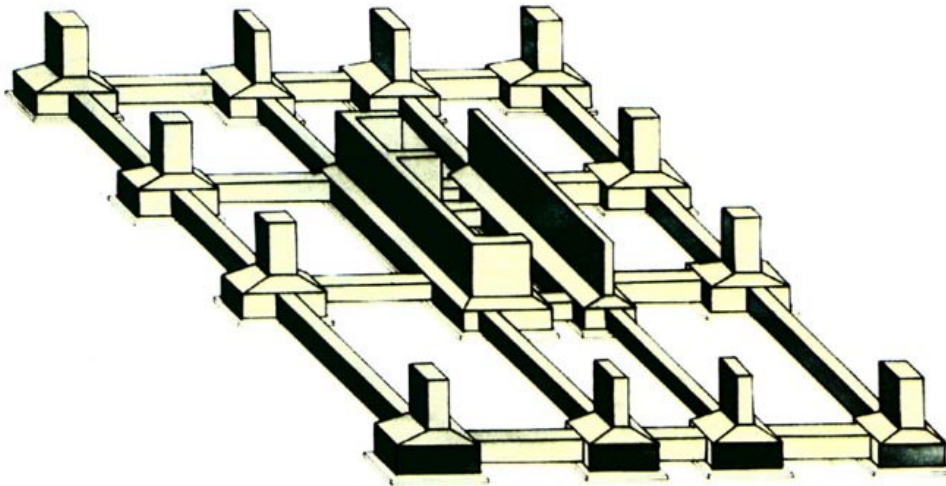


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΕ
«ΔΥΣΚΟΛΕΣ» ΣΥΝΘΗΚΕΣ – ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ
ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΒΑΛΕΝΤΙΝΑ, Α.Μ. 5329

ΛΑΜΠΡΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, Α.Μ. 5397

ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, Α.Μ. 5150

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ - ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Δρ. ΜΠΑΡΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Πανεπ. Υπότροφος Τ.Ε.Ι.

ΠΑΤΡΑ 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ολοκληρώνοντας τις σπουδές μας στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. επιλέξαμε, σε συνεργασία με τον επιβλέποντα, να ασχοληθούμε στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας μας με τις «ειδικού τύπου» θεμελιώσεις που πραγματοποιούνται συνήθως σε μεγάλα τεχνικά έργα ή σε δύσκολες εδαφικές συνθήκες. Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον εισηγητή και επόπτη της εργασίας Δρ. Μπάρο Δημήτριο για την υποστήριξη και πολύτιμη βοήθειά του.

Πάτρα 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας είναι η παρουσίαση και η ανάλυση διαφόρων ειδικών τεχνικών και διαδικασιών θεμελίωσης, καθώς και προβλημάτων που έχουν συμβεί ή μπορεί να συμβούν είτε κατά την μελέτη είτε κατά την κατασκευή μιας θεμελίωσης. Η ανάλυση του θέματος διαρθρώνεται σε τέσσερα κεφάλαια ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας δίνονται οι βασικοί ορισμοί που αφορούν το περιβάλλον της θεμελίωσης, δηλαδή το έδαφος. Αναλύονται οι βασικές ιδιότητες του εδάφους, σχολιάζονται οι απαιτήσεις που υπάρχουν από μία θεμελίωση και παρατίθενται οι βασικές αρχές σχεδιασμού μιας θεμελίωσης και οι συνήθεις πηγές σφαλμάτων.

Το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει αναλυτικά τις θεμελιώσεις «ειδικού τύπου» που χρησιμοποιούνται σε δύσκολες συνθήκες και μεγάλα τεχνικά έργα. Δίνονται πληροφορίες για το σχεδιασμό και την κατασκευή θεμελιώσεων με φρεατοπασσάλους, προκατασκευασμένους πασσάλους, χαλικοπασσάλους και πασσαλοκοιτοστρώσεις.

Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει παραδείγματα εφαρμογής των παραπάνω μεθόδων θεμελίωσης σε πραγματικές κατασκευές.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο εξάγονται τα βασικά συμπεράσματα από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της πτυχιακής εργασίας αυτής.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών:

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κείμενου, έχουμε δε αναφέρει στη Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές:

Αναστασίου Βαλεντίνα

Λάμπρου Βασίλειος

Σωτηρόπουλος Βασίλειος

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	5
1.2 ΟΡΙΣΜΟΙ	6
1.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ	12
1.4 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ	15
1.5 ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ ΜΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ	19
2.1 ΓΕΝΙΚΑ – ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	19
2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	21
2.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	22
2.4 ΕΓΧΥΤΟΙ ΠΑΣΣΑΛΟΙ – ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΙ.....	23
2.4.1 ΥΛΙΚΑ.....	24
2.4.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ - ΓΕΝΙΚΑ	29
2.4.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	36
2.4.3 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	40
2.4.4 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΚΕΦΑΛΟΔΕΣΜΩΝ	44
2.4.4 ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ	45
2.4.5 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	47
2.5 ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΙ ΠΑΣΣΑΛΟΙ	50
2.5.1 ΥΛΙΚΑ.....	51
2.5.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	52
2.5.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ.....	56
2.5.4 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	58
2.6 ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΟΙ	60
2.6.1 ΟΡΙΣΜΟΙ.....	63
2.6.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	64
2.6.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ – ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΕΛΕΙΩΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	67
2.6.4 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΛΑΒΗ	74
2.6.5 ΕΠΙΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΛΗΡΩΜΗ	75
2.7 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΚΟΙΤΟΣΤΡΩΣΗΣ ΓΙΑ ΥΨΗΛΑ ΚΤΙΡΙΑ	75
2.7.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	77
2.7.2 ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΕΡΓΑ	86
3.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΕΑΤΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΓΕΦΥΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟ	86

3.1.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΦΡΕΑΤΩΝ ΠΑΚΤΩΣΗΣ	88
3.1.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΦΡΕΑΤΩΝ ΠΑΚΤΩΣΗΣ	92
3.2 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ, ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ	94
3.3 ΓΕΦΥΡΕΣ Γ1 ΚΑΙ Γ2 ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ.....	99
3.4 ΓΕΦΥΡΑ ΑΓ2, ΚΑΚΙΑ ΣΚΑΛΑ.....	101
3.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΡΓΩΝ ΠΑΣΣΑΛΟΚΟΙΤΟΣΤΡΩΣΗΣ.....	103
3.5.1 ΕΡΓΑ ΣΤΗ ΦΡΑΝΚΦΟΥΡΤΗ	103
3.5.2 ΕΡΓΑ ΣΤΟ ΒΕΡΟΛΙΝΟ	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	115
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	117

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το υλικό με τις περισσότερες παραμέτρους και ιδιομορφίες είναι αναμφισβήτητα το έδαφος [1,2]. Οι ιδιότητές του όχι μόνο διαφέρουν από θέση σε θέση ,σε έκταση και βάθος, αλλά αλλάζουν κατά τις διάφορες φάσεις κατασκευής ενός έργου (δηλ. με τη μεταβολή του πεδίου των τάσεων, συνθηκών στραγγίσεως κλπ.). Με τη βοήθεια της επιστήμης της Εδαφομηχανικής και την εμπειρία από παρατηρήσεις της συμπεριφοράς έργων που ήδη έχουν κατασκευασθεί αντιμετωπίζουμε στις θεμελιώσεις τα διάφορα σχετικά προβλήματα του Πολιτικού Μηχανικού. Έτσι με την Επιστήμη της Εδαφομηχανικής προσπαθούμε να εκτιμήσουμε την αντοχή, τη συμπιεστότητα, τη διαπερατότητα των εδαφών ή ακόμη και τις πιέσεις όπου ασκεί το έδαφος πάνω σε κατασκευές αντιστήριξης κλπ.

Στις θεμελιώσεις, με βάση τα ανωτέρω στοιχεία καθώς και άλλα δεδομένα ή περιορισμούς (όπως π.χ. η λειτουργικότητα του έργου) εξετάζονται εναλλακτικές λύσεις για τον τρόπο θεμελιώσεως ενός έργου και εκτιμώνται αντιστοίχως οι αναμενόμενες καθιζήσεις, η ασφάλεια έναντι αστοχίας του εδάφους και η στατική επάρκεια των στοιχείων θεμελιώσεως. Ενώ έχουμε να δώσουμε απάντηση σε προβλήματα που εμπλέκονται μεγάλοι εδαφικοί όγκοι, βασιζόμαστε την εκτίμηση της συμπεριφοράς του εδάφους σε εργαστηριακά αποτελέσματα δοκιμών επί μικρής κλίμακας εδαφικών δοκιμών, είτε σε επί τόπου δοκιμές , όπου σχετικώς μικροί εδαφικοί όγκοι συμμετέχουν στην ανάληψη της εξωτερικής εντατικής καταστάσεως.

Να σημειώσουμε ότι σημαντικό ρόλο παίζει η λεγομένη προσωπική κρίση και εμπειρία του Μηχανικού, στην οποία κυρίως στηρίζονται οι αποφάσεις τόσο για τη θεωρία, όσο και για τις εδαφικές παραμέτρους που θα εισαχθούν στο πρόβλημα. Κατά τη λήψη τέτοιων αποφάσεων συμβάλλουν σημαντικά οι παρατηρήσεις της συμπεριφοράς παρεμφερών θεμελιώσεων ή γενικότερα των εδαφομηχανικών έργων.

Ο μεγάλος όμως όγκος των εδαφικών υλικών που επηρεάζεται κατά την κατασκευή και λειτουργία μιας θεμελιώσεως επιβάλλει και μία ακόμη πρόσθετη επιστημονική γνώση, την Τεχνική Γεωλογία. Γι 'αυτό δεν είναι άσχετο το γεγονός ότι η Εδαφομηχανική βρίσκεται στην οριογραμμή της Γεωλογίας και της Επιστήμης του Πολιτικού Μηχανικού. Αλλά όμως ως επιστήμη αναπτύχθηκε κυρίως από Πολιτικούς Μηχανικούς κι όχι από Γεωλόγους.

Η εφαρμογή όμως της Εδαφομηχανικής χωρίς γνώσεις γεωλογίας, πολλές φορές μπορεί να οδηγήσει σε επικίνδυνες καταστάσεις, π.χ. η αντιμετώπιση του ίδιου προβλήματος σε δύο εδαφικά υλικά με την αυτή ορυκτολογική σύσταση αλλά με διαφορετική προϊστορία φορτίσεων απαιτεί, πολλές φορές, διαφορετική αντιμετώπιση. Έτσι σε κανονικά φορτισμένα εδάφη η άμεση φόρτιση είναι συνήθως η πιο επικίνδυνη φορτική κατάσταση ενώ αντίθετα σε προφορτισμένα εδάφη μια μακροχρόνια φόρτιση οδηγεί στην πιο επικίνδυνη κατάσταση [1,2].

Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι η εξέλιξη της Γεωτεχνικής σε πολλές χώρες είναι άμεσα επηρεασμένη από τη Γεωλογία τους, π.χ. στην Αγγλία, όπου η μεγαλύτερη έκταση του Λονδίνου βρίσκεται πάνω στη γνωστή σιφρή άργιλο του Λονδίνου (Ηωκαίνου περιόδου - περίπου 60 εκατ. ετών) αναπτύχθηκαν θεωρίες και τεχνικές για την

αντιμετώπιση προβλημάτων σπιφρών αργίλων. Στις Κάτω Χώρες, όπου μεγάλη έκτασή τους αποτελείται από γεωλογικώς σύγχρονα φερτά ιζήματα του ποταμού Ρήνου, αντιμετωπίζονται επιτυχώς προβλήματα μαλακών αργίλων, καθώς και χαλαρών αποθέσεων μη συνεκτικών εδαφών.

Ειδικότερα στην Ελλάδα υπάρχει ιδιαίτερα μεγάλη ποικιλία εδαφικών υλικών διαφόρων γεωλογικών περιόδων και προϊστορίας φορτίσεων, π.χ. πρόσφατες τεταρτογενείς αποθέσεις της ολοκαίνου με μεγάλη ανομοιογένεια στα παράλια και στις εκβολές ποταμών δημιουργούν προβλήματα θεμελιώσεως ακόμη και για συνήθεις κατασκευές. Σκληρές άργιλοι της πλειοκαίνου, στα πεδινά ηπειρωτικά, με συχνή παρουσία χαλίκων και λίθων παρουσιάζουν προβλήματα για την εκτίμηση των αντιπροσωπευτικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Επίσης οι ημίβραχοι (σκληρά εδάφη έως μαλακοί βράχοι όπως σχιστόλιθος, μάργα, φλύσχες) είναι ίσως από τα πολυπλοκότερα γεωτεχνικά υλικά σε προβλήματα ευσταθείας πρηνών και αντιστηρίξεων [1,2].

Από τα ανωτέρω είναι προφανές τόσο η μεγάλη ποικιλία των Γεωτεχνικών προβλημάτων στην Ελλάδα, όσο και το αντίστοιχα ευρύ πεδίο έρευνας και εφαρμογής για τους Έλληνες Γεωτεχνικούς.

1.2 ΟΡΙΣΜΟΙ

Στην παρούσα παράγραφο δίνονται βασικοί ορισμοί που σχετίζονται με το έδαφος και τις ιδιότητές του. Το έδαφος και η ποιότητά του καθορίζει το είδος και τα επιμέρους χαρακτηριστικά της θεμελίωσης μιας κατασκευής. Η καλή γνώση λοιπόν των παρακάτω όρων και της φυσικής έννοιάς τους είναι κρίσιμη για τον καλό σχεδιασμό μίας θεμελίωσης. Οι πληροφορίες που παρουσιάζονται προέρχονται από την βιβλιογραφία [10].

A) Έδαφος

Το επιφανειακό έδαφος είναι το επιφανειακό στρώμα του στερεού φλοιού της γης στο οποίο στηρίζονται και αναπτύσσονται τα φυτά (35 ως 50 εκατοστά). Το στρώμα κάτω από το επιφανειακό έδαφος λέγεται υπέδαφος. Το υπέδαφος φτάνει στο 1,5μ ως 2μ., ως εκεί δηλαδή που προχωρούν οι ρίζες των φυτών και μπορεί να γίνει γεωργική εκμετάλλευσή του [10].

Το έδαφος σχηματίζεται με φυσικό τρόπο από την αποσάθρωση των επιφανειακών πετρωμάτων της γης που συντελείται με την επίδραση ορισμένων παραγόντων όπως οι συνεχείς μεταβολές της θερμοκρασίας, η βροχή, ο παγετός, ο άνεμος, οι μικροοργανισμοί, τα ανώτερα φυτά και οι ζωικοί οργανισμοί.

Αν πραγματοποιήσουμε κάθετη τομή σε ένα έδαφος βάθους μερικών μέτρων θα διακρίνουμε διαφορετικά στρώματα, τα οποία ονομάζονται ορίζοντες.

Για να σχηματισθεί ένα εκατοστό εδάφους απαιτούνται δεκάδες χρόνια, που μπορεί να είναι και ένας αιώνας.

Το έδαφος, ένας φυσικός πόρος που χρειάζεται πάρα πολύ καιρό για να δημιουργηθεί, αποτελεί τη βάση για την παραγωγή τροφίμων και καταλαμβάνεται από ανθρωπογενείς κατασκευές, όπως πόλεις και γενικά κατοικημένες περιοχές. Είναι επίσης αναγκαίος πόρος για την οικοδόμηση πόλεων και χωριών, σύγχρονων έργων υποδομής, οδικών κα. Συνεπώς το έδαφος καταλαμβάνεται και χρησιμοποιείται με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους. Επομένως, η προστασία του εδάφους αφορά τόσο το έδαφος και

τις ιδιότητές του όσο και τη χρήση για την οποία προορίζεται.

B) Σχηματισμός του εδάφους

Πέντε παράγοντες θεωρείται πως επηρεάζουν το σχηματισμό του εδάφους [10]:

α) το μητρικό υλικό, το οποίο είναι σχετικά χαλαρό υλικό, το προερχόμενο από την αποσάθρωση των πετρωμάτων και από το οποίο με την επίδραση και των άλλων παραγόντων της εδαφογένεσης, σχηματίζεται το έδαφος.

β) το κλίμα, το οποίο επιδρά στη βλάστηση με τη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις, αλλά και σε άλλους παράγοντες εδαφογένεσης

γ) οι ζώντες οργανισμοί, δηλαδή φυτικοί οργανισμοί, μικροοργανισμοί, μεγάλοι οργανισμοί και άνθρωποι που χρησιμοποιούν τη γη για αγροτικές, δασικές, κτηνοτροφικές, οικιστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες

δ) η τοπογραφία της περιοχής, δηλαδή η μορφή της επιφάνειας της γης

ε) ο χρόνος, δηλαδή η διάρκεια διαδικασίας σχηματισμού του εδάφους που είναι πολύ μεγάλη. Συνήθως για το σχηματισμό ενός στρώματος από χώμα μέσω φυσικών διαδικασιών αποσάθρωσης μητρικών πετρωμάτων χρειάζονται από 100 έως 1000 χρόνια ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος. Για αυτό το λόγο το έδαφος δεν αποτελεί ανανεώσιμο φυσικό πόρο.

Γ) Φυσικές ιδιότητες

Μερικές βασικές φυσικές ιδιότητες του εδάφους μεταξύ άλλων αναφέρονται παρακάτω [10]:

- **Σύσταση**: Η σύσταση του εδάφους διαμορφώνεται από την αναλογία των υλικών που το αποτελούν (μίγμα ανόργανων - άμμου, ιλύος αργίλου- και οργανικών υλικών, νερού, αέρα.)
- **Υφή**: Το μέγεθος των ανόργανων υλικών καθορίζει την υφή του εδάφους
- **Πορώδες και ειδικό βάρος**: Το πορώδες καθορίζεται από τον όγκο που έχουν τα διάκενα του εδάφους. Το πραγματικό ειδικό βάρος (λόγος του βάρους ενός όγκου κόκκων εδάφους προς ίσο όγκο αποσταγμένου νερού στους 4° είναι γύρω στα 2,5
- **Υγροσκοπικότητα του εδάφους**: αναφέρεται στην ικανότητα πρόσληψης και απόδοσης υγρασίας. Όταν όλα τα διάκενα του εδάφους είναι γεμάτα νερό η υγροσκοπικότητα του εδάφους φτάνει το μέγιστο.
- **Ειδική θερμότητα**: Αφορά στην ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1° Ο. Η θερμοκρασία είναι ένας από τους συντελεστές της ανάπτυξης των φυτών και εξαρτάται από τα συστατικά του εδάφους, το χρώμα του, την υγρασία του κλπ.

Δ) Υποβάθμιση του εδάφους

Εδαφική υποβάθμιση [10] είναι η μείωση της παραγωγικότητας του εδάφους για μια ή περισσότερες χρήσεις γης, που μπορεί να προκληθεί από φυσικά φαινόμενα και να επιταχυνθεί από ανθρώπινες παρεμβάσεις. Ανθρώπινες επεμβάσεις όπως οι εκχερσώσεις, οι εντατικές καλλιέργειες, η υπεράντληση των υπογείων νερών δημιουργούν σοβαρές διαταραχές στα εδάφη.

Τύποι υποβάθμισης του εδάφους:

1. **Υδατική υποβάθμιση**. Είναι η απώλεια επιφανειακού χώματος λόγω κίνησης του

νερού που το συμπαρασύρει. Εξαρτάται από το κλίμα, το γεωλογικό υπόβαθρο, το ανάγλυφο και τη βλάστηση.

2. **Αιολική διάβρωση.** Στην περίπτωση αυτή οι άνεμοι παρασύρουν το επιφανειακό χώμα. Η *αποδόσωση* (απομάκρυνση της φυσικής βλάστησης) είναι από τους κύριους λόγους δημιουργίας της και η *εντατική γεωργία* (υπερβολική χρησιμοποίηση του εδάφους από τους γεωργούς) με συνεχή οργώματα εκθέτουν το έδαφος σε υδατική και αιολική διάβρωση. Επίσης η *εντατική βόσκηση* δημιουργεί μείωση της φυτοκάλυψης και καταστρέφει τη δομή του εδάφους λόγω της μηχανικής δράσης των ποδιών των ζώων.
3. **Χημική υποβάθμιση:**
 - α) *μείωση των θρεπτικών συστατικών* του εδάφους
 - β) *αλατοποίηση* που σημαίνει αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων του επιφανειακού χώματος, καθιστώντας το ακατάλληλο για γεωργική χρήση
 - γ) *οξύνιση* που προκαλείται από τα συστατικά του εδάφους είτε από υπερχρησιμοποίηση όξινων λιπασμάτων
 - δ) *ρύπανση* από διάφορους ρύπους όπως βιομηχανικά και αστικά απόβλητα, φυτοφάρμακα και άλλα.
4. **Φυσική υποβάθμιση.** Είναι η κυριότερη μορφή υποβάθμισης όταν το έδαφος γίνεται συμπαγές (μειώνεται το ποσοστό το όγκου του αέρα). Όσο πιο συμπαγές είναι το χώμα τόσο πιο δύσκολη είναι η βλάστηση των σπόρων, άρα τόσο πιο πολλή η απορροή του νερού και συνεπώς η διάβρωση.

Ε) Διάβρωση

Η εδαφική διάβρωση [10] αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες μορφές εδαφικής υποβάθμισης και προκαλεί δυσμενή αποτελέσματα στη φυτική παραγωγή γιατί χάνεται το γονιμότερο τμήμα του εδάφους.

Διάβρωση είναι η παράσυρση του εδάφους που βρίσκεται στο ανώτερο στρώμα της γήινης επιφάνειας από το νερό της βροχής ή τον άνεμο. Εξαρτάται από το είδος του εδάφους, την κλίση του και τη μορφολογία του, από την ένταση των βροχών και των ανέμων της περιοχής και από το είδος της βλάστησης. Σύμφωνα με έρευνες, η διάβρωση του γεωργικού εδάφους είναι 12,5 φορές μεγαλύτερη από τη διάβρωση που υφίσταται στο ίδιο χρονικό διάστημα ένας βοσκότοπος, 200 φορές μεγαλύτερη από τη διάβρωση που υφίσταται έδαφος φυλλοβόλων και 100 φορές μεγαλύτερη από το έδαφος με δάσος πεύκων.

Οι συνέπειες της διάβρωσης είναι καταστρεπτικές γιατί απομακρύνεται το επιφανειακό έδαφος που έχει τις καλύτερες φυσικές και χημικές ιδιότητες και χάνονται τα θρεπτικά συστατικά, ιδίως το ασβέστιο, το κάλιο και το μαγνήσιο.

Στ) Ρευστοποίηση

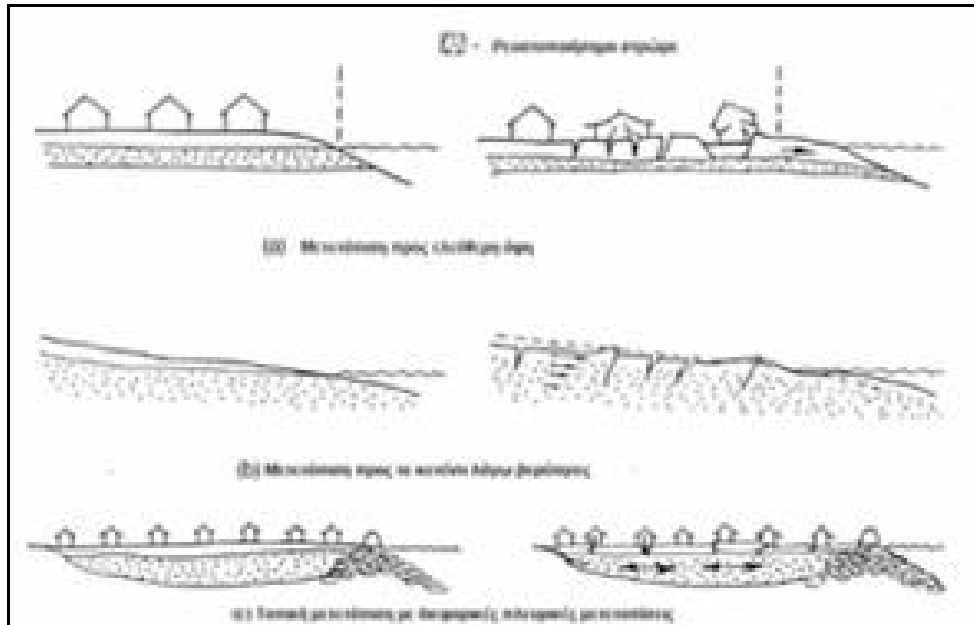
Με τον όρο **ρευστοποίηση** [11] εδαφικών σχηματισμών περιγράφεται η διαδικασία κατά την οποία μη συνεκτικοί κορεσμένοι εδαφικοί σχηματισμοί, υπό την άμεση φόρτιση κάτω από αστράγγιστες συνθήκες και λόγω της αδυναμίας μεταβολής του όγκου τους, παρουσιάζουν αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων και στη συνέχεια απώλεια της διατμητικής τους αντοχής με αποτέλεσμα να συμπεριφέρονται ως ρευστά.

Υπάρχουν τρεις βασικές προϋποθέσεις / συνθήκες[11] :

- Χαλαρό μη συνεκτικό υλικό

- Κορεσμένο
- Ισχυρή εδαφική σεισμική κίνηση (διάρκεια >12-15sec και PGA>0.1g)

Η ρευστοποίηση μπορεί να προκαλέσει σημαντικές βλάβες στις κατασκευές που βρίσκονται σε σεισμογενείς περιοχές όπου ο υδροφόρος ορίζοντας είναι σχετικά ψηλά (Εικόνες 1.1 έως 1.4). Οι αστοχίες αυτές μπορούν να αποφευχθούν με ειδικές θεμελιώσεις που παρουσιάζονται σε επόμενο τμήμα της εργασίας.



Εικόνα 1.1 Αστοχίες λόγω ρευστοποίησης [11].



Εικόνα 1.2 Αστοχία εδάφους λόγω ρευστοποίησης [11].



Εικόνα 1.3 Αστοχία θεμελίωσης λόγω ρευστοποίησης [11].



Εικόνα 1.4. Ανάδυση λεπτόκοκκου υλικού και άμμου με νερό –
Δημιουργία κρατήρων/κώνων άμμου [11].

Εκτίμηση επιδεκτικότητας ρευστοποίησης σε τοπική κλίμακα

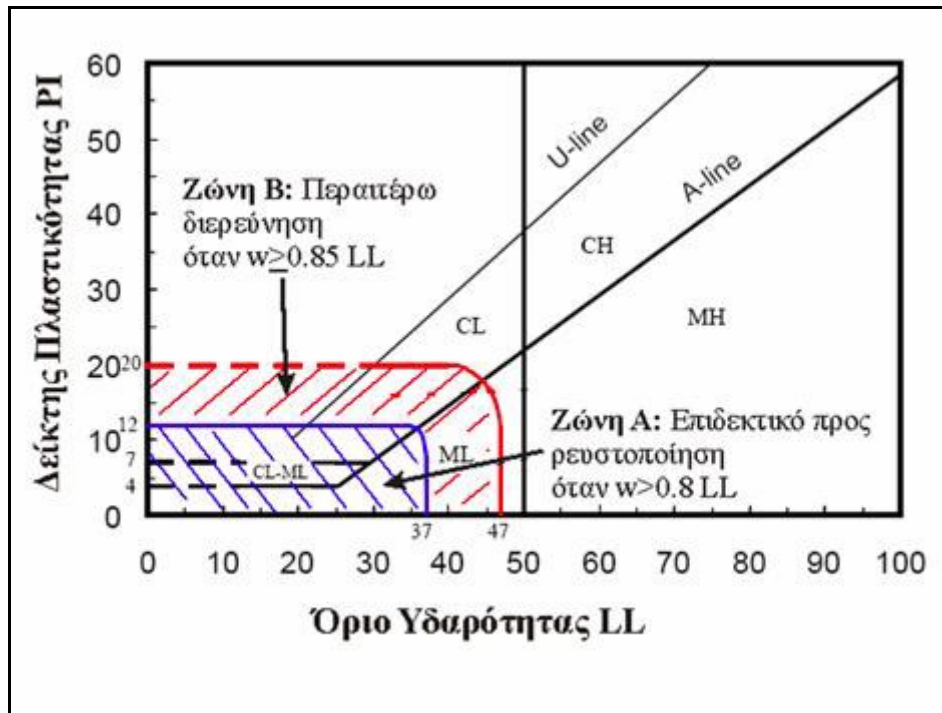
Επιδεκτικό σε ρευστοποίηση χαρακτηρίζεται ένα αμμώδες έδαφος όταν [11]:

- Βρίσκεται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και η τιμή του $N < 30$

Εάν το έδαφος περιέχει ποσοστό λεπτόκοκκων $FC > 15\%$ τότε χαρακτηρίζεται ως επιδεκτικό σε ρευστοποίηση όταν :

- Το ποσοστό υγρασίας είναι $w > 0.8 \cdot LL$ και
- είτε είναι μη πλαστικό (NP)
- Είτε η τιμή του ορίου υδαρότητας $LL < 37$ και του δείκτη πλαστικότητας $PI < 12$

Σε αυτήν την περίπτωση η επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση αξιολογείται γραφικά με το παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 1.5) των Seed et al. [11].



Εικόνα 1.5 Διάγραμμα Seed για τον χαρακτηρισμό εδαφών σχετικά με την πιθανότητα ρευστοποίησής τους [11].

Ζ) Αλληλεπίδραση με την κατασκευή σε περίπτωση σεισμού.

Προφανώς ιδιαίτερα σημαντική είναι η αλληλεπίδραση του εδάφους με την κατασκευή η οποία θεμελιώνεται σε αυτό, ακόμα κι αν δεν είναι πιθανή η περίπτωση της ρευστοποίησης. Για το λόγο αυτό οι κανονισμοί κατηγοριοποιούν τα εδάφη ανάλογα με την αναμενόμενη συμπεριφορά τους σε περίπτωση σεισμού και, ιδιαίτερα, την επίδραση που θεωρείται ότι θα έχουν στα σεισμικά κύματα. Για κάθε κατηγορία εδάφους προτείνεται στη συνέχεια κατάλληλος συντελεστής τροποποίησης της σεισμικής δράσης (ενίσχυσης). Οι κατηγορίες που προβλέπει ο Ευρωκώδικας 8 διακρίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1.1).

Πίνακας 1.1 Κατηγοριοποίηση εδαφών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 [11].

Κατηγορία εδάφους	Περιγραφή	V_{s30} (m/s)	NSPT (blows/30cm)	Cu (kPa)
A	Βράχοι ή βραχώδεις σχηματισμοί που περιλαμβάνουν το πολύ 5m μαλακότερου σχηματισμού στην επιφάνεια	>800		
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλικιών ή πολύ στιφρής αργίλου, πάχους αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από σταδιακή αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος	360–800	>50	>250
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μέσης πυκνότητας άμμου, χαλικιών ή στιφρής αργίλου, πάχους μερικών δεκάδων έως πολλών εκατοντάδων μέτρων	180–360	15–50	70–250
D	Αποθέσεις μη συνεκτικών εδαφών μικρής έως μέσης αντοχής (με ή χωρίς μαλακές στρώσεις συνεκτικών εδαφών), ή αποθέσεις όπου επικρατούν μαλακά έως σκληρά συνεκτικά εδάφη	<180	<15	<70
E	Εδαφικά προφίλ που αποτελούνται από μια επιφανειακή αλλουβιακή στρώση με τιμές V_s ανάλογες των κατηγοριών C και D, πάχους 5-20m, που υπέρκειται σκληρότερου υλικού με $V_s > 800$ m/s			
S1	Αποθέσεις που αποτελούνται ή που περιέχουν μια στρώση μαλακής αργίλου/ ιλύος, πάχους τουλάχιστον 10m, υψηλού δείκτη πλαστικότητας και υψηλής φυσικής υγρασίας.	<100		10-20
S2	Αποθέσεις ρευστοποιήσιμων εδαφών ή ευαίσθητων αργίλων, ή οποιοδήποτε εδαφικό προφίλ δεν περιλαμβάνεται στις κατηγορίες A – E ή S1.			

1.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ

Τα απαραίτητα στοιχεία για το σχεδιασμό θεμελιώσεως ενός έργου, και οι αντίστοιχες φάσεις είναι [1,2]:

- α. Η διερεύνηση του υπεδάφους
- β. Ο προσδιορισμός της στρωματογραφίας και η εκτίμηση των χαρακτηριστικών εδαφοτεχνικών παραμέτρων.
- γ. Η προσέγγιση της συμπεριφοράς "αντιπροσωπευτικών" εδαφικών στοιχείων καθώς και η επιλογή τικ κατάλληλης θεωρίας για το σχεδιασμό.
- δ. Η συνεκτίμηση της ευαισθησίας της ανωδομής.
- ε. Σύνθεση όλων των ανωτέρω και απόφαση για συγκεκριμένο τρόπο θεμελιώσεως.
- στ. Σε σοβαρά έργα απαιτείται επιπλέον και η παρακολούθηση της συμπεριφοράς του

έργου μετά την κατασκευή του.

Ορισμένα από τα ανωτέρω στοιχεία, αναπτύσσονται σύντομα στη συνέχεια. Οι πληροφορίες που παρουσιάζονται προέρχονται από τις βιβλιογραφίες [1,2].

(A) Προκαταρκτική διερεύνηση του υπεδάφους

Το υπέδαφος στη φύση έχει μία δομή και ποικιλία η οποία μπορεί να προκαλέσει έκπληξη στο μηχανικό, αλλά δεν πρέπει ποτέ να τον καταπλήξει. Με εξαίρεση τις μικρές και όχι ιδιαίτερης σημασίας κατασκευές, μία διερεύνηση του υπεδάφους είναι πάντα απαραίτητη. Ο τρόπος όμως που θα διερευνησουμε το υπέδαφος και η έκταση της σχετικής έρευνας δεν μπορούν να δοθούν από κάποια γενική μεθοδολογία, διότι εξαρτώνται όχι μόνο από την έκταση, τη σημασία και την ευαισθησία του έργου, αλλά και από τη φύση του απαιτούμενου υπεδάφους.

Σε κάθε περίπτωση, το προκαταρκτικό στάδιο μιας γεωτεχνικής έρευνας περιλαμβάνει την εξέταση των τοπικών γεωλογικών συνθηκών, την εξέταση τυχόν υπαρχόντων εδαφοτεχνικών στοιχείων καθώς και συλλογή παρατηρήσεων από τη συμπεριφορά κατασκευών στην περιοχή του προς μελέτη έργου. Μια συστηματική αξιολόγηση των ανωτέρω πληροφοριών βοηθά πολύ στον προγραμματισμό και στον καθορισμό της έκτασης της απαιτούμενης γεωτεχνικής έρευνας.

(B) Προσδιορισμός της στρωματογραφίας και των εδαφοτεχνικών παραμέτρων

Στη συνέχεια εκτελούνται οι απαραίτητες γεωτρήσεις οι επί τόπου δοκιμές, λαμβάνονται δείγματα και γίνονται εργαστηριακές δοκιμές σε έκταση και αριθμό τέτοιο ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση των εδαφικών παραμέτρων και των λοιπών στοιχείων για το σχεδιασμό. Η έρευνα και ο προσδιορισμός των γεωτεχνικών παραμέτρων μπορεί να γίνουν και σε περισσότερες από μία φάσεις, ανάλογα με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις του έργου. Μία νέα φάση έρευνας μπορεί να περιλάβει και δοκιμές που δεν περιελήφθησαν σε προηγούμενη φάση.

Συνοπτικά, για τις επί τόπου και εργαστηριακές δοκιμές, σημειώνονται τα ακόλουθα [1,2]:

α) *Επί τόπου δοκιμές*

Οι επί τόπου δοκιμές, όπως είναι γνωστό, αναφέρονται συνήθως σε διάφορες μεθόδους επιβολής φορτίσεων αμέσως επί του εδάφους, επιφανειακά ή σε διάφορα βάθη και υποκαθιστούν είτε συμπληρώνουν «αντίστοιχες» εργαστηριακές δοκιμές, καθώς και την εν γένει εδαφοτεχνική τομή, όπως προκύπτει από τις συνήθεις εδαφοτεχνικές έρευνες με δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Με επί τόπου επίσης δοκιμές είναι δυνατή η άμεση ή η έμμεση εκτίμηση φυσικών χαρακτηριστικών και παραμέτρων, όπως π.χ. το φαινόμενο βάρος, η φυσική υγρασία, ο συντελεστής διαπερατότητας κλπ.

Τα προβλήματα των επί τόπου δοκιμών συνοψίζονται [1,2]:

- στον τρόπο εκτέλεσης των δοκιμών και την προτυποποίησή τους,
- στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους (που αναφέρεται είτε σε αναγωγή των αποτελεσμάτων αυτών σε εδαφοτεχνικές παραμέτρους είτε αμέσως στον υπολογισμό των θεμελιώσεων).

Η χρήση των επί τόπου δοκιμών σήμερα είναι πολύ διαδεδομένη και η εκτέλεση

τουλάχιστον ενός ή δύο τύπων επί τόπου δοκιμών, συνήθως παράλληλα με δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, αποτελεί τον κανόνα. Το πεδίο εφαρμογής κάθε τύπου επί τόπου δοκιμής εξαρτάται καταρχήν από το συγκεκριμένο πρόβλημα καθώς και από άλλους παράγοντες όπως η επιθυμητή ταχύτητα στη λήψη των αποτελεσμάτων και η οικονομία.

Οι περιορισμοί αντιστοίχως αναφέρονται σε περιορισμούς στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων και σε περιορισμούς εκτελέσεως μιας συγκεκριμένης επί τόπου δοκιμής λόγω της φύσεως του εδάφους.

Συνήθεις και διαδεδομένοι τύποι επί τόπου δοκιμών είναι [1,2]:

- Η πρότυπος δοκιμή διεισδύσεως(S.P.T.)
- Οι πεντρομετρήσεις, στατικές (C.P.T.) και δυναμικές.
- Η πρεσσιομέτρηση.
- Η δοκιμή πτερυγίου (Vane test).
- Η δοκιμαστική φόρτιση πλακός (I.B.T.)

Με την ευρεία έννοια του όρου "επί τόπου δοκιμή", μπορούν να περιληφθούν και επί τόπου μετρήσεις συμπεριφοράς έργων, εδαφοκατασκευών ή θεμελιώσεων, όπως [1,2]:

- Η δοκιμαστική φόρτιση πασσάλων.
- Τα δοκιμαστικά επιχώματα.
- Η αξιοποίηση μετρήσεως συμπεριφοράς πραγματικών έργων.

β) Εργαστηριακές δοκιμές

Σε δείγματα, διαταραγμένα ή αδιατάρακτα, προσδιορίζουμε εργαστηριακά τις ιδιότητες του υπεδάφους. Καταρχήν έχουμε τις απλές δοκιμές κατατάξεως οι οποίες, παρόλη την απλότητά τους, δίνουν σημαντικές πληροφορίες για την εκτίμηση της μηχανικής συμπεριφοράς των εδαφών κι ακόμη μας «προειδοποιούν» πολλές φορές για ιδιαιτερότητες στη συμπεριφορά.

Με πιο πολύπλοκες εργαστηριακές δοκιμές, όπως π.χ. τριαξονικής θλίψεως, διατμήσεως κλπ., εκτιμούμε κυρίως τις μηχανικές ιδιότητες και εδαφικές παραμέτρους κάτω από εντατική κατάσταση και συνθήκες στραγγίσεως που να προσεγγίζουν τις αντίστοιχες πραγματικές συνθήκες του προβλήματός μας.

(Γ) Προσέγγιση της συμπεριφοράς του εδάφους και του εδαφικού στοιχείου

Όπως είναι γνωστό η σχέση τάσεων-παραμορφώσεων ενός εδαφικού στοιχείου είναι μη γραμμική. Κατ' επέκταση και η σχέση φορτίσεως-καθιζήσεων ενός θεμελίου είναι επίσης μη γραμμική.

