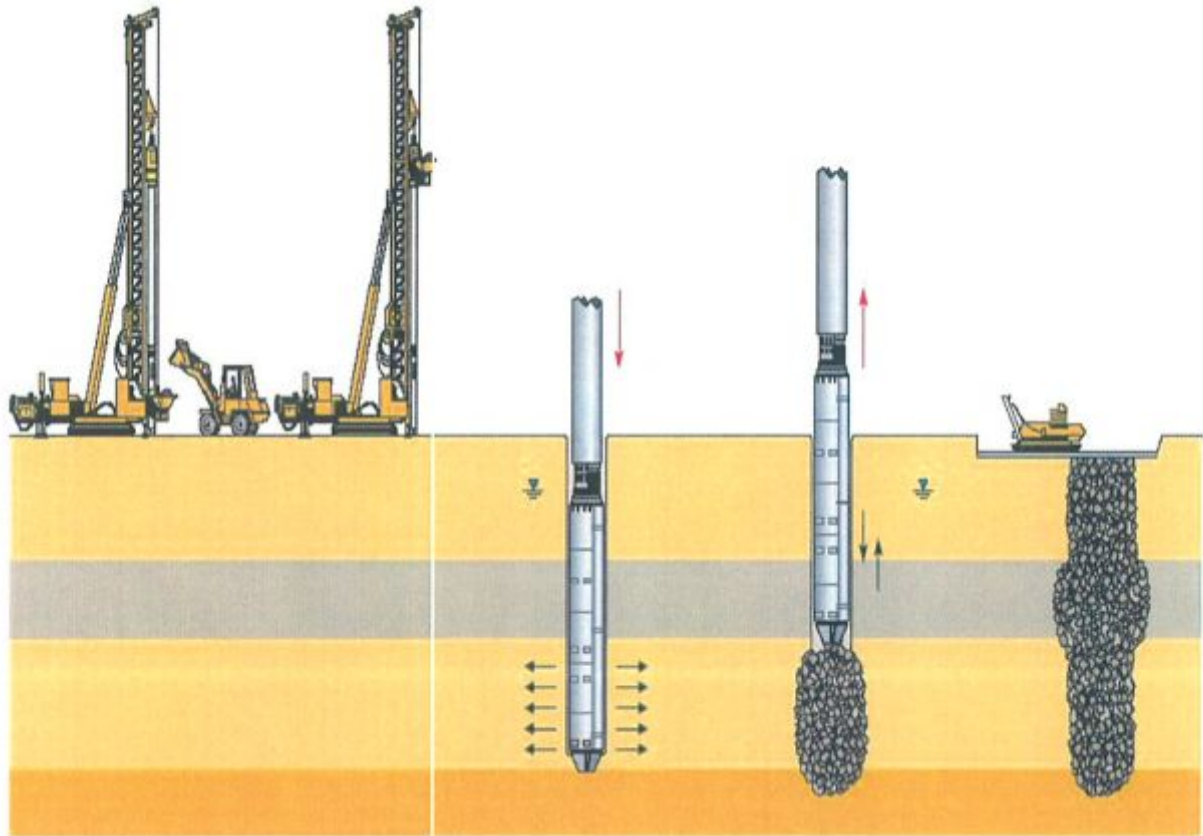
Δ) Συμπύκνωση:

Φτάνοντας στο μέγιστο βάθος ο δονητής τραβιέται προς τα πάνω (0,7-1 μέτρο) ελαφρώς προκαλώντας το μείγμα αδρανών να γεμίσει το κενό που δημιουργήθηκε. Κατά την επαναδιείσδυση (0,3-0,5 μέτρα) τα αδρανή συμπυκνώνονται και πιέζουν το περιβάλλον έδαφος.

Ε) Ολοκλήρωση:

Ο χαλικοπάσσαλος έχει δημιουργηθεί σε αλληπάλληλα στάδια μέχρι το επιθυμητό επίπεδο. Κατά το τελευταίο στάδιο το έδαφος πρέπει να συμπυκνωθεί ξανά ή αλλιώς απαιτείται μια ψευδοστρώση.

Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας, ο σωλήνας τροφοδοτείται τακτικά με σκύρα, ανάλογα με τις ανάγκες.



Εικ. 3.6 Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας κατασκευής χαλικοπασσάλων με χρήση του VIBROCAT που εφαρμόστηκε στο Νέο Λιμένα Πατρών

Μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης όλων των χαλικοπασσάλων(1373) ακολούθησε η διάστρωση χονδρόκοκκου εδαφικού υλικού πάχους 0,30 m ,επί του οποίου εδράστηκαν τα μεμονωμένα θεμέλια των κτηρίων(πέδιλα).

Η διαδικασία κατασκευής των χαλικοπασσάλων στο Νέο Λιμένα Πατρών παρουσιάζεται αναλυτικά και μέσω φωτογραφιών από τις φάσεις κατασκευής του έργου στο σχετικό συνοδευτικό παράρτημα της εργασίας.

3.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΩΝ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ

3.5.1 Γενικά

Στην Παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται στοιχεία που ελήφθησαν από την μελέτη του έργου και αφορούν την προσέγγιση εκτίμηση του μεγέθους των καθιζήσεων του εδάφους πριν και μετά την κατασκευή των χαλικοπασσάλων.

Οι παραδοχές και η διαδικασία υπολογισμού που περιγράφεται αλήφθησαν από τη μελέτη και τις σχετικές τεχνικές εκθέσεις (δεν αποτελούν δηλαδή πρωτιγενείς υπολογισμούς των συντακτών εργασίας αυτής).

3.5.2 Εδαφικές Στρώσεις

Για τον ακριβέστερο υπολογισμό των καθιζήσεων οι εδαφικές στρώσεις χωρίζονται κατά περίπτωση σε υποστρώσεις και λαμβάνοντας υπόψη και την γεωμετρία του έργου, το εδαφικό προφίλ διαμορφώνεται όπως φαίνεται στον ακόλουθω Πίνακα 3.2:

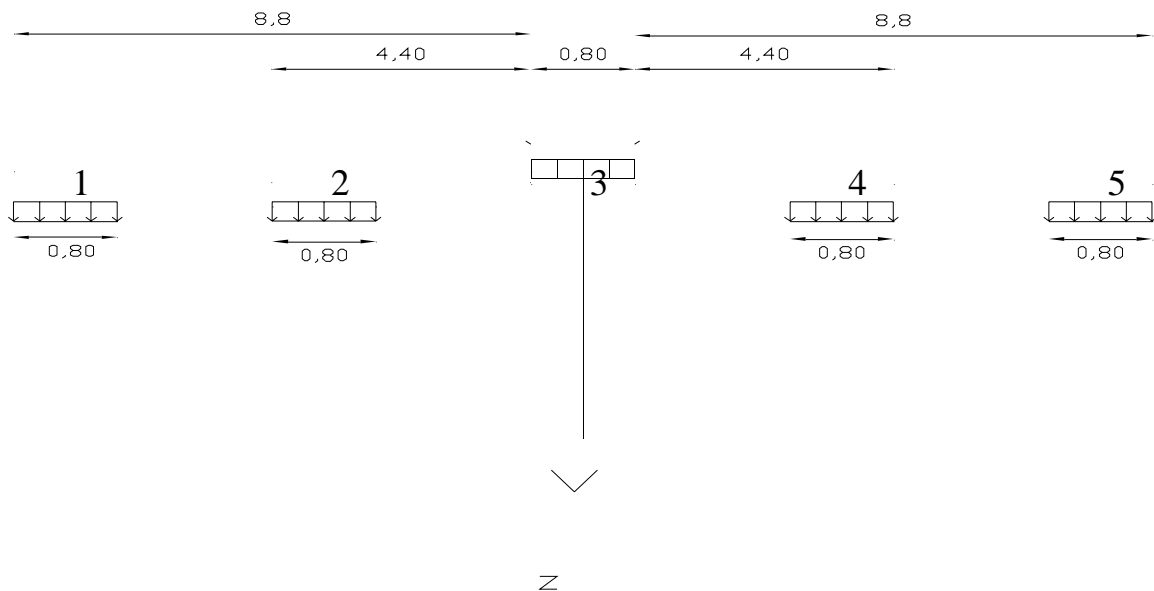
Πίνακας 3.2 Εδαφικές στρώσεις υπολογισμού