Πέρα από κάποιο φορτίο οι παραμορφώσεις του εδάφους αυξάνονται πολύ ταχύτερα από τις αντίστοιχες αυξήσεις της φορτίσεως μέχρι κάποια οριακή φόρτιση, τη φόρτιση θραύσεως του εδάφους. Για λόγους απλουστεύσεως το ενιαίο πρόβλημα φορτίσεως-καθιζήσεων το διαχωρίζουμε ουσιαστικά σε δύο περιοχές της φορτίσεως q . Συγκεκριμένα εξετάζουμε καταρχήν το πρόβλημα στην περιοχή των μεγάλων φορτίσεων q που το έδαφος συνολικά κι όχι σημειακά οδηγείται σε θραύση και στην περιοχή κάποιου ποσοστού αυτής της μέγιστης φορτίσεως, στην οποία υπολογίζονται οι παραμορφώσεις του εδάφους.

Ενώ στα περισσότερα των προβλημάτων μας θεωρούμε ότι το έδαφος

συμπεριφέρεται ως ιδεατά ελαστικό υλικό ή ακόμη και ως ιδεατά πλαστικό υλικό, οι δύο αυτές συνήθειες παραδοχές δεν ανταποκρίνονται συχνά στην πραγματική συμπεριφορά των εδαφικών υλικών.

Ο Terzaghi [1,2], γενικά συνιστά ότι για συντελεστή ασφαλείας έναντι θραύσεως 3 (F_s), όπου F_s , είναι δυνατόν να αποδεχθούμε τη θεωρία της γραμμικής ελαστικότητας για την κατανομή των τάσεων μέσα στο έδαφος. Η «ελαστική» συμπεριφορά ενός εδαφικού υλικού έχει οπωσδήποτε σχέση με τη φύση του εδαφικού υλικού και την προϊστορία των φορτίσεων. Έτσι αναμένεται ότι μία κανονικώς φορτισμένη άργιλος (NC) είναι δυνατόν να συμπεριφερθεί «ελαστικά» για συντελεστή ασφαλείας έναντι θραύσεως F_s τις τάξεως του 3 ~ 5, ενώ αντίθετα μία προφορτισμένη άργιλος μπορεί να συμπεριφερθεί «ελαστικά» για F_s της τάξεως του 1,5 ~ 2. Δηλαδή τελικά για μεν τις μαλακές, κανονικά φορτισμένες αργίλους ή και χαλαρές άμμους η ελαστικότητα μπορεί να ισχύσει για πολύ μικρά και περιορισμένα πεδία πιέσεων, για τις προφορτισμένες στιφρές αργίλους ή και πυκνές άμμους το πεδίο των πιέσεων μπορεί να είναι και υψηλότερο και ευρύτερο.

Από τα ανωτέρω εύκολα συνάγεται ότι πολλές φορές η επιλογή της κατάλληλης θεωρίας και όχι ίσως η απόλυτη γνώση των λεπτομερειών της, είναι αυτό που είναι κρίσιμο στις θεμελιώσεις. Ο Μηχανικός της εφαρμογής απαιτεί να επιλύσει τα προβλήματά του με τρόπο που τα αποτελέσματα του να ισχύουν πραγματικά στην πράξη, διότι παρ' όλο που γοητεύεται από την κομψότητα των Μαθηματικών, ενδιαφέρεται κυρίως για τη θεωρία που παρουσιάζει θετικά αποτελέσματα όταν εφαρμοσθεί στην πράξη. Γι' αυτό πολλές φορές η ακρίβεια και καμιά φορά και η λογική ακόμη θυσιάζονται κατά την ανάπτυξη απλοποιητικών θεωρητικών μεθόδων υπολογισμού για την πράξη [1,2].

Τέτοιες όμως απλοποιητικές θεωρίες πρέπει να τις δεχόμαστε στην πράξη μόνο εφόσον οι βασικές παραδοχές τους είναι πλήρως καθορισμένες και οι συνθήκες του προβλήματος δεν παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από αυτές.

1.4 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ

Κατά τον Sowers [1,2] τρεις είναι οι κυρίως τεχνικές απαιτήσεις σε μία θεμελίωση:

- α) Να εδράζεται σε κατάλληλο βάθος ώστε να μην επηρεάζεται από τις διάφορες μεταβαλλόμενες συνθήκες του περιβάλλοντος ή από μελλοντική γειτονική κατασκευή.
- β) Να μην υφίσταται κίνδυνος αστοχίας του εδάφους και
- γ) Να μην πραγματοποιούνται καθιζήσεις σε μέγεθος που να βλάπτουν την ανωδομή.

Η εξασφάλιση των ανωτέρω απαιτήσεων απαιτεί τη θεώρηση όχι μόνο των σημερινών συνθηκών που έχουν σχέση με τη θεμελίωση, αλλά και των τυχόν μελλοντικών μεταβολών των συνθηκών αυτών ώστε να εκμηθούν οι επιπτώσεις τους στη θεμελίωση.

Εκτός των ανωτέρω τεχνικών παραγόντων και άλλοι παράγοντες που έχουν σχέση με τη θεμελίωση, όπως το κόστος, δυνατότητες κατασκευής, συντήρηση κλπ. θα πρέπει να συνεκτιμηθούν πριν ληφθεί η τελική απόφαση για την επιλογή του καταλληλότερου τρόπου θεμελιώσεως. Με βάση τις απαιτήσεις που έχουμε από τη θεμελίωση ενός έργου ως φυσική συνέπεια προβάλλει η έννοια του συντελεστή ασφαλείας F_s .

Όπως και κάθε άλλο υλικό-φορέας, το έδαφος εάν φορτισθεί υπερβολικά οδηγείται

σε αστοχία. Εκτός όμως από την αστοχία του εδάφους θα πρέπει να θεωρούμε στις θεμελιώσεις και την τυχόν αστοχία αυτού τούτου του θεμελίου ή και της ανωδομής ακόμη, που δεν είναι απαραίτητο να προέρχονται από την αστοχία του εδάφους, αλλά μπορεί να προηγηθούν αυτής.

Έτσι κατά τον Little[1,2], είναι δυνατό να θεωρήσουμε δύο τύπους αστοχίας:

- α) Την «**καταστροφική αστοχία**», η οποία συμβαίνει με την υπέρβαση της διατμητικής αντοχής του εδάφους και έχει ως συνέπεια την ταχεία βύθιση του θεμελίου στο έδαφος ή και την περιστροφή του ακόμη. Σε μία τέτοια περίπτωση, η ανωδομή ή καταστρέφεται τελείως, ή δεν μπορεί πια να ανταποκριθεί στη λειτουργία για την οποία έχει σχεδιασθεί.
- β) Τη «**λειτουργική αστοχία**» της κατασκευής, όταν αδυνατεί να εκπληρώσει μέρος ή όλες τις λειτουργίες για τις οποίες σχεδιάσθηκε. Μια τέτοια αστοχία είναι αποτέλεσμα μιας πολύ αργής καθιζήσεως η οποία μάλιστα μπορεί να συμβεί και μετά από αρκετό χρόνο από την ολοκλήρωση της κατασκευής. Σε μία τέτοια περίπτωση η επιβαλλόμενη πίεση στο έδαφος δεν έχει φθάσει μεν στα όρια της «καταστροφικής αστοχίας» - όπου προκαλείται θραύση του εδάφους- αλλά έχει προκαλέσει σοβαρή καθίζηση π.χ. ανεπίτρεπτη διαφορική μεταξύ μερικών στοιχείων της κατασκευής.

Για την αποφυγή μιας καταστροφικής αστοχίας είναι απαραίτητο το επιβαλλόμενο φορτίο στο έδαφος ($P_{επ}$) να είναι μικρότερο από το φορτίο «θραύσεως» του εδάφους ($P_{θρ}$). Ο λόγος $F_s = P_{θρ} / P_{επ}$, καλείται συντελεστής ασφαλείας σε θραύση. Παρ' όλο που για τιμή του F_s λίγο μεγαλύτερη από 1, μπορεί να εξασφαλισθεί η αποφυγή μιας καταστροφικής αστοχίας, ορισμένες φορές είναι δυνατόν οι υψηλές διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται μέσα στο έδαφος να προκαλέσουν την πλαστική ροή του εδάφους (π.χ. σε μαλακές αργίλους). Έτσι για αποφυγή και της λειτουργικής αστοχίας, είναι φυσικό στις θεμελιώσεις, να απαιτείται η χρήση μεγαλύτερων τιμών συντελεστή ασφαλείας[1,2].

Ένας πρόσθετος λόγος για χρησιμοποίηση $F_s > 1$ είναι να καλυφθούν και οι αναπόφευκτες αβεβαιότητες στην εκτίμηση των εδαφικών παραμέτρων για οποιοδήποτε λόγο.

Ο καθορισμός του καταλλήλου συντελεστή ασφαλείας είναι γενικά ένα σύνθετο πρόβλημα στο οποίο εμπλέκονται πολλοί παράγοντες όπως, η φύση του υπεδάφους, η γεωμετρία του θεμελίου, καθώς και η ευαισθησία, η σημασία και η οικονομία της προς θεμελίωση κατασκευής.

Η επίδραση μερικών από τους ανωτέρω παράγοντες στην τιμή του συντελεστή ασφαλείας φαίνεται ευκρινώς από τα στοιχεία του κατωτέρω Πίνακα 1.2.

1.5 ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Το πιο συνηθισμένο πρόβλημα που τίθεται στο Μηχανικό των Θεμελιώσεων είναι ο καθορισμός της φέρουσας ικανότητας και η εκτίμηση των καθιζήσεων των θεμελίων με σκοπό τον καθορισμό μιας ασφαλούς και οικονομικής πίεσεως εφαρμογής επί του εδάφους.

Πίνακας 1.2 Επίδρασης του ορίου καθίζησης, του πλάτους της θεμελίωσης και του είδους του εδάφους στην τιμή του συντελεστή ασφαλείας F_s [1,2].

όριο καθίζησης		Απαιτούμενοι συντελεστές ασφαλείας για τον περιορισμό καθιζήσεων			
		Πλάτος Θεμελίου			
		5 ft	10 ft	20 ft	40 ft
		Στιφρή προφορτισμένη άργιλος			
1	in	3	6	12	24
3	in	1	2	4	8
		Μέση κανονική φορτισμένη άργιλος			
1	in	6	12	24	48
3	in	2	4	8	16
6	in	1	2	4	8
		Μαλακή άργιλος			
3	in	4	8	16	32
6	in	2	4	8	16

Η λύση του προβλήματος αυτού επηρεάζεται άμεσα τόσο από την ορθή εκτίμηση του μεγέθους και της συχνότητας επιβολής των φορτίσεων καθώς και από τη σωστή εκτίμηση της φύσεως και των παραμέτρων του υπεδάφους. Η ακρίβεια στον προσδιορισμό των ανωτέρω παραμέτρων και πάλι εξαρτάται από τη σημασία της ανωδομής.

Αλλά όμως ακόμη και για την περίπτωση ενός «ακριβούς» υπολογισμού και «προσεγγμένης» κατασκευής είναι δυνατόν να υπεισέλθουν διάφορα σφάλματα, οι πιθανές πηγές των οποίων καλόν είναι να επισημανθούν. Κατά τον R. Peck [1,2] πέντε είναι οι πιθανότερες τέτοιες πηγές σφαλμάτων, που αναλύονται συνοπτικό στη συνέχεια:

- Κακή εκτίμηση των φορτίων.
- Οι εδαφικές συνθήκες να διαφέρουν από αυτές που υπετέθησαν κατά τους εδαφοστατικούς υπολογισμούς.
- Η θεωρία που έχει επιλεγεί για το σχεδιασμό να είναι ανακριβής ή ανεπαρκής.
- Να έχει εκτιμηθεί ανεπιτυχώς η δυνατότητα αναλήψεως από την ανωδομή μικρομετακινήσεων.
- Τυχόν κακοτεχνίες της κατασκευής να αλλοιώνουν τις προϋποθέσεις του υπολογισμού.

Η ανάλυση της κάθε μίας πηγής σφάλματος που ακολουθεί προέρχεται από τις βιβλιογραφικές πηγές [1,2].

Εκτίμηση των φορτίων: Γενικά τα φορτία που αναλαμβάνονται από τη θεμελίωση θα πρέπει πάντα να καθορίζονται σε συνεργασία με το Μηχανικό που μελετά την ανωδομή. Ενώ γενικά υπερεκτιμούμε τις φορτίσεις της ανωδομής υπάρχουν ορισμένες φορτίσεις όπως π.χ. οι επιχώσεις των χώρων γύρω από κατασκευές που πολλές φορές αγνοούνται. Όμως παρά την φαινομενικά μικρή σημασία τους μπορούν να προκαλέσουν μία

καταστροφή. Επίσης δυναμικές φορτίσεις , μικρού σχετικά μεγέθους, μπορεί να αγνοηθούν παρόλο που στα μη συνεκτικά κυρίως εδάφη επηρεάζουν αισθητά τις καθιζήσεις. Σε γενικές γραμμές θα πρέπει να τονισθεί ότι ο καθορισμός των φορτίων που αναλαμβάνει μία θεμελίωση θα πρέπει να γίνει με τον ίδιο βαθμό ακριβείας όπως και για την ανωδομή.

Εδαφικές συνθήκες: Σε αντίθεση με τα σημαντικά έργα όπου και μεγάλος αριθμός γεωτρήσεων εκτελείται και εμπειριστατωμένη εργαστηριακή έρευνα γίνεται, στα συνήθη έργα είναι δυνατόν μία ανεπαρκής έρευνα να οδηγήσει τόσο σε λανθασμένη εκτίμηση της φύσεως του υπεδάφους, όσο και σε κακή επιλογή παραμέτρων υπολογισμού. Η τυχαία δομή και ετερογένεια των εδαφικών σχηματισμών επιβάλλουν για την επιτυχή επιλογή παραμέτρων υπολογισμού τόσο τη σαφή γνώση της γεωλογίας της περιοχής όσο και τη λήψη πραγματικά «αντιπροσωπευτικών» δειγμάτων.

Επιλογή θεωρίας υπολογισμού: Υπάρχουν πολλές θεωρίες που προσεγγίζουν τη συμπεριφορά των εδαφικών υλικών κάτω από ορισμένες συνθήκες φορτίσεως και δεν είναι δυνατόν μονοσήμαντα να απομονωθεί μία από αυτές ως η καταλληλότερη έστω και για περιορισμένη κατηγορία εδαφικών υλικών. Θα πρέπει πάντα κατά την επιλογή μιας θεωρίας να λαμβάνεται υπόψη το κατά πόσο η συμπεριφορά του συγκεκριμένου τύπου εδάφους υπό τις συνθήκες του προβλήματός μας προσεγγίζεται από τη θεωρία που έχουμε επιλέξει.

Όπως μας είναι γνωστό η σχέση τάσεων-παραμορφώσεων στα εδαφικά υλικά δεν είναι συνήθως γραμμική, εξαρτάται πολύ από τις συνθήκες της εντάσεως και ο παράγοντας χρόνος -για τη φόρτιση-δεν είναι δυνατόν εύκολα να συνεκτιμηθεί. Το πρόβλημα είναι ακόμη πιο πολύπλοκο για την περίπτωση των δυναμικών καταπονήσεων του εδάφους.

Γενικά οι θεωρίες που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή πρακτική περιέχουν σημαντικές απλοποιητικές παραδοχές και κρίνονται ως ενδεδειγμένες μόνο εφόσον οι ανωτέρω απλοποιήσεις ισχύουν κατά το δυνατόν στο συγκεκριμένο πρόβλημά μας.

Ανοχή της ανωδομής: Είναι γνωστό ότι πολλές φορές αγνοείται η ικανότητα της ανωδομής να αναλάβει διαφορικές μετακινήσεις του εδάφους, με αποτέλεσμα να οδηγηθούμε σε αντισυμβαλλόμενες λύσεις, όπως επίσης πολλές φορές; ο σχεδιασμός μιας ευαίσθητης ανωδομής χωρίς ταυτόχρονη θεώρηση των συνθηκών του εδάφους θεμελιώσεως, να οδηγεί αργότερα σε απαγορευτικές , από οικονομικής απόψεως, λύσεις θεμελιώσεως.

Είναι σημαντικό και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο η αλληλεπίδραση εδάφους-ανωδομής όσο και ο τρόπος επιβολής των φορτίσεων κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Μία σωστή αξιολόγηση κατά το σχεδιασμό, του τρόπου επιβολής των φορτίσεων ενός έργου, είναι δυνατόν να μας οδηγήσει ταυτόχρονα σε ασφαλείς και οικονομικές λύσεις θεμελιώσεως.

Συνέπειες από την ποιότητα της κατασκευής: Είναι αρκετό να τονίσει κανείς απλώς, ότι ο κακός τρόπος κατασκευής και μόνο μπορεί να αποδυναμώσει πλήρως την καλύτερη μελέτη ανωδομής, τη σωστή εκτίμηση των φορτίων και την κατάλληλη προσομοίωση του εδάφους θεμελιώσεως. Πολλές από τις γνωστές «αστοχίες» των θεμελιώσεως, που αναφέρονται στη βιβλιογραφία οφείλονται αποκλειστικά στο λόγο αυτό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ ΜΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ – ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Οι πάσσαλοι αποτελούν τον συνηθέστερο τρόπο βαθιάς θεμελιώσεως [2]. Όπως είναι γνωστό η διαφοροποίηση μεταξύ αβαθών και βαθιών θεμελιώσεων γίνεται βάσει του θεωρητικού μηχανισμού τις διατμητικής αστοχίας του εδάφους.

Ο πάσσαλος είναι ένα μεμονωμένο στοιχείο βαθιάς θεμελιώσεως, με σχετικά μικρή διάμετρο (ή πλευρά διατομής) B συνήθως από 0,30m έως 1,50m, και κατ' εξαίρεση μέχρι και 3,0m, και αρκετά υψηλό λόγο L/B όπου L το μήκος του, που μεταφέρει τα φορτία της ανωδομής στο έδαφος με ασφάλεια τόσο έναντι «θραύσεως», όσο και έναντι υπερβολικών παραμορφώσεων (καθιζήσεων είτε και πλευρικών μετατοπίσεων).

Οι πάσσαλοι ως στοιχεία θεμελιώσεων χρησιμοποιούνται συνήθως στις εξής περιπτώσεις [1,2]:

- α) όταν μαλακά εδάφη υπέρκεινται σιφρών
- β) σε αποθέσεις μαλακών ή χαλαρών εδαφών μεγάλου πάχους
- γ) για μεταβίβαση στο έδαφος υψηλών φορτίων με ταυτόχρονο περιορισμό των καθιζήσεων
- δ) για την ανάληψη υψηλών φορτίων με τρόπο που να μην επηρεάζουν υπάρχουσες κατασκευές με επιφανειακή θεμελίωση
- ε) για ανάληψη οριζοντίων φορτίων κλπ.

Για την επίλυση των προβλημάτων θεμελιώσεων με πασσάλους απαιτείται η κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος πάσσαλος - έδαφος και κυρίως η κατανόηση του μηχανισμού μεταβίβασης των φορτίων από τον πάσσαλο στο έδαφος.

Κατά τον ποσοτικό προσδιορισμό της φερούσης ικανότητας ($\Phi.I.$) - οριακού φορτίου - P_u ενός πασσάλου δεχόμαστε ότι το φορτίο της ανωδομής κατά την διατμητική αστοχία μεταβιβάζεται στο έδαφος μέσω του πασσάλου μέσω της αντοχής της αιχμής του, Q_b και της αντοχής εκ πλευρικών τριβών, Q_s , οπότε ισχύει η σχέση:

$$P_u = Q_b + Q_s$$

Η $\Phi.I.$ όμως του πασσάλου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το υλικό, τη μορφή και τον τρόπο κατασκευής του πασσάλου καθώς και το είδος του περιβάλλοντος εδάφους.

Στην πράξη ο ποσοτικός προσδιορισμός της $\Phi.I.$ - οριακού φορτίου γίνεται ουσιαστικά υπολογίζοντας ανεξάρτητα την Q_b και την Q_s , δηλαδή με την παραδοχή ότι δεν επηρεάζεται η μία συνιστώσα από την άλλη.

Σημειώνεται όμως, ότι σε αποτελέσματα δοκιμαστικών φορτίσεων σε εμπηγνυομένους πασσάλους έχει παρατηρηθεί ότι [1,2]:

- Σε μη συνεκτικά εδάφη η ανάπτυξη της Q_s επηρεάζει την Q_b .
- Σε συνεκτικά εδάφη αντιθέτως η ανάπτυξη της Q_s δεν επηρεάζει την Q_b .

Τα συνήθη συστήματα λειτουργίας πασσάλων-εδάφους χαρακτηρίζονται ως:

- πάσσαλοι αιχμής,
- πάσσαλοι τριβής
- πάσσαλοι αιχμής τριβής

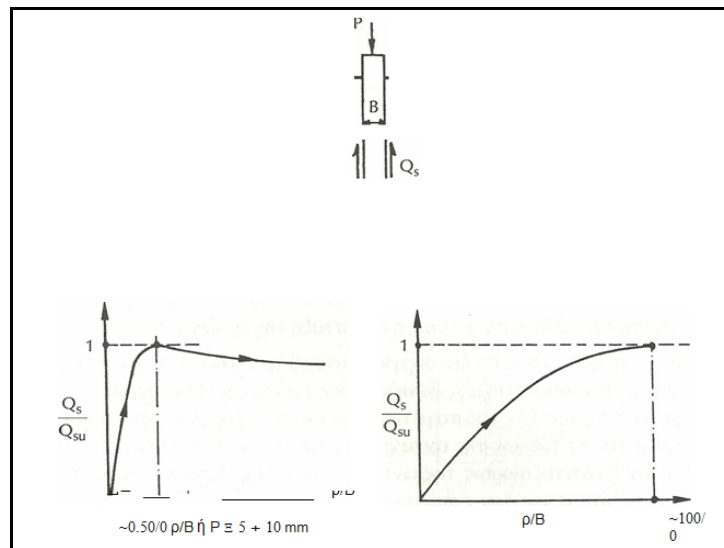
ανάλογα με τον τρόπο μεταβιβάσεως των φορτίων στο έδαφος και τον τρόπο αναπτύξεως της αντοχής - οριακού φορτίου - των πασσάλων.

Για την ανάπτυξη όμως της αντοχής, (δηλαδή της φέρουσας ικανότητας), απαιτείται, όπως και στις επιφανειακές θεμελιώσεις, μία μετακίνηση - υποχώρηση του πασσάλου λόγω της φόρτισης. Έτσι η πλήρης ανάπτυξη της αντοχής αιχμής, (Q_b), χρειάζεται μία σημαντική κατακόρυφη μετακίνηση, 5 έως 10% του B (όπου B η διάμετρος του πασσάλου). Η αντοχή λόγω πλευρικών τριβών, (Q_s), αναπτύσσεται πλήρως για μικρές κατακόρυφες μετακινήσεις του πασσάλου, 0,5%B ή 0,5 - 2cm.

Έτσι μικρά φορτία επί του πασσάλου μεταβιβάζονται κυρίως μέσω των πλευρικών τριβών ενώ υψηλά φορτία αναλαμβάνονται συνήθως κατά το μεγαλύτερο μέρος τους από την αντίσταση της αιχμής. Όπως προκύπτει από τα παραπάνω ο τρόπος ανάπτυξης της αντοχής των πασσάλων είναι ένα σύνθετο πρόβλημα. Απαιτείται λοιπόν πλήρης κατανόηση των μηχανισμών:

- ανάπτυξης της αντοχής αιχμής (πρόβλημα Φ.Ι.),
- ανάπτυξης των δυνάμεων τριβής -συνάφειας κατά την παράπλευρη επιφάνεια του πασσάλου (πρόβλημα αλληλεπίδρασης πασσάλου - εδάφους).

Για την κατανόηση του μηχανισμού της συμπεριφοράς των πασσάλων υπό την επενέργεια μιας φόρτισης δίνονται τα διαγράμματα φορτίου-υποχωρήσεων (Εικόνα 2.1) για δύο περιπτώσεις πασσάλων με διαφορετικές σχέσεις ποσοστών αντοχής αιχμής I αντοχής εκ τριβών (Q_b/Q_s)[1,2].



Εικόνα 2.1 Ενεργοποίηση των αντοχών αιχμής και τριβής που πασσάλου με την υποχώρηση, ρ [2].

Στην πρώτη περίπτωση η αιχμή του πασσάλου αναλαμβάνει μικρό ποσοστό του συνολικού φορτίου, ενώ στη δεύτερη πολύ μεγάλο. Είναι προφανές ότι η συσχέτιση των ενεργοποιημένων Q_b και Q_s , επηρεάζει σημαντικά τη μορφή του διαγράμματος Ολικού Φορτίου - Υποχωρήσεων του πασσάλου. Η ορθή ερμηνεία διαγραμμάτων, βοηθά

σημαντικά την κατανόηση του μηχανισμού συμπεριφοράς και του τρόπου αναπτύξεως της αντοχής των πασσάλων.

2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Ο σχεδιασμός και η ανάλυση των βαθιών θεμελιώσεων μπορεί να καταταγεί σε τρεις διακεκριμένες κατηγορίες αναλόγως προς τη μεθοδολογία που ακολουθείται, όπως σημειώνεται και στον Πίνακα 2.1 [2].

Πίνακας 2.1 Κατηγορίες; Σχεδιασμού βαθιών θεμελιώσεων [2].

Κατηγορίες σχεδιασμού πασσάλων		
Κατηγορία	Χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας	Μέθοδοι για τον προσδιορισμό εδαφικών παραμέτρων
1	Εμπειρική, χωρίς να βασίζεται σε θεμελιώδεις αρχές της Εδαφομηχανικής.	Απλές επί τόπου ή εργαστηριακές δοκιμές και συσχετίσεις
2	Βάσει απλοποιητικής θεωρητικής ανάλυσης και θεμελιωδών αρχών της Εδαφομηχανικής.	Συνήθεις επί τόπου ή εργαστηριακές δοκιμές και μερική χρήση συσχετισμών.
3	Με βάση προχωρημένη θεωρητική ανάλυση και τις θεμελιώδεις αρχές της Εδαφομηχανικής.	Ειδικές εργαστηριακές ή επί τόπου δοκιμές βάσει καθορισμένων διαδρομών τάσεων.

Στην κατηγορία 1 υπάγονται οι περισσότερες μέθοδοι υπολογισμού των πασσάλων, όπως π.χ. μέθοδοι που βασίζονται σε αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών, περιλαμβάνουν εμπειρικές συσχετίσεις, οι οποίες όμως δεν βασίζονται απαραίτητα σε αρχές της Εδαφομηχανικής.

Στην κατηγορία 2 υπάγονται μέθοδοι που περιλαμβάνουν απλοποιητικές θεωρήσεις (π.χ. της θεωρίας πλαστικότητας ή ελαστικότητας) και με τις οποίες είναι δυνατόν να εκτιμηθεί και η καθίζηση των πασσάλων. Στην κατηγορία αυτή οι απαραίτητες για την ανάλυση εδαφικές παράμετροι εκτιμώνται με τις συνήθεις εργαστηριακές ή επί τόπου δοκιμές.

Στην κατηγορία 3 υπάγονται μέθοδοι που χρησιμοποιούν προχωρημένα αναλυτικά εδαφικά πρότυπα ή αριθμητικές αναλύσεις, όπως π.χ. πεπερασμένα στοιχεία ή συνοριακά στοιχεία. Για τον προσδιορισμό των εδαφικών παραμέτρων χρησιμοποιούνται ειδικές δοκιμές οι οποίες κατά το δυνατόν απεικονίζουν την εντατική κατάσταση του προβλήματος.

Σημειώνεται ότι και ο Ευρωκώδικας Γεωτεχνικής Μηχανικής, EC -7, αναγνωρίζει

τρεις Κατηγορίες Σχεδιασμού ανάλογα με τη σοβαρότητα του έργου και τα διατιθέμενα γεωτεχνικά στοιχεία.

2.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Κατά τον σχεδιασμό των θεμελιώσεων με πασσάλους θα πρέπει με κατάλληλους υπολογιστικούς ελέγχους, και κατά περίπτωση, να εξετάζονται τα ακόλουθα ενδεχόμενα, ώστε με την εφαρμογή των αντιστοίχων συντελεστών ασφαλείας και την λήψη των καταλλήλων μέτρων, συνολικώς οι θεμελιώσεις να είναι ασφαλείς και λειτουργικές [2]:

- Απώλεια της ολικής ευστάθειας (π.χ. θεμελιώσεις σε περιοχή φυσικών ή τεχνητών εδαφικών πρηνών).
- Διατμητική αστοχία του εδάφους λόγω εξίσωσης της εξωτερικής θλιπτικής φόρτισης με το αντίστοιχο οριακό φορτίο - φέρουσα ικανότητα του συστήματος εδάφους - πασσάλων.
- Αντίστοιχη αστοχία του συστήματος λόγω υπερβολικών εξωτερικών εφελκυστικών φορτίων (π.χ. σύστημα πασσάλων με σχετικά χαμηλά κατακόρυφα φορτία και δυσανάλογα υψηλές καμπτικές ροπές).
- Διατμητική αστοχία του εδάφους λόγω υπερβολικών οριζοντίων φορτίων (αστοχία κατά την παράπλευρη επιφάνεια του πασσάλου και στην ανώτερη ιδίως ζώνη του).
- Αστοχία του ίδιου του πασσάλου ως δομικού στοιχείου λόγω θλιπτικών ή εφελκυστικών ορθών τάσεων ή διατμητικών τάσεων, είτε υψηλών καμπτικών ροπών ή τέλος και λόγω λυγισμού.
- Συνδυασμένη σύγχρονη αστοχία του εδάφους και του πασσάλου
- Ανάπτυξη υπερβολικών καθιζήσεων (π.χ. σε πασσάλους με λειτουργία τριβής).
- Ανάπτυξη υπερβολικών κατακορύφων μετατοπίσεων από ανύψωση (π.χ. σε διογκούμενα εδάφη).
- Υπερβολικές πλευρικές μετατοπίσεις (π.χ. σε περίπτωση υψηλών οριζοντίων φορτίων σε πασσάλους διερχόμενους από μαλακή άργιλο).
- Υπερβολικές δονήσεις - ταλαντώσεις.

Συνοπτικά σχόλια [1,2]

- α) Οι παραπάνω υπολογιστικοί έλεγχοι σύμφωνα με το πνεύμα και του Ευρωκώδικα EC - 7 (Γεωτεχνικός Σχεδιασμός) εντάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες οριακών καταστάσεων που πρέπει να μελετηθούν:
 - i) Οριακές καταστάσεις αστοχίας (π.χ. απώλεια ολικής ευστάθειας, εξίσωση των εξωτερικών φορτίσεων με τα αντίστοιχα οριακά φορτία κ.λπ.).
 - ii) Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (π.χ. ανάπτυξη οριακών αποδεκτών καθιζήσεων ή πλευρικών μετατοπίσεων).
- β) Σύμφωνα με τη συνήθη πρακτική της μελέτης θεμελιώσεων με πασσάλους ακολουθείται η εξής διαδικασία:
 - i) Επιλέγεται ο τύπος του πασσάλου και προεκτιμάται η διάμετρος (ή η πλευρά του B). Τέλος εκτιμάται το βάθος εδράσεως του πασσάλου (επομένως και το μήκος του L) βάσει των κατά περίπτωση συγκεκριμένων γεωτεχνικών συνθηκών.
 - ii) Για τα συγκεκριμένα γεωμετρικά δεδομένα B, L, υπολογίζεται η φέρουσα ικανότητα (Φ.Ι.) του μεμονωμένου πασσάλου, δηλαδή το οριακό φορτίο του,

- κατά την κατακόρυφο.
- iii) Για τον μεμονωμένο πάσσαλο, επίσης, υπολογίζεται το οριακό φορτίο του κατά την οριζόντιο.
 - iv) Με την εφαρμογή των κατάλληλων συντελεστών ασφαλείας υπολογίζεται το επιτρεπόμενο φορτίο του μεμονωμένου πασσάλου ή η αντοχή σχεδιασμού, τόσο για τις κατακόρυφες φορτίσεις όσο και για τις οριζόντιες. Στη συνέχεια, βάσει των εντατικών μεγεθών των προς θεμελίωση στοιχείων (π.χ. υποστύλωμα δομικού έργου, μεσόβαθρο γέφυρας κλπ.) υπολογίζεται ο αριθμός των απαιτούμενων πασσάλων και σχεδιάζεται η διάταξή τους για το συγκεκριμένο στοιχείο (ομάδα πασσάλων - πασσαλοεσχάρα).
 - v) Για το μεμονωμένο πάσσαλο υπολογίζεται η καθίζηση (για κατακόρυφες φορτίσεις) και η πλευρική μετατόπιση στην κεφαλή των πασσάλων (για οριζόντιες φορτίσεις), υπό τα αντίστοιχα επιτρεπόμενα φορτία ή μεγέθη σχεδιασμού.
 - vi) Για την ομάδα πασσάλων - πασσαλοεσχάρα εκτιμάται το συνολικό επιτρεπόμενο φορτίο (ή η αντοχή σχεδιασμού) τόσο κατά την κατακόρυφο όσο και κατά την οριζόντιο, καθώς και οι καθιζήσεις, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση των πασσάλων.
 - vii) Ακολουθεί η στατική επανεπίλυση του συστήματος για την οριστικοποιημένη πλέον ομάδα η πασσάλων καθώς και οι απαραίτητοι δομοστατικοί έλεγχοι (αντοχή των πασσάλων ως δομικών στοιχείων και σπλισμοί).
- γ) Αναλόγως του τύπου των φορτίσεων επί των πασσάλων γίνεται η ακόλουθη βασική διάκριση:
- i) Συνήθεις στατικές κατακόρυφες ή πλευρικές φορτίσεις.
 - ii) Ασυνήθεις φορτίσεις προερχόμενες από «εξωτερικές» μετακινήσεις του εδάφους, από κυκλικές ή επαναλαμβανόμενες φορτίσεις, καθώς και από δυναμικές φορτίσεις.

2.4 ΕΓΧΥΤΟΙ ΠΑΣΣΑΛΟΙ – ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΙ

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά στοιχεία που αφορούν της λεπτομέρειες κατασκευής των φρεατοπασσάλων σε τεχνικά έργα. Τα στοιχεία προέρχονται από την βιβλιογραφική πηγή [3].

Ως **φρεατοπάσσαλοι** νοούνται οι έγχυτοι πάσσαλοι με διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση από 0,80 m, οι οποίοι κατασκευάζονται με αφαίρεση του εδαφικού υλικού. Όπου αναφέρονται στην παρούσα ενότητα «έγχυτοι πάσσαλοι» ή «πάσσαλοι», εννοούνται και οι φρεατοπάσσαλοι.

Ως **λειτουργικοί πάσσαλοι** νοούνται οι ενσωματούμενοι στο έργο πάσσαλοι που επιτελούν ωφέλιμο έργο, αναλαμβάνοντας φορτία των κατασκευών.

Ως **μη λειτουργικοί πάσσαλοι** νοούνται οι πάσσαλοι που κατασκευάζονται, προκειμένου να διενεργηθούν δοκιμαστικές φορτίσεις για έλεγχο των συνθηκών υπεδάφους.

2.4.1 ΥΛΙΚΑ

Το τσιμέντο που χρησιμοποιείται σε πασσάλους είναι είναι εγκεκριμένου τύπου, σύμφωνα με το πρότυπο του ΕΛΟΤ EN 197-1 και κατάλληλης κατηγορίας αντοχής ώστε να επιτυγχάνονται οι απαιτούμενες ιδιότητες σκυροδέματος. Ο τύπος και η κατηγορία αντοχής του θα προσδιορίζονται από τη μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος, βάσει αιτιολογημένης πρότασης.

Ο μέγιστος κόκκος του μίγματος αδρανών που χρησιμοποιείται, τόσο για το σκυρόδεμα των πασσάλων όσο και για το σκυρόδεμα των κεφαλόδεσμων, δεν έχει μεγαλύτερη διάμετρο από $\Phi 32$ mm. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και στρογγυλεμένα αδρανή (όχι θραυστά) που να τηρούν όμως τις υπόλοιπες ιδιότητες των αδρανών του άρθρου «Άοπλα και Ωπλισμένα Σκυροδέματα», βάσει αιτιολογημένης πρότασης της μελέτης σύνθεσης του σκυροδέματος. Τα αδρανή έρχονται σε τρία κλάσματα (δύο για τα σκύρα και ένα για την άμμο). Το μίγμα των αδρανών πρέπει να βρίσκεται στην υποζώνη Δ των πινάκων του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ), στον οποίο παραπέμπει το άρθρο «Άοπλα και Ωπλισμένα Σκυροδέματα».

Το νερό θα προέρχεται από το δίκτυο πόσιμου ύδατος. Άλλως, ισχύουν τα αναφερόμενα στην προδιαγραφή του άρθρου «Άοπλα και Ωπλισμένα Σκυροδέματα».

Σχετικά με την αποθήκευση, δειγματοληψία, ποιοτικό έλεγχο κλπ. χαρακτηριστικά των υλικών κατασκευής του σκυροδέματος, των πασσάλων και των κεφαλόδεσμων, ισχύουν τα αναφερόμενα στο άρθρο «Άοπλα και Ωπλισμένα Σκυροδέματα» του ΚΤΣ, το οποίο ισχύει και για την περίπτωση της χρήση εργοστασιακού σκυροδέματος και γενικά για την παραγωγή του σκυροδέματος των πασσάλων.

Σκυρόδεμα Πασσάλων [3]

Οι πάσσαλοι και οι φρεατοπάσσαλοι κατασκευάζονται από σκυρόδεμα κατηγορίας χαρακτηριστικής αντοχής τουλάχιστον 25 MPa (σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25), σύμφωνα με το άρθρο «Άοπλα και Ωπλισμένα Σκυροδέματα» και κατά τα λοιπά σύμφωνα με το DIN 1045 (την τελευταία ισχύουσα έκδοση).

Η περιεκτικότητα σε τσιμέντο οποιουδήποτε τύπου και οποιασδήποτε κατηγορίας αντοχής δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από 400 kg/m^3 σκυροδέματος. Σε κάθε περίπτωση, η μέγιστη περιεκτικότητα σε τσιμέντο δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 500 kg/m^3 σκυροδέματος. Σε περίπτωση βλαπτικού περιβάλλοντος, χρησιμοποιείται τσιμέντο ανθεκτικό σε θειικά (sulfate resisting cement).

Η κάθιση (slump) του σκυροδέματος θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 100 mm, συνήθως της τάξης των 200 mm έως 220 mm.

Κατά τη μελέτη σύνθεσης του σκυροδέματος των πασσάλων πρέπει να εξασφαλίζεται η κατάλληλη ρευστότητα του μίγματος, έτσι ώστε να αποφεύγονται οι εμφράξεις των σωλήνων σκυροδέτησης. Για την εξασφάλιση της απαιτούμενης κανονικής ρευστότητας κατά τη σκυροδέτηση των πασσάλων με σωλήνες, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την παραλαβή και συσσώρευση των αδρανών στο εργοτάξιο με δοκιμές κοσκίνισματος για την εξακρίβωση της συμφωνίας της κοκκομέτρησης των αδρανών προς την προδιαγραφόμενη από τη μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος.

Στη μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος θα πρέπει να δοθεί και καμπύλη ανάπτυξης της αντοχής του σκυροδέματος με θραύση δοκιμίων τουλάχιστον σε 7 και 28 μέρες (τα δοκίμια αυτά θα συντηρούνται κανονικά σύμφωνα με το DIN 1048), όπως επίσης και η καμπύλη του λόγου νερό / τσιμέντο.

Σκυρόδεμα Κεφαλόδεσμων [3]

Οι κεφαλόδεσμοι κατασκευάζονται από σκυρόδεμα κατηγορίας χαρακτηριστικής αντοχής 15 MPa (150 kg/cm²) ή 25 MPa (250 kg/cm²), σύμφωνα με το άρθρο «Άοπλα και Ωπλισμένα Σκυροδέματα» και ανάλογα προς τα προδιαγραφόμενα στην εγκεκριμένη τεχνική μελέτη.

Η περιεκτικότητα σε τσιμέντο, ανεξάρτητα από την κατηγορία αντοχής, θα πρέπει να τηρεί τα ελάχιστα και μέγιστα όρια που αναφέρθηκαν παραπάνω

Η κάθιση του σκυροδέματος θα πρέπει να είναι κατάλληλη για τις τοπικές συνθήκες που κατασκευάζεται ο κεφαλόδεσμος (πυκνότητα οπλισμού, σκυροδέτηση στο νερό κλπ.) γενικά όμως το σκυρόδεμα πρέπει να ανήκει στην κατηγορία του «πλαστικού» και «ημίρρευστου» σκυροδέματος (με κάθιση μεγαλύτερη από 3 cm).

Για το σκυρόδεμα των κεφαλόδεσμων ορίζεται, σύμφωνα με το άρθρο «Άοπλα και Ωπλισμένα Σκυροδέματα», ότι ο Ανάδοχος είναι υποχρεωμένος να συντάξει και υποβάλει στην Υπηρεσία μελέτη σύνθεσης του σκυροδέματος κατά την παραπάνω παράγραφο.

Ποιοτικός Έλεγχος Σκυροδέματος [3]

Σαν κριτήριο ποιοτικού ελέγχου για την αποδοχή του σκυροδέματος των πασσάλων και των κεφαλόδεσμων ορίζεται η θλιπτική αντοχή σε κυβικά δοκίμια ακμής 15 cm κανονικά συντηρούμενα και δοκιμαζόμενα σε θλίψη σε ηλικία 28 ημερών.

Για τον έλεγχο συμμόρφωσης του σκυροδέματος των πασσάλων ισχύει ο χωρισμός σε «παρτίδες σκυροδέματος», σύμφωνα με τις παραγράφους 13.3 και 13.5 του ΚΤΣ '97 (βλ. και άρθρο «Άοπλα και Ωπλισμένα Σκυροδέματα»). Ισχύουν επιπλέον και τα ακόλουθα:

- Μια παρτίδα σκυροδέματος θεωρείται ότι αποτελούν το πολύ οι 10 πρώτοι πάσσαλοι του έργου, από την οποία θα λαμβάνονται δοκίμια για τον έλεγχο συμμόρφωσης του σκυροδέματος σε ηλικία 28 ημερών. Επιπλέον, από τα ίδια μίγματα παρασκευής των παραπάνω δοκιμίων, παρασκευάζονται πρόσθετα δοκίμια, τα οποία συντηρούμενα κανονικά, ελέγχονται σε ηλικία 7 ημερών. Στην περίπτωση χρήσης εργοστασιακού σκυροδέματος τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της καμπύλης ανάπτυξης της αντοχής του σκυροδέματος που έχει δοθεί από το εργοστάσιο παραγωγής. Στην περίπτωση χρήσης εργοταξιακού σκυροδέματος, τα αποτελέσματα συγκρίνονται με αυτά της καμπύλης ανάπτυξης που έχει προκύψει από τους προκαταρκτικούς ελέγχους παραγωγής σκυροδέματος.
- Οι επόμενες παρτίδες σκυροδέματος αποτελούνται από το πολύ 25 πασσάλους. Από αυτές θα λαμβάνονται δοκίμια για τον έλεγχο συμμόρφωσης του σκυροδέματος σε ηλικία 28 ημερών. Τα δοκίμια αυτά λαμβάνονται από νωπό σκυρόδεμα, σύμφωνα με τα προδιαγραφόμενα στο άρθρο «Άοπλα και Ωπλισμένα Σκυροδέματα».

Για τον έλεγχο συμμόρφωσης του σκυροδέματος των κεφαλόδεσμων, ισχύουν τα ακόλουθα, σε συμπλήρωση της σχετικής παραγράφου του ΚΤΣ:

- Ο πρώτος κεφαλόδεσμος του έργου ανά κατηγορία αντοχής του σκυροδέματος αποτελεί μία παρτίδα σκυροδέματος, για την οποία ισχύουν τα προδιαγραφόμενα σχετικά με τις απαιτούμενες δειγματοληψίες και δοκιμές.
- Οι επόμενες παρτίδες σκυροδέματος των κεφαλόδεσμων αποτελούνται από το πολύ 3 κεφαλόδεσμους ανά κατηγορία αντοχής σκυροδέματος του έργου για τις οποίες ισχύουν τα προδιαγραφόμενα σχετικά με τις απαιτούμενες δειγματοληψίες και δοκιμές.

Αν κατά τη διάρκεια των εργασιών πασσάλων η σύνθεση του σκυροδέματος μεταβάλλεται ή το σκυρόδεμα προέρχεται από διαφορετικές πηγές προέλευσης, θα πρέπει οι παραπάνω διαδικασίες χωρισμού και ελέγχου παρτίδων σκυροδέματος να γίνονται σαν να πρόκειται κάθε φορά για ένα νέο έργο.

Οπλισμός [3]

Η ποιότητα των οπλισμών των πασσάλων θα είναι αυτή που περιγράφεται στα σχέδια και πάντως τουλάχιστον S500. Οι ράβδοι κατά την επεξεργασία και τη σκυροδέτηση καθαρίζονται από την επιφανειακή χαλαρή σκουριά. Όλες οι διασταυρούμενες ράβδοι πρέπει να δένονται με σύρμα. Ο κλωβός του οπλισμού κατασκευάζεται στο σύνολο του μήκους του. Η γεωμετρία του κλωβού που προδιαγράφεται στη μελέτη, θα επιτυγχάνεται και θα εξασφαλίζεται με προσωρινά βοηθητικά υποστηρίγματα απαραίτητα για το σχηματισμό στερεού κλωβού.

Για την ασφαλή τήρηση της επικάλυψης των οπλισμών των πασσάλων με σκυρόδεμα και την εξασφάλιση της σωστής τοποθέτησης του διαμήκους οπλισμού πρέπει τουλάχιστον ανά διάστημα το πολύ 2,5 m να διατάσσονται στον οπλισμό δακτύλιοι (αποστάτες) 5 mm x 60 mm, οι οποίοι θα συγκολλούνται στους συνδετήρες για τη διατήρηση των αποστάσεων.

Τα μήκη επικάλυψης των διαμήκων ράβδων των πασσάλων θα είναι σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Ωπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ). Οι συνδετήρες θα είναι σφιχτά τοποθετημένοι γύρω από τις διαμήκεις ράβδους. Η απαιτούμενη κάλυψη του οπλισμού και η συμμετρική τοποθέτηση του κλωβού στην οπή θα επιτυγχάνεται με ειδικά υποστηρίγματα-αποστάτες (space blocks). Ηλεκτροσυγκόλληση οπλισμών επιτρέπεται μόνο κατά το DIN 4049.

Όσον αφορά στους οπλισμούς των κεφαλόδεσμων, ισχύουν οι γενικές απαιτήσεις των σιδηρών οπλισμών έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Διατρητικό Υγρό [3]

Για την εξασφάλιση / στήριξη των τοιχωμάτων του διατρήματος / φρέατος, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως διατρητικό υγρό αιώρημα μπεντονίτη.

Ο μπεντονίτης που προσκομίζεται στο εργοτάξιο, πριν την ανάμιξή του με νερό, θα είναι σύμφωνος προς την προδιαγραφή DFCP 4 του Συνδέσμου Εταιρειών Πετρελαιοειδών Υλικών. Ο Ανάδοχος ζητά από τον προμηθευτή του υλικού το σχετικό πιστοποιητικό ποιότητας που να δείχνει τις ιδιότητες κάθε προσκομιζόμενης ποσότητας μπεντονίτη στο εργοτάξιο. Τα παραπάνω πιστοποιητικά ποιότητας θα κατατίθενται στην Υπηρεσία. Οι ιδιότητες που θα δίδονται από τον προμηθευτή του υλικού είναι το εύρος διακύμανσης του φαινομένου ιξώδους και το εύρος διακύμανσης της αντοχής πηκτώματος (gel) για σωματίδια στο νερό.

Ο μπεντονίτης αναμιγνύεται με καθαρό νερό, ώστε να δημιουργηθεί ένα αιώρημα, το οποίο θα εξασφαλίζει την ευστάθεια του σκάμματος του πασσάλου για την αναγκαία περίοδο σκυροδέτησης και την ολοκλήρωση της κατασκευής. Η θερμοκρασία του νερού που θα χρησιμοποιηθεί για την ανάμιξη του αιωρήματος μπεντονίτη και η θερμοκρασία του αιωρήματος κατά τη χρήση του στο σκάμμα του πασσάλου, δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από 5°C. Στην περίπτωση συνάντησης αλμυρού ή χημικώς επικίνδυνου υπόγειου νερού, λαμβάνονται ειδικές προφυλάξεις ώστε να εξασφαλίζεται σε κάθε περίπτωση το κατάλληλο αιώρημα για την κατασκευή των πασσάλων.

Για τις δοκιμές που αφορούν το διατρητικό υγρό ισχύουν τα ακόλουθα:

- Η συχνότητα των δοκιμών του διατρητικού υγρού και η μέθοδος δειγματοληψίας προτείνονται από τον Ανάδοχο στην Υπηρεσία πριν από την έναρξη των εργασιών. Η συχνότητα μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τη συνέπεια των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν.
- Οι δοκιμές ελέγχου θα διεξάγονται στο αιώρημα μπεντονίτη με τη χρήση καταλλήλων συσκευών.
- Για λόγους ποιοτικού ελέγχου, η πυκνότητα του αιωρήματος μπεντονίτη μετράται μία φορά την ημέρα. Η συσκευή μέτρησης θα πρέπει να έχει ρυθμισθεί, ώστε να μετρά με ακρίβεια 0,005 g/cm³.
- Επίσης διενεργούνται δοκιμές πυκνότητας, ιξώδους, διατμητικής αντοχής και τιμής PH στο αιώρημα μπεντονίτη (διότι, κατά την πρόοδο σκυροδέτησης του πασσάλου, το PH του αιωρήματος μπεντονίτη που βρίσκεται στο σκάμμα της οπής του πασσάλου, αυξάνει λόγω της επαφής του με το νωπό σκυρόδεμα). Μείωση του PH είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με την προσθήκη όξινου ή δισόξινου φωσφορικού νατρίου.
- Για μέσες εδαφικές συνθήκες, τα αποτελέσματα γενικά θα πρέπει να βρίσκονται μεταξύ των ορίων του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.2). Οι δοκιμές θα επαναλαμβάνονται μέχρι να υπάρξει συνεπής αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων προς τον τρόπο εργασίας. Στη διαδικασία ανάμιξης λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:
 - κάθε προσθήκη νέου αιωρήματος μπεντονίτη,
 - τα προηγούμενα αιωρήματα και
 - κάθε ενδεχόμενη διαδικασία αφαίρεσης όλων των ακαθαρσιών από το ήδη χρησιμοποιημένο αιώρημα μπεντονίτη.
- Όταν τα αποτελέσματα δείξουν συνεπή αντιστοίχιση, οι δοκιμές διατμητικής αντοχής και PH μπορούν να διακοπούν και να εξακολουθήσουν μόνο οι δοκιμές πυκνότητας και ιξώδους, σε συχνότητα που θα συμφωνηθεί με την Υπηρεσία.
- Σε περίπτωση τροποποίησης της ακολουθούμενης μεθόδου εργασίας, θα επαναληφθούν οι δοκιμές διατμητικής αντοχής και PH επί μία ορισμένη περίοδο σύμφωνα με τα παραπάνω.
- Υπεύθυνος πάντως για την παρασκευή και τα χαρακτηριστικά του αιωρήματος του μπεντονίτη είναι πάντοτε ο Ανάδοχος, ο οποίος θα μπορεί να τροποποιεί, ύστερα από αιτιολογημένη πρόταση, τα χαρακτηριστικά του παρακάτω πίνακα, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες. Ύστερα από αιτιολογημένη πρόταση, ο Ανάδοχος μπορεί να προτείνει και τροποποίηση των μεθόδων δοκιμών. Η τροποποίηση των χαρακτηριστικών και των μεθόδων δοκιμών υποβάλλονται προς έγκριση στην Υπηρεσία.

- Το αιώρημα του μπεντονίτη είναι δυνατόν να επαναχρησιμοποιηθεί μετά από σκυροδέτηση ενός πασσάλου. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να διατίθενται στο εργοτάξιο τα κατάλληλα μέσα (π.χ. αποαμμοτήρες) για τον καθαρισμό του αιωρήματος από την άμμο και τα πλέον χονδρόκοκκα υλικά. Η περιεκτικότητα σε άμμο του επαναχρησιμοποιούμενου αιωρήματος μπεντονίτη δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5%. Στην περίπτωση λεπτοκόκκων προσμίξεων, θα πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να διατηρηθούν τα χαρακτηριστικά του πίνακα στο μίγμα του επαναχρησιμοποιούμενου και νέου αιωρήματος.

Σαν διατηρητικό υγρό είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και άλλο υγρό της επιλογής του Αναδόχου, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και τη φύση του έργου, ύστερα από τεκμηριωμένη πρόταση ειδικού οίκου κατασκευής πασσάλων και μετά από έγκριση της Υπηρεσίας. Διευκρινίζεται πάντως, ότι για την επιλογή του διατηρητικού υγρού που θα χρησιμοποιηθεί, απόλυτα υπεύθυνος είναι ο Ανάδοχος. Για τη χρήση του όποιου νέου διατηρητικού υγρού, ο Ανάδοχος είναι υποχρεωμένος να υποβάλλει στοιχεία επιτυχούς εφαρμογής του σε παρόμοια έργα, καθώς και τις σχετικές μεθόδους ποιοτικού ελέγχου.

Πίνακας 2.2 Χαρακτηριστικά αιωρήματος μπεντονίτη μέσα στο φρέαρ πασσάλων για μέσες εδαφικές συνθήκες [3].

#	Μετρούμενη ιδιότητα	Διακύμανση αποτελεσμάτων για 20°C	Μέθοδος ελέγχου
1	2	3	4
1	Πυκνότητα	1,00 g/cm ³ - 1,10 g/cm ³	Μέθοδος της ισορροπίας πυκνότητας ιλύος (mud density balance)
2	Ιξώδες	30 sec – 40 sec ^(α) ή λιγότερο των 20 cP ^(β)	Μέθοδος του ιξωδόμετρου του κώνου του Marsh fan viscometer
3	Διατμητική αντοχή (αντοχή πηκτώματος 10 min)	1,4 N/m ² - 10 N/m ² ή 4 N/m ² - 10 N/m ²	Μέθοδος του ιξωδόμετρου διατμητικής αντοχής shearometer fan viscometer ^(γ)
4	PH	7,5 - 12 ^(δ)	Ενδεικτικές χαρτοταινίες PH (χάρτης ηλιοτροπίου), συσκευή του Beckmann κτλ.

^(α) Συνήθως ο χρόνος εκκένωσης του κώνου του Marsh βρίσκεται στην περιοχή των 38 sec - 41 sec.

^(β) cP = centiPoise (εκατοστό του «πουάζ»): Μονάδα μέτρησης ιξώδους (δυναμικού).

^(γ) Όταν προδιαγράφεται η χρήση fan viscometer, το δείγμα του αιωρήματος πρέπει να περνάει προηγουμένως από ένα κόσκινο No 52 BS (0,3 mm) πριν τη διεξαγωγή της δοκιμής.

^(δ) Εφιστάται ιδιαίτερως η προσοχή για PH μεγαλύτερο από 10,2 γιατί το αιώρημα μπορεί να χάσει τις θιξοτροπικές ιδιότητές του και να «κόψει». Συνιστάται το PH του ύδατος του αιωρήματος να κυμαίνεται μεταξύ του 7,00 και του 8,50.

2.4.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ - ΓΕΝΙΚΑ

Η σύσταση των εδαφών, στα οποία είναι δυνατόν να κατασκευαστούν πάσσαλοι, κυμαίνεται, ενδεικτικά, από φερτά υλικά, πρόσφατες αποθέσεις και μάργες μέχρι σχιστόλιθους μεταβαλλόμενου βαθμού κερματισμού και εξαλλοίωσης. Ενδέχεται όμως κατά την κατασκευή των πασσάλων να συναντηθούν και σκληρότερα πετρώματα, όπως ασβεστόλιθοι (με κυμαινόμενο βαθμό ρηγμάτωσης ή και υγιείς εμφανίσεις μικροκρυσταλλικών και δολομιτικών ασβεστόλιθων και κερατολίθων) ή/και άλλα ακόμη σκληρότερα πετρώματα κατηγορίας βράχου και οποιασδήποτε σκληρότητας.

Όλα τα διαθέσιμα στοιχεία εδάφους παραδίδονται από την Υπηρεσία Επίβλεψης στον Ανάδοχο. Ο Ανάδοχος υποχρεούται, αν δεν προδιαγράφεται διαφορετικά στους όρους δημοπράτησης, να εκτελέσει **επιπλέον έρευνες** με δική του μέριμνα και δαπάνη, με σκοπό την επαλήθευση των εδαφοτεχνικών στοιχείων της μελέτης. Η **συμπληρωματική γεωτεχνική έρευνα** εκτελείται με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρέχει πληροφορίες για τη φύση του υπεδάφους, τόσο γύρω όσο και κάτω από τη στάθμη των προτεινομένων πασσάλων, συμπεριλαμβανομένων όλων των εδαφικών στρώσεων που πρόκειται να συνεισφέρουν σημαντικά στις αναμενόμενες καθιζήσεις.

Σε περίπτωση που με τη διεξαγωγή της συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας προκύψουν διαφορές, ο Ανάδοχος υποβάλλει στην Υπηρεσία Επίβλεψης σχετικές προτάσεις, η οποία στη συνέχεια αποφασίζει για την αντιμετώπιση του θέματος κατά την απόλυτη κρίση της. Σε κάθε περίπτωση ο Ανάδοχος είναι απόλυτα υπεύθυνος για την εμπρόθεσμη διενέργεια του συμπληρωματικού προγράμματος ερευνών και την τυχόν υποβολή προτάσεων αντιμετώπισης των πιθανών προβλημάτων.

Επίβλεψη Κατασκευής [3]

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής των πασσάλων, θα πρέπει να βρίσκεται συνεχώς στο εργοτάξιο, εκ μέρους του Αναδόχου, ο υπεύθυνος Μηχανικός της εταιρείας κατασκευής των πασσάλων ή ο αντικαταστάτης του.

Για την κατασκευή κάθε πασσάλου θα πρέπει να συμπληρώνεται στο εργοτάξιο ένα έντυπο, το οποίο θα επιδεικνύεται καθημερινά στην Υπηρεσία από τον υπεύθυνο εργοστασιάρχη ή τον εκπρόσωπό του, σύμφωνα με τον Πίνακα 2.3.

Ο Ανάδοχος υποχρεούται να παρέχει όλον τον απαιτούμενο μηχανικό εξοπλισμό και τις εγκαταστάσεις για την κατασκευή των έγχυτων πασσάλων, την επαρκή ποσότητα σωλήνων προστασίας κατά τη φάση της εκσκαφής καθώς και τα απαραίτητα μηχανήματα για την εξαγωγή των σωλήνων.

Ο Ανάδοχος δεν αποζημιώνεται για σωλήνες που δεν μπορούν να ανασυρθούν. Σωλήνες με σαφή φθορά ή καταπόνηση δε γίνονται δεκτοί. Ο εν λόγω εξοπλισμός θα παραμείνει στο έργο μέχρι το τέλος των εργασιών κατασκευής των πασσάλων και για την απομάκρυνσή του απαιτείται έγγραφη έγκριση της Υπηρεσίας.

Πίνακας 2.3 Μητρώο κατασκευής έγχυτων πασσάλων (και φρεατοπασσάλων)[3]

Εταιρεία:					Έγχυτος πάσσαλος:	
Εργοτάξιο:					Είδος πασσάλου:	
Σχέδιο πασσάλων:					Πάσσαλος θλίψης/ Πάσσαλος εφελκυσμού:	
ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ					1.	Στοιχεία του πασσάλου
Μέτρα κάτω από το υψόμετρο της γεώτρησης	Μέτρα πάνω από	Εδαφικός σχηματισμός και σύσταση αυτού	Υπόγεια ύδατα	Στοιχεία για το κοπτικό και τη σωλήνωση από (m) έως (m)	1.1	Διάμετρος του πασσάλου: (cm) (εξωτ. διάμ. της σωλήνωσης)
					1.2	Διάμετρος της βάσης του πασσάλου: (cm)
					1.3	Ύψος βάσης του πασσάλου: (cm)
					1.4	Κλίση του πασσάλου:
					1.5	Κεφαλή του πασσάλου: (m) κάτω από το υψόμετρο της γεώτρησης
					1.6	Κάτω ακμή βάσης του πασσάλου: (m) κάτω από το υψόμετρο της γεώτρησης
					1.7	Μήκος πασσάλου: (m) (από τα στοιχεία του στίχου 1.6 αφαιρούνται τα στοιχεία του στίχου 1.5 του πίνακα)
					1.8	Κενή γεώτρηση: (m)
					1.9	Βάθος πρόσφυσης του πασσάλου στον εδαφικό σχηματισμό που έχει φέρουσα ικανότητα: (m)

Υψόμετρο της γεώτρησης: (m)				2.	Εργασία της γεώτρησης
				2.1	Εξωτερική διάμετρος της κοπτικής στεφάνης: (cm)
				2.2	Βάθος του διαμετρήματος χωρίς βάση: (m) κάτω από το υψόμετρο γεώτρησης
				2.3	Ποσότητα του προϊόντος της διάτρησης (υπολογιστικώς) με στοιχεία του στίχου 2.1 και 2.2 του πίνακα: Κορμός: (lt) Πέλμα (βάση) : (lt) Σύνολο: (lt)
				2.4	Έλεγχος κατακορυφότητας και στάθμης πυθμένα της γεώτρησης: μετά από γεώτρηση: (m) κάτω από το υψόμετρο της γεώτρησης μετά από τη διαμόρφωση βάσης: (m) υπό το υψόμετρο της γεώτρησης πριν την έγχυση του σκυροδέματος: (m) κάτω από το υψόμετρο της γεώτρησης
				3.	Οπλισμός
				3.1	Διαμήκης οπλισμός:, διαμέτρου: (mm)
				3.2	Εγκάρσιος οπλισμός:, διαμέτρου:..... (mm)

			<p>3.3 Ύψος βήματος: (cm)</p> <p>3.4 Μήκος κλωβού:</p> <p>Πάνω από την κεφαλή του πασσάλου: (m)</p> <p>Κάτω από την κεφαλή του πασσάλου: (m)</p> <p style="text-align: center;">Σύνολο: (m)</p> <p>3.5 Ενώσεις (συγκολλήσεις) :</p>
			<p>4. Σκυρόδεμα πασσάλου</p> <p>4.1 Κατηγορία αντοχής Βη: ομάδα σκυροδέματος BI/BII</p> <p>Συνεκτικότητα KIII / ρευστό μπετόν</p> <p>4.2 Σκυρόδεμα εργοταξίου / Σκυρόδεμα προέλευσης έξω από το εργοτάξιο (έτοιμο σκυρόδεμα)</p> <p>4.3 Είδος τσιμέντου - Εργοστάσιο προμήθειας:</p> <p>4.4 Ποσότητα τσιμέντου: (kg/m³)</p> <p>Αδρανή στο σκυρόδεμα (μέγιστος κόκκος): (mm)</p> <p>4.5</p> <p>4.6 Λόγος ύδατος προς τσιμέντο (w/c = βάρος ύδατος προς βάρος τσιμέντου):</p> <p>4.7 Πρόσθετα σκυροδέματος:</p>
			<p>5. Έγχυση του σκυροδέματος</p>

					5.1	Στάθμη ύδατος στο σωλήνα της γεώτρησης κατά την έναρξη της σκυροδέτησης: (m)
					5.2	Σωλήνας εκκένωσης του σκυροδέματος διαμέτρου: (cm) / Κάδος εκκένωσης
					5.3	Αποδεικτικό της καταναλωθείσας ποσότητας σκυροδέματος:
			Χρονική διάρκεια		6.	Χρόνος διεξαγωγής (χρόνοι εκτέλεσης εργασίας)
Στάδια εργασίας	Καιρικές συνθήκες	Θερμοκρασία σε °C	από	έως	Ημερομηνία	Υπογραφή
Γεώτρηση						
Διακοπή						
Κατασκευή βάσης						
Σκυροδέτηση						
					7.	Αποκλίσεις του πασσάλου από την προκαθορισμένη θέση (μέτρηση εντός του διατρήματος):
						Κεφαλή πασσάλου $e_x = \dots\dots\dots$ $e_y = \dots\dots\dots$ Κλίση πασσάλου $K\pi = \dots\dots\dots \%$
					8.	Παρατηρήσεις και ιδιαιτερότητες
					

						<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
--	--	--	--	--	--	-------------------------------

Υποβολές [3]

Ο Ανάδοχος είναι υποχρεωμένος να υποβάλει στην Υπηρεσία για έγκριση, όχι αργότερα από την προθεσμία που ορίζεται και τουλάχιστον ένα μήνα πριν την έναρξη των εργασιών κατασκευής των πασσάλων, τα ακόλουθα στοιχεία:

- Λεπτομερή περιγραφή της μεθόδου κατασκευής των πασσάλων. Η προτεινομένη μέθοδος, εφόσον δεν ορίζεται διαφορετικά στα συμβατικά τεύχη και τους περιβαλλοντικούς όρους, θα πρέπει να μη δημιουργεί προβλήματα ασφάλειας των γειτονικών κατασκευών ή υπερβολικού θορύβου και ενόχλησης των περίοικων.
- Λεπτομερή κατάλογο των μηχανημάτων που προτίθεται να χρησιμοποιήσει.
- Σύνθεση τεχνικού προσωπικού, επικεφαλής του οποίου θα πρέπει να είναι εργοδηγός βεβαιωμένης πείρας σε εργασίες πασσάλων και το όνομα του αντικαταστάτη αυτού που θα πρέπει και αυτός να έχει τα ίδια προσόντα.
- Μέθοδο ελέγχου συνεχείας της σκυροδέτησης των κατασκευαζόμενων πασσάλων.

Ο Ανάδοχος πρέπει επίσης να υποβάλει στην Υπηρεσία προς έγκριση πρόγραμμα διαδοχής και χρονικής διάρκειας εκσκαφής και σκυροδέτησης των πασσάλων, έτσι ώστε να αποφεύγεται η βλάβη των γειτονικών πασσάλων. Ο Ανάδοχος πρέπει να ενημερώνει καθημερινά την Υπηρεσία για το πρόγραμμα των εργασιών της επομένης. Για κάθε κατασκευαζόμενο πάσσαλο ο Ανάδοχος πρέπει να διατηρεί λεπτομερές Μητρώο Κατασκευής Έγχυτων Πασσάλων (και Φρεατοπασσάλων) με όλα τα σχετικά στοιχεία του πασσάλου. Τονίζεται ότι η τήρηση του εν λόγω πίνακα είναι υποχρεωτική ενώ η δαπάνη τήρησής του περιλαμβάνεται ανηγμένα στις τιμές μονάδας των υπολοίπων εργασιών. Η παράλειψη τήρησής του θα θεωρείται έλλειψη ουσιώδους επιμετρητικού στοιχείου κατά την πιστοποίηση των εργασιών πασσάλων.

Χάραξη θέσεων – Ανοχές [3]

Η χάραξη των αξόνων των πασσάλων γίνεται με εξάρτηση από αξιόπιστα σημεία αναφοράς, σύμφωνα με τη μελέτη (για πασσάλους γεφυρών η χάραξη των πασσάλων συνήθως εξαρτάται από τον άξονα χάραξης της οδού, ενώ για οικοδομικά έργα η χάραξη των πασσάλων συνήθως εξαρτάται από τις οικοδομικές - ρυμοτομικές γραμμές).

Η θέση κάθε πασσάλου πριν από την κατασκευή εξασφαλίζεται με κατάλληλα μέσα. Η πραγματική θέση του κέντρου του πασσάλου μετά την κατασκευή και την αποκοπή δεν επιτρέπεται να αποκλίνει από το θεωρητικό κέντρο περισσότερο από 75 mm σε κάθε κατεύθυνση. Η μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση του άξονα του πασσάλου από την κατακόρυφο για κατακόρυφους πασσάλους είναι $\Pi = 0.013$ (δηλ. 1:75). Για τυχόν κεκλιμένους πασσάλους με κλίση μέχρι $\alpha:\beta = 4:1$ η μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση του άξονα από την προδιαγεγραμμένη κλίση είναι 1:25.

Η βία και η εκ των υστέρων επιδιόρθωση κατασκευασμένων πασσάλων δεν επιτρέπεται.

Η διάμετρος των πασσάλων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την προδιαγραφόμενη από τη μελέτη και τους λοιπούς όρους δημοπράτησης.

Πάσσαλοι οι οποίοι, σε οποιονδήποτε χρόνο και για οποιονδήποτε λόγο, αποδειχθούν ελαττωματικοί, απορρίπτονται από την Υπηρεσία και τα έξοδα για την αποκατάσταση βαρύνουν τον Ανάδοχο.

Προετοιμασία [3]

Ο Ανάδοχος κατασκευάζει βάσεις (εξέδρες) εργασίας σε κάθε κεφαλόδεσμο. Οι βάσεις πρέπει να είναι οριζόντιες και ανθεκτικές στη χρήση από τα μηχανήματα κατασκευής του έργου ενώ υψομετρικά πρέπει να βρίσκονται τουλάχιστον 50 cm - 70 cm υψηλότερα από τη στάθμη αποκοπής των πασσάλων.

2.4.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι τεχνικές προδιαγραφές και λεπτομέρειες που αφορούν και ρυθμίζουν τη διαδικασία διάτρησης του εδάφους για την κατασκευή πασσάλων. Οι πληροφορίες προέρχονται επίσης από την βιβλιογραφική πηγή [3].

α. Γενικά στοιχεία.

- Απαγορεύεται η εκσκαφή κοντά σε άλλους πασσάλους που έχουν πρόσφατα σκυροδετηθεί και το σκυρόδεμά τους είναι ακόμα εργάσιμο ή που δεν έχουν ακόμα σκυροδετηθεί, για την αποφυγή ενδεχομένων ζημιών.
- Τα προϊόντα ορυγμάτων απομακρύνονται και είτε αποτίθενται (προσωρινά) στην περιοχή του εργοταξίου είτε διατίθενται για την κατασκευή επιχωμάτων ή απομακρύνονται σε οιαδήποτε απόσταση από το έργο και αποτίθενται σε θέσεις που επιτρέπεται από τις αρμόδιες τοπικές Αρχές και ύστερα από έγκριση της Υπηρεσίας.

β. Διατρητικά Εργαλεία.

Τα διατρητικά εργαλεία θα είναι κατάλληλα για τις συνθήκες εδάφους και υπογείων υδάτων. Η επιλογή των καταλλήλων διατρητικών εργαλείων βασίζεται στο κριτήριο αποφυγής χαλαρώσεων του εδάφους έξω από τη διάμετρο του πασσάλου και κάτω από τον πόδα του. Επειδή τέτοια χαλάρωση συχνά συμβαίνει μετά από πάροδο χρόνου, ενδείκνυται η χρήση εξοπλισμού, με τον οποίο επιτυγχάνεται ταχύτερη διάτρηση και η ελαχιστοποίηση του χρόνου μεταξύ συμπλήρωσης της διάτρησης και της σκυροδέτησης. Σε περίπτωση που τα τοιχώματα της διάτρησης εξασφαλίζονται με υπερπίεση διατρητικού υγρού, δεν πρέπει αυτή η υπερπίεση να επηρεάζεται σημαντικά από την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου, γιατί αυτό ενεργεί σαν έμβολο κατά την αφαίρεση της συσκευής διάτρησης.

Η διάνοιξη της οπής με περιστροφή και κατάλληλα κοπτικά οδηγούμενα εργαλεία, π.χ. τύπου ελικοειδούς αρίδας μικρού μήκους (auger), εφαρμόζεται ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου το υπέδαφος δεν είναι συνεκτικό και υπάρχει υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας, οπότε η στήριξη των τοιχωμάτων της οπής επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση του μπεντονιτικού αιωρήματος, το οποίο γεμίζει την οπή μέχρι την επιφάνεια καθ' όλη τη διάρκεια της διάνοιξης.

γ. Διάτρηση με Προσωρινή Σωλήνωση Προστασίας

Η προσωρινή σωλήνωση προστασίας (ή άλλως σωλήνας προώθησης) τοποθετείται στο σύνολο ή σε τμήματα της οπής (διατρήματος) για την προστασία των τοιχωμάτων. Η σωλήνωση δεν πρέπει να έχει σημαντικές επιφανειακές παραμορφώσεις και εσωτερικά, για λόγους ομαλής σκυροδέτησης, δεν πρέπει να έχει περιβάλλοντα τμήματα ή/και υπολείμματα από προηγούμενη σκυροδέτηση.

Έστω και αν η συγκράτηση των τοιχωμάτων της οπής επιτυγχάνεται με άλλο τρόπο, στην αρχή της οπής θα χρησιμοποιείται ένα μικρό τμήμα σωλήνωσης για την τοπική υποστήριξη.

Η προσωρινή σωλήνωση της διάτρησης χρησιμεύει στην παρεμπόδιση της χαλάρωσης του εδάφους γύρω από τον πάσσαλο κατά τη διάτρηση. Η προσωρινή σωλήνωση είναι υποχρεωτική όταν το διατρημένο έδαφος, ακόμα και με χρήση στηρίζοντος διατρητικού υγρού, δεν είναι ασφαλές λόγω καταπτώσεων των τοιχωμάτων της οπής.

Σε διατρήσεις κάτω από την επιφάνεια των υπογείων υδάτων, πρέπει μέσα στη σωλήνωση διάτρησης να διατηρείται σταθερή υπερπίεση ύδατος ή άλλου στηρίζοντος διατρητικού υγρού (συνήθως αιωρήματος μπεντονίτη7), έτσι ώστε να αποφεύγεται η υδραυλική θραύση του εδάφους προς το εσωτερικό της οπής και να αποκλείεται με ασφάλεια η είσοδος μεμονωμένων εδαφικών τεμαχιδίων από την εισροή των υπογείων υδάτων μέσα στο διάτρημα.

Η σωλήνωση πρέπει να προηγείται της διάτρησης περισσότερο ή λιγότερο, ανάλογα με το είδος του εδάφους, ώστε να αποφεύγονται χαλαρώσεις του πυθμένα του διατρήματος κατά την διάρκεια της εκτέλεσης της διάτρησης. Σε μαλακά συνεκτικά ή μη συνεκτικά εδάφη, ιδιαίτερα σε λεπτή άμμο και ιλύ κάτω από τον υπόγειο ορίζοντα, απαιτείται γενικώς ένα προβάδισμα της σωλήνωσης μέχρι το μισό της διαμέτρου του διατρήματος.

Σε περίπτωση που παρατηρείται είσοδος εδάφους από τον πυθμένα, πρέπει να αυξηθεί το προβάδισμα ή η υπερπίεση του στηρίζοντος διατρητικού υγρού. Όταν το έδαφος δεν επιτρέπει την αύξηση του προβαδίσματος, πρέπει να αυξηθεί η υπερπίεση του υγρού ενδεχομένως και με χρήση προσθέτων σωλήνων και επέκταση της σωλήνωσης της διάτρησης πάνω από το έδαφος.

Δεν πρέπει να υπάρχει προβάδισμα του διατρητικού μηχανήματος, αλλά η σωλήνωση να ακολουθεί άμεσα τη διάτρηση. Για το λόγο αυτό πρέπει να ασκείται στον σωλήνα εκτός από την στρεπτική ροπή και επαρκής κατακόρυφη δύναμη, ώστε να επιτυγχάνεται η διείσδυσή του.

Δεν επιτρέπεται να γίνεται εισαγωγή της προσωρινής σωλήνωσης προστασίας με τη μέθοδο της «υδραυλικής υποσκαφής» (με τη βοήθεια εκσκαφής με πεπιεσμένο αέρα ή νερό).

Κατά το τέλος της διάτρησης και όταν δεν απαιτείται διαπλάτυνση της βάσης του πασσάλου, πρέπει το έδαφος να καθαρισθεί μέχρι τον πυθμένα της σωλήνωσης, ώστε να αποφευχθούν χαλαρώσεις του εδάφους κάτω από την βάση του πασσάλου κατά την αφαίρεση της σωλήνωσης. Επειδή στην κατάσταση αυτή ο πυθμένας της διάτρησης είναι εκτεθειμένος σε κίνδυνο χαλαρώσεων, λόγω της αφαίρεσης του φορτίου εδάφους που αντιστοιχεί στο προβάδισμα της σωλήνωσης, πρέπει η

σκυροδέτηση του πασσάλου να γίνει αμέσως μετά το καθάρισμα του πυθμένα. Για να αποφεύγονται χαλαρώσεις στο περιβάλλον του πασσάλου που κατασκευάζεται με διάτρηση με σωλήνωση, «η προεξοχή του διατρητικού εργαλείου» στον πυθμένα της σωλήνωσης πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν μικρότερη. Η εργασία της σωλήνωσης δεν επιτρέπεται να γίνεται με τη βοήθεια υδραυλικής υποσκαφής.

δ. Διάτρηση χωρίς Σωλήνωση

Σε σταθερά εδάφη μπορεί να παραλειφθεί η βοηθητική σωλήνωση της διάτρησης. Σε διατρήσεις χωρίς σωλήνωση, όταν η διάτρηση διέλθει μέσα από εδαφικά στρώματα χαλαρά και με τάση προς κατάπτωση, πρέπει το τοίχωμα του διατρήματος να στηριχθεί με υπερπίεση διατρητικού υγρού. Σε αυτήν την περίπτωση εξετάζεται, ενδεχομένως, η εκ των υστέρων εισαγωγή σωληνώσεων.

Η κατασκευή πασσάλου με διάτρηση χωρίς σωλήνωση είναι δυνατόν να επιφέρει χαλαρώσεις του περιβάλλοντος του πασσάλου σε μη συνεκτικά εδάφη, ιδιαίτερα σε χαλικώδη και πετρώδη εδάφη. Σε περίπτωση χρήσης αιωρήματος μπεντονίτη ως στηρίζοντος διατρητικού υγρού, είναι δυνατόν να επηρεασθεί δυσμενώς η αντοχή του πασσάλου, λόγω δημιουργίας στρώσης φίλτρου. Επειδή χαλαρώσεις του εδάφους στο περιβάλλον διατρήσεων χωρίς σωλήνωση τείνουν να αυξάνονται με το χρόνο, πρέπει η σκυροδέτηση να ακολουθεί αμέσως μετά τη διάτρηση. Το προαναφερόμενο τμήμα της διάτρησης πρέπει να εξασφαλίζεται από κατάρρευση από τις επιφανειακές δράσεις της κατασκευής με σωλήνωση λίγων μέτρων.

ε. Διαπλάτυνση Πυθμένα

Σε περίπτωση που το είδος των εδαφικών στρώσεων επιβάλλει να αναληφθεί η φόρτιση κυρίως από το κάτω άκρο του πασσάλου, τότε η διατομή του πασσάλου στην περιοχή του κάτω άκρου, διευρύνεται. Για τη διεύρυνση του ποδός ακολουθούνται οι κατασκευαστικές οδηγίες του DIN 4014. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξασφαλίζεται πως η κοιλότητα που δημιουργείται, διατηρεί το σχήμα και τις διαστάσεις της και δεν καταπίπτει, μέχρι και τη σκυροδέτηση.