Στρώση	Στάθμη (μ)	Πάχος (μ)	E_s (kPa)
A) Εξυγίανση	+0,00 έως -1,00	1,00	50.000
(O) Επίχωμα	-1,00 έως -1,92	0,92	10.000
(I1) Ιλυώδης Άμμος	-1,92 έως -3,62	1,70	6.000
(II1) Τεφρομέλανη Άργιλος	-3,62 έως -6,12	2,50	4.000
(II2) Τεφρομέλανη Άργιλος	-6,12 έως -9,12	3,00	4.000
(I2) Ιλυώδης Άμμος	-9,12 έως -13,92	4,80	6.000
(III) Τεφροπράσινη Άργιλος	-13,92 έως -15,00*	1,08	6.000

Σημειώνεται ότι στη στάθμη των -15,0μ η πρόσθετη τάση είναι σαφώς μικρότερη από το 20% της γεωστατικής τάσης και συνεπώς δεν γίνεται υπολογισμός των καθιζήσεων κάτω από βάθος αυτό.

3.5.2 Πρόσθετα Φορτία Υπολογισμού

Οι συνολικές πρόσθετες τάσεις στο έδαφος οφείλονται στα φορτία του κτηρίου που μεταφέρονται σε αυτό μέσω της θεμελίωσης με πεδιλοδοκούς. Οι διαστάσεις των πεδιλοδοκών ποικίλουν από θέση σε θέση. Για τους υπολογισμούς θεωρήθηκε μέση πεδιλοδοκός πλάτους 0,80μ. με ομοιόμορφο φορτίοσε όρους τάσης ίσο με 200kPa (μέγιστη τιμή σύμφωνα με την στατική μελέτη του κτηρίου) και με άλλες 4 (δύο από κάθε πλευρά) πεδιλοδοκούς με το ίδιο φορτίο(δυσμενής θεώρησης).(βλ. παρακάτω Σχήμα 3.1.)



Σχήμα 3.1

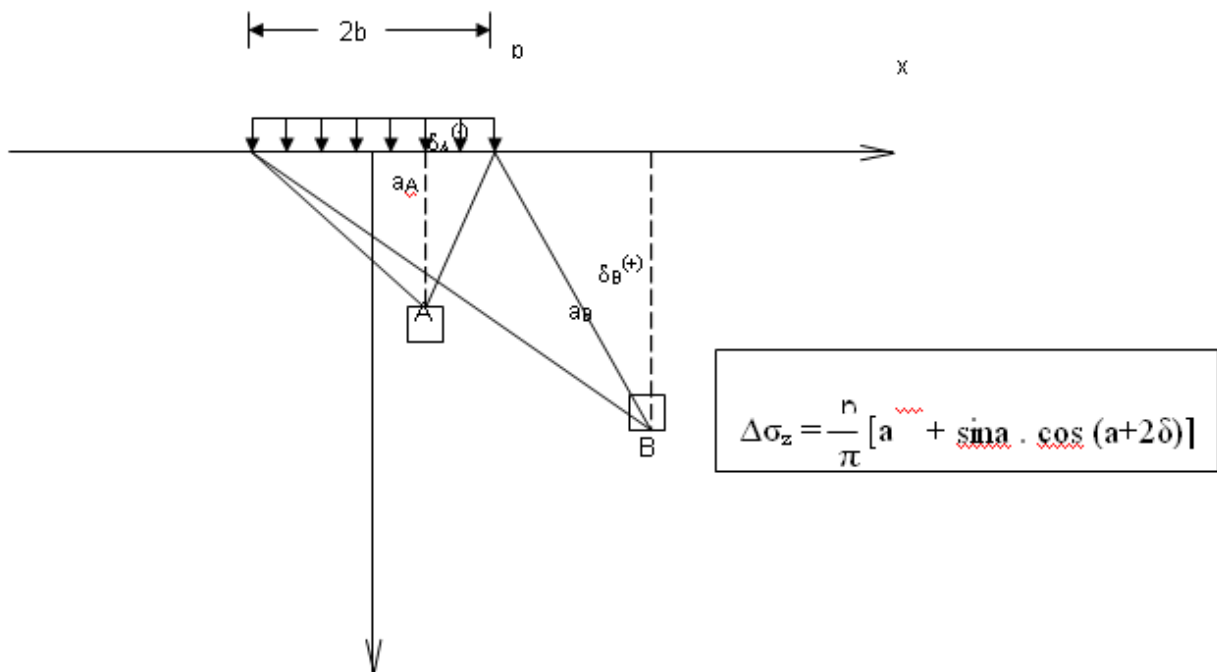
Πρόσθετα φορτία λόγω της θεμελίωσης του κτηρίου όπως ελήφθησαν υπόψη για τον υπολογισμό των καθιζήσεων.

3.5.3 Εκτίμηση πρόσθετων τάσεων λόγω εξωτερικών φορτίων

Για τον προσδιορισμό της κατανομής των πρόσθετων κατακόρυφων τάσεων Δσ_z με το βάθος το φορτίο της πεδιλοδοκού θεωρήθηκε απειρομήκης (δυσμενής θεώρηση) και χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω ελαστικές σχέσεις (βλ. και Σχήμα 3.2.) οι οποίες δίδονται από τους Poulos και Davis (1974), "Elastic Solutions for Soils and Rock Mechanics" Ch. 3, σελ. 36, 38).

Για ομοιόμορφη φόρτιση λωριδωτής επιφάνειας

Σχήμα 3.2 Στοιχεία για τον υπολογισμό της κατανομής των πρόσθετων κατακόρυφων τάσεων για την περίπτωση λωρίδας φόρτισης απείρου μήκους.



Το αποτέλεσμα της εφαρμογής της παραπάνω σχέσης για τα 5 υπό έλεγχο φορτία συνοψίζονται στους ακόλουθους πίνακες : 3.3.α) έως και 3.3.δ).