στ. Υπερπίεση του Διατρητικού Υγρού

Στην περίπτωση χρήσης διατρητικού υγρού για τη συγκράτηση των τοιχωμάτων, η στάθμη του θα πρέπει να είναι οπωσδήποτε 1,00 m υψηλότερα από τη στάθμη του υπογείου ύδατος και τέτοια ώστε να υπερνικούνται οι πιέσεις του εδάφους και του υπογείου ύδατος.

Η απαιτούμενη υπερπίεση του διατρητικού υγρού για τη στήριξη διάτρησης χωρίς σωλήνωση, εξαρτάται κυρίως από το είδος του στηρίζοντος υγρού, από την διάμετρο του διατρήματος, από το είδος του εδάφους και ειδικά από την αντοχή του και σε μη συνεκτικά εδάφη, από την κοκκομετρική τους διαβάθμιση.

Για υψηλούς υπόγειους ορίζοντες, μπορεί να είναι απαραίτητη η επέκταση του σωλήνα πολύ πάνω από το έδαφος ώστε να καταστεί δυνατή η επίτευξη της απαιτούμενης υπερπίεσης. Σε διατρήσεις μέσα σε ελεύθερο νερό, επίπεδο αναφοράς αποτελεί η ελεύθερη επιφάνεια του νερού και όχι η επιφάνεια του φυσικού εδάφους.

Σε διατρήσεις χωρίς σωλήνωση είναι απαραίτητο και για τους προαναφερόμενους λόγους να γίνει σωλήνωση τουλάχιστον στο άνω τμήμα της

διάτρησης, η οποία θα προεξέχει πάνω από το έδαφος, ώστε να ασκηθεί η απαιτούμενη υπερπίεση μέσα στη γεώτρηση.

Το ακριβές μέτρο της υπερπίεσης και το κατάλληλο διατρητικό υγρό στήριξης σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να επιλέγονται υπεύθυνα από τον Ανάδοχο.

ζ. Εμπόδια κατά τη Διάτρηση

Στην περίπτωση ξαφνικής απώλειας του διατρητικού υγρού, η εκσκαφή πρέπει αμέσως να επανεπιχωθεί με κατάλληλο υλικό και να συμπυκνωθεί. Συνέχιση της εκσκαφής στη θέση αυτή επιτρέπεται μόνο μετά από οδηγίες της Υπηρεσίας.

Κατά την άρση των εμποδίων πρέπει να αποφεύγεται κάθε χαλάρωση του εδάφους. Δεν επιτρέπεται έδραση του πασσάλου πάνω σε εμπόδιο που βρίσκεται πάνω από το θεωρητικό κάτω άκρο του πασσάλου.

Διατρήματα που εγκαταλείπονται, πρέπει να πληρούνται και να συμπυκνώνονται προσεκτικά με κατάλληλο εδαφικό υλικό ή με σκυρόδεμα.

η. Άντληση Υδάτων από τις Οπές

Δεν επιτρέπεται η άντληση των υδάτων από τις οπές. Άντληση μπορεί να επιτραπεί κατ' εξαίρεση, στην περίπτωση που συντρέχουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- Έχει τοποθετηθεί προσωρινή σωλήνωση σε σταθερό εδαφικό στρώμα, η οποία εμποδίζει τη ροή του ύδατος από άλλα στρώματα σε σημαντικές ποσότητες μέσα στην οπή ή το έδαφος είναι τόσο σταθερό ώστε να επιτρέπει την άντληση χωρίς διαταραχή του εδάφους κάτω ή γύρω από τον πάσσαλο και δεδομένου ότι λαμβάνονται όλα τα κατάλληλα μέτρα ώστε η άντληση να μην προκαλέσει βλαβερές συνέπειες στα γύρω εδάφη και στις γειτονικές ιδιοκτησίες.
- Υπάρχει σύμφωνη γνώμη και έγκριση της Υπηρεσίας.

θ. Προστασία της Περιοχής από τη Ρύπανση με Αιώρημα Μπεντονίτη

Πρέπει να λαμβάνονται όλα τα κατάλληλα μέτρα, ώστε να αποφεύγεται η διάχυση του αιωρήματος μπεντονίτη ή άλλου διατρητικού υγρού στην περιοχή του εργοταξίου, εκτός από την άμεση περιοχή του διατρήματος. Το περισσευούμενο αιώρημα μπεντονίτη (ή άλλη περισσευούμενη ποσότητα διατρητικού υγρού) απομακρύνεται αμέσως από το εργοτάξιο. Η απόρριψη του αιωρήματος μπεντονίτη (ή άλλου διατρητικού υγρού) γίνεται σε οποιαδήποτε απόσταση από το έργο σε θέσεις που επιτρέπονται από τις αρμόδιες Αρχές και ύστερα από έγκριση της Υπηρεσίας.

ι. Έλεγχος Εδαφικών Στρώσεων

Παρακολουθείται επακριβώς η συμπεριφορά του εδάφους κατά τη διάτρηση. Για κάθε πάσσαλο πρέπει να τηρείται το βάθος έμπτηξης μέσα στη φέρουσα στρώση. Για τον έλεγχο και τη συμπλήρωση των εδαφικών τομών, πρέπει στα πρωτόκολλα των πασσάλων να συμπληρώνονται οι εδαφικές στρώσεις, όπως συναντώνται. Εάν δημιουργηθούν αμφιβολίες για το είδος του εδάφους κάτω από τον πάσσαλο, διεξάγεται συμπληρωματική εδαφοτεχνική έρευνα σύμφωνα με πρόγραμμα που συντάσσει ο Ανάδοχος και υποβάλλει προς έγκριση στην Υπηρεσία. Ο Ανάδοχος δεν

λαμβάνει πρόσθετη αποζημίωση για τη σύνταξη του προγράμματος, την εκτέλεση των ερευνών και των αναγκαίων τροποποιήσεων των κατασκευών.

ια. Καθαριότητα της Οπής

Μετά την ολοκλήρωση της εκσκαφής, ο πυθμένας της οπής καθαρίζεται από τυχόν χαλαρά υπολείμματα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρή ποσότητα σκύρων ή ξηρό μίγμα σκυροδέματος.

ιβ. Επιθεώρηση της Οπής

Πριν από την τοποθέτηση του κλωβού του οπλισμού και τη σκυροδέτηση, η εκσκαφή της οπής επιθεωρείται από τον Ανάδοχο και την Υπηρεσία.

2.4.3 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ

Οι λεπτομέρειες των εργασιών οπλισμού και σκυροδέτησης των φρεατοπασσάλων ορίζονται από την βιβλιογραφική πηγή [3], απ' όπου αντλήθηκαν οι πληροφορίες της ενότητας αυτής.

A. **Οπλισμός** [3]

α. Γενικά

Για την επεξεργασία και τοποθέτηση των οπλισμών, ισχύουν οι διατάξεις του ΕΚΩΣ. Πρέπει να εξασφαλίζεται η τήρηση των απαιτήσεων της μελέτης του σιδηρού οπλισμού της παραγράφου 5 του DIN 4014 / Μέρος 2.

Οι οπλισμοί των πασσάλων συναρμολογούνται κατά κανόνα σε σχήμα κυλινδρικού κλωβού. Ο κλωβός του οπλισμού, προκατασκευασμένος σε όλο το μήκος του, τοποθετείται αμέσως μετά το τέλος της εκσκαφής.

Οι οπλισμοί των πασσάλων πρέπει να εξέχουν πάνω από την οριστική στάθμη των κεφαλών των πασσάλων (μετά την αποκοπή της κεφαλής) τουλάχιστον κατά το μήκος πρόσφυσης των οπλισμών, με σκοπό την επαρκή αγκύρωση του πασσάλου μέσα στον κεφαλόδεσμο.

β. Μόρφωση του Κλωβού του Οπλισμού

Ο κλωβός πρέπει να είναι επαρκώς ισχυρός ώστε να μην παραμορφώνεται κατά τη μεταφορά και την τοποθέτηση. Εφόσον δεν εξασφαλίζεται από το τοίχωμα της σωλήνωσης επικάλυψη σκυροδέματος τουλάχιστον 6 cm, πρέπει να προβλέπονται ειδικά υποστηρίγματα – αποστάτες (spacer blocks). Οι αγκυρώσεις του οπλισμού πρέπει να είναι σύμφωνες με τον ΕΚΩΣ. Για να εξασφαλισθεί ότι κατά την αφαίρεση της σωλήνωσης ο κλωβός παραμένει στην προβλεπόμενη θέση του, πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα (π.χ. ενσωμάτωση ενός σταυρού από ελάσματα).

Για λόγους αποφυγής παραμόρφωσης του κλωβού κατά την ανύψωσή του από το γερανό, το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος κλωβού συναρμολογούμενου επί του εδάφους, είναι 20,00 m και αυτό υπό την προϋπόθεση ότι δεν χρησιμοποιείται διαμήκης οπλισμός διαμέτρου μικρότερης από Φ25.

γ. Σύνδεση Οπλισμών

Συνδέσεις οπλισμών πρέπει να αποφεύγονται κατά το δυνατόν. Εφόσον όμως αυτό δεν είναι δυνατόν, οι συνδέσεις εκτελούνται σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ.

B. Σκυροδέτηση [3]

α. Γενικά

Για την παρασκευή και μεταφορά του σκυροδέματος ισχύουν τα αναγραφόμενα στο άρθρο «Άοπλα και Οπλισμένα Σκυροδέματα», εκτός αν προδιαγράφεται διαφορετικά. Σχετικά με τη σύνθεση του σκυροδέματος, τα υλικά παρασκευής του και τον ποιοτικό έλεγχο, ισχύουν όσα αναφέρθηκαν σε προηγούμενη ενότητα της εργασίας.

Η σκυροδέτηση πρέπει να ξεκινά το συντομότερο δυνατόν μετά την ολοκλήρωση της εκσκαφής και την τοποθέτηση του οπλισμού. Η σκυροδέτηση του πασσάλου εκτελείται χωρίς διακοπή με συνεχή διάστρωση. Κατασκευαστικοί αρμοί διακοπής δεν επιτρέπονται. Σε κατ' εξαίρεση περίπτωση μικρής διακοπής της διάστρωσης πρέπει να χρησιμοποιούνται επιβραδυντικά πήξης για να αποφεύγονται οι βλαπτικές επιδράσεις.

Δεν επιτρέπεται η έναρξη της σκυροδέτησης αν για οποιονδήποτε λόγο είναι αμφίβολη η ολοκλήρωση της, εκτός αν υπάρχει σαφής εντολή της Υπηρεσίας. Για τον ίδιο λόγο η Υπηρεσία είναι δυνατόν να μην επιτρέψει ο ρυθμός των εκσκαφών να είναι ταχύτερος από εκείνον της σκυροδέτησης. Σε κάθε περίπτωση, είτε εν ξηρώ είτε κάτω από το νερό, ο Ανάδοχος υποβάλλει, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, προς έγκριση λεπτομερή περιγραφή του τρόπου σκυροδέτησης.

Κατά τη διάστρωση του σκυροδέματος πρέπει να εξασφαλίζεται ότι:

- το σκυρόδεμα με τη σύνθεση και το εργάσιμο που προβλέπεται από τη μελέτη, φτάνει μέχρι τον πυθμένα της διάστρωσης,
- δεν δημιουργείται απόμιξη ή ρύπανση του σκυροδέματος
- η στήλη του σκυροδέματος δεν διακόπτεται και δεν υπάρχουν στενώσεις.

Για αυτό το λόγο πρέπει, ακόμα και σε διατρήσεις εν ξηρώ, να χρησιμοποιείται σωλήνας διάστρωσης ή σωλήνας αντλίας που να φτάνει, κατά την έναρξη της διάστρωσης, στον πυθμένα του διατρήματος.

Για τις περιοχές εργασίμου που αναφέρθηκαν παραπάνω, πρέπει να διερευνάται η αποφυγή εσωτερικής δόνησης λόγω κινδύνου απόμιξης του σκυροδέματος.

β. Σκυροδέτηση Οπής εν Ξηρώ

Η έγχυση του σκυροδέματος θα γίνεται με τη βοήθεια χοάνης και σωλήνα, όπου απαιτείται, έτσι ώστε να μη διαταράσσονται τα τοιχώματα της οπής και ο κλωβός. Πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα αποφυγής διαχωρισμού των συστατικών του σκυροδέματος (απόμιξης) ή έκπλυσης των αδρανών. Η στάθμη του σκυροδέματος πρέπει να διατηρείται πάνω από τον πυθμένα της προσωρινής σωλήνωσης προστασίας κατά τη διάρκεια της σταδιακής ανέλκυσης αυτής.

γ. Σκυροδέτηση Οπής κάτω από το Νερό ή το Διατρητικό Υγρό

Σχετικά με τη μέθοδο σκυροδέτησης στην περίπτωση αυτή, ισχύουν αναλόγως τα αναφερόμενα στον ΚΤΣ. Ειδικότερα πάντως τονίζεται ότι η σκυροδέτηση πρέπει να διεξάγεται σύμφωνα με δοκιμασμένη μέθοδο σκυροδέτησης που προτείνει εγγράφως ο Ανάδοχος προς έγκριση στην Υπηρεσία.

Ο σωλήνας σκυροδέτησης πρέπει να είναι χαλύβδινος και να αποτελείται από τμήματα μήκους 2 m - 4 m, κατάλληλα συνδεδεμένα, ώστε να είναι δυνατή η ταχεία μεταβολή του συνολικού του μήκους. Πρέπει να είναι υδατοστεγής σε όλο του το μήκος, με προσαρμοσμένη μία χοάνη στην κορυφή του με υδατοστεγή σύνδεση. Η πλευρική μετακίνηση του σωλήνα σκυροδέτησης πρέπει να αποφεύγεται, καθώς είναι δυνατόν είτε να καταστραφεί ο σωλήνας είτε να μετακινηθεί ο οπλισμός. Επίσης πρέπει να διατίθενται τα κατάλληλα μέσα (γερανός κτλ.) για ταχεία ανύψωση ή καταβίβαση του σωλήνα σκυροδέτησης, όποτε αυτό κριθεί απαραίτητο.

Πριν από την έναρξη της σκυροδέτησης, πρέπει να εξακριβώνεται ότι στον πυθμένα της οπής δεν υπάρχει συγκεντρωμένη λάσπη ή λασπωμένο διατρητικό υγρό (π.χ. λασπωμένο αιώρημα μπεντονίτη). Για το σκοπό αυτό λαμβάνεται, με κατάλληλη δειγματοληπτική συσκευή, δείγμα του αιωρήματος μπεντονίτη από τον πυθμένα του πασσάλου. Εάν το ειδικό βάρος του δείγματος υπερβαίνει το 1,25 g/cm³, δεν επιτρέπεται η σκυροδέτηση. Στην περίπτωση αυτή ο Ανάδοχος τροποποιεί ή αντικαθιστά το αιώρημα μπεντονίτη, ώστε αυτό να ανταποκρίνεται προς τα προδιαγραφόμενα χαρακτηριστικά του.

Κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης και μετά από αυτήν, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να αποφεύγεται η αλλοίωση του σκυροδέματος από τυχόν άντληση ύδατος ή καταβίβασμό της στάθμης του υπογείου ύδατος.

Καθ' όλη τη διάρκεια της σκυροδέτησης ο σωλήνας σκυροδέτησης πρέπει να είναι γεμάτος από σκυρόδεμα ώστε η πίεσή του να υπερβαίνει την πίεση του ύδατος ή του διατρητικού υγρού. Πρέπει επίσης να εισχωρεί επαρκώς στο ήδη σκυροδετημένο τμήμα του πασσάλου με κάποιο περιθώριο ασφαλείας έναντι εσφαλμένης ανύψωσης του σωλήνα, ώστε να εξασφαλίζεται η συνέχεια του σκυροδέματος του πασσάλου.

Η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα σκυροδέτησης δεν θα είναι μικρότερη από 150 mm για σκυρόδεμα με μέγιστο κόκκο αδρανούς 20 mm ή μικρότερη από 200 mm για σκυρόδεμα με μέγιστο κόκκο αδρανούς 32 mm. Η διαμόρφωση του σωλήνα σκυροδέτησης θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι εσωτερικές και εξωτερικές προεξοχές (π.χ. μούφες) για να μπορεί ανεμπόδιστα να περνάει ο κλωβός οπλισμού και να ανασύρεται ο σωλήνας.

Λαμβάνονται ιδιαίτερα μέτρα (π.χ. μονόδρομη «βαλβίδα» εκτόπισης του ύδατος ή βαλβίδα αντεπιστροφής) ώστε να αποφεύγεται η άμεση επαφή του σκυροδέματος κατά την έγχυσή του στην οπή, με το νερό ή το διατρητικό υγρό.

Σε περίπτωση που η ροή του σκυροδέματος μέσα στο σωλήνα μειωθεί αρκετά ή σταματήσει, επιβάλλεται η ανύψωση του σωλήνα σκυροδέτησης με ταυτόχρονη αφαίρεση του πρώτου σωληνωτού τμήματος, με σκοπό την αύξηση της ταχύτητας ροής, αφού όμως εξασφαλισθεί ότι ο πυθμένας του σωλήνα εξακολουθεί να βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του σκυροδέματος.

Όλα τα επιμέρους τμήματα του σωλήνα σκυροδέτησης καθώς και η χοάνη πρέπει να καθαρίζονται προσεκτικά μετά από κάθε χρήση τους, ώστε να αποφεύγονται δυσλειτουργίες κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης.

δ. Πέρασ Σκυροδέτησης

Η σκυροδέτηση θα συνεχίζεται και πάνω από την οριστική κεφαλή των πασσάλων για ένα μήκος τουλάχιστον 0,30 m - 0,60 m, με σκοπό τη συσσώρευση στο μήκος αυτό του ακατάλληλου σκυροδέματος που πρόκειται μελλοντικά να καθαιρεθεί ούτως ή άλλως, δεδομένου ότι η τελευταία ποσότητα του σκυροδέματος παραμένει ουσιαστικά ασυμπύκνωτη, ανομοιόμορφη και γενικώς ελαττωματική.

Στην περίπτωση κατά την οποία η οριστική στάθμη της κεφαλής των πασσάλων, όπως ορίζεται στη μελέτη, βρεθεί κάτω από την επιφάνεια του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, ο Ανάδοχος είναι υποχρεωμένος να υποβάλλει στη Υπηρεσία προτάσεις επίλυσης του θέματος πριν από την έναρξη της σκυροδέτησης. Αν δεν έχουν ληφθεί από τον Ανάδοχο κατάλληλα μέτρα, εγκεκριμένα από την Υπηρεσία, η σκυροδέτηση του πασσάλου θα προχωρήσει μέχρι τέτοια στάθμη ώστε το εναπομένον τμήμα, μετά την αποκοπή του άνω τμήματος της κεφαλής, να βρίσκεται οπωσδήποτε πάνω από τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Το πάνω τμήμα της οπής των πασσάλων που δεν σκυροδετήθηκε, πληρούται προσωρινά με κατάλληλο κοκκώδες υλικό αμελητέας πλαστικότητας (π.χ. άμμο ή αδρανή) και συμπυκνώνεται κατάλληλα μέχρι τη στάθμη του δαπέδου εργασίας των μηχανημάτων ή το πολύ μέχρι στάθμη 0,50 m κάτω από αυτήν, ώστε να εξασφαλίζεται η ανεμπόδιστη και ασφαλής εκτέλεση των εργασιών.

ε. Ανέλκυση της Προσωρινής Σωλήνωσης

Η ανέλκυση της προσωρινής σωλήνωσης προστασίας γίνεται σταδιακά και κατά την περίοδο που το σκυρόδεμα είναι αρκετά εργάσιμο, ώστε να αποφευχθεί να παρασυρθεί σκυρόδεμα κατά την ανέλκυση. Επίσης η ανέλκυση πρέπει να γίνεται βραδέως, ομοιόμορφα και με την πρέπουσα προσοχή, ώστε να μην σχηματίζονται καθ' οιονδήποτε τρόπο κενά στη μάζα του σκυροδέματος, θραύση της στήλης του σκυροδέματος ή στενώσεις της διατομής του πασσάλου.

Κατά τη διάρκεια της ανέλκυσης πρέπει να παραμείνει αρκετή ποσότητα σκυροδέματος μέσα στο σωλήνα (στήλη ύψους τουλάχιστον 1,0 m) ώστε να υπερνικάται η πίεση από το έδαφος, το υπόγειο νερό ή και το διατρητικό αιώρημα, με σκοπό την αποφυγή της δημιουργίας λαιμού στη διατομή του σκυροδέματος και της ανάμιξης του σκυροδέματος με λάσπη ή άλλο εδαφικό υλικό.

Η χρήση δονητικών εξολκέων της προσωρινής σωλήνωσης υπόκειται στην έγκριση της Υπηρεσίας, η οποία μπορεί να τους απορρίψει όταν κατά την γνώμη της δημιουργούνται ανεπίτρεπτες συνθήκες θορύβου και όχλησης των περιοίκων ή κίνδυνοι για την ασφάλεια των δικτύων των ΟΚΩ ή για τις κατασκευές των γειτονικών ιδιοκτησιών.

Γ. Αποκοπή Κεφαλής [3]

Η αποκοπή της κεφαλής των πασσάλων γίνεται στις στάθμες που ορίζονται στα σχέδια και αφού το σκυρόδεμα των πασσάλων έχει αποκτήσει την επιθυμητή

αντοχή. Η μέθοδος που θα υιοθετηθεί για την αποκοπή, θα πρέπει να αποκλείει βλάβες στις προεξέχουσες αναμονές του σιδηρού οπλισμού.

2.4.4 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΚΕΦΑΛΟΔΕΣΜΩΝ

A. **Εκσκαφές** [3]

Για την κατασκευή των κεφαλόδεσμων εκτελούνται εκσκαφές για τη δημιουργία σκαμμάτων σε στάθμες που αναφέρονται στα σχέδια της μελέτης. Κατά τη διάρκεια των εκσκαφών απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να μην προκαλούνται ζημιές στους κατασκευασμένους πασσάλους και στους τυχόν διατηρούμενους κάτω από τους κεφαλόδεσμους ή διερχόμενους δια του σώματος των κεφαλόδεσμων αγωγούς ΟΚΩ.

Τα πρανή των εκσκαφών διαμορφώνονται κατακόρυφα ή με κλίση αλλά πάντοτε ασφαλή έναντι κατάπτωσης, ενώ οι διαστάσεις του σκάμματος θα είναι τέτοιες που να επιτρέπουν την ομαλή διεξαγωγή των εργασιών κατασκευής των υπολοίπων κεφαλόδεσμων. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στις εκσκαφές κοντά σε παρακείμενα κτίρια, όπου είναι δυνατόν να απαιτηθεί τμηματική εκτέλεση της εργασίας με ταυτόχρονη προσωρινή αντιστήριξη των γειτονικών ιδιοκτησιών.

Ο πυθμένας του σκάμματος κατασκευάζεται οριζόντιος και διατηρείται στεγνός, εκτός αν η άντληση των υδάτων δημιουργεί άλλα προβλήματα ασφαλείας πρανών ή παρακείμενων ιδιοκτησιών.

B. **Σκυροδέτηση** [3]

α. Γενικά - Προετοιμασία

Στον οριζόντιο (ή βαθμιδωτό) και στεγανό πυθμένα του σκάμματος της εκσκαφής διαστρώνεται στρώση άοπλου σκυροδέματος χαρακτηριστικής αντοχής C8/10, ελαχίστου πάχους 0,10 m, το οποίο αποτελεί το δάπεδο εργασίας για την κυρίως σκυροδέτηση του κεφαλόδεσμου. Μετά τη σκλήρυνση της στρώσης καθαριότητας ακολουθεί η στεγάνωση της άνω επιφανείας της στρώσης αυτής.

β. Σκυροδέτηση Κυρίως Κεφαλόδεσμων

Όλες οι εργασίες εκτελούνται σύμφωνα με τα σχέδια της στατικής μελέτης, τηρουμένων με ακρίβεια των διαστάσεων και ποιοτήτων σκυροδεμάτων που αναφέρονται σε αυτήν. Η διάστρωση του σκυροδέματος αρχίζει μόνο μετά την παραλαβή των ξυλοτύπων και του οπλισμού από την Υπηρεσία. Απαραιτήτως, κατά τη διάστρωση του σκυροδέματος πρέπει να παρευρίσκεται ένας σιδηρουργός για διορθώσεις οπλισμών που τυχόν απαιτηθούν. Πριν από τη διάστρωση του σκυροδέματος εξομάλυνσης επί του υπάρχοντος δαπέδου, το δάπεδο καθαρίζεται και διαβρέχεται επαρκώς. Η διάστρωση βοηθείται και με συχνά κτυπήματα της εξωτερικής επιφανείας των ξυλοτύπων.

Η συμπίκνωση εκτελείται με χρήση δονητών, εκτός αν ο Ανάδοχος, μετά από έγκριση της Υπηρεσίας, θεωρήσει ότι υπάρχει κίνδυνος απόμιξης του σκυροδέματος

για τη συγκεκριμένη περιοχή εργασίμου. Η συμπύκνωση υποβοηθείται με κοπάνισμα με ράβδο ή κόπανο, με κτύπημα των ξυλοτύπων κλπ.

Η άνω επιφάνεια των κεφαλόδεσμων διαμορφώνεται γενικώς (εκτός αν προδιαγράφεται διαφορετικά στα λοιπά συμβατικών τευχών) με τελείωμα πλαστικού σκυροδέματος τύπου ΠΑ.

Διακοπές διάστρωσης σκυροδεμάτων γενικά δεν επιτρέπονται. Σε περίπτωση που δεν είναι αυτό δυνατόν, διακοπή σκυροδέτησης μπορεί να γίνει μόνο μετά από έγκριση της Υπηρεσίας που θα υποδεικνύει τη θέση που θα γίνει η διακοπή, το χρόνο που αυτή θα διαρκέσει και τον τρόπο σύνδεσης του νωπού σκυροδέματος με εκείνο της διακοπείσας σκυροδέτησης. Η σύνδεση με το νωπό σκυρόδεμα θα γίνεται γενικά με απόξεση της διαστρωθείσας επιφανείας σκυροδέματος, απομάκρυνση των υλικών που έχουν αποσυντεθεί, πλύση με άφθονο νερό κλπ. σύμφωνα με τον ΚΤΣ και τα αναφερόμενα στις σχετικές παραγράφους του άρθρου «Άοπλα και Ωπλισμένα Σκυροδέματα».

Στις περιπτώσεις που θα κριθεί αναγκαίος, σύμφωνα με τη μελέτη και τους λοιπούς όρους δημοπράτησης, η εμπόδιση της ανόδου τυχόν υπάρχοντος υπόγειου ύδατος δια μέσου των κεφαλόδεσμων και της ανωδομής των βάθρων ή προς τα υποστυλώματα κλπ., όλες οι εξωτερικές επιφάνειες των κεφαλόδεσμων, μετά την αφαίρεση των ξυλοτύπων, μονώνονται με υλικό κατά τις προδιαγραφές της μελέτης ή, ελλείψει σχετικής προδιαγραφής, με υλικό της επιλογής του Αναδόχου και μετά από έγκριση της Υπηρεσίας.

Γ. Οπλισμοί [3]

Για την επεξεργασία και τοποθέτηση του οπλισμού ισχύουν οι διατάξεις του ΕΚΩΣ σε συνδυασμό με τα αναφερόμενα στο άρθρο «Άοπλα και Ωπλισμένα Σκυροδέματα». Οι σίδηροι οπλισμοί θα συμμορφώνονται με τα οριζόμενα στη μελέτη (κατηγορία χάλυβα, διάμετρος, διαστάσεις και μορφή). Τοποθέτηση οπλισμού γίνεται μόνο μετά την παραλαβή των ξυλοτύπων. Οι οπλισμοί τοποθετούνται με ιδιαίτερη προσοχή και συνδέονται στέρεα σε όλες τις διασταυρώσεις με σύρμα Νο 5 ή μεγαλύτερου πάχους, ανάλογα με τη διάμετρο και τη θέση του οπλισμού. Τα άγκιστρα του οπλισμού, εφόσον απαιτούνται, θα είναι κανονικά και ευμεγέθη. Ιδιαίτερη φροντίδα λαμβάνεται για την ευθυγράμμιση των ράβδων του οπλισμού, την ακριβή και στερεή τοποθέτηση αυτών, τη διατήρηση σε σταθερή θέση κατά τη διάστρωση και συμπύκνωση του σκυροδέματος, ιδίως στις περιοχές του άνω οπλισμού και κατά την κάλυψη αυτών με σκυρόδεμα. Όπου κρίνεται απαραίτητο, θα τοποθετούνται πρόχειρα ή μόνιμα υποστηρίγματα. Όλοι οι προεξέχοντες οπλισμοί αναμονής θα πρέπει να προστατεύονται με ειδική βαφή.

2.4.4 ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ

Μετά την ολοκλήρωση συγκεκριμένων φάσεων κατασκευής των πασσάλων και των κεφαλόδεσμων πραγματοποιούνται δοκιμές που έχουν στόχο να ελέγξουν την καλή εκτέλεση των εργασιών. Οι διαδικασίες των δοκιμών αυτών και των σχετικών ελέγχων περιγράφονται αναλυτικά στο [3], απ' όπου προέρχονται οι πληροφορίες της ενότητας αυτής.

A. Έλεγχος Πυθμένα Έδρασης Πασσάλου [3]

Ανάλογα προς τη φύση των διατρηομένων εδαφών, τις συνθήκες εμφάνισης υπογείων υδάτων και το βάθος του πασσάλου, υπάρχουν κίνδυνοι να συγκεντρωθεί ποσότητα λεπτόκοκκων υλικών στον πυθμένα του πασσάλου κατά το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ του τελικού καθαρισμού του πυθμένα του πασσάλου και της έναρξης σκυροδέτησης αυτού (με τη μεσολάβηση βέβαια της διαδικασίας καταβιβασμού και τοποθέτησης εντός της οπής του κλωβού σπλισμού του πασσάλου). Κατά την επιβολή της φόρτισης του πασσάλου μπορεί να προκληθεί λόγω της έδρασης του επί του χαλαρού υλικού μία μη αποδεκτή για το έργο υποχώρηση, μέχρις ότου η αιχμή του πασσάλου συναντήσει το σταθερό υπόβαθρο, για το οποίο έχει υπολογισθεί να λειτουργήσει.

Σε περίπτωση συγκέντρωσης ποσότητας λεπτόκοκκων υλικών στον πυθμένα του πασσάλου, είναι δυνατόν, να προβλεφθεί ενσωμάτωση καθ' όλο το μήκος του πασσάλου (από τον πυθμένα μέχρι την κεφαλή αυτού) δύο σιδηρών σωλήνων ελάχιστης διαμέτρου Φ76 mm ή επιθυμητής διαμέτρου Φ100 mm, αφού ληφθεί υπόψη και η απομείωση της διατομής του πασσάλου και η επιρροή αυτή στη φέρουσα ικανότητά του. (Η ενσωμάτωση αυτών των σωλήνων γίνεται αντιοικονομική στην περίπτωση πασσάλων μικρών διαμέτρων λόγω της σοβαρής εξασθένησης της διατομής των πασσάλων). Οι σωλήνες αυτοί φράζονται με ένα πώμα από σκυρόδεμα ή άλλο κατάλληλο υλικό (π.χ. πλαστικό κάλυμμα), ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν θα ανέλθει το σκυρόδεμα του πασσάλου μέσα στο σιδηρό σωλήνα. Οι σωλήνες πρέπει να είναι ικανοποιητικά ευθύγραμμοι και θα καταβάλλεται προσπάθεια να διατηρηθούν ευθύγραμμοι και κατά τη διάρκεια της κατασκευής του πασσάλου, προφυλασσόμενοι κατάλληλα από τυχόν κτυπήματα.

Μετά το τέλος της σκυροδέτησης του πασσάλου εκτελούνται γεωτρήσεις μέσα από τους προαναφερόμενους σωλήνες και γίνεται δειγματοληψία του πυθμένα. Στην περίπτωση που διαπιστωθεί η ύπαρξη στρώματος χαλαρού υλικού κάτω από την έδραση του πασσάλου, αυτό απομακρύνεται με εισπίεση ύδατος από τον έναν σωλήνα και αποκομιδή του υλικού από τον άλλον. Στη συνέχεια γεμίζει ο κενός χώρος κάτω από τον πυθμένα με τσιμεντένεμα ή λεπτοσκυρόδεμα μέσω των σωλήνων, οπότε ολοκληρώνεται η επιδιόρθωση του πυθμένα έδρασης του πασσάλου.

B. Έλεγχος Συνέχειας Σκυροδέτησης Πασσάλου [3]

Ο Ανάδοχος υποχρεούται, μαζί με την υποβολή των στοιχείων της μεθόδου κατασκευής των πασσάλων, να υποβάλει στην Υπηρεσία προς έγκριση και «μη καταστροφική» μέθοδο ελέγχου της συνέχειας της σκυροδέτησης των πασσάλων (non destructive method, integrity tests) με ακτίνες γ, ακουστικές μεθόδους κλπ.

Γ. Ελαττωματικοί Πάσσαλοι [3]

Κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης πρέπει να λαμβάνονται όλα τα μέτρα προφύλαξης, ώστε να μη δημιουργούνται προβλήματα ως προς την πληρότητα της διατομής (π.χ. δημιουργία λαιμού, ανάμιξη σκυροδέματος με εδαφικό υλικό κλπ.). Για αυτό το λόγο, η όλη εργασία πρέπει να επιβλέπεται διαρκώς από ειδικευμένο και έμπειρο τεχνικό προσωπικό. Επιπλέον πρέπει να ελέγχεται η καταναλισκόμενη ποσότητα σκυροδέματος για τις διάφορες στάθμες του σκυροδετουμένου πασσάλου, σε σχέση με τις θεωρητικά απαιτούμενες.

Πάσσαλοι, για τους οποίους υπάρχουν στοιχεία για τη μη αρτιότητά τους (πχ. βάσει αποτελεσμάτων των δοκιμών ή βάσει των αποτελεσμάτων του καταναλισκομένου σκυροδέματος σε σχέση με το θεωρητικώς απαιτούμενο κλπ.) απορρίπτονται.

Δ. Δοκιμαστική Φόρτιση Πασσάλων [3]

Από τη δοκιμαστική φόρτιση λειτουργικών ή/και μη λειτουργικών πασσάλων προκύπτουν ακριβή συμπεράσματα για τη σχέση φορτίων - καθίζησης και για τη φέρουσα ικανότητα. Τα συμπεράσματα αυτά επιτρέπουν την επαλήθευση των παραδοχών της μελέτης ή αποτελούν κατάλληλη βάση για την τυχόν αναθεώρησή τους.

Οι μη λειτουργικοί πάσσαλοι κατασκευάζονται σε θέσεις που υποδεικνύει η Υπηρεσία και η μέθοδος εκτέλεσης της δοκιμαστικής φόρτισης πρέπει να συμφωνεί με το DIN 4014. Το μέγιστο φορτίο της δοκιμαστικής φόρτισης μπορεί να φτάσει μέχρι το διπλάσιο του φορτίου της μελέτης, εκτός αν ζητηθεί διαφορετικά. Τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής φόρτισης μη λειτουργικών πασσάλων πρέπει να υποβάλλονται το ταχύτερο δυνατόν στην αρμόδια Υπηρεσία για την εξαγωγή ακριβών συμπερασμάτων για τη σχέση φορτίου - καθίζησης και κυρίως για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας των πασσάλων ενώ είναι δυνατόν να αποτελέσουν βάση για την επαλήθευση των παραδοχών της μελέτης ή την τυχόν αναθεώρηση τους. Η εκτέλεση των δοκιμαστικών φορτίσεων των μη λειτουργικών πασσάλων προηγείται της κατασκευής των λειτουργικών πασσάλων.

Ο Ανάδοχος υποχρεούται να εκτελέσει δοκιμαστικές φορτίσεις **σε λειτουργικούς πασσάλους**, των οποίων η αιχμή δεν εισχωρεί σε βράχο, με την ακόλουθη ελάχιστη συχνότητα:

- δοκιμαστική φόρτιση σε έναν πάσσαλο ανά 20 πασσάλους
- δοκιμαστική φόρτιση σε έναν πάσσαλο σε κάθε θέση θεμελίωσης (γέφυρα, τοίχο κλπ.)

Σε κάθε περίπτωση η μέθοδος εκτέλεσης της δοκιμαστικής φόρτισης πρέπει να συμφωνεί με το DIN 4014, ενώ η διάταξη της φόρτισης και τα όργανα των μετρήσεων θα προτείνονται από τον Ανάδοχο και θα εγκρίνονται από την Υπηρεσία. Το μέγεθος του δοκιμαστικού φορτίου θα είναι έως 150% του φορτίου λειτουργίας ενώ η διάρκεια της επιβολής κάθε δοκιμαστικού φορτίου θα ορίζεται από την Υπηρεσία.

Τέλος ο Ανάδοχος πρέπει να παρουσιάσει και αξιολογήσει τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών φορτίσεων, κυρίως για την ακριβέστερη εκτίμηση της σχέσης φορτίου - καθίζησης.

2.4.5 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Όσον αφορά στις περιλαμβανόμενες δαπάνες, στην επιμέτρηση και στην πληρωμή, η πλήρης εργασία κατασκευής πασσάλων περιλαμβάνει τα εξής [3]:

- προσκόμιση - αποκόμιση πλήρους εξοπλισμού για την κατασκευή πασσάλων
- διάτρηση για την κατασκευή πασσάλων διαφόρων διαμέτρων σε κάθε είδους έδαφος

- σκυροδέτηση πασσάλων διαφόρων διαμέτρων με σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25
- συμπλήρωση του διατρήματος με κοκκώδες υλικό
- διενέργεια δοκιμαστικών φορτίσεων των πασσάλων.

A. Προσκόμιση - Απομάκρυνση Εξοπλισμού [3]

Η τιμή μονάδος πλήρους εργασίας περιλαμβάνει τις ακόλουθες δαπάνες:

- Την προσκόμιση και την απομάκρυνση του απαιτούμενου μηχανικού εξοπλισμού και εγκαταστάσεων για την κατασκευή των έγχυτων πασσάλων.
- Την προσκόμιση και την απομάκρυνση των απαιτούμενων σωλήνων προστασίας και των απαραίτητων για την εξαγωγή τους μηχανημάτων.
- Την προσκόμιση και την απομάκρυνση παντός λοιπού εξοπλισμού απαιτούμενου για την πλήρη και έντεχνη εκτέλεση των εργασιών.
- Διευκρινίζεται ότι στην τιμή μονάδας περιλαμβάνονται και όλες οι δαπάνες μετακινήσεων του σχετικού μηχανικού εξοπλισμού από θέση σε θέση, για παράδειγμα, μέσα στο ίδιο βάθρο ή από ένα βάθρο σε άλλο βάθρο.

Οι εργασίες προσκόμισης και απομάκρυνσης μηχανικού εξοπλισμού επιμετρώνται σε τεμάχια (τεμ). Ενδιάμεσες απομακρύνσεις και προσκομίσεις του μηχανικού εξοπλισμού πριν από την ολοκλήρωση των εργασιών δεν θα επιμετρώνται.

B. Διάρθρωση για την Κατασκευή Πασσάλων Διαφόρων Διαμέτρων σε Κάθε Είδους Έδαφος [3]

Η τιμή μονάδος πλήρους εργασίας περιλαμβάνει τις ακόλουθες δαπάνες:

- Τις προεργασίες που περιγράφονται στις παραπάνω παραγράφους «Υποβολές», «Χάραξη Θέσεων - Ανοχές» και «Προετοιμασία».
- Τη διάρθρωση της απαιτούμενης οπής με την προδιαγεγραμμένη διάμετρο σε κάθε είδους έδαφος, σε οποιοδήποτε βάθος και σε οποιαδήποτε κλίση από την κατακόρυφο με ή χωρίς σωλήνωση προστασίας.
- Την αντιμετώπιση όλων των δυσχερειών και εμποδίων που τυχόν θα συναντηθούν κατά τη διάρθρωση (επιφανειακά, υπόγεια ή αρτεσιανά ύδατα, προβλήματα προσπέλασης κτλ.).
- Τη λήψη των καταλλήλων μέτρων και κατασκευή των καταλλήλων έργων για την προστασία του διατρήματος και την αποφυγή ρύπανσης του περιβάλλοντος χώρου και αποκομιδή των υπολειμμάτων ή άχρηστων υλικών σε θέσεις της έγκρισης της Υπηρεσίας.
- Την προμήθεια, μεταφορά επί τόπου του έργου, ανάμιξη, χρησιμοποίηση κλπ. όλων των απαιτούμενων, για τη διάρθρωση της οπής, υλικών (μπεντονίτης κλπ.).
- Τη φορτοεκφόρτωση και μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής σε οποιαδήποτε απόσταση με σκοπό είτε την κατασκευή επιχωμάτων ή άλλων ωφελίμων κατασκευών (με κατάλληλα προϊόντα εκσκαφής) είτε την απόρριψη σε κατάλληλες θέσεις (ακαταλλήλων προϊόντων εκσκαφής).
- Την επανόρθωση ζημιών δικτύων ΟΚΩ ή/και κατασκευών παρόδιων ιδιοκτησιών που τυχόν υπέστησαν βλάβη από την εκτέλεση έργων κατασκευής των πασσάλων.

- Τη διεξαγωγή όλων των απαιτούμενων ποιοτικών ελέγχων
- Τη διεξαγωγή δοκιμαστικών φορτίσεων σε λειτουργικούς πασσάλους σύμφωνα με όσα περιγράφονται σε προηγούμενη παράγραφο.

Οι εργασίες διάτρησης πασσάλων θα επιμετρώνται σε μέτρα μήκους (m) διάτρησης, πλήρως περαιωμένων, ανά διάμετρο πασσάλου που εμφανίζεται στο Τιμολόγιο.

Ο υπολογισμός του μήκους διάτρησης του κάθε πασσάλου γίνεται από τη στάθμη του πυθμένα του πασσάλου, όπως προβλέπεται στη μελέτη (ή όπως η στάθμη ενδεχομένως τροποποιήθηκε κατά την κατασκευή), μέχρι τη στάθμη του φυσικού εδάφους, όπως αυτή έχει διαμορφωθεί κατά την έναρξη των εργασιών διάτρησης των πασσάλων. Διάτρηση πασσάλου σε στάθμη πυθμένα κάτω από την προβλεπόμενη από τη μελέτη (ή την εγκεκριμένη τροποποίηση αυτής) δεν επιτρέπεται και δεν αναγνωρίζεται.

Γ. Σκυροδέτηση Πασσάλων Διαφόρων Διαμέτρων με Σκυρόδεμα Κατηγορίας C20/25 [3]

Η τιμή μονάδος πλήρους εργασίας περιλαμβάνει τις ακόλουθες δαπάνες:

- Την προετοιμασία των απαραίτητων διατάξεων και δαπέδων εργασίας κτλ.
- Την προμήθεια όλων των απαιτούμενων υλικών (αδρανών, νερού, τσιμέντου, προσθέτων κλπ.) και παραγωγή της απαιτούμενης ποσότητας σκυροδέματος ή την προμήθεια της κατάλληλης ποσότητας έτοιμου σκυροδέματος με τις προδιαγραφόμενες ιδιότητες.
- Τη σκυροδέτηση και τη συντήρηση του πασσάλου.
- Τη διεξαγωγή όλων των απαιτούμενων ποιοτικών ελέγχων.

Οι εργασίες σκυροδέτησης πασσάλων θα επιμετρώνται σε μέτρα μήκους (m) σκυροδετούμενου πασσάλου, πλήρως περαιωμένων, ανά διάμετρο πασσάλου που εμφανίζεται στο Τιμολόγιο.

Ο υπολογισμός του μήκους σκυροδέτησης του κάθε πασσάλου γίνεται από τη στάθμη του πυθμένα του πασσάλου, όπως προβλέπεται από τη μελέτη (ή όπως η στάθμη αυτή ενδεχόμενα τροποποιήθηκε κατά την κατασκευή), μέχρι την οριστική στάθμη σκυροδέτησης της κεφαλής του πασσάλου που προβλέπεται στη μελέτη (ή όπως η στάθμη ενδεχόμενα τροποποιήθηκε κατά την κατασκευή). Δεν επιμετρώνται το τυχόν επιπλέον βάθος που εκτελέστηκε κάτω από την εγκεκριμένη στάθμη πυθμένα ούτε το αποκοπώμενο τμήμα της κεφαλής του πασσάλου.

Στην τιμή μονάδος περιλαμβάνονται η πρόσθετη δαπάνη σκυροδέματος που σκυροδετείται πάνω από την οριστική στάθμη της κεφαλής του πασσάλου (βάσει της οποίας υπολογίζεται το επιμετρούμενο τμήμα του πασσάλου) κατά 0,30 m έως 0,60 m τουλάχιστον και που στη συνέχεια καθαιρείται κατά τρόπο που να μην θιγούν οι προεξέχοντες οπλισμοί. Περιλαμβάνεται επίσης και η δαπάνη καθαίρεσης του σκυροδέματος αυτού.

Δ. Συμπλήρωση των Διατρημάτων με Κοκκώδες Υλικό [3]

Η τιμή μονάδος πλήρους εργασίας περιλαμβάνει τις ακόλουθες δαπάνες:

- Την προμήθεια, φορτοεκφόρτωση και μεταφορά των καταλλήλων κοκκωδών υλικών αμελητέας πλαστικότητας (π.χ. άμμου, αδρανών ή μίγματος αυτών) επί τόπου του έργου από οποιαδήποτε απόσταση.
- Την τοποθέτηση των υλικών μέσα στην προς πλήρωση οπή και μέχρι το κατάλληλο ύψος σε στρώσεις και σε βαθμό συμπίκνωσης, ώστε να μην δημιουργούνται κίνδυνοι υποχωρήσεων των παρειών του σκάμματος της οπής και να εξασφαλίζεται συνεχής και ακίνδυνη εργασία των μηχανημάτων κατασκευής των πασσάλων και κεφαλόδεσμων αυτών και των υπολοίπων εργασιών κατασκευής του έργου.
- Την αντιμετώπιση των τυχόν επιφανειακών ή υπογείων κτλ. υδάτων.

Οι εργασίες συμπλήρωσης της οπής των πασσάλων με κοκκώδες υλικό θα επιμετρώνται σε κυβικά μέτρα (m³), πλήρως περαιωμένων.

Ως διάμετρος της επανεπίκωσης θα ληφθεί η ονομαστική διάμετρος του πασσάλου και ως κάτω στάθμη η οριστική στάθμη σκυροδέτησης της κεφαλής του πασσάλου (κάτω από την οποία επιμετράται το σκυρόδεμα του πασσάλου).

Στην περίπτωση διαμέτρου πασσάλου διαφορετικής από τις διαμέτρους που αναφέρονται στο Τιμολόγιο, οι τιμές μονάδος διάτρησης και σκυροδέτησης των πασσάλων θα καθορίζονται με αναγωγή ως ακολούθως [3]:

- Για τη διάτρηση, η νέα τιμή θα ανάγεται με βάση το λόγο D_N / D_M όπου:
 D_N η διάμετρος του νέου πασσάλου
 D_M η αμέσως μικρότερη διάμετρος πασσάλου
 Για τη σκυροδέτηση πασσάλων, η νέα τιμή θα ανάγεται με βάση το λόγο $(D_N / D_M)^2$ και κατά τα λοιπά ως ανωτέρω.

2.5 ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΙ ΠΑΣΣΑΛΟΙ

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά στοιχεία που αφορούν της λεπτομέρειες κατασκευής των φρεατοπασσάλων σε τεχνικά έργα. Τα στοιχεία προέρχονται από την βιβλιογραφική πηγή [3].

Κύρια ομάδα των εμπηγνυόμενων πασσάλων αποτελούν οι έτοιμοι πάσσαλοι, οι οποίοι μπορεί να είναι χαλύβδινοι, από οπλισμένο σκυρόδεμα κλπ. και εμπήγονται στο έδαφος με τη βοήθεια πασσαλοπήκτη.

Ως **πρόχυτοι πάσσαλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα** νοούνται οι προκατασκευασμένοι πάσσαλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα συνήθως συμπαγούς (ή σπανιότερα κοίλης) διατομής, οι οποίοι εφοδιάζονται με αιχμή στο κάτω άκρο τους.

Ως **χαλύβδινοι πάσσαλοι** νοούνται οι έτοιμοι πάσσαλοι, οι οποίοι κατασκευάζονται από δομικό χάλυβα με κοίλες διατομές (π.χ. σωληνωτοί ή κιβωτιοειδείς πάσσαλοι) ή από μορφοσίδηρο (π.χ. διατομής «Η»). Οι κιβωτιοειδείς και σωληνωτοί πάσσαλοι είναι κατά κανόνα ανοικτοί στο κάτω άκρο τους, δηλαδή δεν εφοδιάζονται με αιχμή και λειτουργούν κυρίως ως «πάσσαλοι αιχμής», ενώ οι πάσσαλοι μορφής δοκού λειτουργούν ως «πάσσαλοι τριβής».

Ως **ξύλινοι πάσσαλοι** νοούνται οι πάσσαλοι κυλινδρικής διατομής, οι οποίοι αποτελούνται από επεξεργασμένη κατά κανόνα ξυλεία προερχόμενη από

ευθύγραμμους κορμούς δένδρων. Η αιχμή των ξύλινων πασσάλων διαμορφώνεται σε σχήμα τετραγωνικής πυραμίδας, η οποία εφόσον απαιτείται, εφοδιάζεται με χαλύβδινο περίβλημα.

2.5.1 ΥΛΙΚΑ

Οι πρόχυτοι πάσσαλοι κατασκευάζονται από σκυρόδεμα κατηγορίας χαρακτηριστικής αντοχής 35 MPa (σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37), σύμφωνα με το άρθρο «Άοπλα και Ωπλισμένα Σκυροδέματα» και κατά τα λοιπά σύμφωνα με το DIN 1045 (την τελευταία ισχύουσα έκδοση). Η περιεκτικότητα σε τσιμέντο οποιουδήποτε τύπου και οποιασδήποτε κατηγορίας αντοχής δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 350 kg/m³ σκυροδέματος. Κατά τα λοιπά ισχύουν τα αναφερόμενα στην προηγούμενη παράγραφο που αφορά τους φρεατοπασσάλους στην παρούσα εργασία.

Για το σκυρόδεμα των κεφαλόδεσμων ισχύουν επίσης τα αναφερόμενα για τους φρεατοπασσάλους σε προηγούμενη παράγραφο της εργασίας. Ομοίως και για τον ποιοτικό έλεγχο του σκυροδέματος και για το χαλύβδινο οπλισμό.

Οι πάσσαλοι από μορφοσίδηρο είναι της διατομής που ορίζεται στην εγκεκριμένη τεχνική μελέτη και είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα συμμορφούμενο προς τα πρότυπα DIN 17100, ASTM A 36/A 36M ή εναλλακτικά προς το πρότυπο ASTM A 572/A 572M.

Οι πάσσαλοι από δομικό χάλυβα με κοίλη διατομή είναι της διατομής του σχήματος που ορίζεται στην εγκεκριμένη τεχνική μελέτη και πληρούν τις ακόλουθες απαιτήσεις [3]:

- Οι σωληνωτοί πάσσαλοι με διάμετρο μικρότερη από 360 mm θα συμμορφώνονται προς το πρότυπο ASTM A 252, Grade 2 ή 3.
- Οι σωληνωτοί πάσσαλοι με διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση με 360 mm θα συμμορφώνονται προς το πρότυπο ASTM A 252, Grade 3.
- Η τιμή ισοδυναμίας άνθρακα του χάλυβα των πασσάλων με κοίλη διατομή, όπως ορίζεται στο πρότυπο American Welding Society (AWS) D1.1, δεν θα είναι μεγαλύτερη από 0,45.
- Η περιεκτικότητα του χάλυβα των πασσάλων με κοίλη διατομή σε θείο δεν θα είναι μεγαλύτερη από 0,05%.

Οι ραφές / συγκολλήσεις στους πασσάλους με κοίλη διατομή θα είναι πλήρους διείδυσης και θα συμμορφώνονται προς το πρότυπο AWS D1.1. Ατελής διείδυση των συγκολλήσεων καθώς και ελαττωματικές συγκολλήσεις σε πασσάλους με κοίλες διατομές θα επισκευάζονται με εγκεκριμένες από την Υπηρεσία επίβλεψης μεθόδους.

Ο Ανάδοχος υποβάλει στην Υπηρεσία όλα τα πιστοποιητικά ποιότητας των συγκολλήσεων και της διαδικασίας παραγωγής των πασσάλων από δομικό χάλυβα προς τεκμηρίωση της συμμόρφωσής τους προς τα προαναφερόμενα πρότυπα.

Οι ξύλινοι πάσσαλοι συμμορφώνονται προς τις απαιτήσεις του προτύπου ASTM D25 με την εξαίρεση ότι οι διάμετροι κεφαλής και αιχμής θα είναι ως στον ακόλουθο Πίνακα 2.4.

Η ξυλεία που χρησιμοποιείται για την κατασκευή ξύλινων πασσάλων μπορεί να είναι συνήθους προέλευσης (έλατο, πεύκο, δρυς κτλ.), Αφρικανικής (πχ. Bongossi) ή

υπερατλαντικής (πχ. Basralocus, Demerara Greenheart, Oregon Pine, Douglas Fir) [3]. Για την κατασκευή των ξύλινων πασσάλων χρησιμοποιούνται ευθύγραμμοι κορμοί δένδρων, οι οποίοι σε κανένα σημείο τους δεν παρουσιάζουν απόκλιση πάνω από L/300 από μια χορδή που τεντώνεται σε επαφή με την επιφάνεια του πασσάλου από την κεφαλή μέχρι την αιχμή του (όπου L = το μήκος του πασσάλου).

Πίνακας 2.4 Διάμετροι κεφαλής και αιχμής ξύλινων πασσάλων [3]

#	Μήκος πασσάλου [m]	Διάμετρος κεφαλής ⁽¹⁾		Ελάχιστη διάμετρος αιχμής [mm]
		Ελάχιστη [mm]	Μέγιστη [mm]	
1	2	3	4	5
1	< 12	300	500	200
2	12 - 16	300	500	175
3	16 - 23	325	500	175
4	23 - 27	325	500	150
5	> 27	325	500	125

⁽¹⁾ Οι διάμετροι κεφαλής μετρώνται σε απόσταση περίπου ενός μέτρου από την κεφαλή

Το εύρος των ρωγμών (σχισμών) στους ανεπεξέργαστους ξύλινους πασσάλους δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10 mm. Στους ξύλινους πασσάλους από επεξεργασμένη ξυλεία το εύρος των ρωγμών δεν θα υπερβαίνει τα 10 mm πριν την επεξεργασία και τα 13 mm αμέσως μετά την επεξεργασία.

Σε περίπτωση που απαιτείται, η ξυλεία των πασσάλων μετά τη μηχανική της κατεργασία υπόκειται σε επεξεργασία με συντηρητική / αντισηπτική ουσία (κρεόζωτο). Η εν λόγω επεξεργασία της ξυλείας των πασσάλων γίνεται σύμφωνα με τις Αμερικανικά πρότυπα της American Wood Preservers Association (AWPA).

Η φυσική υγρασία των μη επεξεργασμένων ξύλινων πασσάλων κατά την παραλαβή τους στο εργοτάξιο δεν πρέπει να είναι λιγότερη από 18% σε βάθος 50 mm από την επιφάνεια του ξύλου. Οι πάσσαλοι από επεξεργασμένη ξυλεία εμπνέγονται σε διάστημα όχι μεγαλύτερο από έξι (6) μήνες μετά την επεξεργασία τους με συντηρητική / αντισηπτική ουσία.

Όλες οι οπές και εγκοπές των ξύλινων πασσάλων που υπέστησαν επεξεργασία, θα υπόκεινται σε επί πλέον επεξεργασία με συντηρητική / αντισηπτική ουσία.

2.5.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Οι εργασίες για την κατασκευή, έμπηξη και δοκιμαστική φόρτιση των εμπηγνυόμενων πασσάλων θα εκτελούνται σύμφωνα με τα πρότυπα DIN 4026 και DIN 1054 [3].

Για την έμπηξη των πασσάλων χρησιμοποιούνται πασσαλοπήκτες άμεσης ενέργειας (ατμοκίνητοι, δηζελοκίνητοι, υδραυλικοί πασσαλοπήκτες, ατμόσφυρες) ή

έμμεσης ενέργειας (πασσαλοπήκτες ελεύθερης πτώσης), αρκεί να αναπτύσσουν ικανή ενέργεια για ελάχιστη διείδυση πασσάλου 3 mm ανά κύτπο κατά την επίτευξη της απαιτούμενης Φέρουσας Ικανότητας (ΦΙ) του πασσάλου. Η χρήση δονητικού πασσαλοπήκτη δεν επιτρέπεται, παρά μόνο μετά από έγγραφη άδεια της Υπηρεσίας ελέγχου του έργου. Σε κάθε περίπτωση ο μηχανικός εξοπλισμός που προτίθεται ο Ανάδοχος να χρησιμοποιήσει, θα πρέπει να πληροί όλες τις προϋποθέσεις ασφαλούς λειτουργίας και να έχει την έγκριση της Υπηρεσίας.

Οι χρησιμοποιούμενοι πασσαλοπήκτες θα πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με τον εξής εξοπλισμό [3]:

- Πασσαλοπήκτες με μηχανή εξωτερικής καύσης, οι οποίες δεν είναι απλής ενέργειας, θα πρέπει να διαθέτουν μετρητή που καταγράφει την ταχύτητα της σφύρας.
- Οι δηζελοκίνητοι πασσαλοπήκτες διπλής ενέργειας με μηχανή εσωτερικής καύσης θα πρέπει να διαθέτουν μετρητή που καταγράφει την πίεση στον θάλαμο αναπήδησης.
- Για τους πασσαλοπήκτες που δεν διαθέτουν τρόπο οπτικής παρατήρησης των κύτπων του κριού, θα πρέπει να διαθέτουν μετρητή της ενέργειας της σφύρας με δυνατότητα εκτύπωσης των δεδομένων, τα οποία θα υποβάλλονται στην Υπηρεσία.
- Οι ατμόσφυρες θα είναι εφοδιασμένες με λέβητα που διαθέτει μετρητή πίεσης ακριβείας και συνεχούς λειτουργίας.

Οι πασσαλοπήκτες που προορίζονται για την έμπηξη πρόχυτων πασσάλων από οπλισμένο σκυρόδεμα, θα πρέπει να είναι σε θέση να προσδώσουν ανά κρούση στη σφύρα ενέργεια τουλάχιστον 0,3 kg*m για κάθε kg βάρους πασσάλου που εμπήγεται. Ωστόσο σε καμία περίπτωση η ανά κύτπο συνολική αναπτυσσόμενη ενέργεια δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1400 kg*m.

Οι πασσαλοπήκτες που προορίζονται για την έμπηξη χαλύβδινων πασσάλων, θα πρέπει να είναι σε θέση να προσδώσουν ανά κρούση στη σφύρα ενέργεια τουλάχιστον 1000 kg*m ανά κύτπο.

Ο Ανάδοχος πρέπει να υποβάλει στην Υπηρεσία ελέγχου για έγκριση λεπτομερές πρόγραμμα εκτέλεσης των εργασιών πασσαλέμπηξης, στο οποίο θα αναφέρονται όλες οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι και εξοπλισμός και θα τεκμηριώνεται η καταλληλότητά τους για τις απαιτήσεις και συνθήκες του συγκεκριμένου έργου. Επίσης ο Ανάδοχος είναι υποχρεωμένος να διατηρεί Μητρώο Έμπηξης Έτοιμων Πασσάλων, στο οποίο θα καταγράφονται δεδομένα κατ' αντιστοιχία με τον Πίνακα 2.3.

Πριν την έναρξη εκτέλεσης του προγράμματος πασσαλεμπήξεων, ο Ανάδοχος οφείλει να επιβεβαιώσει τα διαθέσιμα στοιχεία εδάφους με τη διεξαγωγή μιας δοκιμαστικής πασσαλέμπηξης σε κάθε θέση θεμελίωσης (ακρόβαθρο γέφυρας κλπ.) και σε βάθος τουλάχιστον 2 m κάτω από το καθορισμένο βάθος του λειτουργικού πασσάλου. Σε περίπτωση μη συμφωνίας μεταξύ των διαθέσιμων στοιχείων και των συνθηκών εδάφους που προκύπτουν από την δοκιμαστική πασσαλέμπηξη, ειδοποιείται αμέσως η Υπηρεσία ελέγχου και στη συνέχεια ο Ανάδοχος υποβάλει για έγκριση διορθωτικά μέτρα. Κατά τα λοιπά ισχύει η απαίτηση για διεξαγωγή

συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας σύμφωνα με τα αναφερόμενα σε προηγούμενη παράγραφο της εργασίας .

Γενικά οι πάσσαλοι θα εμπήγονται σε τόσο βάθος είτε όσο ορίζεται από την εγκεκριμένη τεχνική μελέτη είτε όσο χρειάζεται προκειμένου να επιτευχθεί η απαιτούμενη ΦΙ του πασσάλου. Οι πάσσαλοι θα εμπήγονται με μέγιστη ανοχή 1:75 ως προς την κατακόρυφο ή τη θεωρητική τους κλίση. Η μέγιστη επιτρεπόμενη εκτροπή της κλίσης του πασσάλου μετά την έμπηξή του από τη θεωρητική του θέση είναι 100 mm. Οι πάσσαλοι εμπήγονται μέχρι τις στάθμες που ορίζονται στην εγκεκριμένη τεχνική μελέτη, με μέγιστη ανοχή ± 12 mm ως προς τις θεωρητικές στάθμες.

Όποιοι πάσσαλοι τυχόν ωθηθούν προς τα έξω λόγω έμπηξης άλλων πασσάλων στην περιοχή ή εξαιτίας άλλου λόγου επανεμπήγονται. Όποιος πάσσαλος υποστεί φθορά λόγω κακού χειρισμού κατά την έμπηξη ή εξαιτίας άλλου λόγου, η οποία είναι δυνατόν να επηρεάσει τη ΦΙ του είτε εξολκεύεται και αντικαθίσταται ή εμπήγεται πρόσθετος νέος, υγιής πάσσαλος δίπλα στον ελαττωματικό.

Η διαδικασία της πασσαλέμπηξης για κάθε συγκεκριμένο πάσσαλο θα είναι συνεχής, χωρίς διακοπές. Δεν επιτρέπεται η εφαρμογή ουδεμίας δύναμης προκειμένου να διορθωθεί η κατακορυφότητα, η κλίση ή η θέση των ήδη εμπηγμένων πασσάλων. Η χρήση της μεθόδου έμπηξης πασσάλου με «υδραυλική υποσκαφή» γενικά δεν επιτρέπεται.

A. Πρόχυτοι Πάσσαλοι από Οπλισμένο Σκυρόδεμα [3]

Η προκατασκευή των πρόχυτων πασσάλων θα γίνεται με τους τύπους τοποθετημένους σε οριζόντια θέση. Η επιφάνεια, επί της οποίας εκτελείται η προκατασκευή, θα εδράζεται επί συμπαγούς θεμελίωσης μη υποκείμενης σε καθιζήσεις. Κάθε πάσσαλος σκυροδετείται χωρίς διακοπή με μια μικρή υπερπλήρωση του τύπου.

Η δόνηση του σκυροδέματος γίνεται με εξωτερικούς ή εσωτερικούς δονητές. Οι πάσσαλοι επιτρέπεται να σκυροδετούνται στο πλήρες μήκος των ράβδων του οπλισμού υπό την προϋπόθεση ότι η τυχόν περίσσεια του σκυροδέματος θα αποκόπτεται μετά την αφαίρεση των τύπων.

Οι πλευρικοί τύποι μπορούν να αφαιρούνται μετά την παρέλευση 24 h – 48 h, αλλά οι πάσσαλοι δεν επιτρέπεται να μετακινηθούν πριν αποκτήσουν αντοχή σε θλίψη ίση με την αντίστοιχη ελάχιστη αντοχή που προβλέπεται για τις 28 ημέρες και σε καμία περίπτωση πριν την παρέλευση τεσσάρων ημερών.

Μετά την αφαίρεση των τύπων ο πάσσαλος πρέπει να εμφανίζει μια ευθύγραμμη, λεία και ομαλή επιφάνεια, απαλλαγμένη από κυψελοειδείς εσοχές, κενά ή άλλα παρόμοια ελαττώματα. Η επιφάνεια του πασσάλου σε κανένα σημείο της δεν θα παρουσιάζει απόκλιση πάνω από 25 mm από μια χορδή που τεντώνεται σε επαφή με την επιφάνεια από την κεφαλή μέχρι την αιχμή του πασσάλου.

Οι πρόχυτοι πάσσαλοι θα συντηρούνται είτε εντός υγρής άμμου που καλύπτεται με υγρή λινάτσα, ή σε περιβάλλον υδρατμών για όσο χρόνο απαιτείται προκειμένου οι πάσσαλοι να αποκτήσουν την απαιτούμενη αντοχή των 28 ημερών και οπωσδήποτε για διάστημα τεσσάρων ημερών.

Για την ανύψωση και μεταφορά των πρόχυτων πασσάλων λαμβάνονται υπόψιν οι θέσεις των σημείων ανάρτησης για την ανύψωση (ή σημείων στήριξης για τη μεταφορά) και οι απαιτούμενες διατάξεις προκειμένου οι αναπτυσσόμενες τάσεις στους πασσάλους, να παραμένουν κάτω από τις μέγιστες επιτρεπόμενες.

Οι πάσσαλοι ανά πάσα στιγμή θα μεταφέρονται κατά τρόπο ώστε να αποφεύγονται οι φθορές των άκρων από κτυπήματα. Όσοι πάσσαλοι χαρακτηριστούν ότι έχουν υποστεί ουσιαστικές φθορές λόγω κακών χειρισμών κατά τη μεταφορά τους, θα αποσύρονται και θα αντικαθιστώνται με καινούργιους.

Οι κεφαλές των πρόχυτων πασσάλων από οπλισμένο σκυρόδεμα θα προστατεύονται από φθορές που είναι δυνατόν να προκληθούν από τις κρούσεις της σφύρας. Η προστασία αυτή πρέπει να είναι έτσι μελετημένη και να εφαρμόζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να προκαλεί τη μικρότερη δυνατή απορρόφηση της ενέργειας της σφύρας, παρέχοντας επαρκή προστασία στην κεφαλή του πασσάλου.

Σε περίπτωση που κατά την έμπηξη ενός πασσάλου προκύψει η ανάγκη αύξησης του μήκους του, τότε το σκυρόδεμα του άνω τμήματος του εμπηγνυόμενου πασσάλου θα αφαιρείται, αφήνοντας ακάλυπτες τις ράβδους του σιδηρού οπλισμού για ένα μήκος τουλάχιστον σαράντα φορές τη διάμετρο της παχύτερης ράβδου του πασσάλου. Η τελική τομή του σκυροδέματος θα είναι κάθετη στο διαμήκη άξονα του πασσάλου. Επί των αναμονών του οπλισμού που αποκαλύφθηκε, θα συνδέεται (με μέθοδο που προβλέπει ο ΕΚΩΣ) ο οπλισμός του πρόσθετου μήκους του πασσάλου που θα κατασκευαστεί με έγχυτο σκυρόδεμα επί τόπου. Λίγο πριν την σκυροδέτηση της επέκτασης του πασσάλου και για την εξασφάλιση της συνάφειας μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος, η διεπιφάνεια επαλείφεται με κατάλληλο προς τούτο υλικό.

B. Χαλύβδινοι Πάσσαλοι [3]

Όλες οι ενώσεις (ματίσεις) των πασσάλων από δομικό χάλυβα θα εκτελούνται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου AWS D1.1. Οι ματίσεις / ραφές των πασσάλων από μορφοσίδηρο θα είναι συγκολλήσεις πλήρους διεϊσδυσης. Οι ματίσεις / ραφές των πασσάλων με κοίλη διατομή θα εκτελούνται σε μόνιμες εγκαταστάσεις συνεργείου συγκολλήσεων και θα είναι επίσης συγκολλήσεις πλήρους διεϊσδυσης.

Για την συγκράτηση των χαλύβδινων πασσάλων σε ευθυγραμμία με τον άξονα της σφύρας και προς αποφυγή υπερβολικής διατάραξης της κεφαλής σε περίπτωση δυσμενών συνθηκών έμπηξης, το άνω τμήμα των πασσάλων θα τέμνεται / διαμορφώνεται κάθετα προς τον άξονά τους και στη συνέχεια θα προσαρμόζεται στην κεφαλή ένας σκούφος κρούσης από χυτοσίδηρο ή δομικό χάλυβα.

Τα άκρα των υπό μάτιση χαλύβδινων πασσάλων που τυχόν φθάρηκαν κατά την πασσαλέμπηξη, θα αφαιρούνται με κοπή του ελαττωματικού τμήματος του πασσάλου. Η υπόψη κοπή θα γίνεται με χρήση αυτοκαθοδηγούμενου μηχανήματος κοπής μετάλλων και όχι με χειροκίνητη φλογοκοπή.

Γ. Ξύλινοι Πάσσαλοι [3]

Η κεφαλή των ξύλινων πασσάλων προστατεύεται με μια κολουροκωνική χαλύβδινη στεφάνη που τοποθετείται εν θερμώ πριν από την έμπηξη. Το πάχος του ελάσματος της στεφάνης θα είναι της τάξης των 10 mm – 15 mm, ενώ το ύψος του κολουρου κώνου θα είναι της τάξης των 100 mm – 150 mm.

Επιπλέον της στεφάνης που τοποθετείται στην κεφαλή, χαλύβδινες στεφάνες τοποθετούνται κάθε 3 m κατά μήκος του πασσάλου, καθώς και πέντε επιπλέον ενδιάμεσες στεφάνες σε κάθε πάσσαλο ως εξής: στα 75 mm, 150 mm και 300 mm από την αιχμή και δύο στεφάνες στα 600 mm από την κεφαλή του πασσάλου. Οι εν λόγω ενδιάμεσες στεφάνες θα έχουν πλάτος περί τα 40 mm και πάχος ελάσματος 0,75 mm, θα είναι κατασκευασμένες από χάλυβα επεξεργασμένο εν θερμώ, θα εμφανίζουν αντοχή σε εφελκυσμό τουλάχιστον 22 kN και θα εφαρμόζουν σφικτά στην περίμετρο του πασσάλου.

Συνήθως η αιχμή των ξύλινων πασσάλων δεν εφοδιάζεται με περίβλημα, αλλά στην περίπτωση πετρωδών εδαφών η αιχμή πρέπει να προστατεύεται με περίβλημα από σφυρήλατο χάλυβα, το οποίο αναπτύσσεται σε μήκος από 1,5 d έως 2 d από την αιχμή του πασσάλου (όπου d = η διάμετρος αιχμής του πασσάλου).

Μετά την έμπηξη των πάσσαλων και την περικοπή του άνω τμήματός τους μέχρι το επιθυμητή στάθμη, οι κεφαλές όλων των πασσάλων από επεξεργασμένη ξυλεία, οι οποίοι δεν εγκιβωτίζονται σε σκυρόδεμα, επαλείφονται εν θερμώ με μίγμα κρεόζωτου και πίσσας (σε αναλογία 60:40) σε τουλάχιστον τρεις στρώσεις ή εναλλακτικά καλύπτονται με διαδοχικές στρώσεις (τουλάχιστον τρεις) πιλημάτων εμποτισμένων εν θερμώ με άσφαλτο που θα ασφαλιζονται με σύρμα περισφιγμένο πάνω στον κορμό του πασσάλου.

Κατά την πασσαλέμπηξη ο ξύλινος πάσσαλος θα συγκρατείται προς αποφυγή πλευρικών μετατοπίσεων σε διαστήματα που δεν θα υπερβαίνουν τα 6 m κατά μήκος του πασσάλου και μεταξύ της κεφαλής του και της επιφάνειας του εδάφους.

Σε περίπτωση που ο παρατηρούμενος αριθμός κρούσεων της σφύρας είναι:

- είτε διπλάσιος του αναμενόμενου αριθμού κρούσεων που απαιτείται για διείσδυση 300 mm
- ή τριπλάσιος του αναμενόμενου αριθμού κρούσεων που απαιτείται για διείσδυση 75 mm

για την ανάπτυξη της απαιτούμενης ΦΙ του πασσάλου, τότε θα εφαρμόζονται πρόσθετα μέτρα υποβοήθησης της πασσαλέμπηξης. Τέτοια μέτρα μπορεί να είναι η εφαρμογή υδραυλικής υποσκαφής ή προκαταρκτικής διάτρησης, όπου επιτρέπεται, ή χρήση μεγαλύτερου πασσαλοπήκτη εξοπλισμένου με βαρύτερη σφύρα που λειτουργεί με χαμηλή ταχύτητα.

2.5.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

Διεξάγονται όλοι οι έλεγχοι που απαιτούνται για την τήρηση των απαιτήσεων και την εφαρμογή των προτύπων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι έλεγχοι αυτοί περιγράφονται αναλυτικά στο κείμενο [3] απ' όπου προέρχονται και οι πληροφορίες που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

A. Πρόχυτοι Πάσσαλοι από Οπλισμένο Σκυρόδεμα [3]

Η ποιότητα των επιμέρους υλικών και του σκυροδέματος καθώς και η μέθοδος κατασκευής των πρόχυτων πασσάλων υπόκεινται σε έλεγχο και έγκριση από την Υπηρεσία ελέγχου του έργου.

Τα εργοστάσια προκατασκευής, από τα οποία γίνεται η προμήθεια των πρόχυτων πασσάλων, πρέπει να διαθέτουν πλήρες εργαστήριο για τον έλεγχο όλων των ιδιοτήτων και φυσικών χαρακτηριστικών των πασσάλων σε όλες τις φάσεις παραγωγής τους. Οι εργαστηριακοί έλεγχοι των φυσικών χαρακτηριστικών των προκατασκευασμένων στοιχείων καθώς και της ποιότητας του σκυροδέματος είναι υποχρεωτικοί διότι προσδιορίζουν το ελάχιστο των απαιτήσεων που πρέπει να πληρούν αυτοί για να θεωρηθούν κατάλληλοι. Για κάθε ελεγχόμενη ποσότητα πασσάλων συντάσσεται πρωτόκολλο παραλαβής υλικού και υπογράφεται από όλους τους ενδιαφερόμενους. Στο πρωτόκολλο καταγράφονται λεπτομερώς τα αποτελέσματα των ελέγχων που διεξήχθησαν κατά την διαδικασία της προκατασκευής, ιδιαίτερα δε αναφορικά με την τήρηση των προτύπων DIN 1045, DIN 1048, DIN 4225 και DIN 4030.

Τα προς έλεγχο δείγματα λαμβάνονται τυχαία από υγιείς πασσάλους που δεν έχουν απορριφθεί για άλλους λόγους. Για να γίνει δεκτή μια παρτίδα πασσάλων πρέπει όλα τα δοκίμια που θα υποβληθούν σε δοκιμές σε σχέση με τη συγκεκριμένη παρτίδα, να πληρούν τις προδιαγραφές. Για κάθε δοκίμιο που πιθανόν βρεθεί εκτός προδιαγραφής, η δοκιμή επαναλαμβάνεται σε δύο δοκίμια που λαμβάνονται από την ίδια παρτίδα πασσάλων. Στην περίπτωση αυτή όλα τα ελεγχόμενα δοκίμια πρέπει να πληρούν την προδιαγραφή.

B. Προσδιορισμός ΦΙ Εμπηγνυόμενων Πασσάλων [3]

Γενικά ισχύουν οι απαιτήσεις για διενέργεια δοκιμαστικών φορτίσεων σε λειτουργικούς ή/και μη λειτουργικούς πασσάλους, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο της εργασίας, από τις οποίες δοκιμές θα προκύψουν ακριβή συμπεράσματα για τη σχέση φορτίων - καθίζησης και για τη Φέρουσα Ικανότητα (ΦΙ) των πασσάλων. Τα συμπεράσματα αυτά επιτρέπουν την επαλήθευση των παραδοχών της μελέτης ή αποτελούν κατάλληλη βάση για την τυχόν αναθεώρησή τους.

Σε περίπτωση που δεν απαιτείται η εκτέλεση δοκιμαστικών φορτίσεων για τον προσδιορισμό της ΦΙ των εμπηγνυόμενων πασσάλων ή σε περίπτωση που τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών φορτίσεων απαιτείται να συγκριθούν με τιμές ΦΙ που προκύπτουν από εφαρμογή άλλης μεθόδου, τότε χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες ημιεμπειρικές μαθηματικές σχέσεις, ανάλογα με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου μηχανήματος [3]:

(α) Πασσαλοπήκτες ελεύθερης πτώσης:
$$P = W^2 H (W+X)^{-1} / (0,04 S + 0,035)$$

(β) Ατμοκίνητοι πασσαλοπήκτες (απλής ενέργειας):
$$P = W H / (0,06 S + 0,015)$$

(γ) Ατμοκίνητοι πασσαλοπήκτες (διπλής ενέργειας):
$$P = E / (0,06 S + 0,015)$$

(δ) Δηζελοκίνητοι πασσαλοπήκτες:
$$P = E / (0,06 S + 0,015 X / W)$$

όπου:

P ασφαλής ΦΙ σε kg

W βάρος των κρουστικών μερών της σφύρας σε kg

- H ελεύθερο ύψος πτώσης σε m
 E ενέργεια που παράγεται από την κρούση του κριού ανά κτύπο σε kg*m, σύμφωνα με τα στοιχεία του κατασκευαστή.
 S μέση διείσδυση ανά κτύπο σε cm για τους τελευταίους είκοσι (20) κτύπους όταν πρόκειται για ατμοκίνητο ή δηζελοκίνητο πασσαλοπήκτη και για τους τελευταίους πέντε κτύπους όταν πρόκειται για πασσαλοπήκτη ελεύθερης πτώσης.
 X βάρος του πασσάλου συν βάρος χρησιμοποιούμενου σκούφου κρούσης σε kg.

Οι ως άνω τύποι έχουν εφαρμογή υπό τις εξής προϋποθέσεις:

- οι πάσσαλοι εμπήγονται σε κατακόρυφη θέση,
- η σφύρα λειτουργεί με υψηλό βαθμό απόδοσης ($C \geq 0,70$),
- η κεφαλή του πασσάλου είναι συμπαγής και δεν εμφανίζει ρηγματώσεις,
- η διείσδυση είναι άμεση και ομοιόμορφη και
- δεν παρατηρείται αισθητή αναπήδηση κατά την κρούση.

Σε περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου έμπηξης με υδραυλική υποσκαφή, η ΦΙ μπορεί να υπολογιστεί με βάση τους ανωτέρω τύπους, αρκεί τα στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη, αφορούν σε έμπηξη μετά την απενεργοποίηση του συστήματος της υδραυλικής υποσκαφής.

2.5.4 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Όσον αφορά στις περιλαμβανόμενες δαπάνες, στην επιμέτρηση και στην πληρωμή, η πλήρης εργασία κατασκευής πασσάλων περιλαμβάνει τα εξής [3]:

- προσκόμιση - αποκόμιση πλήρους εξοπλισμού για την έμπηξη πασσάλων
- προμήθεια ή προκατασκευή πασσάλων διαφόρων διατομών και από διάφορα υλικά (οπλισμένο σκυρόδεμα, χάλυβα και ξύλο)
- έμπηξη, σε κάθε είδους έδαφος, πασσάλων διαφόρων διατομών και από διάφορα υλικά
- διενέργεια δοκιμαστικών φορτίσεων των πασσάλων για τον προσδιορισμό της ΦΙ
- διεξαγωγή των όλων των ελέγχων που απαιτούνται για τη διασφάλιση τήρησης των προδιαγραφών του παρόντος άρθρου.