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3 α

Υπολογισμός των πρόσθετων τάσεων για το φορτίο 3 (Σχ. 3.1 $\sigma_{\max} = 200\text{kPa}$, $2b=0.80\text{m}$)

Φορτίο 3

$\sigma_{\max} = 200,00$

$2b = 0,80$

Στρώση	x (m)	z (m)	a (rad)	δ (rad)	σ_z (kN/m ²)
A	0,00	0,50	1,35	-0,67	148,02
O	0,00	0,46	1,43	-0,72	154,18
I ₁	0,00	1,77	0,44	-0,22	55,67
Π ₁	0,00	3,87	0,21	-0,10	26,13
Π ₂	0,00	6,62	0,12	-0,06	15,35
I ₂	0,00	10,52	0,08	-0,04	9,67
III	0,00	13,46	0,06	-0,03	7,56

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3 β

Υπολογισμός των πρόσθετων τάσεων για το φορτίο 3 (Σχ. 3.1 $\sigma_{\max} = 200\text{kPa}$, $2b=0.80\text{m}$)

Φορτίο 2,4

$\sigma_{\max} = 200,00$

$2b = 0,80$

Στρώση	x (m)	z (m)	a (rad)	δ (rad)	σ_z (kN/m ²)
A	4,40	0,50	0,02	1,45	0,03
O	4,40	0,46	0,02	1,46	0,03
I ₁	4,40	1,77	0,06	1,15	1,14
Π ₁	4,40	3,87	0,09	0,80	5,04
Π ₂	4,40	6,62	0,08	0,54	7,41
I ₂	4,40	10,52	0,06	0,36	7,01
III	4,40	13,46	0,05	0,29	6,18

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3 γ

Υπολογισμός των πρόσθετων τάσεων για το φορτίο 3 (Σχ. 3.1 $\sigma_{\max} = 200 \text{ kPa}$, $2b = 0.89 \text{ m}$)

Φορτίο 1,5

$\sigma_{\max} = 200,00$

$2b = 0,80$

Στρώση	x	z (m)	a	δ	σ_z
A	8,80	0,50	0,01	1,51	0,00
O	8,80	0,46	0,00	1,52	0,00
I ₁	8,80	1,77	0,02	1,36	0,09
Π ₁	8,80	3,87	0,03	1,14	0,69
Π ₂	8,80	6,62	0,04	0,90	2,01
I ₂	8,80	10,52	0,04	0,67	3,35
III	8,80	13,46	0,04	0,56	3,72

Στο πίνακα 3.3.δ) Παρουσιάζεται η συνολική πρόσθετη τάση σε κάθε στρώση όπως προκύπτει από επαλληλία των επιμέρους τιμών των Πινάκων 3.3α) έως 3.3γ)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3 δ

ΛΕΖΑΝΤΑ

Στρώση	$\Delta\sigma_z \text{ (kN/m}^2\text{)}$
A	148,09
O	154,23
I ₁	58,13
Π ₁	37,61
Π ₂	34,20
I ₂	30,41
III	27,34

Πίνακας 3.3δ) Συνολικές πρόσθετες τάσεις στο μέσον κάθε εδαφικής στρώσης.

3.5.4 Εκτίμηση Μεγέθους Καθιζήσεων

Η καθίζηση S των εδαφικών στρώσεων εκτιμάται από τη σχέση :

$$S = \sum \frac{\Delta\sigma^{ολ} \cdot h_i}{E_s}$$

Equation Editor

όπου : E_s το μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης της στρώσης.

h_i το συνολικό πάχος της στρώσεως (ή ζώνης)

$\Delta\sigma^{ολ}$ η συνολική πρόσθετη κατακόρυφη τάση στο μέσο της στρώσεως (ή ζώνης) κάτω από το υπόψη σημείο, όπως προκύπτει από επαλληλία των επιμέρους φορτίσεων.

Στον παρακάτω πίνακα 3.4 παρουσιάζονται οι τιμές των αναμενομένων καθιζήσεων (ανά στρώση ή ζώνη και η συνολική τιμή), όπως προκύπτει από εφαρμογή της παραπάνω σχέσης.

Συνολικές πρόσθετες τάσεις και αναμενόμενες καθιζήσεις σε κάθε στρώση και συνολικά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4

Στρώση	σ_z (kN/m ²)	Καθίζηση (cm)
A	148,09	0,30
O	154,23	1,42
I ₁	58,13	1,65
Π ₁	37,61	2,35
Π ₂	34,20	2,57
I ₂	30,41	2,43
III	27,34	0,49
	Σύνολο :	11,20

3.5.5 Μείωση καθιζήσεων λόγω Χαλικοπασσάλων

Ο υπολογισμός της βελτίωσης του εδάφους από την τοποθέτηση των χαλικοπασσάλων είναι βασισμένο στην δημοσίευση του Heinz J. Priebe με τίτλο "The Design of Vibro Replacement". Σύμφωνα με την μεθοδολογία αυτή υπολογίζεται ο συντελεστής βελτίωσης n_1 και οι τελικές καθιζήσεις θα είναι αυτές που υπολογίστηκαν χωρίς να ληφθεί υπόψη η επιρροή των χαλικοπασσάλων διαιρεμένες με τον συντελεστή βελτίωσης.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή θεμελίωσης παρουσιάζονται στοιχεία σε επόμενη παράγραφο της παρούσης.

Από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι η τιμή του συντελεστή βελτίωσης κατά Priebe είναι ίση με $n_1 = 1,36$. Στον παρακάτω πίνακα 3.5 δίδονται οι τελικές τιμές της αναμενόμενης καθίζησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5

Αναμενόμενη καθίζηση μετά την κατασκευή των χαλικοπασσάλων

Στρώση	Τερματικός Σταθμός	
	Αρχική Καθίζηση	Καθίζηση με X/II
A	0,30	0,20
O	1,42	0,94
I ₁	1,65	1,09
II ₁	2,35	1,56
II ₂	2,57	1,70
I ₂	2,43	1,61
III	0,49	0,33
Συνολική	11,20	7,42

Παρατηρείται μια σημαντική μείωση της τάξης του 34%.

3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

3.6.1. Γενικά

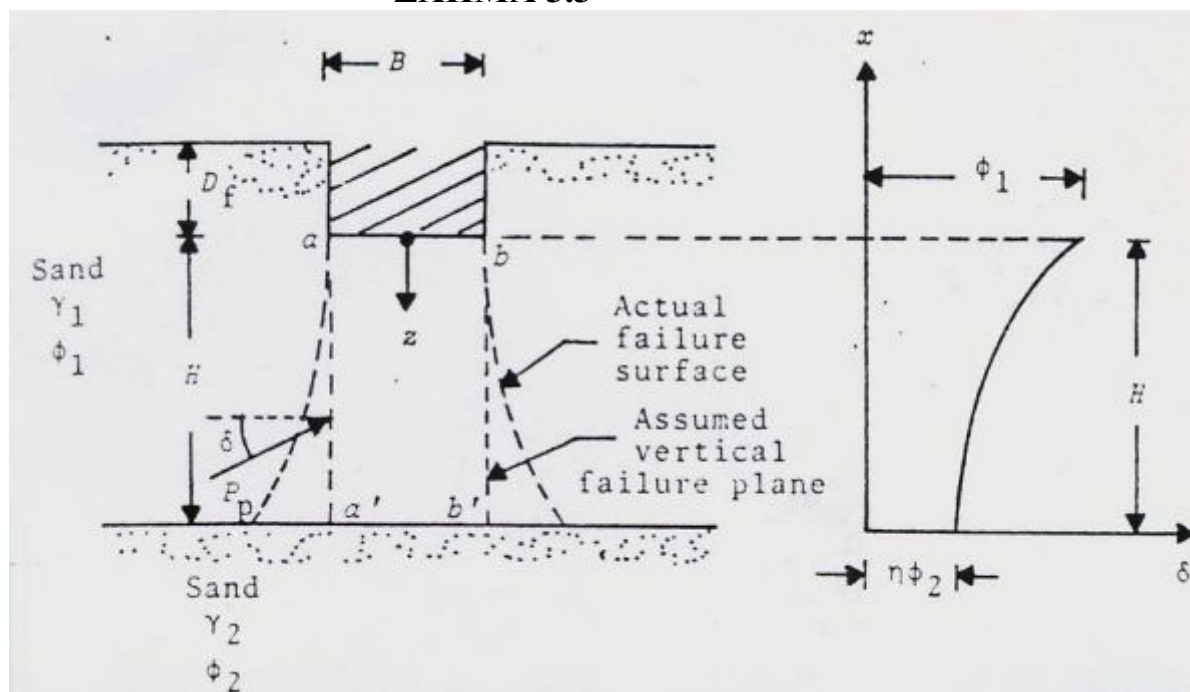
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται στοιχεία από τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας του συστήματος θεμελίωσης του κτιρίου επι του ενισχυμένου με χαλικοπασσάλους εδάφους. Οι παραδοχές, η διαδικασία και οι υπολογισμοί που παρουσιάζονται προέρχονται από τη μελέτη του έργου.