Οι τιμές μονάδος των ως άνω εργασιών ισχύουν ανεξάρτητα από το πλήθος, το βάθος και τη γωνία έμπηξης των πασσάλων που θα κατασκευασθούν. Επίσης οι τιμές μονάδος ισχύουν και ανεξάρτητα από το είδος του εδάφους και τις συνθήκες που θα συναντηθούν.

A. Προσκόμιση - Απομάκρυνση Εξοπλισμού [3]

Η τιμή μονάδος πλήρους εργασίας περιλαμβάνει τις ακόλουθες δαπάνες:

- Την προσκόμιση και την απομάκρυνση του απαιτούμενου μηχανικού εξοπλισμού και εγκαταστάσεων (εξέδρες, ικριώματα κτλ.) για την έμπηξη των πασσάλων.
- Την προσκόμιση και την απομάκρυνση παντός λοιπού εξοπλισμού (π.χ. πλωτά μέσα) απαιτούμενου για την πλήρη και έντεχνη εκτέλεση των εργασιών.

- Όλες οι δαπάνες μετακινήσεων του σχετικού μηχανικού εξοπλισμού από θέση σε θέση, για παράδειγμα, μέσα στο ίδιο βάθρο ή από ένα βάθρο σε άλλο βάθρο, ανεξάρτητα από τον αριθμό των απαιτούμενων μετακινήσεων, το μήκος κάθε πασσάλου ή το συνολικό μήκος των πασσάλων.

Οι εργασίες προσκόμισης και απομάκρυνσης μηχανικού εξοπλισμού επιμετρώνται σε τεμάχια (τεμ), πλήρως περαιωμένων. Ενδιάμεσες απομακρύνσεις και προσκομίσεις του μηχανικού εξοπλισμού πριν από την ολοκλήρωση των εργασιών δεν θα επιμετρώνται. Η δαπάνη απομάκρυνσης του εξοπλισμού από τα τεχνικά έργα ή την εργολαβία καλύπτεται από τις παραπάνω τιμές.

B. Έμπτυξη Πασσάλων Διαφόρων Διατομών σε Κάθε Είδους Έδαφος [3]

Η τιμή μονάδος πλήρους εργασίας περιλαμβάνει τις ακόλουθες δαπάνες:

- Τις προεργασίες που περιγράφονται παραπάνω σχετικά με τη διεξαγωγή συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας, υποβολή προγράμματος εκτέλεσης εργασιών πασσαλέμπτυξης κλπ.
- Την έμπτυξη του απαιτούμενου αριθμού πασσάλων με την προδιαγεγραμμένη διατομή σε κάθε είδους έδαφος, σε οποιοδήποτε βάθος και σε οποιαδήποτε κλίση από την κατακόρυφο.
- Την αντιμετώπιση όλων των δυσχερειών και εμποδίων που τυχόν θα συναντηθούν κατά τη πασσαλέμπτυξη (επιφανειακά, υπόγεια ή αρτεσιανά ύδατα, προβλήματα προσπέλασης κλπ.).
- Την προμήθεια και μεταφορά επί τόπου του έργου όλων των απαιτούμενων υλικών για την κατασκευή και έμπτυξη των έτοιμων πασσάλων.
- Την τυχόν επανόρθωση ζημιών ή/και παράκαμψη δικτύων ΟΚΩ ή/και κατασκευών παρόδων ιδιοκτησιών που τυχόν υπέστησαν βλάβη από την εκτέλεση των εργασιών πασσαλέμπτυξης.
- Τη διεξαγωγή όλων των απαιτούμενων ποιοτικών ελέγχων, καθώς και την τήρηση και υποβολή στην Υπηρεσία ελέγχου του Μητρώου Έτοιμων Πασσάλων.
- Την εκτέλεση των εργασιών που απαιτούνται για τον προσδιορισμό της ΦΙ των πασσάλων (π.χ. διεξαγωγή δοκιμαστικών φορτίσεων σε πασσάλους).
- Την κάλυψη των κεφαλών των ξύλινων πασσάλων από επεξεργασμένη ξυλεία με αντιδιαβρωτική προστασία.

Οι εργασίες έμπτυξης έτοιμων πασσάλων θα επιμετρώνται σε μέτρα μήκους (m) πραγματικής διείσδυσης πασσάλου εντός του εδάφους, πλήρως περαιωμένων, ανά τύπο, διατομή και διάμετρο πασσάλου που εμφανίζεται στο Τιμολόγιο. Ο υπολογισμός του μήκους έμπτυξης του κάθε πασσάλου γίνεται από τη στάθμη του πυθμένα του πασσάλου, όπως προβλέπεται από την εγκεκριμένη τεχνική μελέτη (ή όπως η στάθμη αυτή ενδεχόμενα τροποποιήθηκε κατά την κατασκευή), μέχρι την οριστική στάθμη διαμόρφωσης της κεφαλής του πασσάλου που προβλέπεται στη μελέτη (ή όπως η στάθμη ενδεχόμενα τροποποιήθηκε κατά την κατασκευή). Δεν επιμετράται το τυχόν επιπλέον βάθος που εκτελέστηκε κάτω από την εγκεκριμένη στάθμη πυθμένα ούτε το αποκοπτόμενο τμήμα της κεφαλής του πασσάλου.

Στην τιμή μονάδος περιλαμβάνεται το άνω τμήμα του πασσάλου πάνω από την οριστική στάθμη της κεφαλής του (βάσει της οποίας υπολογίζεται το επιμετρούμενο τμήμα του πασσάλου), καθώς και κάθε άλλο τμήμα πασσάλου, το οποίο καθαιρείται /

αποκόπτεται για διάφορους λόγους. Στην τιμή μονάδος περιλαμβάνεται επίσης και η δαπάνη καθαίρεσης / αποκοπής του τμήματος αυτού του πασσάλου.

Γ. Προμήθεια και Τοποθέτηση Ελασμάτων Αιχμής, Κεφαλής ή Κορμού [3]

Οι εργασίες προμήθειας και τοποθέτησης ελασμάτων αιχμής / κεφαλής / κορμού θα επιμετρώνται σε χιλιόγραμμα (kg), πλήρως περαιωμένων.

2.6 ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΟΙ

Η μέθοδος των χαλικοπασσάλων εφαρμόζεται κυρίως στους τύπους των εδαφών (όπως στα ιλυώδη και αργιλικά εδάφη) όπου η δονητική συμπίκνωση δεν έχει αξιόλογα 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 ένα «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 υπερπιέσεων του νερού των πόρων, που οφείλονται είτε στην εφαρμογή δυναμικών- σεισμικών φορτίων είτε στην επιβολή στατικών επιφορτίσεων (π.χ. εξ επιχωμάτων προφόρτισης). Στην τελευταία περίπτωση (προφόρτιση), με τους χαλικοπασσάλους επιτυγχάνεται και μείωση του χρόνου πραγματοποίησης των καθιζήσεων λόγω στερεοποίησης, πέραν της αύξησης της αντοχής του εδάφους και της μείωσης της συμπίεσότητας. Συμπερασματικά η μέθοδος της δονητικής αντικατάστασης του εδάφους εφαρμόζεται με επιτυχία για την αύξηση της φέρουσας ικανότητας και τη μείωση των καθιζήσεων εδάφους θεμελίωσης, την επιτάχυνση της πραγματοποίησης των καθιζήσεων σε συνδυασμό με την αύξηση της φέρουσας ικανότητας, και τη βελτίωση της συνολικής ευστάθειας επιχωμάτων και άλλων τεχνικών έργων.

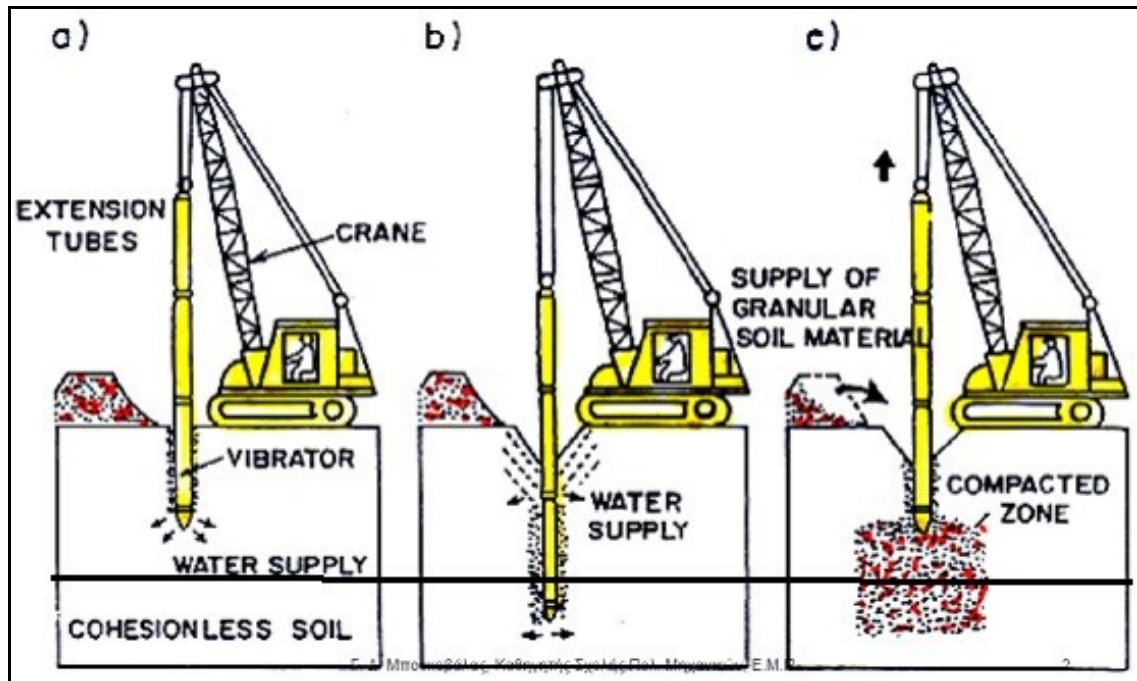
Οι μέθοδοι κατασκευής χαλικοπασσάλων χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες [4]:

- Top Feed Method ή «εκ των άνω» τροφοδοσία χαλίκων (Εικόνες 2.2 και 2.3)
Στις παρακάτω εικόνες αρχικά παρουσιάζεται η περίπτωση όπου κατά την κατασκευή του πασσάλου συναντάται ο υδροφόρος ορίζοντας και μία ζώνη μη-συνεκτικού εδάφους (Εικόνα 2.2), ενώ στη δεύτερη περίπτωση δεν συναντάμε τον υδροφόρο ορίζοντα κατά την κατασκευή του πασσάλου (συνεκτικό έδαφος, Εικόνα 2.3).
- Bottom Feed Method ή «εκ των κάτω» τροφοδοσία χαλίκων (Εικόνα 2.4)

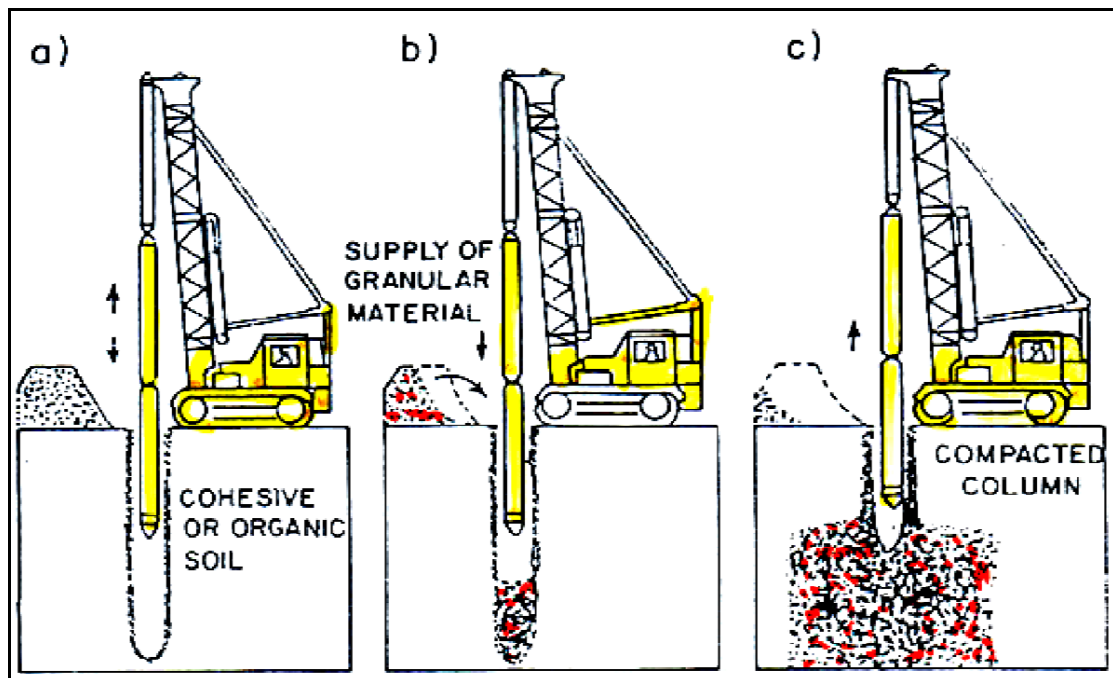
Για κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες, υπάρχουν πολλές παραλλαγές κατασκευής ανάλογα με τον τύπο του εδάφους που θα βελτιωθεί, τον διαθέσιμο εξοπλισμό και την εταιρία κατασκευής. Τα βήματα της διαδικασίας κατασκευής ενός

χαλικοπασσάλου παρουσιάζονται σχηματικά στην Εικόνα 2.5, ενώ η Εικόνα 2.6 παρουσιάζει ένα στιγμιότυπο της διαδικασίας «σε συνθήκες πεδίου».

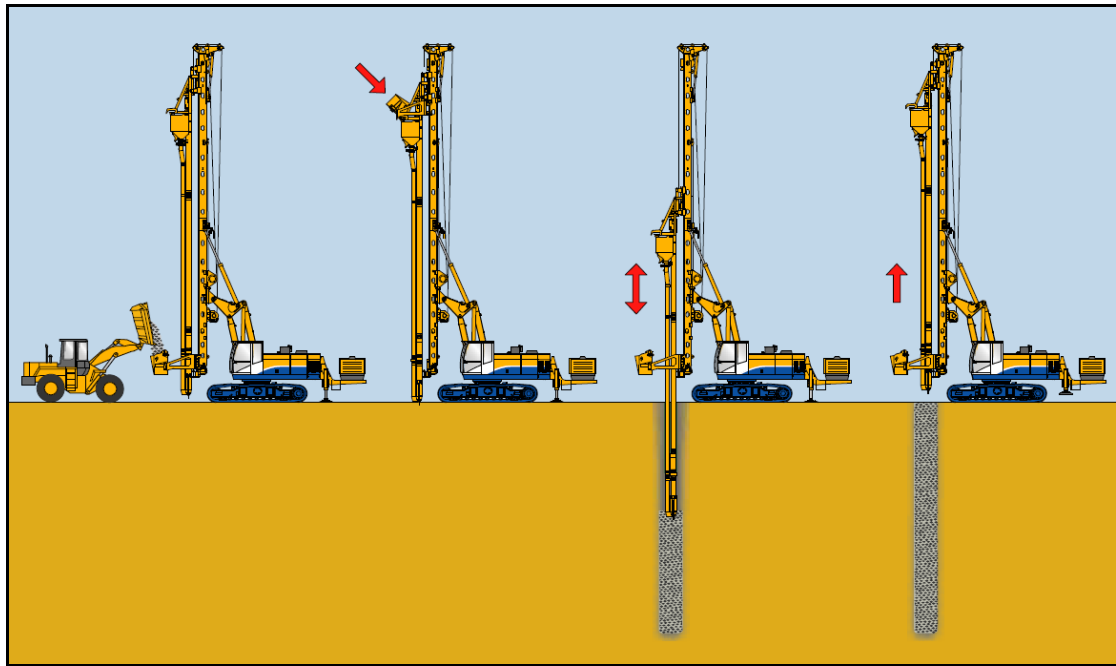
Οι αναλυτικές πληροφορίες για τους χαλικοπασσάλους που παρουσιάζονται στην ενότητα αυτή της εργασίας προέρχονται από την βιβλιογραφική πηγή [4].



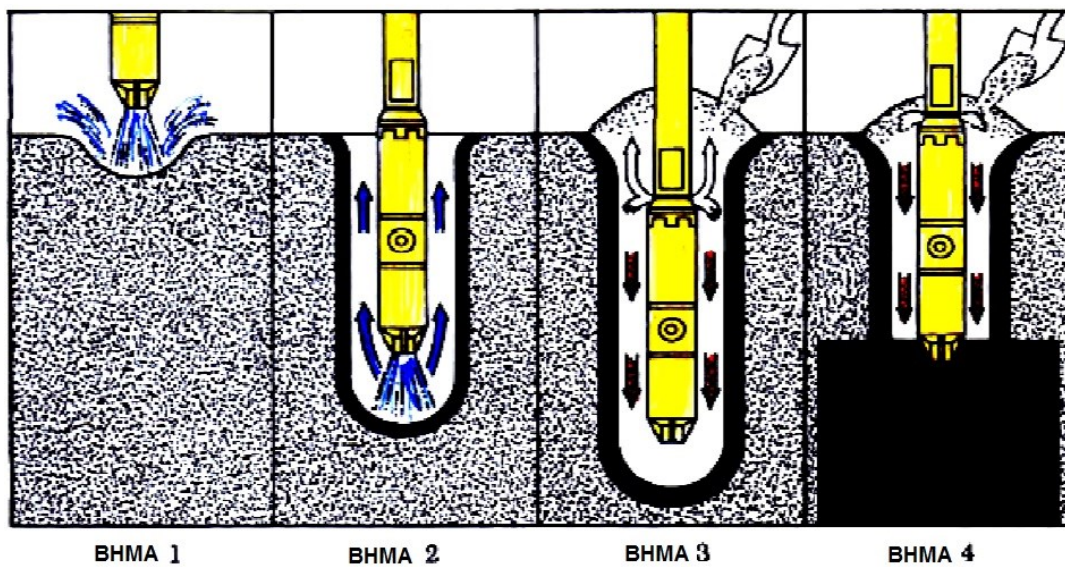
Εικόνα 2.2 Top Feed μέθοδος σε μη συνεκτικά εδάφη [4].



Εικόνα 2.3 Top Feed μέθοδος σε συνεκτικά εδάφη [4].



Εικόνα 2.4 Bottom Feed μέθοδος [4].



Εικόνα 2.5 Σχηματική απεικόνιση των βημάτων της διαδικασίας κατασκευής ενός χαλικοπασσάλου [4].



Εικόνα 2.6 Κατασκευή χαλικοπασσάλου σε «πραγματικές συνθήκες» [4].

2.6.1 ΟΡΙΣΜΟΙ

A. Δονητική Τορπίλη (Vibro-flot) [5] :

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 τη δόνηση στο έδαφος.

B. Δονητική Στήλη [5]:

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 τη 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.

Γ. Δονητική αντικατάσταση (Vibro replacement) [5]:

Διαδικασία κατασκευής χαλικοπασσάλων σε συνεκτικά κυρίως εδάφη με τη βοήθεια του συστήματος δονητή-στήλη.

Δ. «Υγρή» μέθοδος με τροφοδοσία στην αιχμή (Wet bottom feed method) [5]:

Κατασκευή χαλικοπασσάλου με τη βοήθεια του συστήματος δονητή-δονητική στήλη, όπου αφενός μεν η διάτρηση γίνεται με τη 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 στη δονητική στήλη.

Ε. «Υγρή» μέθοδος με τροφοδοσία από πάνω (Wet top feed method) [5]:

Όμοια μέθοδος με αυτή της υγρής τροφοδοσίας στην αιχμή, με τη διαφορά ότι 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.

ΣΤ. «Ξηρά» μέθοδος με τροφοδοσία στην αιχμή (Dry bottom feed method) [5]:

Κατασκευή χαλικοπασσάλου με τη βοήθεια του συστήματος δονητή-δονητική στήλη, όπου το υλικό πλήρωσης (χαλίκι) μεταφέρεται μέσω ειδικού σωλήνα τροφοδοσίας που είναι ενσωματωμένος στη δονητική στήλη στην αιχμή με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα.

Ζ. «Ξηρά» μέθοδος με τροφοδοσία από πάνω (Dry top feed method) [5]:

Όμοια μέθοδος με αυτή της ξηράς τροφοδοσίας στην αιχμή, με τη διαφορά ότι 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.

Η. Μέθοδος κλειστού σωλήνα [5]:

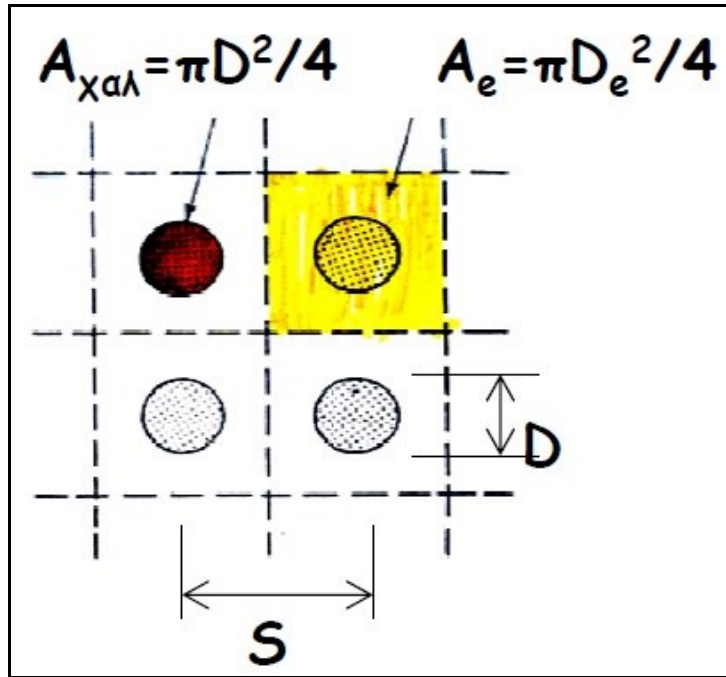
Μέθοδος με την οποία ο χαλικοπάσσαλος κατασκευάζεται με την τεχνική των πασσάλων εμπήξεως με τη βοήθεια ενός κλειστού σωλήνα. Το υλικό πλήρωσης εισάγεται μέσα στον σωλήνα, συμπυκνώνεται ανά μικρά διαστήματα (με ταυτόχρονη ανάσχυση του σωλήνα) και εισχωρεί στο περιβάλλον έδαφος.

Θ. Χαλικοπάσσαλος (Stone Column) [5]:

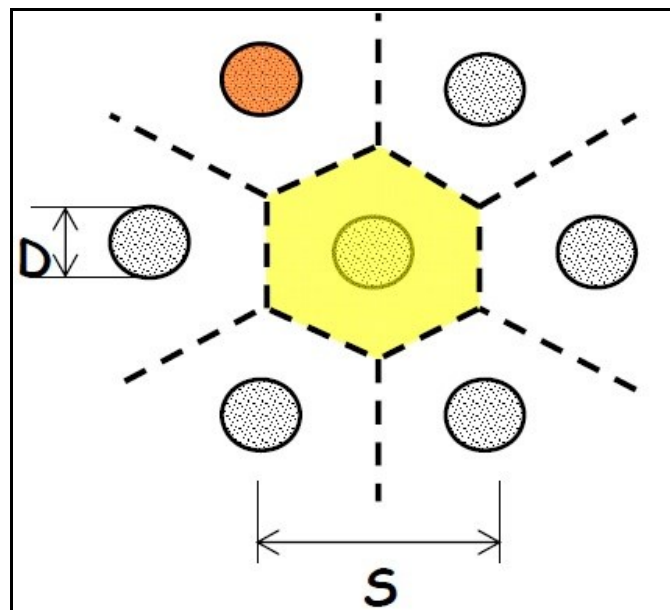
Στήλη από χαλικώδες υλικό που κατασκευάζεται εκτοπίζοντας το περιβάλλον έδαφος και χρησιμεύει για την παραλαβή κατακόρυφων φορτίων ή / και την επιτάχυνση της στράγγισης. Χαλικοπάσσαλοι κατασκευάζονται κυρίως σε αργιλικά εδάφη στα οποία η δονητική συμπύκνωση δεν είναι ιδιαίτερως αποδοτική.

2.6.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Οι χαλικοπάσσαλοι κατασκευάζονται συνήθως σε 3-γωνικό ή σε 4-γωνικό κάρναβο (Εικόνες 2.7 και 2.8).



Εικόνα 2.7 Τετραγωνικός κάνναβος τοποθέτησης χαλικοπασσάλων [4].



Εικόνα 2.8 Τριγωνικός κάνναβος τοποθέτησης χαλικοπασσάλων [4].

Εάν η πλευρά του καννάβου είναι S , τότε η «ακτίνα επιρροής» D_e του χαλικοπασσάλου είναι [4]:

$$D_e = 1.05 \times S \text{ για 3-γωνικό κάνναβο}$$

$$D_e = 1.13 \times S \text{ για 4-γωνικό κάνναβο}$$

Για την εφαρμογή της μεθόδου της βαθιάς δονητικής αντικατάστασης θα πρέπει να έχουν προηγηθεί τα παρακάτω[4]:

- Ύπαρξη επαρκών γεωτεχνικών στοιχείων του εδάφους στην περιοχή εφαρμογής της τεχνικής της βαθιάς δόνησης.
- 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.
- 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.
- 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.
- Ικανοποίηση των νομικών και περιβαλλοντικών περιορισμών (π.χ. πιθανή ρύπανση, περιορισμοί υπερβολικού θορύβου, περιορισμοί των προκαλούμενων δονήσεων και της γενικότερης όχλησης στα γειτονικά κτίσματα).
- 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
 - γ) στον κάρναβο εφαρμογής της μεθόδου και τη χρονική αλληλουχία της κατασκευής.
- Εκτέλεση ενός δοκιμαστικού πεδίου, για την επαλήθευση της διαδικασίας εκτέλεσης των εργασιών, της απαιτούμενης πυκνότητας του καννάβου και βεβαίως της επιτυγχανόμενης συμπίκνωσης.

Γεωτεχνικές έρευνες [5]:

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

Οι γεωτεχνικές έρευνες μπορεί να είναι:

- (1) Δοκιμές πενετρομέτρου 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 διείδυση 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 στη διείδυση 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.

Κριτήρια Αποδοχής Ενσωματούμενων Υλικών [5]:

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

- 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 σκληρά και ανθεκτικά βραχώδη προϊόντα με διαβάθμιση από 3/8 έως 2 ίντσες (1 έως 5 εκατοστά), ενώ σε ειδικές περιπτώσεις είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και κροκάλες έως 4 ίντσες (10 εκατοστά) όπως π.χ. στη μέθοδο της «κουβέρτας» στα λιμενικά έργα.
- Στην περίπτωση κατασκευής χαλικοπασσάλων με τη μέθοδο του κλειστού σωλήνα ή της δονητικής αντικατάστασης και με τροφοδοσία από την αιχμή (bottom feed), το χρησιμοποιούμενο υλικό θα είναι χαλίκια προερχόμενα από σκληρά και ανθεκτικά βραχώδη προϊόντα με διαβάθμιση από 1/4 έως 1.5 ίντσες (0,6 έως 3,8 εκατοστά) δεδομένου ότι αυτά θα πρέπει να μεταφέρονται ευχερώς στην αιχμή μέσω του ειδικού σωλήνα τροφοδοσίας.
- 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 στρογγυλεμένα, λόγω της μεγαλύτερης εσωτερικής γωνίας τριβής που επιτυγχάνουν, με σκληρότητα και υγεία.

2.6.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ – ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΕΛΕΙΩΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

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 διείδυση της δονητικής στήλης ή του κλειστού σωλήνα μέχρι το επιθυμητό βάθος,
- (2) Τη φάση που περιλαμβάνει τη διαδικασία συμπύκνωσης και πλήρωσης με το κατάλληλο υλικό .

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 εφαρμογής, καθώς και η αλληλουχία των εργασιών.

Η τελική απόφαση για τη μέθοδο και τη 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 τη βάση του ποιοτικού ελέγχου για το σύνολο της κατασκευής.

Εξοπλισμός [5]:

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 τη μελέτη και θα επιβεβαιώνονται από την αρχική εφαρμογή στο δοκιμαστικό πεδίο. Π.χ. ως ελάχιστα χαρακτηριστικά για την εκτέλεση των εργασιών αυτών είναι:
 - Ισχύς 100 kW
 - Αθροιστικό πλάτος δόνησης 7 χιλιοστά
 - Φυγοκεντρική δύναμη 150 kN
- (3) Ειδικά στελέχη ικανού μήκους ώστε να είναι δυνατή η διεύθυνση του δονητή μέχρι το τελικό επιθυμητό βάθος. Στην περίπτωση τροφοδοσίας στην αιχμή τα στελέχη αυτά φέρουν και τον ειδικό σωλήνα τροφοδοσίας με τη χοάνη στην κεφαλή.

- (4) Χωματουργικά μηχανήματα για την εκτέλεση των πάσης φύσεως χωματουργικών εργασιών πριν, κατά και μετά τη δονητική αντικατάσταση. Τα μηχανήματα αυτά είναι εκσκαφείς, φορτωτές, φορητά 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 τη διείδυση του σωλήνα στη μέθοδο του κλειστού σωλήνα.
- (8) Βοηθητικός εξοπλισμός όπως π.χ. δεξαμενές, δίκτυα κλπ.
- (9) Τα απαραίτητα καταγραφικά συστήματα π.χ. έντασης ρεύματος κλπ.

Μέθοδοι Κατασκευής [5]:

Η τεχνική της δονητικής αντικατάστασης εφαρμόζεται κυρίως σε σχετικώς συνεκτικά, μαλακά και συμπιεστά εδάφη (π.χ. ιλυώδη και αργιλικά), όπου η δονητική συμπύκνωση δεν έχει αποτελέσματα.

Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η εις-βάθος εκτόπιση (προς τα πλάγια) του επιτόπου μαλακού αργιλικού υλικού και η πλήρωση του δημιουργούμενου κενού με χαλικώδες υλικό κατά μήκος μιας στήλης εδάφους (χαλικοπάσσαλος). Ο χαλικοπάσσαλος και το περιβάλλον αυτόν έδαφος αποτελούν ένα σύστημα με βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά.

Ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο δονητικής αντικατάστασης, διακρίνονται οι εξής τύποι χαλικοπασσάλων :

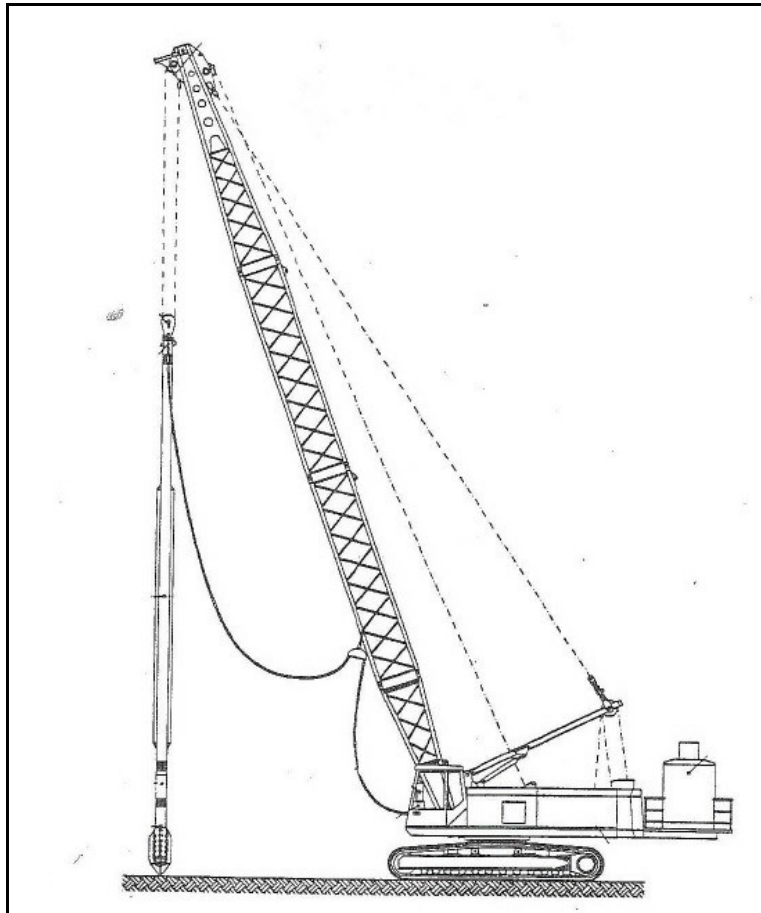
- χαλικοπάσσαλος με τροφοδοσία αδρανών από την κεφαλή της δονητικής στήλης (Top feed method).
- χαλικοπάσσαλος με τροφοδοσία αδρανών στην αιχμή της δονητικής στήλης (Bottom feed method).
- χαλικοπάσσαλος με έμπηξη κλειστού σωλήνα.

(α) 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 (Εικόνα 2.9).

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 Υπηρεσίας. Σε περίπτωση που επιφανειακά υπάρχει σκληρό εδαφικό στρώμα που εμποδίζει τη διείδυση του δονητή, θα πρέπει να γίνεται προδιάτρηση με διάμετρο τουλάχιστον ίση με αυτή 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.



Εικόνα 2.9 Τυπική διάταξη ανυψωτικού γερανού για την εφαρμογή δονητικής αντικατάστασης [5].

Αφού η δονητική στήλη φθάσει στο επιθυμητό βάθος, αρχίζει η διαδικασία κατασκευής του χαλικοπασσάλου με ανιόντα βήματα της τάξεως των 30 έως 50 εκατοστών μέχρι την επιφάνεια και σε κάθε βήμα διοχετεύεται χαλίκι από την επιφάνεια του εδάφους με τη βοήθεια ενός φορτωτή. Η τροφοδοσία των αδρανών (χαλίκων) γίνεται συνεχώς από την επιφάνεια του εδάφους μεταξύ τοιχωμάτων της οπής και του δονητικού στελέχους. Σε κάθε βήμα ανόδου, ο δονητής ξαναβυθίζεται και με τη δόνησή του προκαλεί συμπύκνωση του χαλικιού και περαιτέρω εκτόπιση του εδάφους, έτσι ώστε να σχηματίζεται χαλικοπάσσαλος με διάμετρο μεγαλύτερη από αυτή της οπής. Η βύθιση του δονητή επαναλαμβάνεται σε κάθε βήμα, μέχρις ότου επιτευχθεί συγκεκριμένη αύξηση της υδραυλικής πίεσης (bars) ή της ηλεκτρικής έντασης (Amps), 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 μέτρα), ώστε ο όγκος του να αντιστοιχεί περίπου στο συνολικό απαιτούμενο όγκο συμπυκνωμένου υλικού για την κατασκευή και ολοκλήρωση κάθε

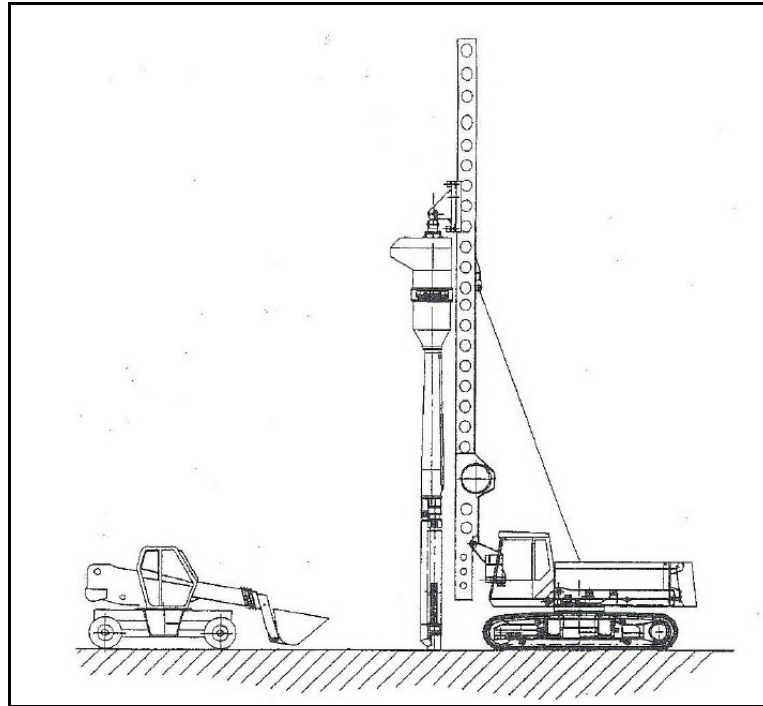
χαλικοπασσάλου. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις, όπου δεν είναι δυνατή η συνεχής τροφοδοσία χαλίκων στην επιφάνεια του πυθμένα, όπως τα λιμενικά έργα.

Στην περίπτωση όπου το προς συμπύκνωση έδαφος βρίσκεται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα και κατά τη 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.

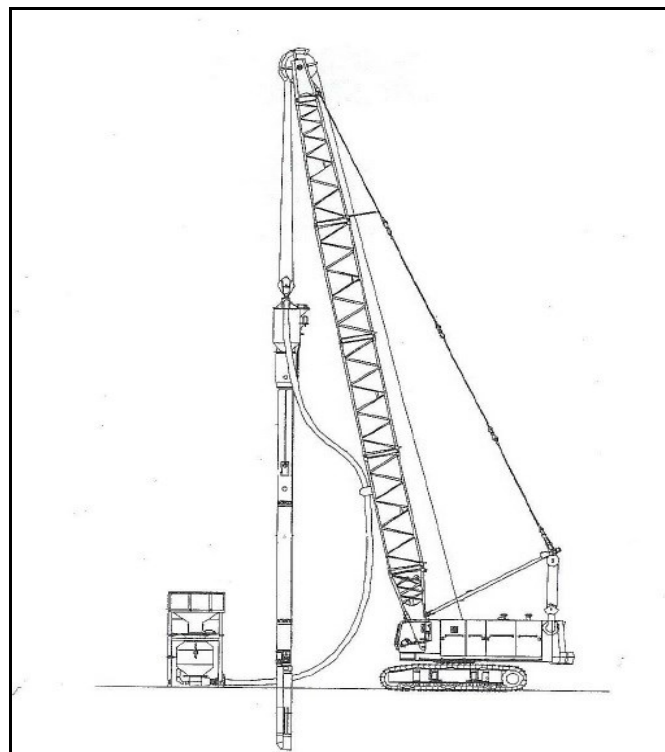
(β) Μέθοδος με εσωτερική τροφοδοσία αδρανών από την αιχμή

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

1. 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. 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 συρματόσχοινο, 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 στη φάση διείσδυσης του δονητή στο έδαφος και στη φάση ανύψωσης (Εικόνα 2.10).
2. Στη δεύτερη περίπτωση, η δονητική στήλη απλώς αναρτάται με συρματόσχοινο από κεκλιμένη μπούμα του γερανού, και η τροφοδοσία στη χοάνη (που βρίσκεται στην κεφαλή της στήλης) γίνεται μέσω ελαστικού σωλήνα με μία κατάλληλη αντλία αδρανών (Εικόνα 2.11).