3.6.2 Μεθοδολογία Υπολογισμού

Το κτήριο θεμελιώνεται με πεδילוδοκούς πάνω σε λιθοριπή εδράσεως. Κάτω από την λιθορριπή βρίσκεται θεωρούμενη η εδαφική στρώση (0) (επιχώσεις). Για τους υπολογισμούς έγινε η περίπτωση δίστρωτου συστήματος θεμελίωσης με μια ανθεκτική στρώση, πάνω από μια ασθενέστερη. Για τον υπολογισμό της φέρουσας με βάση την παραπάνω παραδοχή ικανότητας εφαρμόστηκε θεωρία και μέθοδος υπολογισμού που προτείνεται από τους "Meyerhof και Hanna (1978)"

Οι βασικές παραδοχές της μεθόδου και τα γεωμετρικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.3

ΣΧΗΜΑ 3.3



Σχήμα 3.3 Παραδοχές υπολογισμού θεμελίωσης με πεδילוδοκό πάνω σε λιθοριπή εδράσεως "Meyerhof και Hanna (1978)"

3.6.3 Στοιχεία θεμελίωσης Εδαφικής Τομής

Για τις ανάγκες των υπολογισμών που ελέγχεται η πρώτη ανθεκτικότερη στρώση είναι η λιθορριπή. Για την στρώση αυτή εκτιμήθηκε ειδικό βάρος $\gamma_1 = 21 \text{ kN/m}^3$ και γωνία εσωτερικής τριβής $\varphi_1 = 35^\circ$. Ως δεύτερη ασθενέστερη στρώση ελήφθη η στρώση I (επιχώσεις) η οποία έχει ενισχυθεί με χαλικοπασσάλους διαμέτρου 0,80μ. σε κάρναβο 2,20 x 2,20μ. Για την στρώση αυτή εκτιμάται ειδικό βάρος ίσο με το ειδικό βάρος των επιχωμάτων δηλαδή $\gamma_2 = 19 \text{ kN/m}^3$. Η γωνία εσωτερικής τριβής υπολογίζεται με βάση το ποσοστό αντικατάστασης του εδάφους από χαλικοπάσσαλους. Το ποσοστό αυτό είναι ίσο με:

$$n = (\pi \cdot 0,80 \cdot 0,80 / 4) / (2,2 \cdot 2,2) = 0,104.$$

Για γωνία εσωτερικής τριβής του χαλικοπασσάλου ίση με $\varphi_{\text{χαλ}} = 40^\circ$ και γωνία εσωτερικής τριβής των επιχώσεων ίση με:

$$\varphi_{\text{εδ}} = 32^\circ \text{ θα είναι } \tan\varphi^* = (1-n) \cdot \tan\varphi_{\text{εδ}} + n \cdot \tan\varphi_{\text{χαλ}} = 0,647 \text{ και τελικά } \varphi^* = 32,91^\circ$$

3.6.4 Βασικοί Υπολογισμοί Φέρουσας Ικανότητας

Η ζητούμενη φέρουσα ικανότητα δίδεται από τον παρακάτω τύπο "Meyerhof και Hanna (1978)":

$$q_u = q_b + (1+B/L) \cdot \gamma'_1 \cdot H^2 \cdot (1+2 \cdot D_f/H) \cdot (K_s \cdot \tan\varphi_1) \cdot s_s - \gamma'_1 \cdot H \leq q_t$$

$$\text{όπου } q_b = \gamma'_1 \cdot (D_f + H) \cdot N_{q2} \cdot \lambda_{qs2} + 0,5 \cdot \gamma'_2 \cdot B \cdot N_{\gamma 2} \cdot \lambda_{\gamma s2}$$

$$q_t = \gamma'_1 \cdot D_f \cdot N_{q1} \cdot \lambda_{qs1} + 0,5 \cdot \gamma'_1 \cdot B \cdot N_{\gamma 1} \cdot \lambda_{\gamma s1}$$

Στις ανώτερω σχέσεις :

D_f = βάθος θεμελίωσης = 2,45μ. (βλ. Σχήμα 3.3.)

K_s = διατμητική ακαμψία των ασυνεχειών

H = πάχος λιθορριπής εδράσεως = 1,00μ. (βλ. και Σχήμα 3.3.)

N_q , N_γ = συντελεστές φέρουσας ικανότητας του Terzaghi

B = πλάτος θεμελίου = 0,80μ. (βλ. και Σχήμα 3.3.)

λ_{qs} , $\lambda_{\gamma s}$ = εμπειρικοί συντελεστές εξαρτώμενοι από τη γωνία τριβής φ . Χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των πιέσεων που ασκούνται στην επένδυση του εδάφους.

L = μήκος θεμελίου = 100,00μ. (δυσμενέστερη μέγιστη τιμή)

γ = Ειδικό βάρος εδάφους και συγκεκριμένα:

$$\gamma_1 = 21 \text{ kN/m}^3 \text{ και } \gamma_2 = 19 \text{ kN/m}^3 \text{ και } \gamma'_1 = 11 \text{ kN/m}^3 \text{ και } \gamma'_2 = 9$$

$$\text{kN/m}^3$$

φ = γωνίες εσωτερικής τριβής που λαμβάνονται

$$\varphi_1 = 35^\circ \text{ και } \varphi_2 = 32,91^\circ .$$

Οι συντελεστές N_q , N_γ , λ_{qs} και $\lambda_{\gamma s}$ προκύπτουν κατά τους "Meyerhof και Hanna (1978)", από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$N_q = e^{(\pi \cdot \tan \varphi)} * \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$$

$$\text{και } N_\gamma = (N_q - 1) * \tan(1,4 * \varphi)$$

$$\lambda_{qs} = \lambda_{\gamma s} = 1 + 0,10 * (B/L) * \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$$

Οπότε με αντικατάσταση των αριθμητικών τιμών προκύπτουν:

$$N_{q1} = 33,30 \quad N_{q2} = 25,81$$

$$N_{\gamma 1} = 37,15 \quad N_{\gamma 2} = 25,75$$

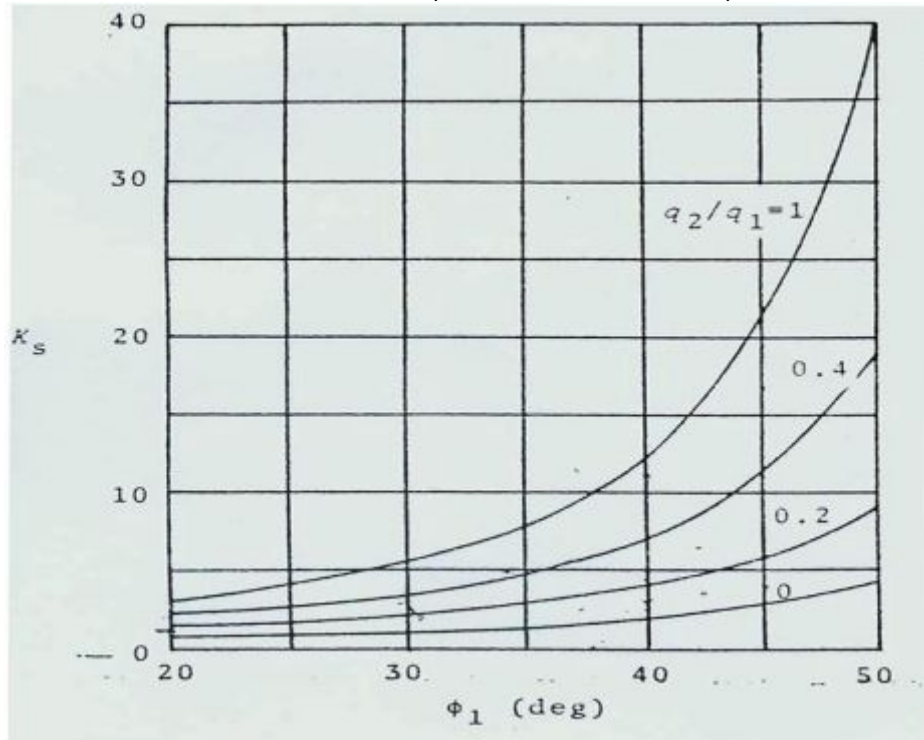
$$\lambda_{qs1} = 1,003 \quad \lambda_{qs2} = 1,003$$