Εικόνα 2.10 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 [5]



Εικόνα 2.11 Η δονητική στήλη απλώς αναρτάται με συρματοσχοινο από κεκλιμένη μπούμα του γερανού, και η τροφοδοσία στην χοάνη (που βρίσκεται στην κεφαλή της στήλης) γίνεται μέσω ελαστικού σωλήνα με μία κατάλληλη αντλία αδρανών [5]

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

- Τοποθέτηση του δονητικού στελέχους στην θέση όπου πρόκειται να κατασκευαστεί ο χαλικοπάσσαλος.
- Πλήρωση όλου του δονητικού στελέχους μέσω της χοάνης στην κεφαλή με αδρανή υλικά (σκύρα).
- Αν απαιτείται, κλείνει η βαλβίδα μεταξύ θαλάμου προσωρινής αποθήκευσης και σωλήνα και παροχή πεπιεσμένου αέρα 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.
- Έμπηξη του δονητικού στελέχους μέσα στο έδαφος με σύγχρονη δόνηση, μέχρι το προβλεπόμενο βάθος.
- Μερική ανύψωση του δονητικού στελέχους κατά 0,50 μέτρα περίπου, εκκένωση των σκύρων και δονητική επανέμπηξη του στελέχους προκειμένου να συμπυκνωθούν τα σκύρα.
- Προοδευτική ανύψωση, με παράλληλη εκκένωση των σκύρων, με ταυτόχρονες συνεχείς μικρές επανεμπήξεις και συνεχή δόνηση, προκειμένου να συμπυκνωθούν τα σκύρα και να σχηματιστεί ο χαλικοπάσσαλος. Σε κάθε βήμα, η επιταχυνόμενη συμπύκνωση 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.

(γ) Μέθοδος με έμπηξη κλειστού σωλήνα

Η κατασκευή χαλικοπασσάλων με τη μέθοδο έμπηξης κλειστού σωλήνα περιλαμβάνει τις εξής φάσεις εργασίας:

- Έμπηξη 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 έμπηξη και ανύψωση του σωλήνα κατά τον παραπάνω περιγραφόμενο τρόπο. Το πωμάτισμα επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός αρθρωτά συνδεδεμένου και ανοιγόμενου πώματος (κλαπέ), κωνικού ή επιπέδου σχήματος, αποτελούμενου από ένα ή περισσότερα τμήματα, που τοποθετείται μόνιμα στο κάτω άκρο του σωλήνα έμπηξης. Πλήρωση του σωλήνα, μετά το πέρας της έμπηξης, με τα αδρανή υλικά, με τη βοήθεια χοάνης που τοποθετείται στο άνω άκρο του σωλήνα.
- 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 έμπηξης) προκαλώντας μετατόπιση του σωλήνα προς τα κάτω ούτως ώστε το πώμα να ξανακλείσει. Με την

επανέμπηξη 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 έμπηξη γίνεται στο ήμισυ περίπου μήκος της ανεπένδυτης οπής. Εκτελούνται διαδοχικές ανυψώσεις και επανεμπήξεις του σωλήνα, μέχρις ότου γίνει πλήρης ανύψωση του σωλήνα, πλήρωση του διατρήματος με χαλικώδες υλικό και συμπύκνωσή του.

- Κατά τη διάρκεια των φάσεων ανύψωσης και επανέμπηξης, 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 έμπηξης, θα πρέπει να διοχετεύεται μέσα στο σωλήνα μαζί με τα σκύρα και ποσότητα νερού, αρκετή για να γεμίσουν τα κενά.

2.6.4 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΛΑΒΗ

Οι ποιοτικοί έλεγχοι που πραγματοποιούνται για τη διαπίστωση της καλής εργασίας και την παραλαβή του έργου αφορούν τα εξής [5]:

- Συμμόρφωση με τα κριτήρια της μελέτης.
- Έλεγχος Πρωτοκόλλων Παραλαβής ενσωματούμενων υλικών.
- Ποιοτικά χαρακτηριστικά ενσωματούμενων υλικών.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Γεωτεχνικές έρευνες, (πρεσιόμετρα, δοκιμές SPT, δοκιμές πενετρομέτρου, δοκιμαστικής φόρτισης πλάκας, κλπ) ώστε να διαπιστωθεί άμεσα η βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους.

2.6.5 ΕΠΙΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΛΗΡΩΜΗ

Η επιμέτρηση της δονητικής αντικατάστασης για την κατασκευή χαλικοπασσάλων θα γίνεται σε μέτρα μήκους των πασσάλων κάθε διαμέτρου, που κατασκευάστηκαν πλήρως, σύμφωνα με τη μελέτη και έγιναν αποδεκτοί από την Υπηρεσία. Στην επιμέτρηση θα περιλαμβάνονται και οι χαλικοπάσσαλοι, που κατασκευάζονται στο δοκιμαστικό πεδίο εφαρμογής της μεθόδου.

Στην τιμή περιλαμβάνονται όλες οι εργασίες, υλικά και εξοπλισμός για την κατασκευή χαλικοπασσάλων, οι δαπάνες για την προμήθεια και μεταφορά των υλικών επιτόπου του έργου, την προσκόμιση, χρήση και αποκόμιση του απαιτούμενου εξοπλισμού, την αποθήκευσή τους στον εργοταξιακό χώρο (συμπεριλαμβανομένων και όλων των εξαρτημάτων), το κόστος του προσωπικού που απαιτείται για την εφαρμογή της μεθόδου, καθώς και όλες οι εργασίες διαμόρφωσης πεδίου εργασίας, οι γεωτεχνικές έρευνες και οι μετρήσεις, που απαιτούνται για τον ποιοτικό έλεγχο της εργασίας.

2.7 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΚΟΙΤΟΣΤΡΩΣΗΣ ΓΙΑ ΥΨΗΛΑ ΚΤΙΡΙΑ

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η μέθοδος θεμελίωσης υψηλών κτιρίων με πασσαλοκοιτόστρωση. Οι πληροφορίες προέρχονται από το κείμενο της βιβλιογραφικής πηγής [6].

Οι θεμελιώσεις κτιρίων, όπως είναι γνωστό από τις βασικές αρχές της εδαφομηχανικής, είναι είτε επιφανειακές είτε βαθιές με τη μορφή πασσάλων, όταν το φορτίο της ανωδομής είναι μεγάλο και η φέρουσα ικανότητα της επιφανειακής εδαφικής στρώσης δεν επαρκεί για την ευστάθεια του κτιρίου. Η ανάλυση που γίνεται για την θεμελίωση περιλαμβάνει [6]:

- α) τον έλεγχο επαρκούς ασφάλειας έναντι αστοχίας και
- β) τον έλεγχο περιορισμού των καθιζήσεων.

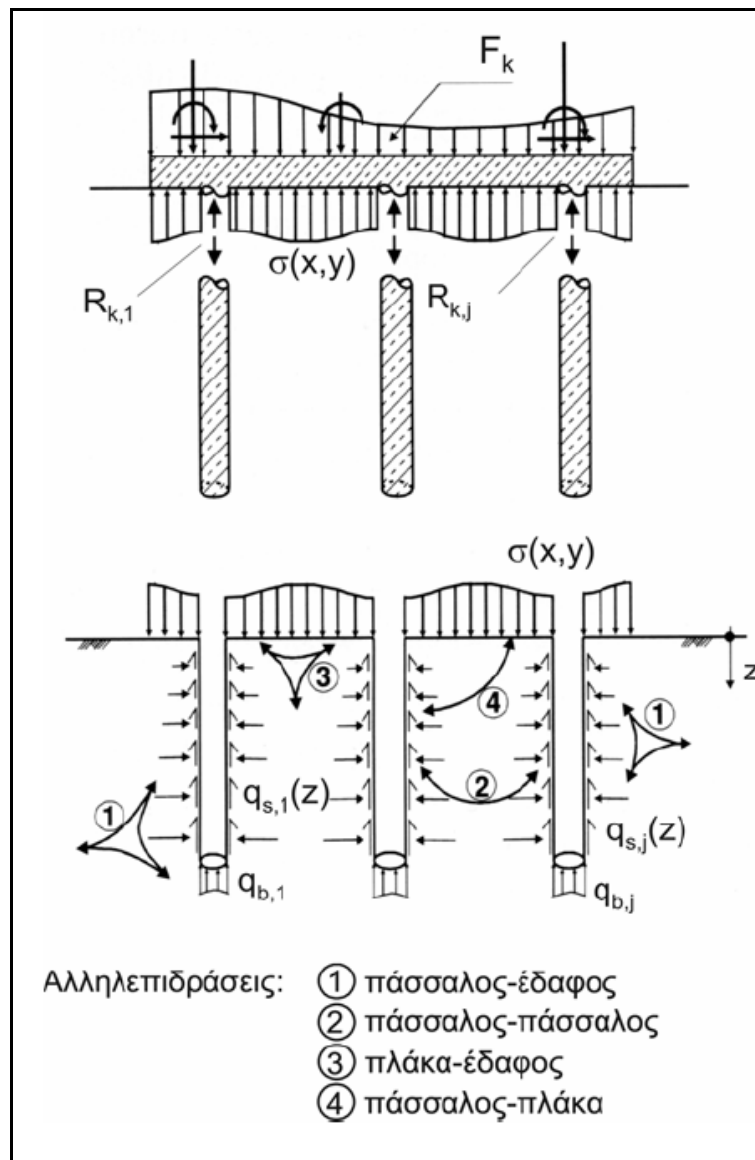
Ο συνδυασμός αυτών των δύο ελέγχων αντιστοιχεί στις επιτρεπόμενες τάσεις εδάφους που δίνονται στο DIN 1054:2005.

Προέκυψε λοιπόν η ιδέα, να προστεθούν πάσσαλοι σε θεμελιώσεις γενικής κοιτόστρωσης, που δρουν έτσι σαν φρένα καθιζήσεων [6]. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής προϋποθέτει έδαφος ικανής αντοχής ήδη από το επίπεδο της κεφαλής των πασσάλων και για επίτευξη οικονομικότερης λύσης - μέτρο παραμόρφωσης αυξανόμενο με το βάθος, κάτι που συναντάται στα περισσότερα ιζηματογενή εδάφη.

Οι βαθιές θεμελιώσεις με κοιτόστρωση και πασσάλους μπορούν να διακριθούν ανάλογα με τις διαστάσεις τους σε «μικρές» ή «μεγάλες». Στη πρώτη περίπτωση, με σχέση επιφάνειας κοιτόστρωσης προς μήκος πασσάλου μικρή, οι πάσσαλοι είναι αναγκαίοι για την εξασφάλιση της φέρουσας ικανότητας της θεμελίωσης. Στην δεύτερη περίπτωση, η φέρουσα ικανότητα εξασφαλίζεται από την πλάκα της κοιτόστρωσης και οι πάσσαλοι τοποθετούνται σε επιλεγμένες θέσεις για την μείωση των συνολικών και των διαφορικών καθιζήσεων. Από τη βιβλιογραφία [6] προκύπτει ότι «μικρές» πασσαλο- κοιτόστρωσεις αντιστοιχούν σε πλάτος κοιτόστρωσης $5m < B < 15m$ και μήκος πασσάλων $L > B$, ενώ στις «μεγάλες» $B > L$.

Η επιλογή των θέσεων και της γεωμετρίας των πασσάλων εξαρτάται από την σχετική ακαμψία πλάκας – εδάφους και την κατανομή του φορτίου εκ της ανωδομής.

Τα δύο δομικά στοιχεία μιας θεμελίωσης πασσαλοκοιτόστρωσης είναι η πλάκα και η ομάδα πασσάλων. Σε μια κοινή κοιτόστρωση η κατανομή των τάσεων εδάφους στην επιφάνεια επαφής πλάκας - εδάφους εξαρτάται από την ακαμψία της πλάκας σε σχέση προς αυτήν του εδάφους. Σε μία θεμελίωση με πασσάλους τριβής η αλληλεπίδραση των επί μέρους πασσάλων με τους γειτονικούς οδηγεί σε μίαν αύξηση των καθιζήσεων της ομάδας σε σύγκριση με αυτή του μεμονωμένου πασσάλου (η καθίζηση ενός προκαλεί «βύθιση» των γειτονικών πασσάλων). Στην περίπτωση της πασσαλοκοιτόστρωσης προστίθεται σαν επιπλέον άγνωστος η μέσω του εδάφους αλληλεπίδραση των επί μέρους πασσάλων με την πλάκα (Εικόνα 2.13).



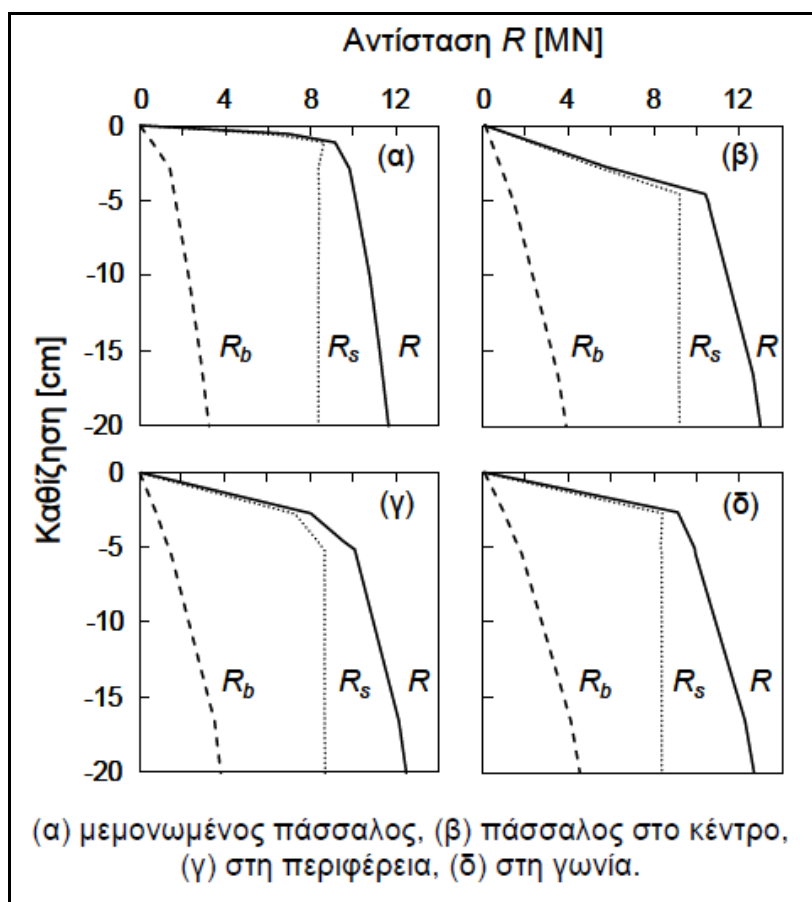
Εικόνα 2.13 Αλληλεπίδραση δομικών στοιχείων πασσαλοκοιτόστρωσης [6]

Οι θεμελιώσεις πασσαλοκοιτόστρωσης κατατάσσονται σαν ασυνήθεις γεωτεχνικές κατασκευές στην ανώτατη Κατηγορία 3 του DIN 1054:2005 και του Ευρωκώδικα 7 (EC-7). Οι απαιτήσεις των έργων αυτών υπερβαίνουν τις απαιτήσεις αυτών των κανονισμών.

Στα παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζονται οι μέθοδοι υπολογισμού, οι αρχές σχεδιασμού και ελέγχου της θεμελίωσης αυτής.

2.7.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Η συμπεριφορά του μεμονωμένου πασσάλου σε θλίψη περιγράφεται από τις γνωστές σχέσεις φορτίου-καθίζησης. Η συνολική αντίσταση χωρίζεται σε αντίσταση αιχμής και αντίσταση πλευρικής τριβής. Η κινητοποίηση γίνεται σε διαφορετικά μεγέθη καθιζήσεων. Η συμπεριφορά ενός πασσάλου μέσα σε μια ομάδα είναι διαφορετική από αυτήν ενός μεμονωμένου πασσάλου. Ένα παράδειγμα υπολογισμένο με πεπερασμένα στοιχεία, που αναφέρεται σε μια ομάδα 25 πασσάλων διαμέτρου $d = 1.50$ m, μήκους $L = 30$ m διατεταγμένων σε τετραγωνικό κάναβο $6d$ δίνεται στη Εικόνα 2.14 [6]. Διακρίνεται η διαφορετική συμπεριφορά των πασσάλων ανάλογα με την θέση τους μέσα στην ομάδα.



Εικόνα 2.14 Συνολική αντίσταση R , αντίσταση αιχμής R_b και αντίσταση πλευρικής τριβής R_s πασσάλων σε ομάδα [6].

Ο υπολογισμός συστημάτων πασσαλοκοιτόστρωσης συνιστά ένα από τα πιο δύσκολα προβλήματα αλληλεπίδρασης εδάφους - κατασκευής. Οι μέθοδοι υπολογισμού μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες [6]:

- α) απλουστευμένες αναλυτικές μέθοδοι,
- β) αριθμητικές μέθοδοι με προσεγγιστικές παραδοχές,
- γ) πιο εξελιγμένες αριθμητικές μέθοδοι με προσομοίωση του συνολικού συστήματος εδάφους-θεμελίωσης.

Οι τελευταίες μέθοδοι έχουν επικρατήσει, μια και παρέχουν τη δυνατότητα της προσομοίωσης του εδάφους με διάφορα καταστατικά μοντέλα όπως αυτά εμπειρικλείονται σε διάφορα προγράμματα [6].

Βασικά όλες οι μέθοδοι επιδιώκουν την πρόγνωση των καθιζήσεων του συνολικού συστήματος. Οι πιο εξελιγμένες μέθοδοι έχουν τη δυνατότητα υπολογισμού των διαφορικών καθιζήσεων, των φορτίων των πασσάλων, των καμπτικών ροπών και των τεμνουσών της πλάκας. Μερικές από τις απλουστευμένες μεθόδους λαμβάνουν υπ' όψη την ανομοιογένεια του εδάφους κατά το βάθος όπως επίσης και την δυσκαμψία της πλάκας. Η μη γραμμική συμπεριφορά του πασσάλου είναι δευτερευούσης σημασίας.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι μέθοδοι που βασίζονται σε καθαρά ελαστικές λύσεις συνεχούς μέσου δίνουν πολύ μεγάλες τιμές δυσκαμψίας για τους πασσάλους κατά μήκος της περιφέρειας (και ακόμη μεγαλύτερες για τους ακραίους) που θεωρούνται μη-ρεαλιστικές και δυσκολεύουν έτσι την εφαρμογή αυτών των λύσεων στην διαστασιολόγηση.

Μια από τις απλουστευμένες μεθόδους ανάλυσης πασσαλοκοιτόστρωσης, που βασίζεται μεταξύ άλλων σε ελαστικές λύσεις των Poulos & Davis αναπτύχθηκε και βελτιώθηκε από τον Randolph [6].

Η μέθοδος αποτελείται από 4 βήματα. Κατ' αρχήν υπολογίζεται η δυσκαμψία του μεμονωμένου πασσάλου K_1 μέσω απλής λύσης. Ο υπολογισμός μετατόπισης του πασσάλου κατά μήκος του επιφανείας του μανδύα γίνεται με τη παραδοχή ότι η κάθετη μετατόπιση προκαλείται από τις διατμητικές τάσεις γύρω από τον πάσσαλο, που μειώνονται με ρυθμό αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης μέχρι μιας μέγιστης ακτίνας επιρροής r_m , κάτι που συνεπάγεται μιας λογαριθμικής απομείωσης των μετατοπίσεων. Η καθίζηση της βάσης υπολογίζεται από τη γνωστή ελαστική λύση της καθίζησης ενός άκαμπτου κυκλικού θεμελίου. Οι δύο αυτές συνιστώσες συνδέονται μεταξύ τους αγνοώντας τη συμβατότητα των μετακινήσεων. Έτσι λαμβάνουμε [6]:

$$K_1 = G_L r_0 \frac{\frac{4}{(1-\nu)\xi} + \frac{2\pi\rho \tanh(\mu L) L}{\zeta \mu L r_0}}{1 + \frac{4 \tanh(\mu L) L}{\pi\lambda(1-\nu)\xi \mu L r_0}} \quad (1)$$

$$\mu\epsilon$$

$$\lambda = E_p / G_L \quad (2)$$

$$\mu L = \sqrt{2/\zeta \lambda} (L / r_0) \quad (3)$$

$$\zeta = \ln \{ [0.25 + (2.5\rho(1-\nu) - 0.25)\xi] L / r_0 \} \quad (4)$$

όπου L , r_0 και E_p είναι το μήκος, η ακτίνα και το μέτρο ελαστικότητας του πασσάλου, G_L το μέτρο διάτμησης του εδάφους στη στάθμη της βάσης του πασσάλου και ν ο λόγος Poisson του εδάφους. ρ είναι ο βαθμός ανομοιογένειας του εδάφους που ορίζεται σαν ο λόγος της μέσης τιμής του μέτρου παραμόρφωσης του εδάφους κατά μήκος του πασσάλου προς την αντίστοιχη τιμή στη βάση του πασσάλου, ενώ ξ είναι ο λόγος του μέτρου παραμόρφωσης του εδάφους στη στάθμη της βάσης του πασσάλου προς τη αντίστοιχη τιμή της στρώσης έδρασης του πασσάλου. Επειδή οι πασσαλοκοιτοστρώσεις κατασκευάζονται κατά κανόνα σαν αιωρούμενες θεμελιώσεις πασσάλων, έχουμε συνήθως $\zeta = 1$. Η ακτίνα επιρροής του πασσάλου r_m δίνεται από την σχέση [6]:

$$r_m = r_0 \cdot \exp(\zeta) \quad (5)$$

Η σχέση (1) αντικατοπτρίζει το γεγονός ότι η πλευρική τριβή κυριαρχεί στη συμπεριφορά των πασσάλων τριβής. Στο επόμενο βήμα υπολογίζεται η δυσκαμψία της ομάδας πασσάλων από την σχέση [6]:

$$K_N = (1 - e) \cdot K_1 \quad (6)$$

όπου N είναι ο αριθμός των πασσάλων, και e ένας συντελεστής αποδοτικότητας που περιγράφει προσεγγιστικά την αλληλεπίδραση των πασσάλων μεταξύ τους και δίνεται από μια βασική τιμή που εξαρτάται από τη λυγηρότητα του πασσάλου και τέσσερις διορθωτικούς συντελεστές c_1 έως c_4 [6]:

$$e = e_1(L / d) \cdot c_1(\lambda) \cdot c_2(s / d) \cdot c_3(\rho) \cdot c_4(\nu) \quad (7)$$

όπου s είναι η μέση απόσταση των πασσάλων μέσα στην ομάδα. Ισχύουν οι ακόλουθες εξισώσεις [6]:

$$e_1 = (L/d)^3 \cdot 4.5 \cdot 10^{-7} - (L/d)^2 \cdot 9.0 \cdot 10^{-5} + (L/d) \cdot 4.9 \cdot 10^{-3} + 0.47 \quad (8)$$

$$c_1 = -(\log_{10}(\lambda))^3 \cdot 3.8 \cdot 10^{-2} + (\log_{10}(\lambda))^2 \cdot 0.28 - \log_{10}(\lambda) \cdot 0.45 + 0.85 \quad (9)$$

$$c_2 = -(s/d)^3 \cdot 2.5 \cdot 10^{-4} + (s/d)^2 \cdot 9.6 \cdot 10^{-3} - (s/d) \cdot 0.13 + 1.32 \quad (10)$$

$$c_3 = -\rho^2 \cdot 0.20 + \rho \cdot 0.56 + 0.69 \quad (11)$$

$$c_4 = -v^2 \cdot 0.14 - v \cdot 0.20 + 1.07 \quad (12)$$

Οι εξισώσεις αυτές ισχύουν για $10 \leq L/d \leq 100$, $2 \leq \log_{10}(\lambda) \leq 4$, $0,5 \leq \rho \leq 1$ και $0 \leq v \leq 0,5$.

Αξιοσημείωτο είναι ότι για κοντούς φρεατοπασσάλους με $d = 1.20$ m και $L = 12$ m, που αποτελούν μια τυπική εφαρμογή πασσαλοκοιτοστρώσεων σε άμμο, προσεγγίζεται ήδη το κάτω όριο του πεδίου τιμών εφαρμογής των παραπάνω εξισώσεων, κάτι που δείχνει ότι η μέθοδος αναπτύχθηκε για μακρείς πασσάλους.

Στο επόμενο βήμα υπολογίζεται από ελαστικές λύσεις η κατακόρυφη στατική δυσκαμψία K_r μιας άκαμπτης πλάκας. Για κάτοψη τυχόντος σχήματος και εμβαδού A_r εγγεγραμμένης σε τετραγώνο των διαστάσεων $b \times a$, με $b > a$ μπορεί να εφαρμοστεί η ακόλουθη προσεγγιστική λύση [6]:

$$K_r = \frac{G \cdot b}{(1-\nu)} \left[0.73 + 1.54(A_r / b^2)^{0.75} \right] \quad (13)$$

όπου G είναι η αντιπροσωπευτική μέση τιμή του μέτρου διάτμησης του εδάφους.

Η μερική ακαμψία της πλάκας μπορεί να ληφθεί υπ' όψη μέσω ενός απομειωτικού συντελεστή που λαμβάνει τιμές μεταξύ 1 για απόλυτα άκαμπτη και περίπου 0.80 για απόλυτα εύκαμπτη πλάκα.

Το πιο κρίσιμο σημείο της ανάλυσης αφορά το τρίτο βήμα, δηλαδή την αλληλεπίδραση μεταξύ του στοιχείου της πλάκας και του πασσάλου, η οποία περιγράφεται από το συντελεστή α_{rp} [6]:

$$\alpha_{rp} = \frac{\ln(r_m / r_{r,eq})}{\ln(r_m / r_0)} = 1 - \frac{\ln(r_{r,eq} / r_0)}{\zeta} \quad (14)$$

όπου $r_{r,eq}$ είναι η ισοδύναμη ακτίνα της επιφάνειας του τμήματος της πλάκας που αντιστοιχεί σε ένα πάσσαλο.

Στο τελευταίο βήμα υπολογίζεται η δυσκαμψία της συνολικής θεμελίωσης [6]:

$$K_{pr} = \frac{K_p + K_r(1 - 2\alpha_{rp})}{1 - \alpha_{rp}^2 K_r / K_p} \quad (15)$$

Από την δυσκαμψία της συνολικής θεμελίωσης και το συνολικό ενεργό φορτίο P υπολογίζεται απ' ευθείας η μέση καθίζηση της θεμελίωσης. Το ποσοστό φορτίου που παραλαμβάνεται από τη πλάκα είναι

$$\beta = \frac{P_r}{P} = \frac{K_r(1 - \alpha_{rp})}{K_p + K_r(1 - 2\alpha_{rp})} \quad (16)$$

όπου P_r το φορτίο της πλάκας. Το υπόλοιπο παραλαμβάνεται από την ομάδα πασσάλων. Από τις παραπάνω λύσεις υπολογίζονται έτσι η μέση τιμή του δείκτη του εδάφους, της σταθεράς ελατηρίου πασσάλου [6]:

$$c_p(s) = \frac{(1 - \beta) \cdot K_{pr}}{N} \quad (17)$$

όπως επίσης του συντελεστή που εκφράζει το λόγο της δυσκαμψίας της ομάδας προς το σύνολο των δυσκαμψιών των επί μέρους πασσάλων [6]:

$$\eta_w(s) = \frac{K_p(s)}{N \cdot K_1} \quad (18)$$

Οι παραπάνω σχέσεις μπορούν εύκολα να προγραμματιστούν σε ένα φύλλο εργασίας και να εφαρμοστούν με μορφή ελατηρίων Winkler στην προκαταρκτική διαστασιολόγηση της θεμελίωσης και της ανωδομής.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι παραπάνω εξισώσεις ισχύουν μόνο όταν η δυσκαμψία της ομάδας πασσάλων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν της πλάκας πολλαπλασιασμένη με τον συντελεστή αλληλεπίδρασης [6]:

$$K_p \geq K_r \cdot \alpha_{rp} \quad (19)$$

Με άλλα λόγια η λύση δεν είναι κατάλληλη για συστήματα πασσαλοκοιτοστρώσεων, που αποτελούνται από λίγους πασσάλους τοποθετημένους - για την μείωση των καθιζήσεων - μόνο στο κέντρο της θεμελίωσης.

Μια προσέγγιση για την περίπτωση αυτή είναι η προσομοίωση της ομάδας πασσάλων με ένα ιδεατό ενιαίο βάθρο αποτελούμενο από τους πασσάλους και τη μεταξύ αυτών ευρισκόμενη εδαφική μάζα. Με εφαρμογή ενός αξονοσυμμετρικού γεωτεχνικού μοντέλου υπολογίζονται ακολούθως οι παραμορφώσεις και οι καμπτικές

ροπές της πλάκας όπως επίσης και το ποσοστό φορτίου που παραλαμβάνεται από το ιδεατό βάθρο. Έτσι εκτιμάται ο δείκτης εδάφους για το τμήμα της πλάκας εκτός του βάθρου. Θεωρώντας το βάθρο σαν πασσαλοκοιτόστρωση μπορούμε να το αναλύσουμε με την παραπάνω μέθοδο [6] και να υπολογίσουμε τον δείκτη εδάφους για το τμήμα της πλάκας εντός του βάθρου και την μέση τιμή της σταθεράς ελατηρίου των πασσάλων.

Η μέθοδος που παρουσιάστηκε μπορεί να παρομοιαστεί με ένα «πεπερασμένο δάσος πασσάλων», μια και δεν γίνεται καμία διάκριση ανάλογα με την θέση του πασσάλου μέσα στην ομάδα. Στην περίπτωση που για λόγους βελτιστοποίησης του φέροντος οργανισμού της ανωδομής η κατανομή των πασσάλων είναι ακανόνιστη και το μήκος τους μεταβλητό, η μέθοδος αυτή χρειάζεται βελτίωση. Μία απλουστευμένη μέθοδος [6] λαμβάνει υπ' όψη την λόγω της αλληλεπίδρασης μεγαλύτερη δυσκαμψία των ακραίων πασσάλων σε σχέση με αυτούς που βρίσκονται στο κέντρο της πλάκας.

Για τον υπολογισμό αυτό θεωρούμε ότι ο κάθε πάσσαλος επηρεάζεται από 4 γειτονικούς «αντίπαλους» πασσάλους. Για τους πασσάλους που βρίσκονται στην άκρη της θεμελίωσης, σαν γειτονικός θεωρείται ένας ιδεατός πάσσαλος σε απόσταση r_m , που περιγράφει την ακτίνα επιρροής του μεμονωμένου πασσάλου σύμφωνα με την σχέση (5). Έτσι υπολογίζεται για τον συγκεκριμένο πάσσαλο j μια μέση απόσταση s_j η οποία εφαρμόζεται σε μια ιδεατή ομάδα 4×4 πασσάλων για τον υπολογισμό με την μέθοδο που παρουσιάστηκε παραπάνω του λόγου δυσκαμψίας $\eta_w(s_j)$ σύμφωνα με την σχέση (18). Η βελτιωμένη σταθερά ελατηρίου του πασσάλου j λαμβάνεται ως εξής [6]:

$$c_p(s_j) = c_p(s) \frac{\eta_{w,16}(s_j)}{\eta_{w,16}(s)}, \quad j = 1, N \quad (20)$$

Με αυτή τη διαδικασία υπολογίζεται η επίδραση της σχετικής πυκνότητας των πασσάλων στις διάφορες θέσεις. Η επίδραση του μήκους του κάθε πασσάλου στην δυσκαμψία του εκτιμάται με βάση την παραδοχή ότι η αύξηση της δυσκαμψίας οφείλεται μόνο στην αύξηση της πλευρικής τριβής λόγω μεγαλύτερου μήκους.

Όσον αφορά την επίδραση της έντασης των παραμορφώσεων, χρησιμοποιείται μια απλή προσέγγιση της μη-γραμμικής σχέσης φορτίου-παραμόρφωσης [6]:

$$G/G_{\max} = 1 - f(q/q_u)^g \quad (21)$$

με τιμές $f = 1$, $g = 0,3$, όπου G είναι το ενεργό μέτρο διάτμησης, G_{\max} είναι η αντίστοιχη τιμή για πολύ μικρές παραμορφώσεις, q το ενεργό φορτίο και q_u η φέρουσα ικανότητα του πασσάλου. Αν δηλαδή στον πάσσαλο 1 το φορτίο αντιστοιχεί στο 50% της φέρουσας ικανότητας του ενώ στον πάσσαλο 2 στο 60% η δυσκαμψία του δεύτερου είναι ίση με το 76% της δυσκαμψίας του πρώτου. Η φέρουσα ικανότητα εκτιμάται ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες από εμπειρικές σχέσεις.

Την πιο προηγμένη μέθοδο αποτελεί η χρήση αριθμητικών μεθόδων (κυρίως πεπερασμένων στοιχείων) και μη-γραμμική προσομοίωση της συμπεριφοράς του εδάφους με κατάλληλο καταστατικό μοντέλο. Οι αντίστοιχοι υπολογισμοί γίνονται

συνήθως στην τελική φάση σχεδιασμού και ιδίως όταν τα γειτονικά κτίρια είναι ευαίσθητα σε διαφορικές καθιζήσεις. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει δυνατότητα τριδιάστατης προσομοίωσης του συστήματος, χρησιμοποιείται προσεγγιστικά ένα διδιάστατο μοντέλο, όπου κάθε σειρά πασσάλων προσομοιάζεται προς ένα συνεχή τοίχο μειωμένης πλευρικής αντίστασης.

Όσον αφορά την συμπεριφορά πασσαλοκοιτοστρώσεων σε σεισμική διέγερση η υπάρχουσα εμπειρία είναι πολύ περιορισμένη. Αναλύσεις για οριζόντια φόρτιση περιγράφονται στη βιβλιογραφία [6].

2.7.2 ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Στην περιοχή της Γερμανίας, η πασσαλοκοιτόστρωση χρησιμοποιείται σαν αναγνωρισμένη μέθοδος θεμελίωσης από το 1990. Οι Οδηγίες που δημοσιεύθηκαν σχετικά πρόσφατα περιγράφουν[6]:

- Απαιτήσεις γεωτεχνικών ερευνών (εργαστηριακών και επί τόπου)
- Απαιτήσεις επιλογής αξιόπιστων μεθόδων υπολογισμού
- Καθορισμό μεθόδων ελέγχου οριακής κατάστασης αστοχίας και οριακής κατάστασης λειτουργικότητας
- Καθορισμό ορίων εφαρμογής θεμελιώσεων πασσαλοκοιτόστρωσης
- Απαιτήσεις εποπτείας σχεδιασμού θεμελιώσεων πασσαλοκοιτόστρωσης
- Συστάσεις σχετικά με την εκτέλεση έργων θεμελιώσεων πασσαλοκοιτόστρωσης
- Απαιτήσεις συστήματος επι τόπου ποιοτικού ελέγχου κατά την κατασκευή
- Απαιτήσεις καταγραφής και ελέγχου της σχέσης φορτίου-καθίζησης (εφαρμογή μεθόδου παρατήρησης).

Η υπολογιστική μέθοδος που θα επιλεγεί πρέπει να λαμβάνει υπ' όψη την αλληλεπίδραση μεταξύ πασσάλου, πλάκας και εδάφους. Η εκτέλεση στατικών δοκιμαστικών φορτίσεων πασσάλων απαιτείται για τον έλεγχο καταλληλότητας του υπολογιστικού μοντέλου στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει εμπειρία έργου σε παρόμοιες εδαφικές συνθήκες.

Η εφαρμογή της μεθόδου παρατήρησης απαιτεί επιπλέον έξοδα, τα οποία όμως αποσβένονται αφού η πασσαλοκοιτόστρωση οδηγεί σε μια οικονομικότερη λύση σε σύγκριση με την απλή κοιτόστρωση ή την θεμελίωση με πασσάλους.

Σημαντικές είναι οι απαιτήσεις εποπτείας σχεδιασμού, εφόσον δεν υπάρχει αντίστοιχος κανονισμός για αυτόν τον τύπο θεμελίωσης. Ο έλεγχος επάρκειας θεμελίωσης απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή λόγω της δύσκολης προσομοίωσης του εδάφους με καταστατικούς νόμους και της μη- γραμμικής αλληλεπίδρασης εδάφους-θεμελίωσης. Οι Οδηγίες υιοθετούν τις αρχές του DIN 1054 διακρίνοντας μεταξύ ελέγχου οριακής κατάστασης αστοχίας και οριακής κατάστασης λειτουργικότητας.

A. Έλεγχος Οριακής Κατάστασης Αστοχίας [6]

Στον έλεγχο επάρκειας έναντι υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας γίνεται εφαρμογή στο προσομοιωμένο μικτό σύστημα θεμελίωσης ενός συνολικού συντελεστή ασφαλείας η σε αντίθεση με την μέθοδο των επιμέρους συντελεστών που προβλέπει ο Ευρωκώδικας EC-7 για συνήθεις τύπους θεμελίωσης [6]:

$$\eta \cdot \sum_{i=1}^n F_{k,i} \leq R_{1,tot,k} \quad (22)$$

όπου $F_{k,i}$ και $R_{1,tot,k}$ είναι οι χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων και της συνολικής αντίστασης αντίστοιχα. Για μόνιμη δομοστατική δράση ο συντελεστής η λαμβάνεται ίσος με 2.

Η εκτίμηση της αντίστασης $R_{1,tot,k}$ γίνεται με βάση την προκαλούμενη συνολική καθίζηση αυξάνοντας δηλαδή το φορτίο στο σημείο όπου η τιμή της αρχίζει να αυξάνει με ταχύτερο ρυθμό.

Για συνήθεις συνθήκες (ομοιογενές έδαφος και κεντρική, μη-δυναμική φόρτιση) επιτρέπεται η χρήση της απλουστευμένης μεθόδου, όπου ελέγχεται η φέρουσα ικανότητα της πλάκας χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψη η επιπλέον αντίσταση που προέρχεται από τους πασσάλους. Ο έλεγχος γίνεται με εφαρμογή επιμέρους συντελεστών, και για υψηλά κτίρια ικανοποιείται λόγω του μεγέθους της κοιτόστρωσης. Μια βασική διαπίστωση είναι ότι δεν απαιτείται έλεγχος της φέρουσας ικανότητας του πασσάλου.

Η εσωτερική αντοχή του πασσάλου σαν φέρον στοιχείο ελέγχεται λόγω της μη-γραμμικής συμπεριφοράς του συστήματος με δύο διαφορετικούς τρόπους [6]:

- α) Υπολογισμός δυνάμεων και ροπών με χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων,
- β) υπολογισμός με αυξημένες τιμές δράσεων (συντελεστής $\eta = 2$) και διαίρεση δυνάμεων και ροπών με η .

Η δυσμενέστερη τιμή εισάγεται στη διαστασιολόγηση.

B Έλεγχος Οριακής Κατάστασης Λειτουργικότητας [6]

Οι απαιτήσεις λειτουργικότητας ικανοποιούνται όταν

$$E \left(\sum_{i=1}^n F_{k,i} \right) \leq C \quad (23)$$

Το αποτέλεσμα E των δράσεων $F_{k,i}$ υπολογίζεται με τη βοήθεια κατάλληλου μοντέλου με τις χαρακτηριστικές τιμές φορτίων και εδαφικών παραμέτρων. Η αποδεκτή τιμή παραμόρφωσης C αντιστοιχεί στην επιτρεπόμενη καθίζηση της πασσαλοκοιτόστρωσης, όπως αυτή καθορίζεται από τις απαιτήσεις αναφορικά με συνδέσεις αγωγών, καθιζήσεις γειτονικών κτιρίων ή την παραμόρφωση του ίδιου του κτιρίου.

Ο έλεγχος αυτός είναι και ο πιο κρίσιμος για την διαστασιολόγηση, μια και η αξιόπιστη εκτίμηση παραμορφώσεων απαιτεί ακριβή προσομείωση της θεμελίωσης και του εδάφους. Μετρήσεις σε κτίρια δείχνουν ότι - ακόμη και σε ομοιόμορφο έδαφος, συμμετρικό κτίριο και συμμετρική φόρτιση- οι διαφορικές καθιζήσεις μπορεί να λάβουν τιμές της τάξης του 30% έως 50% της μέσης συνολικής καθίζησης.