$$\lambda_{\gamma s1} = 1,003 \quad \lambda_{\gamma s2} = 1,003$$

Το s_s λαμβάνεται συντηρητικά $s_s = 1,00$

Τέλος διατμητική αντίσταση της ασυνέχειας K_s προσδιορίστηκε από το ακόλουθο διάγραμμα (Σχ. 3.4) ως συνάρτηση του λόγου:

$$q_2/q_1 = (0,50 \cdot \gamma' \cdot 2 \cdot B \cdot N_{\gamma 2}) / (0,50 \cdot \gamma' \cdot 1 \cdot B \cdot N_{\gamma 1}) = 0,57$$



Σχήμα 3.4 Διάγραμμα υπολογισμού της διατμητικής αντίστασης της ασυνέχειας K_s (Meyerhof και Hanna (1978))

Τελικά προέκυψε $K_s \approx 5,40$

Οπότε από τις σχέσεις υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας υπολογίστηκαν :

q_b (kPa) 1074,93

q_t (kPa) 1063,93

q_u (kPa) 1373,12

Συνεπώς η ζητούμενη φέρουσα ικανότητα είναι **q_u (kPa) = 1373,12**

Το φορτίο του θεμελίου (δυσμενέστερη τιμή) ελήφθη ίσο με $\sigma_{max} = 200$ kPa.

Οπότε ο σχετικός ο συντελεστής ασφαλείας θα προκύπτει :

$F.S. = q_u / \sigma_{max} = 1373,12 / 200$ δηλαδή **F.S. = 5,32** > 3,0 (επαρκής συντελεστής ασφαλείας)

3.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΟΥ

ΦΕΡΟΥΣΑΣ

ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

3.7.1 Γενικά

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας ενός μεμονομένου χαλικοπασσάλου. Οι παραδοχές και η μεθοδολογία υπολογισμού προέρχονται από τη μελέτη του Τεχνικού έργου.

Για την περίπτωση που ελέγχεται ο τύπος του χαλικοπασσάλου θεωρήθηκε ως: "μακρύς χαλικοπάσσαλος αιχμής", και η θεωρημένη μορφή αστοχίας: "πλευρική εξάπλωση". Συνεπώς η καταπόνηση και συμπεριφορά του χαλικοπασσάλου μπορεί να προσομοιωθεί με δοκιμή 3-αξονικής φόρτισης.

Οι απαιτούμενοι έλεγχοι γίνονται σε βάθος (2 – 3) D_c , όπου D_c η διάμετρος του χαλικοπασσάλου).

Ο συντελεστής ασφαλείας έναντι θραύσης του χαλικοπασσάλου δίνεται από τον τύπο:

$FS = \sigma_{\text{vor}}^{\text{χαλ}} / \sigma^q_{\text{χαλ}}$ όπου $\sigma_{\text{vor}}^{\text{χαλ}}$ του χαλικοπασσάλου και σ^q η κατανεμημένη τάση στον χαλικοπάσσαλο.

3.7.2 Μεθοδολογία Υπολογισμού και αποτελέσματα.

Για τις ανάγκες των υπολογισμών θεωρήθηκε ότι ο χαλικοπάσσαλος συμπεριφέρεται ως τριαξονικό δοκίμιο κοκκώδους υλικού υπό πλευρική πίεση σ_3 ίση με την παθητική ώθηση s_{hp} του περιβάλλοντος εδάφους.

Συνεπώς είναι:

$$\sigma_{\text{vor}}^{\text{χαλ}} = k_p^{\text{χαλ}} * \sigma_{hp}^{\text{εδ}} = \tan(45 + \phi_{\text{χαλ}}/2) * \sigma_{hp}^{\text{εδ}}$$

Θεωρώντας ως μέση στάθμη του πλευρικός εξαπλούμενου χαλικοπασσάλου τη στάθμη

1,5 D_c από την κεφαλή του, μπορεί να προσδιορισθεί η παθητική ώθηση $\sigma_{hp}^{\text{εδ}}$ από την παρακάτω σχέση:

$$\sigma_{hp}^{\text{εδ}} = k_{hp}^{\text{εδ}} * (\sigma_{vo} + \sigma_{εδ}^{(q)}) = \tan^2(45 + \phi_{εδ}/2) * (\sigma_{vo} + \sigma_{εδ}^{(q)}).$$

Οι τιμές των κατανεμημένων σε χαλικοπάσσαλο και έδαφος τάσεων $\sigma_{χαλ}$ και $\sigma_{εδ}$ αντιστοίχως (συναρτήσκει του εξωτερικού επιβαλλόμενου φορτίου q) προκύπτουν ως εξής:

$$\sigma_{\chi\alpha\lambda}^{(q)} = [n \cdot q] / [n \cdot \alpha_s + (1 - \alpha_s)]$$

$$\sigma_{\varepsilon\delta}^{(q)} = [q] / [n \cdot \alpha_s + (1 - \alpha_s)]$$

όπου q είναι το εξωτερικό επιβαλλόμενο φορτίο, α_s είναι το ποσοστό αντικατάστασης του εδάφους από τον χαλικοπάσσαλο και το n δίνεται από τον τύπο $n = n_1 \cdot (1 - \alpha_s) / \alpha_s$ όπου n_1 είναι ο συντελεστής βελτίωσης του εδάφους (βλέπε επόμενη παράγραφο της εργασίας).

Για την περίπτωση που εξετάζεται, στις παραπάνω σχέσεις ελήφθη:

n_1 : συντελεστής βελτίωσης εδάφους = 1,36 (επόμενη παράγραφο)

α_s : ποσοστό αντικατάστασης = 0,104 (βλ. παράρτημα Α)

$$n = n_1 \cdot (1 - \alpha_s) / \alpha_s = 13,04$$

q = το εξωτερικό επιβαλλόμενο φορτίο = 200kPa

Οπότε από τις παραπάνω σχέσεις προέκυψε το κατανεμημένο φορτίο στον χαλικοπασσάλο (σε όρους τάσης):

$$\sigma_{\chi\alpha\lambda}^q = \text{το κατανεμημένο φορτίο στον χαλικοπάσσαλο} = [n \cdot q] / [n \cdot \alpha_s + (1 - \alpha_s)] = 1158,77 \text{ kPa}$$

Αντίστοιχα το κατανεμημένο φορτίο στο έδαφος υπολογίστηκε:

$$\sigma_{\varepsilon\delta}^q = \text{το κατανεμημένο φορτίο στο έδαφος} = [q] / [n \cdot \alpha_s + (1 - \alpha_s)] = 88,89 \text{ kPa}$$

Για το ενεργό γεωστατικό φορτίο στην στάθμη 1,5Dc από την κεφαλή των χαλικοπασσάλων ($1,5 \cdot 0,8 = 1,2\mu$), δηλαδή 2,20μ. από την επιφάνεια του εδάφους = 35,6 kPa

Ελήφθη η τιμή σνορ = 35,6 kPa. Τελικά Προέκυψε:

$$\sigma_{hp}^{\varepsilon\delta} = k_{hp}^{\varepsilon\delta} \cdot (\sigma'_{vo} + \sigma_{\varepsilon\delta}^{(q)}) = \tan^2(45 + \phi/2) \cdot (\sigma'_{vo} + \sigma_{\varepsilon\delta}^{(q)}) = 405,16$$

$$\sigma_{\chi\alpha\lambda}^{\text{νορ}} = k_p^{\chi\alpha\lambda} \cdot \sigma_{hp}^{\varepsilon\delta} = \tan^2(45 + \phi_{\chi\alpha\lambda}/2) \cdot \sigma_{hp}^{\varepsilon\delta} = 1863,28$$

Οπότε συντελεστής ασφαλείας έναντι θραύσης του χαλικοπασσάλου:

$$F.S. = \sigma_{\chi\alpha\lambda}^{\text{νορ}} / \sigma^q = 1,61$$

Ο συντελεστής αυτός θεωρήθηκε επαρκής καθώς αφενός αφορά τις δυσμενέστερες συνθήκες φορτίσεως και αφετέρου στο ενδεχόμενο που η τιμή $\sigma^{\text{χαλ}}$ γίνει ίση με την τιμή του $\sigma^{\text{χαλ}}_{\text{vor}}$, κάθε περαιτέρω αύξηση του εξωτερικού φορτίου πρακτικά θα παραληφθεί αποκλειστικά από το έδαφος μέχρι και αυτό να εξαντλήσει και την δική του αντοχή και όχι από τον χαλικοπάσσαλο.

3.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΕΛΑΦΟΥΣ ΛΟΓΩ ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΩΝ

Για του υπολογισμού τον συντελεστή βελτίωσης του εδάφους θεμελίωσης λόγω της κατασκευής των χαλικοπασσάλων, η μελέτη του έργου βασίσθηκε στη δημοσίευση του Priebe, 1995.

Βασισμένο στην δημοσίευση **Heinz J. Priebe** με τίτλο "**The Design of Vibro Replacement**" (έκδοση: **Ground Engineering** December 1995)

Με βάση την παραπάνω εργασία κατά τη μελέτη της θεμελίωσης του κτιρίου υπηρεσιών του Νέου Λιμένα Πατρών ελήφθησαν τα παρακάτω δεδομένα:

Διάμετρος πασσάλου	D (m) = 0.80	
Κάναβος επιρροής πασσάλου (a*)	a (m) = 2.60 ,	b (m) = 2.60
Εμβαδόν επιφάνειας επιρροής χαλικοπασσάλου :	A (m ²) = a*b = 6.76 m²	
Εμβαδόν διατομής χαλικοπασσάλου :	A _C (m ²) = π*D ² /4 = 0.50 m²	
Ποσοστό αντικατάστασης	A _C / A = 0.074 και	
Γωνία εσωτερικής τριβής χαλικοπασσάλου :	φ _c (°) = 40 A / A _C = 13.4	

Μέτρο ελαστικότητας χαλικοπασσάλου : E_C (kPa) = **50.000**

Μέτρο ελαστικότητας εδάφους: E_S (kPa) = **7.000**

Λόγος Poisson : μ_S = **0.33**

Σημειώνεται ότι για το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους έγινε μία συντηρητική εκτίμηση του μέσου όρου των μέτρων ελαστικότητας των εδαφικών στρώσεων εντός οποίων κατασκευάζονται οι χαλκοπάσσαλοι.

Η πορεία των υπολογισμών έχει ως εξής:

α) Υπολογισμός του βασικού συντελεστή βελτίωσης **n₀** που προκύπτει από την

παρακάτω εξίσωση (Priebe, 1995):

$$n_0 = 1 + A_c/A * [(1/2+f)/(K_{ac}*f)-1]$$

όπου είναι : $K_{ac} = \tan^2(45^\circ - \phi_c/2)$

$$\text{και } f = [(1-\mu_s^2)/(1-\mu_s-2\mu_s^2)] * [(1-2\mu_s)*(1-A_c/A)/(1-2\mu_s+A_c/A)]$$

Από τις ανωτέρω εξισώσεις προκύπτει: $K_{ac} = 0.22$ $f = 1.51$ οπότε το **$n_0 = 1.38$**

β) Επιρροή της συμπιεστότητας του υλικού του χαλικοπασσάλου (συντ. βελτίωσης **n_1**)

Υπολογίζεται το ποσοστό αντικατάστασης $(A_c/A)_1$ το οποίο αντιστοιχεί σε συντελεστή βελτίωσης n_0 ίσο με τον λόγο των μέτρων ελαστικότητας χαλικοπασσάλων - εδάφους (D_c/D_s) .

$$(A_c/A)_1 = 0.57$$

Ο λόγος (A/A_c) αυξάνεται κατά $\Delta(A/A_c)$ όπου :

$$\Delta(A/A_c) = 1 / (A_c/A) - 1 \text{ και}$$

$$(A_c/A)' = 1 / [(A/A_c) + \Delta(A/A_c)]$$

Τέλος θέτοντας στην εξίσωση υπολογισμού του n_0 όπου (A_c/A) το $(A_c/A)'$ υπολογίζεται το n_1 .

Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει:

$$\Delta(A/A_c) = 0.75 \quad (A_c/A)' = 0.070$$

Οπότε $f' = 1.53$ και τελικά ο συντελεστής βελτίωσης του αδάφους είναι **$n_1 = 1.36$**

3.9 ΕΠΙΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΛΗΡΩΜΗ

Η επιμέτρηση των χαλικοπασσάλων θα γίνεται σε μέτρα μήκους κατασκευαζόμενου χαλικοπασσάλου, ελαχίστης διαμέτρου 80cm.

Η πληρωμή θα γίνεται με βάση το μετρούμενο ως άνω μήκος και την αντίστοιχη τιμή του τιμολογίου.

Στην τιμή συμπεριλαμβάνονται όλες οι δαπάνες που απαιτούνται για την κατασκευή

των χαλικοπασσάλων σύμφωνα με όσα ορίζεται στα προηγούμενα, μεταξύ των οποίων και οι δαπάνες για τα ακόλουθα

- Τη μεταφορά επιτόπου όλων των απαιτούμενων υλικών και μηχανημάτων για την εκτέλεση των εργασιών όπως προδιαγράφεται.
- Την μετά το πέρας των εργασιών απομάκρυνση των μηχανημάτων και τυχόν περισσευούμενων υλικών.
- Τις εργασίες χάραξης και εξασφάλισης της θέσης κάθε χαλικοπασσάλου.
- Τα υλικά και τις εργασίες για την κατασκευή των χαλικοπασσάλων, σύμφωνα με τα παραπάνω.
- Τις δαπάνες για όλα τα μέτρα ασφάλειας και προστασίας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τους περιβαλλοντικούς όρους.
- Κάθε άλλη σχετική δαπάνη, έστω και αν δεν αναφέρεται ρητώς, για την πλήρη και έντεχνη ολοκλήρωση της κατασκευής, ανεξάρτητα από τη μέθοδο της κατασκευής που θα εφαρμοστεί, σύμφωνα με τις προδιαγραφές, τα σχέδια της μελέτης και τις εντολές της επίβλεψης.

3.9.1 ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΩΝ(ΑΡΘΡΟ) ΚΑΙ Ο ΣΧΕΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ

Χαλικοπάσσαλος Διαμέτρου Φ 0,80μ

Κωδικός Αναθεώρισης ΟΔΟΣ 2731

Για την πλήρη κατασκευή χαλικοπασσάλου ονομαστικής διαμέτρου 0,80μ., οποιουδήποτε βάθους, δι' αφαιρέσεως ή εκτοπίσεως του εδαφικού υλικού πάσης φύσεως και πλήρωσης της οπής με σκυρά καθαρά αυτούσια χειμάρρου ή λατομείου διαστάσεων 1 μέχρι 5 εκατοστά.

Στην τιμή περιλαμβάνεται η δαπάνη προμήθειας και μεταφοράς απο οποιαδήποτε απόσταση στον τόπο ενσωμάτωσης των σκύρων η τυχόν δαπάνη πλύσεως τους ή δαπάνη προετοιμασία των δαπέδων διατήρισης, αφαίρεσης, μεταφοράς και απόθεσης σε κατάλληλες θέσεις του εδαφικού υλικού, καταβιβασμού του βυθισμένου σωλήνα σε έδαφος πάσης φύσεως, ανάσχυση του σωλήνα ή εγκατάλειψης του σε περίπτωση αδυναμίας ανάρσωσης η δαπάνη εισκόμισης, αποκόμισης προσέγγισης και χρήσης των μηχανιμάτων, η δαπάνη πλήρωσης της οπής με υλικό, καθώς και κάθε άλλη δαπάνη υλικών και εργασίας του απαιτείται για την έντεχνη εκτέλεση της κατασκευής σύμφωνα με την μελέτη και τους λοιπούς όρους δημοπράτησης.ώ

Προσαύξηση του άρθρου ΟΔΟ Β-72 λόγω του ότι η διάμετρος των χαλικοπασσάλων είναι 0,80μ.

Τιμή ανά ένα μέτρο Χαλικοπασσάλου Φ 0,80μ

Ευρώ:35,00

Τριάντα πέντε ολογράφως

Α/Α ΧΑΛ/ΛΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΧΑΛ/ΛΟΥ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΑΞΟΝΑ Χ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΑΞΟΝΑ Υ	ΜΗΚΟΣ ΧΑΛ/ΛΟΥ (m)	ΜΕΣΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΧΑΛ/ΛΟΥ (m)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΘΕ ΧΑΛ/ΛΟΥ(€)
1	1400	22303,6	-2178,15	15,2	0,79	21,15	532
2	1399	22306,1	-2178,87	15	0,8	18,09	525
3	1376	22305,37	-2181,37	15,1	0,81	18,83	528,5
4	1377	22303,87	-2180,64	15	0,8	21	525
5	1398	22308,59	-2179,6	15	0,8	17,81	525
6	1397	22311,09	-2180,33	15	0,79	16,24	525
7	1375	22307,86	-2182,1	15,1	0,8	16,9	528,5
8	1375	22310,36	-2182,83	15,1	0,79	21,99	528,5
9	1396	22255,16	-2166,71	15,1	0,8	18,46	528,5
10	1419	22255,89	-2164,22	15,1	0,81	13,7	528,5
11	1418	22258,39	-2164,94	15	0,8	15,65	525
12	1395	22257,66	-2167,44	15,1	0,8	16,46	528,5
13	1394	22260,16	-2168,17	15,1	0,81	14,2	528,5
14	1417	22260,88	-2165,67	15,1	0,8	14,11	528,5
15	1393	22262,65	-2168,9	15	0,79	14,26	525

Α/Α ΧΑΛ/ΛΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΧΑΛ/ΛΟΥ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΑΞΟΝΑ Χ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΑΞΟΝΑ Υ	ΜΗΚΟΣ ΧΑΛ/ΛΟΥ (m)	ΜΕΣΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΧΑΛ/ΛΟΥ (m)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΘΕ ΧΑΛ/ΛΟΥ(€)
16	1416	22263,38	-2166,4	15	0,8	17,08	525
17	1392	22265,15	-2169,63	15	0,79	14,54	525
18	1415	22265,88	-2167,13	15	0,8	17,82	525
19	1391	22267,64	-2170,35	15,1	0,8	16,23	528,5
20	1414	22268,37	-2167,86	15,1	0,81	16,74	528,5
21	1390	22270,19	-2171,1	15	0,8	14,27	525
22	1413	22270,92	-2168,6	15	0,8	17,62	525
23	1389	22272,73	-2171,84	15,1	0,8	13,68	528,5
24	1412	22273,46	-2169,34	15,2	0,8	15,8	532
25	1388	22275,27	-2172,58	15	0,81	17,21	525
26	1411	22276	-2170,09	15,3	0,8	16,78	535,5
27	1387	22277,77	-2173,31	15	0,79	17,22	525
28	1410	22278,5	-2170,82	15	0,79	20,97	525
29	1386	22280,27	-2174,04	15,1	0,8	12,14	528,5
30	1409	22280,99	-2171,55	15,1	0,8	15,86	528,5
31	1385	22282,76	-2174,77	15	0,81	14,34	525
32	1408	22283,49	-2172,27	15	0,8	21,33	525
33	1384	22285,26	-2175,5	15	0,8	14,79	525
34	1407	22285,99	-2173	15	0,8	17,01	525
35	1383	22287,75	-2176,23	15,1	0,79	19,01	528,5
36	1411A	22276,37	-2168,84	15,2	0,8	15,67	532
37	1412A	22273,82	-2168,1	15,1	0,81	18,45	528,5
38	1413A	22271,28	-2167,35	15,3	0,8	19,33	535,5
39	1406	22288,48	-2173,73	15,1	0,8	20,71	528,5
40	1382	22290,25	-2176,96	15	0,8	14,32	525
41	1381	22292,79	-2177,7	14,9	0,8	15,72	521,5
42	1405	22290,98	-2174,46	15,1	0,81	17,11	528,5
43	1404	22293,52	-2175,2	15	0,8	16,37	525
44	1380	22295,34	-2178,44	15,1	0,79	14,46	528,5
45	1379	22297,88	-2179,18	15,1	0,8	15,76	528,5
46	1403	22296,07	-2175,95	15,2	0,8	21,4	532
47	1402	22298,61	-2176,69	15	0,79	18,27	525
48	1378	22300,38	-2179,91	15,2	0,79	15,96	532
49	1401	22301,1	-2177,42	15	0,8	15,73	525
50	1442	22256,62	-2161,72	15,2	0,8	12,33	532
51	1465	22257,35	-2159,22	15	0,8	14,04	525
52	1464	22259,85	-2159,95	15,1	0,8	20,53	528,5
53	1441	22259,12	-2162,45	15,4	0,81	16,33	539

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.(Ενας απόσπασμα των πινάκων που δείχνει το κόστος του κάθε χαλικοπασσάλου.)

Επίσης πρέπει να αναφέρουμε ότι το συνολικό κόστος όλων των χαλικοπασσάλων ανέρχεται στα **106158,5€**Ακόμα πρέπει να αναφέρουμε ότι το συνολικό μήκος των χαλικοπασσάλων είναι **3033,10(m)**.

4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα παρακάτω:

- Η διαχείριση των υδάτινων πόρων που πρέπει να περιλαμβάνει και τον έλεγχο εδαφικής ρευστοποίησης περιοχών με υψηλή στάθμη υπόγειων νερών κάτω από τη δράση των εδαφικών κραδασμών που προβλέπονται από τις εδαφοδυναμικές αναλύσεις. Ο έλεγχος ρευστοποίησης είναι δυνατόν να διεξαχθεί ταχύτατα και με χαμηλό κόστος αξιοποιώντας τις πρόσφατα αναπτυχθείσε μεθοδολογίες της εδαφοδυναμικής και της γεωτεχνικής σεισμικής μηχανικής.
- Για την επιλογή των παραμέτρων αντισεισμικού σχεδιασμού των έργων του νέου λιμένα πατρών διεξήχθησαν ειδικές επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό των δυναμικών ιδιοτήτων των εδαφικών σχηματισμών της περιοχής. Με βάση τα αποτελέσματα αναλύσεων της μονοδιάστατης εδαφικής σεισμικής απόκρισης στις θέσεις των έργων του λιμένα, έγινε επιλογή των ενεργών τιμών των οριζόντιων επιταχύνσεων σχεδιασμού καθώς και των αντίστοιχων φασμάτων απόκρισης. Σε περίπτωση διάρρηξης του ρήγματος της αγίας τριάδας το οποίο βρίσκεται στην περιοχή των έργων, ενδέχεται να εμφανιστούν βλάβες μόνο στα τμήματα των έργων τα οποία βρίσκονται ακριβώς υπεράνω του ίχνους του ρήγματος.
- Έλεγχος της επικινδυνότητας ρευστοποίησης στην περιοχή των έργων του νέου λιμένα πατρών έδειξε ότι ο κίνδυνος είναι υπαρκτός για την περίπτωση σεισμού $M = 6$ ενώ αυξάνεται κατά 10% περίπου για την περίπτωση σεισμού $M=6,5$. Θα πρέπει εν τούτοις να ληφθεί υπόψη ότι οι υπολογισμοί της παρούσας εργασίας αφορούν την περίπτωση “ελεύθερου πεδίου”, δηλαδή τη φυσική κατάσταση των εδαφών πριν από την κατασκευή των έργων του λιμένα. Η ύπαρξη των κατασκευών επηρεάζει την εκδήλωση του φαινομένου της ρευστοποίησης και θα πρέπει να ληφθεί κατάλληλα υπόψη. Τέλος, σημειώνεται ότι για την εκδήλωση ρευστοποίησης πρέπει να υπάρξουν ευνοϊκές συνθήκες όχι μόνο σε ένα σημείο του εδάφους αλλά σε ολόκληρη περιοχή σημείων. Σε αντίθετη περίπτωση και αν ακόμη το φαινόμενο εκδηλωθεί σημειακά, αναχαιτίζεται εύκολα απο υλικό γειτονοκών θέσεων με αυξημένη αντίσταση σε ρευστοποίηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Elastic Solutions for Soil and Rock, Mechenins, Poubs H.G. and Davis E.H., John Willey and Sons, New York, 1974

The Desing of Vibro Replacement, Priebe, Ground Engineering, December Meyerh of G.G. and Hanna A.M. 1978

Ultimate bearing capacity of foundations on Iayered soils under inclined load, Canadia, Geotechneal Joural, 15, pp 567-572.

Ρευστοποίηση λόγω Σεισμού: Επίδραση στα Τεχνικά Έργα & Μέθοδοι Βελτίωσης – Ενίσχυσης του Εδάφους, Μπουκουβάλας 2007

<<Η Διερεύνηση της Επικινδυνότητας Ρευστοποίησης των Εδαφικών Υλικών>>, Αθανασόπουλος και Ατματζίδης 1994

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Φωτογραφίες Προόδου Εργασιών

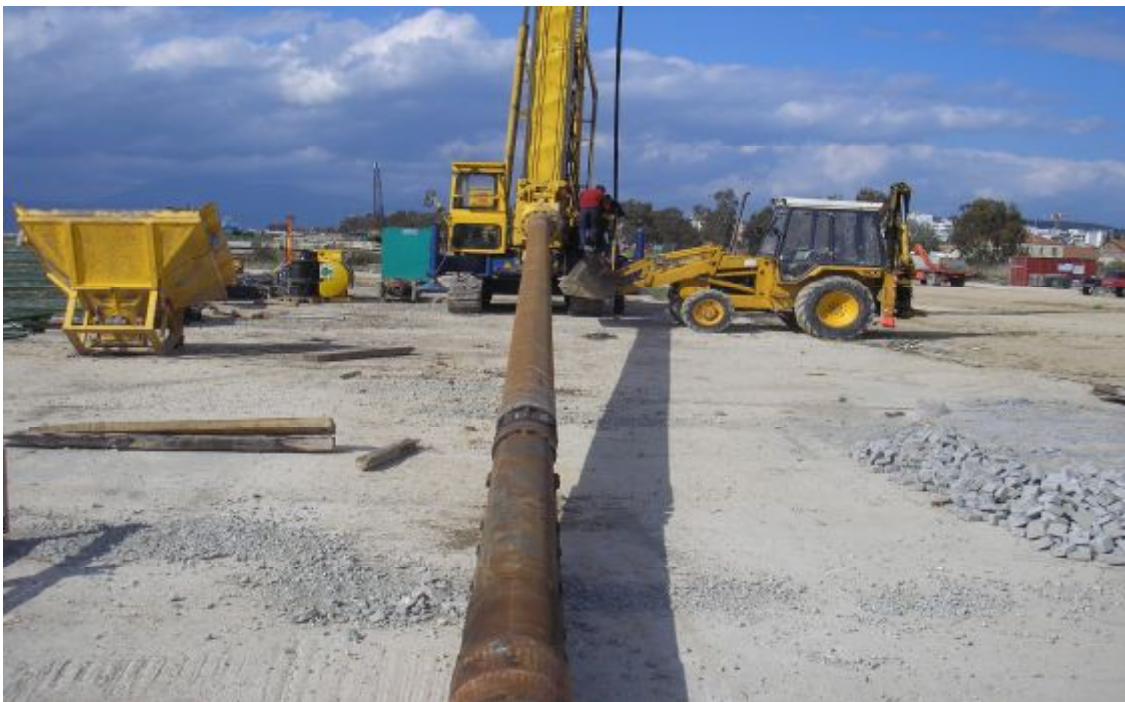


ΕΙΚΟΝΑ 1: Επίπεδο εδάφους πριν την έναρξη των εργασιών.

ΕΙΚΟΝΑ 2: Υλικό που χρησιμοποιήθηκε για τις εργασίες



ΕΙΚΟΝΑ 3: Διαδικασία συναρμολόγησης του Vibrocat



ΕΙΚΟΝΑ 4: Τοποθέτηση χαλικιού στο Vibrocat



ΕΙΚΟΝΑ 5: Ανέλκυση της χοάνης για την εισαγωγή του χαλικιού στο δονητή



ΕΙΚΟΝΑ 6: Τοποθέτηση χαλικοπασσάλου (είσοδος του δονητή στο έδαφος)



ΕΙΚΟΝΑ 7: Τοποθέτηση χαλικοπασσάλου (έξοδος του δονητή από το έδαφος)



ΕΙΚΟΝΑ 8: Ολοκλήρωση της διαδικασίας τοποθέτησης του χαλικοπασσάλου



ΕΙΚΟΝΑ 9: Κεφαλή κατασκευασμένου χαλικοπασσάλου.



ΕΙΚΟΝΑ 10: Άποψη λιμένα (από ελικόπτερο) μετά την εκκίνηση των κτηριακών εργασιών.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΣΧΕΔΙΟ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΝΕΟ ΛΙΜΕΝΑ ΠΑΤΡΩΝ