Ο έλεγχος εσωτερικής λειτουργικότητας των πασσάλων αφορά το περιορισμό του εύρους ρωγμών. Η πλάκα ελέγχεται επιπλέον για διαφορικές μετατοπίσεις που μπορεί να προκαλέσουν στρέβλωση των δομικών στοιχείων της ανωδομής.

Σαν ενεργό φορτίο που προκαλεί καθιζήσεις λαμβάνεται συνήθως το μόνιμο συν ένα ποσοστό της τάξης του 30 έως 50% του κινητού φορτίου εκ της ανωδομής.

Γ. Παρακολούθηση Συμπεριφοράς Θεμελίωσης [6]

Η παρακολούθηση και καταγραφή της συμπεριφοράς της θεμελίωσης αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο του σχεδιασμού εξασφάλισης απαιτούμενου επιπέδου ασφαλείας του κτιρίου και εξυπηρετεί τις ακόλουθες ανάγκες:

- Επαλήθευση του υπολογιστικού προσομοιώματος και των παραδοχών που έγιναν σχετικά με τις εδαφικές παραμέτρους
- Έγκαιρη εντόπιση κρίσιμων καταστάσεων
- Παρατήρηση της εξέλιξης των καθιζήσεων κατά την κατασκευή.

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει τις εξής μετρήσεις:

- Σχέση φορτίου-καθίζησης της θεμελίωσης με γεωδαιτικές μεθόδους
- Κατανομή φορτίου σε πλάκα και πασσάλους μέσω καταγραφής
 - α) των τάσεων επαφής στην διεπιφάνεια εδάφους-πλάκας και
 - β) των φορτίων των πασσάλων
- Φέρουσα ικανότητα αντιπροσωπευτικών πασσάλων (κεντρικών, περιφερειακών, γωνιακών) με μέτρηση της δύναμης στη κεφαλή και στη βάση όπως επίσης της εξέλιξης της πλευρικής τριβής κατά μήκος του πασσάλου
- Κατανομή παραμορφώσεων εδάφους με το βάθος.

Σε απλές περιπτώσεις επαρκεί η μέτρηση της σχέσης φορτίου-καθίζησης. Εφαρμογές με περιγραφές των οργάνων μέτρησης δίνονται σε επόμενο κεφάλαιο στην παρουσίαση εκτελεσθέντων έργων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΕΡΓΑ

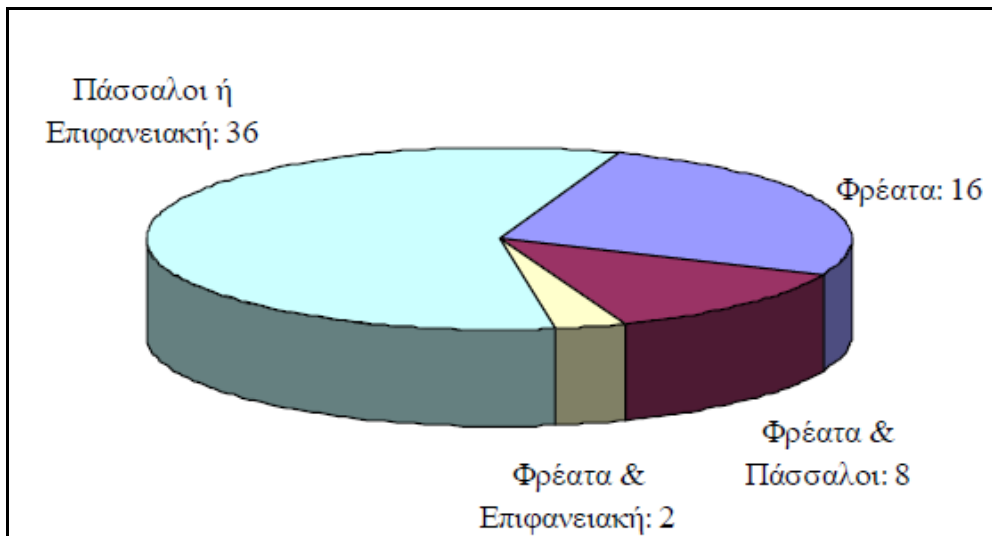
3.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΕΑΤΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΓΕΦΥΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟ

Η Εγνατία Οδός είναι ένας αυτοκινητόδρομος μήκους 670 χλμ, ο οποίος εκτείνεται από το λιμάνι της Ηγουμενίτσας, έως τους Κήπους στα Ελληνοτουρκικά σύνορα. Οι υψηλές προδιαγραφές της Εγνατίας Οδού και το δυσχερές μορφολογικό ανάγλυφο που διασχίζει, επέβαλαν την κατασκευή πολλών και συχνά μεγάλων γεφυρών. Στο άξονα του αυτοκινητόδρομου περιλαμβάνονται 259 γέφυρες, πολλές από τις οποίες παρουσιάζουν πρωτόγνωρα χαρακτηριστικά για τα ελληνικά αλλά και για τα διεθνή δεδομένα, ως προς το άνοιγμα, το ύψος βάθρων, τη σεισμική καταπόνηση και τις εδαφικές συνθήκες θεμελίωσης [7]. Τα εγκιβωτισμένα θεμέλια μεγάλων διαστάσεων, αποτελούν το κύριο είδος θεμελίωσης των γεφυρών μεγάλων ανοιγμάτων σε επικλινή εδάφη στον άξονα της Εγνατίας Οδού (Εικόνα 3.1).

Η θεμελίωση με φρέατα πάκτωσης εφαρμόζεται ευρέως στις μεγάλες γέφυρες της Εγνατίας Οδού και ιδιαίτερα στις γέφυρες της Ηπείρου, της Δυτικής Μακεδονίας, της παράκαμψης της Καστανιάς και της παράκαμψης της Καβάλας. Οι 51 γέφυρες που θεμελιώνονται με το συγκεκριμένο τρόπο, αντιστοιχούν στο 20 % των γεφυρών του αυτοκινητόδρομου [7]. Σε πολλές από αυτές τα φρέατα πάκτωσης αποτελούν το μοναδικό είδος θεμελίωσης όλων των βάθρων, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις οι γέφυρες θεμελιώνονται με διαφορετικό τρόπο σε κάθε βάθρο. Η πρώτη εφαρμογή του συγκεκριμένου τύπου θεμελίωσης πραγματοποιήθηκε στις έξι Χαραδρογέφυρες της παράκαμψης της Καβάλας. Οι γέφυρες του Μετσοβίτικου ποταμού, του Βοτονοσίου και του Αράχθου ποταμού είναι ορισμένες από τις γέφυρες της Εγνατίας Οδού που έχουν θεμελιωθεί με φρέατα. Παρακάτω (Εικόνα 3.2) παρουσιάζεται η κατανομή των μεγάλων γεφυρών της Εγνατίας Οδού ανάλογα με το είδος της θεμελίωσης.



Εικόνα 6 Χαραδρογέφυρα θεμελιωμένη με φρέατα πάκτωσης, στο τμήμα Πολύμυλος- Βέροια της Εγνατίας Οδού [7].



Εικόνα 3.2 Κατανομή των μεγάλων γεφυρών της Εγνατίας Οδού, ανάλογα με το είδος της θεμελίωσής τους [7].

Το φρέαρ πάκτωσης ή εναλλακτικά φρέαρ θεμελίωσης περιγράφεται ως στοιχείο εγκιβωτισμένου θεμελίου κυκλικού συνήθως σχήματος, διαμέτρου μεγαλύτερης των 5 m, το οποίο εκτείνεται σε μεγάλο βάθος ($L \geq 6 \div 7$ m) και πληρούται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα στοιχεία αυτά, διαφέρουν από τους κλασικούς τύπους φρεατοπασσάλων, ως προς τις διαστάσεις τους, το σχεδιασμό, τον τρόπο λειτουργίας και τον τρόπο κατασκευής τους.

Η επιλογή των συγκεκριμένων στοιχείων θεμελίωσης προκύπτει κυρίως από την ανάγκη θεμελίωσης γεφυρών μεγάλων ανοιγμάτων, με μεγάλα σεισμικά φορτία, σε δύσκολες μορφολογικά περιοχές, όπως είναι τα απότομα επικλινή εδάφη (χαράδρες, κοιλάδες κλπ). Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις, η επιλογή θεμελίωσης με κλασικά στοιχεία ομάδας πασσάλων συναντά δυσκολίες για τους εξής λόγους [7]:

- Κατασκευή κεφαλόδεσμων μεγάλων διαστάσεων και των συνεπακόλουθων εκτεταμένων ανοικτών εκσκαφών, που απαιτούνται.
- Μειωμένη πλευρική αντοχή των πασσάλων κοντά σε περιοχές με έντονες κλίσεις, σε σχέση με αυτή που αναπτύσσεται αντίστοιχα για οριζόντιες κλίσεις του φυσικού εδάφους.
- Δυσκολία διάτρησης των φρεατοπασσάλων σε βραχώδεις σχηματισμούς μεγάλης αντοχής.

Οι παραπάνω λόγοι συνιστούν τα βασικά κριτήρια επιλογής λύσης θεμελίωσης με φρέατα πάκτωσης. Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου περιλαμβάνεται επίσης, η συνέχεια του βάθρου της γέφυρας προς το θεμέλιο, η οποία επιτυγχάνεται χωρίς την παρεμβολή κεφαλόδεσμου. Η δυνατότητα ανάπτυξης αυξημένης πλευρικής και στρωφικής αντίστασης ακόμη και σε ιδιαίτερα επικλινείς περιοχές ή σχηματισμούς χαμηλής αντοχής, λόγω των μεγάλων διαστάσεων των συγκεκριμένων θεμελίων (διάμετρος $D > 5$ m, βάθη εκσκαφής $L \geq 6 \div 7$ m).

Πρόσθετο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου τρόπου θεμελίωσης αποτελεί η δυνατότητα γεωλογικής χαρτογράφησης του εδαφικού προφίλ του εδάφους θεμελίωσης και της επαλήθευσης των παραδοχών του αρχικού σχεδιασμού κατά τη

διάρκεια της κατασκευής, αναφορικά με την κατάσταση του περιβάλλοντος μέσου (έδαφος θεμελίωσης). Σε περίπτωση δε εμφάνισης δυσμενέστερων συνθηκών από τις αρχικά εκτιμώμενες, παρέχεται η δυνατότητα άμεσης αντιμετώπισης, με αύξηση του βάθους θεμελίωσης του φρέατος.

Η διαβίβαση των φορτίων της ανωδομής μέσω φρεάτων πάκτωσης έχει υιοθετηθεί σε περιπτώσεις θεμελίωσης εντός ισχυρών βραχωδών σχηματισμών (δυσκολία διάτρησης), εντός εδαφικών σχηματισμών χαμηλής γενικά αντοχής, σε περιοχές κατολισθήσεων, ερπυστικών φαινομένων κλπ. Η δυνατότητα ανάπτυξης σημαντικής αξονικής και πλευρικής αντίστασης εξασφαλίζει χαμηλές τιμές μετακινήσεων στην κεφαλή του θεμελίου, συγκριτικά με τις λύσεις θεμελίωσης με τυπικούς φρεατοπασσάλους και για το λόγο αυτό προσφέρονται για θεμελιώσεις φορέων που μεταβιβάζουν υψηλές τιμές εντατικών μεγεθών στη θεμελίωση, όπως οι μεγάλες γέφυρες της Εγνατίας Οδού.

Βασικό μειονέκτημα των φρεάτων πάκτωσης είναι το υψηλό κόστος κατασκευής, λόγω της ιδιαιτερότητας του εξοπλισμού, η δυσκολία κατασκευής σε εδάφη με φαινόμενα αρτεσιανισμού και γενικότερα με υψηλή στάθμη υπογείων υδάτων, καθώς απαιτούν δαπανηρές εργασίες αποστράγγισης.

3.1.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΦΡΕΑΤΩΝ ΠΑΚΤΩΣΗΣ

Ο σχεδιασμός θεμελίωσης με φρέατα πάκτωσης περιλαμβάνει τη διαστασιολόγηση στοιχείου θεμελίωσης υποβαλλόμενου σε συνδυασμό αξονικής και εγκάρσιας (οριζόντιας – καμπτικής) φόρτισης στην κεφαλή. Κύριο κριτήριο σχεδιασμού αναδεικνύεται πρωτίστως η μέγιστη επιτρεπτή παραμόρφωση του θεμελίου για την παραλαβή εγκάρσιων φορτίων και δευτερευόντως η φέρουσα ικανότητα σε αξονική φόρτιση. Η διαδικασία σχεδιασμού που περιγράφεται στην παρούσα παράγραφο προέρχεται από το κείμενο της πηγής [7].

Απόκριση σε Αξονική Φόρτιση: Η φέρουσα ικανότητα του στοιχείου θεμελίωσης σε αξονική φόρτιση, όπως και στην περίπτωση των φρεατοπασσάλων, αναλύεται: στην αντοχή λόγω πλευρικών τριβών στην παράπλευρη επιφάνεια (κατακόρυφες διατμητικές τάσεις) και στην αντίσταση αιχμής στη βάση του φρέατος. Για την προοδευτική ανάπτυξη τόσο της αξονικής οριακής πλευρικής τριβής, όσο και της αξονικής αντοχής της αιχμής στη βάση, απαιτείται σχετική μετακίνηση της θεμελίωσης ως προς το περιβάλλον μέσο, που εξαρτάται από τις διαστάσεις του φρέατος και το είδος του εδάφους. Η διαδικασία υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας και των καθιζήσεων υπό την κατακόρυφη φόρτιση σχεδιασμού περιγράφεται αναλυτικά από συγγράμματα τις διεθνούς βιβλιογραφίας [7].

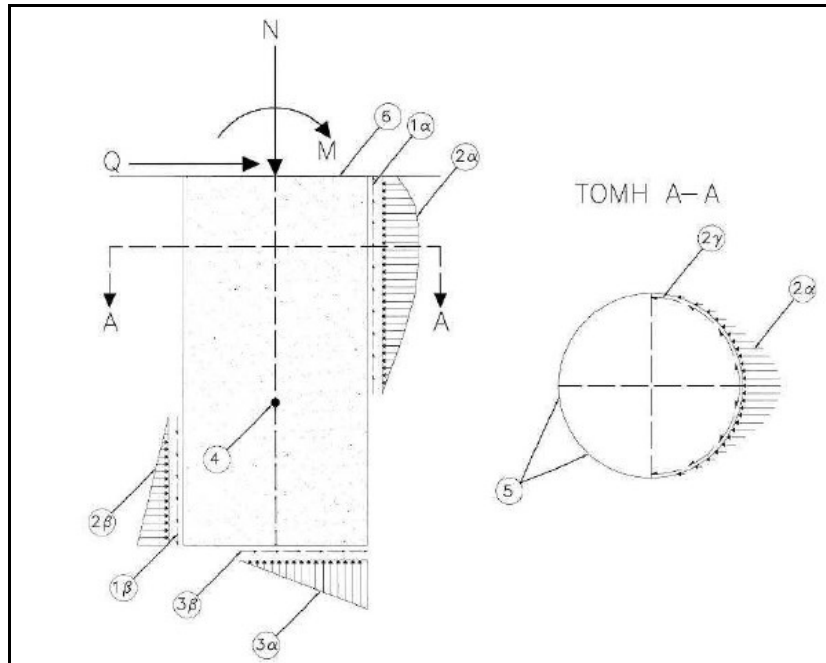
Γενικός κανόνας είναι, ότι η πλήρης ανάπτυξη της φέρουσας ικανότητα λόγω πλευρικών τριβών, η τιμή της οποίας εξαρτάται σημαντικά από τον τρόπο διάνοιξης του φρέατος και τις εδαφικές συνθήκες, προηγείται στις περισσότερες περιπτώσεις της αντίστοιχης ανάπτυξης αξονικής αντίστασης αιχμής στη βάση του στοιχείου [7].

Απόκριση σε Εγκάρσια Φόρτιση: Η αξονική φόρτιση του εγκιβωτισμένου θεμελίου, κατά κανόνα συνδυάζεται και με σημαντικά εγκάρσια φορτία (οριζόντια φορτία και ροπές). Συνεπώς ο μηχανισμός απόκρισης του συστήματος θεμέλιο – περιβάλλον μέσο γίνεται πιο σύνθετος, λόγω της συμμετοχής περισσότερων του ενός γεωμετρικών και μηχανικών παραμέτρων.

Παρακάτω (Εικόνα 3.3) απεικονίζεται σκαριφηματικά ο τρόπος ανάπτυξης της αντίστασης ενός εγκιβωτισμένου θεμελίου υπό εγκάρσια και αξονική φόρτιση. Παρουσιάζεται επίσης, η τυπική περίπτωση ενός εγκιβωτισμένου θεμελίου κυλινδρικής μορφής, με οριζόντια στάθμη φυσικού εδάφους, το οποίο τείνει να περιστραφεί γύρω από το θεωρητικό σημείο στροφής Ο, ευρισκόμενο υψηλότερα από τη στάθμη έδρασης του θεμελίου.

Η μέγιστη οριακή αντοχή ενός φρέατος πάκτωσης σε εγκάρσια και αξονική φόρτιση είναι συνάρτηση της πλευρικής αντοχής των παρειών της θεμελίωσης και της αντοχής στη βάση του στοιχείου. Παρατηρείται μια σύνθετη κατανομή ορθών και διατμητικών τάσεων στην παράπλευρη επιφάνεια και στη βάση, οι οποίες αναπτύσσονται ως αντιστάσεις στην επιβαλλόμενη φόρτιση. Διακρίνονται δε τρεις θεμελιώδεις μηχανισμοί ανάπτυξης της αντίστασης του περιβάλλοντος μέσου [7]:

1. Μετωπική Παθητική Αντίσταση της παράπλευρης επιφάνειας, λόγω της ανάπτυξης οριζόντιων, μετωπικών ορθών τάσεων και οριζόντιων διατμητικών τάσεων, λόγω τριβών στην περιφέρεια του φρέατος [7]. Η συνισταμένη ολική οριζόντια παθητική αντίσταση είναι αποτέλεσμα των μετωπικών ορθών τάσεων και των οριζόντιων πλευρικών διατμητικών τάσεων λόγω τριβών στην περιφέρεια του φρέατος και περιγράφει την ενδοσιμότητα του περιβάλλοντος εδάφους για εγκάρσια φόρτιση, δηλαδή μετακίνηση και στροφή της κεφαλής. Υιοθετώντας ελατηριωτό εδαφικό προσομοίωμα η αντίσταση αυτή θα μπορούσε να εκφρασθεί με την υιοθέτηση οριζοντίων μετακινησιακών ελατηρίων στην παράπλευρη επιφάνεια.
2. Κατακόρυφη Αντίσταση της παράπλευρης επιφάνειας λόγω ανάπτυξης κατακορύφων διατμητικών τάσεων στην παράπλευρη επιφάνεια του φρέατος. Οι τάσεις περιγράφουν τόσο την αντίσταση των παρειών της εκσκαφής κατά την κατακόρυφη διεύθυνση (κατακόρυφα ελατήρια πλευρικής τριβής), όσο και τη στρεπτική αντίστασή τους. Υιοθετώντας ελατηριωτό εδαφικό προσομοίωμα η αντίσταση αυτή θα μπορούσε να εκφρασθεί με τη βοήθεια κατακορύφων μετακινησιακών ελατηρίων καθώς και στροφικών ελατηρίων κατανεμημένων καθ' ύψος [7].
3. Αντίσταση της βάσης έδρασης του φρέατος δια της ανάπτυξης ορθών κατακορύφων τάσεων και οριζόντιων διατμητικών τάσεων. Οι συγκεκριμένες τάσεις περιγράφουν την αντίσταση της βάσης έδρασης του θεμελίου κατά την κατακόρυφη διεύθυνση (αντίσταση αιχμής), την οριζόντια διεύθυνση (οριζόντια αντίσταση τριβής) και σε στροφή. Υιοθετώντας ελατηριωτό εδαφικό προσομοίωμα η αντίσταση αυτή θα μπορούσε να εκφρασθεί δια οριζοντίου μετακινησιακού και στροφικού ελατηρίου στη βάση του φρέατος.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- (1α) (1β) Διατμητικές τάσεις στην περιφέρεια, οι οποίες δρουν κατά την κατακόρυφη διεύθυνση
- (2α) (2β) Οριζόντιες μετωπικές ορθές τάσεις (μετωπική παθητική αντίσταση)
- (2γ) Οριζόντια πλευρική τριβή στην περιφέρεια του φρέατος.
Η συνισταμένη οριζόντια αντίδραση είναι συνάρτηση της πλευρικής τριβής στην περιφέρεια του φρέατος και της οριζόντιας μετωπικής παθητικής αντίστασης (2α & 2γ)
- (3α) Ορθές τάσεις στη βάση
- (3β) Διατμητικές τάσεις τριβής στη βάση
- (4) Θεωρητικό σημείο στροφής του στοιχείου
- (5) Περιοχή πιθανής αποκόλλησης (πολύ μεγάλες παραμορφώσεις)
- (6) Στάθμη κεφαλής φρέατος

Εικόνα 3.3 Συνοπτική απεικόνιση του μηχανισμού λειτουργίας του φρέατος πάκτωσης [7].

Η βαθμονόμηση των ελατηρίων για την προσομοίωση της αλληλεπίδρασης φρέατος-εδάφους πραγματοποιείται βάσει κατάλληλων αναλυτικών μεθόδων της διεθνούς βιβλιογραφίας για εγκιβωτισμένα θεμέλια [7]. Οι παραπάνω μηχανισμοί ανάπτυξης της εδαφικής αντίστασης θεωρούνται θεμελιώδεις για το συγκεκριμένο πρόβλημα αλληλεπίδρασης. Ωστόσο, η ανάπτυξη των αντίστοιχων ορθών και διατμητικών τάσεων επαφής είναι επιπλέον συνάρτηση των σχετικών παραμορφώσεων μεταξύ θεμελίωσης και περιβάλλοντος εδάφους (ολίσθηση ή αποκόλληση θεμελίου – παρειών εκσκαφής).

Σημειώνεται δε, ότι για καθορισμένη εγκάρσια εντατική φόρτιση η πλήρης ενεργοποίηση των σχετικών μηχανισμών εδαφικής αντίστασης, δεν είναι κατ' ανάγκη ταυτόχρονη και εξαρτάται από το συμβιβαστό των αντίστοιχων παραμορφώσεων και τη σχετική λυγρότητα του φρέατος. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό, ότι σε

αντίθεση με τους πασσάλους, η συμπεριφορά των φρεάτων θεμελίωσης σε εγκάρσια φόρτιση επηρεάζεται σημαντικά και από τις αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις (οριζόντιες και κατακόρυφες) στην παράπλευρη επιφάνειά τους.

Το θέμα της απόκρισης των φρεάτων θεμελίωσης αποτελεί ένα κλασικό πρόβλημα αλληλεπίδρασης θεμελίωσης – εδάφους. Ο τρόπος απόκρισης φαίνεται να καθορίζεται από την αδιάστατη παράμετρο λ , που ονομάζεται λυγηρότητα του φρέατος και εκφράζεται ως συνάρτηση της ακαμψίας του εγκιβωτισμένου θεμελίου σε σχέση με το περιβάλλον έδαφος ($E_p I_p / k$) και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του (L/D), ως εξής:

$$\lambda = L/([E_p I_p/k D])^{1/4}$$

όπου:

L, D : Μήκος και διάμετρος του θεμελίου

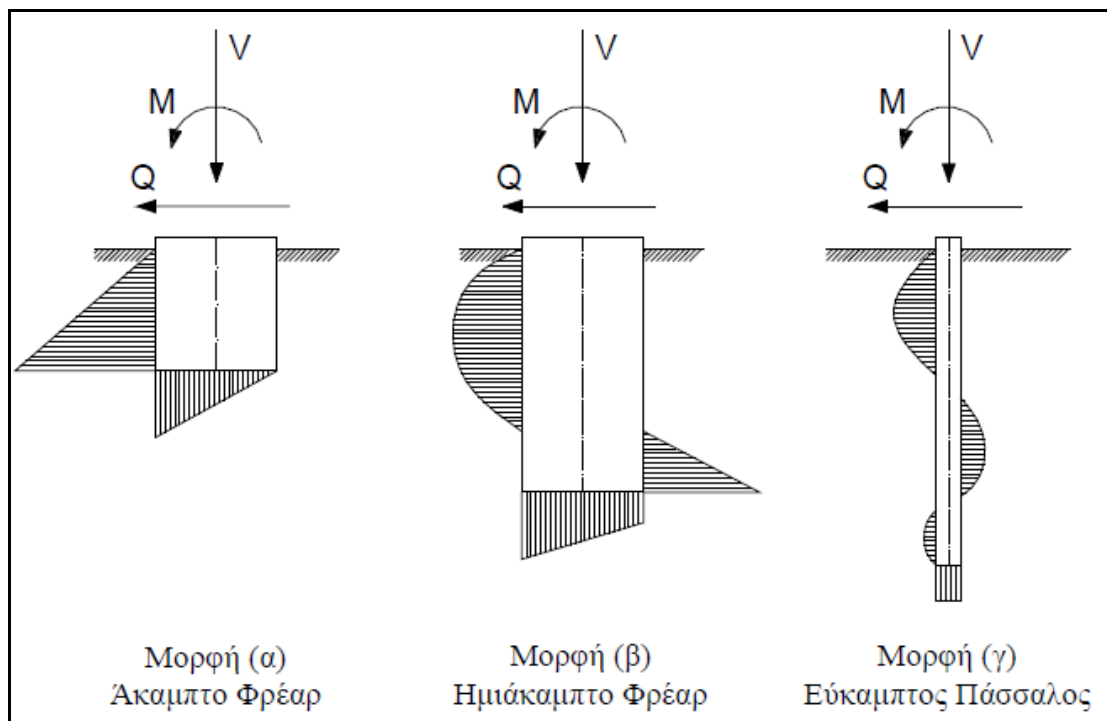
$E_p I_p$: Ακαμψία του θεμελίου

k : Δείκτης αντίστασης του περιβάλλοντος εδάφους.

Παρακάτω (Εικόνα 3.4) διακρίνονται τρεις τυπικές-ιδεατές μορφές απόκρισης φρεάτων, όπου γίνεται εμφανής η διαφορετική συμπεριφορά του θεμελίου με την αύξηση του λόγου L/D (μήκος/διάμετρος) για την περίπτωση συνδυασμού εγκάρσιας και αξονικής φόρτισης στην κεφαλή. Βασικό στοιχείο του διαφορετικού τρόπου απόκρισης συστήματος «εγκιβωτισμένο θεμέλιο – περιβάλλον έδαφος θεμελίωσης» αποτελεί η θέση του θεωρητικού σημείου στροφής του στοιχείου θεμελίωσης και η συμπεριφορά της βάσης του φρέατος. Η τυπική μορφή του **(α)** χαρακτηρίζει ένα γενικώς «άκαμπτο» στοιχείο, η συμπεριφορά του οποίου προσεγγίζει την περίπτωση ενός εγκιβωτισμένου επιφανειακού θεμελίου με επιφάνεια μετωπικής παθητικής αντίστασης. Η μορφή αυτή αναμένεται γενικώς για πολύ μικρά μήκη φρεάτων και συνεπώς για πολύ μικρές τιμές λυγηρότητας. Η τυπική μορφή του **(β)** αφορά μία ενδιάμεση «ημιάκαμπτη» συμπεριφορά του στοιχείου, το οποίο συμπεριφέρεται ως βραχύς πάσσαλος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το θεωρητικό σημείο στροφής του φρέατος βρίσκεται σε στάθμη μεγαλύτερη από τη στάθμη αιχμής του φρέατος και ο ρόλος της αντίστασης αιχμής σε σχέση με την πρώτη μορφή απόκρισης είναι πιο περιορισμένος. Η μορφή του **(γ)** αφορά στοιχεία με μεγάλες τιμές λυγηρότητας και παρουσιάζει μια τυπική συμπεριφορά ενός σχετικά εύκαμπτου στοιχείου, το οποίο προσεγγίζει περισσότερο τη συμπεριφορά του κλασικού πασσάλου. Ο δείκτης λ , κατόπιν σχετικών οδηγιών της διεθνούς βιβλιογραφίας [7], μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο για την προκαταρκτική εκτίμηση της απόκρισης ενός φρέατος (οριζόντιες μετακινήσεις & στροφές) σε εγκάρσιες φορτίσεις.

Τα παραπάνω αποτελούν τυπικές περιπτώσεις συμπεριφοράς θεμελίων κυλινδρικής μορφής εγκιβωτισμένων εντός μέσου με τις ιδιότητες του ελαστικού ισοτρόπου ημιχώρου. Ο μηχανισμός απόκρισης του φρέατος καθίσταται πολύ πιο σύνθετος για θεμέλια σε περιοχές με ισχυρές εγκάρσιες κλίσεις ή στην περίπτωση ανώτερων επιφανειακών εδαφικών ζωνών μεγάλης παραμορφωσιμότητας, όπως συμβαίνει στην πλειοψηφία των φρεάτων της Εγνατίας Οδού. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όπως και σε περιπτώσεις όπου επιχειρείται να προσομοιωθεί η επιρροή φαινομένων όπως: η μη γραμμικότητα του νόμου τάσεων – παραμορφώσεων, η ολίσθηση ή η αποκόλληση στη διεπιφάνεια θεμελίου εδάφους,

οι ανάγκες της προσομοίωσης επιβάλλουν τη χρήση εξελιγμένων αριθμητικών μεθόδων (π.χ. πεπερασμένα στοιχεία) και την επαρκή γνώση των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας του εδάφους θεμελίωσης. Ο υπολογισμός των φρεάτων σε εγκάρσια φόρτιση περιλαμβάνει [7]:



Εικόνα 3.4 Τυπικές μορφές συμπεριφοράς φρέατος κατά Ιωακειμίδη κ.ά. [7]

- προκαταρκτική εκτίμηση του βάθους θεμελίωσης, ήτοι του ύψους του εγκιβωτισμένου θεμελίου. Πραγματοποιείται με χρήση αναλυτικών ή ημιαναλυτικών μεθόδων για την προσέγγιση του μηχανισμού ανάπτυξης της παθητικής αντίστασης του εδάφους και με κριτήριο την απομείωση των καμπτικών ροπών καθ' ύψος του θεμελίου,
- επιβεβαίωση του διατιθέμενου συντελεστή ασφάλειας του συστήματος θεμέλιο – περιβάλλον έδαφος υπό τον κρίσιμο συνδυασμό φόρτισης σχεδιασμού. Για τούτο απαιτείται σύνταξη κατάλληλων διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης με τον προσδιορισμό των οριακών συνδυασμών εγκάρσιας φόρτισης στην κεφαλή του θεμελίου, με χρήση κατάλληλων αριθμητικών επιλύσεων (π.χ. πεπερασμένα στοιχεία)
- υπολογισμό των εντατικών μεγεθών του θεμελίου που αντιστοιχούν στη φόρτιση σχεδιασμού, και βάσει αυτών τη διαστασιολόγηση των οπλισμών.

Καταλήγοντας θα πρέπει να επισημανθεί, ότι ο σχεδιασμός των φρεάτων πάκτωσης γίνεται σύμφωνα με διεθνή κανονιστικά πρότυπα και τη διεθνή βιβλιογραφία.

3.1.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΦΡΕΑΤΩΝ ΠΑΚΤΩΣΗΣ

Η κατασκευή των φρεάτων θεμελίωσης περιλαμβάνει το στάδιο της διάνοιξης (εκσκαφή - αντιστήριξη) και την επακόλουθη σκυροδέτηση. Πριν από την έναρξη της

εκσκαφής, κατασκευάζεται στο χείλος του θεμελίου περιμετρική δοκός από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η διάνοιξη του φρέατος στο προβλεπόμενο βάθος γίνεται κατά στάδια, με την άμεση αντιστήριξη των παρειών να ακολουθεί την πρόοδο της εκσκαφής. Η μέθοδος διάνοιξης εξαρτάται από τη φύση των γεωυλικών και το διατιθέμενο μηχανικό εξοπλισμό, σε συνδυασμό με το βάθος της εκσκαφής. Η εκσκαφή γίνεται είτε με μηχανικά μέσα (υδραυλικοί εκσκαφείς υπογείων έργων, εκσκαφείς τύπου αχιβάδας κλπ) σε ασθενή γεωυλικά ή με εκρηκτικά σε περιπτώσεις βραχωδών σχηματισμών. Τα στοιχεία για την κατασκευή των φρεάτων πάκτωσης που παρουσιάζονται στην παρούσα παράγραφο προέρχονται από το κείμενο [7].

Η εκσκαφή με εκρηκτικά υλοποιείται συνήθως με τα ακόλουθα βήματα:

- Προρηγμάτωση στην περίμετρο του φρέατος σε βάθη 12-15 m. Το βάθος αυτό θεωρείται οριακό από την άποψη της απόκλισης των διατρημάτων. Σε περίπτωση φρεάτων με μεγαλύτερο βάθος η προρηγμάτωση υλοποιείται σε περισσότερες της μιας φάσεις, έχοντας προβλέψει την κατασκευή φρέατος τηλεσκοπικής μορφής καθ' ύψος.
- Χαλάρωση της μάζας με ανατίναξη, εκτελούμενη σε βήματα των 5 m κατά μέγιστο, με διάταξη των διατρημάτων ανάλογη με τη φύση και την κατάσταση της βραχομάζας.
- Απομάκρυνση των υλικών της ανατίναξης και μόρφωση της εκσκαφής, σε βήματα (βήματα εκσκαφής). Το μέγιστο του βήματος εκσκαφής εξαρτάται από τη φύση της βραχομάζας καθώς και τις δυνατότητες του διατιθέμενου μηχανικού εξοπλισμού για την τοποθέτηση των μέτρων αντιστήριξης.

Τα μέτρα αντιστήριξης δεν διαφοροποιούνται από αυτά των ανοικτών ή υπογείων εκσκαφών. Κύριο μέτρο άμεσης αντιστήριξης των παρειών του φρέατος αποτελεί το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ενισχυμένο με δομικό πλέγμα, με το οποίο υλοποιείται κέλυφος, στατικού πάχους που κυμαίνεται μεταξύ 15-20 cm. Κατά περίπτωση, τα μέτρα ενισχύονται με την προσθήκη ακτινικά, ηλώσεων βράχου ή και πλαισίων (μεταλλικών ή δικτυωτών). Οι αποστάσεις τοποθέτησής τους καθ' ύψος συμπίπτουν συνήθως με το βήμα εκσκαφής. Συνηθίζεται η χρήση παθητικών ηλώσεων (τσιμενταρισμένης πάκτωσης) δίχως να αποκλείεται, για λόγους ταχύτητας της κατασκευής στις περιπτώσεις βραχωδών σχηματισμών, η υιοθέτηση ηλώσεων τριβής (τύπου swelllex).

Σε γενικώς χαλαρά εδάφη ή εδάφη χαμηλής αντοχής με έντονη υδροφορία, απαιτείται συνήθως προϋποστήριξη των παρειών εκσκαφής του φρέατος, για αποφυγή τοπικής ή και ολικής αστοχίας της εκσκαφής. Η προϋποστήριξη τούτη υλοποιείται με χρήση μικροπασσάλων, φρεατοπασσάλων ή και εδαφοπασσάλων.

Το βάθος διάτρησης των στοιχείων προενίσχυσης εξαρτάται από το βάθος εμφάνισης του ασθενούς γεωυλικού, διαστασιολογούνται δε ως αμφιέριστες δοκοί με άνοιγμα ίσο με το βήμα εκσκαφής. Ο οπλισμός των φρεάτων είναι περιμετρικός. Στις διεπιφάνειες μεταξύ των διαδοχικών σκυροδετήσεων τοποθετείται οπλισμός συρρίκνωσης αποτελούμενος από εσχάρες οπλισμού για την αντιμετώπιση δευτερογενών φαινομένων (συρρίκνωση) (Εικόνα 3.5). Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών εκσκαφής και τοποθέτησης των οπλισμών, ακολουθεί η κατασκευή του εγκιβωτισμένου θεμελίου, με τμηματικές, μαζικές σκυροδετήσεις (Εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.4 Τοποθέτηση των οπλισμών σε φρέαρ θεμελίωσης [7]

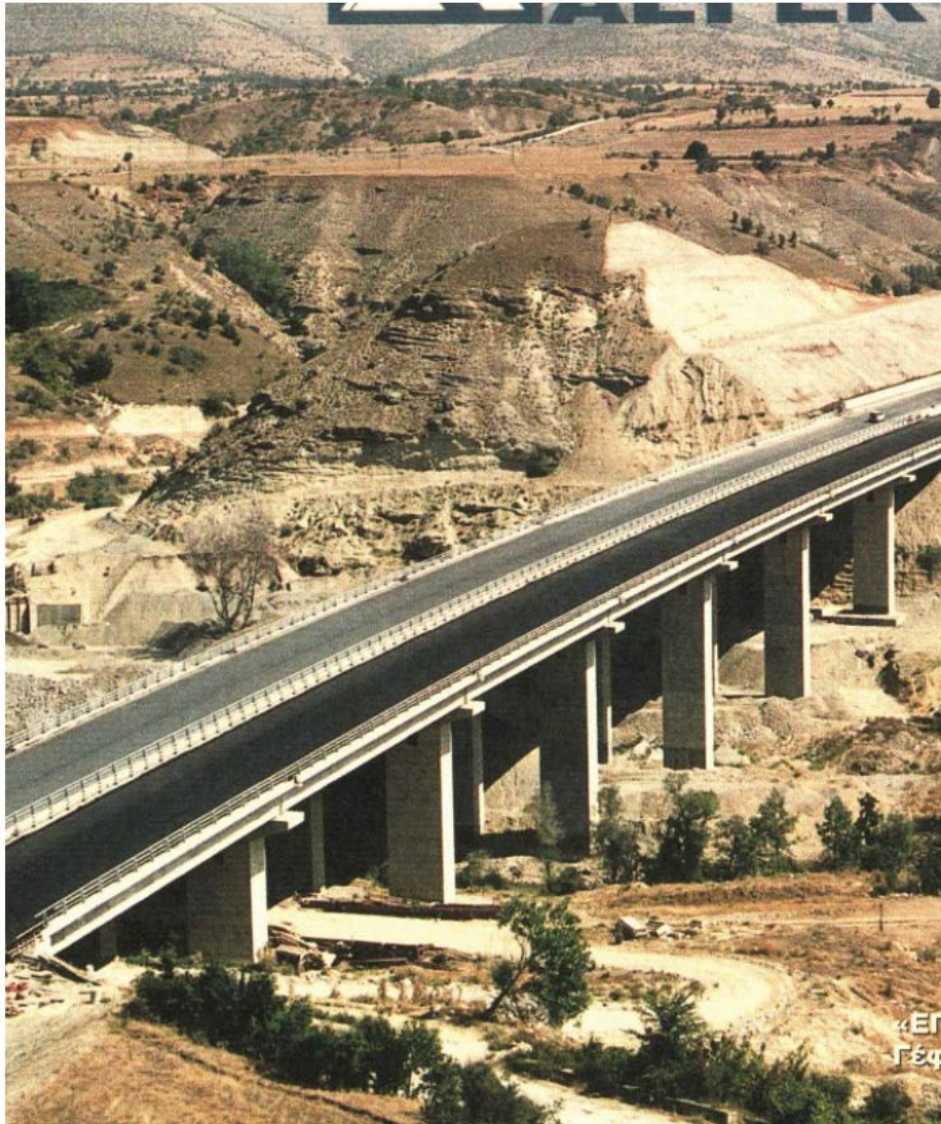


Εικόνα 3.5 Σκυροδέτηση φρεάτων θεμελίωσης [7]

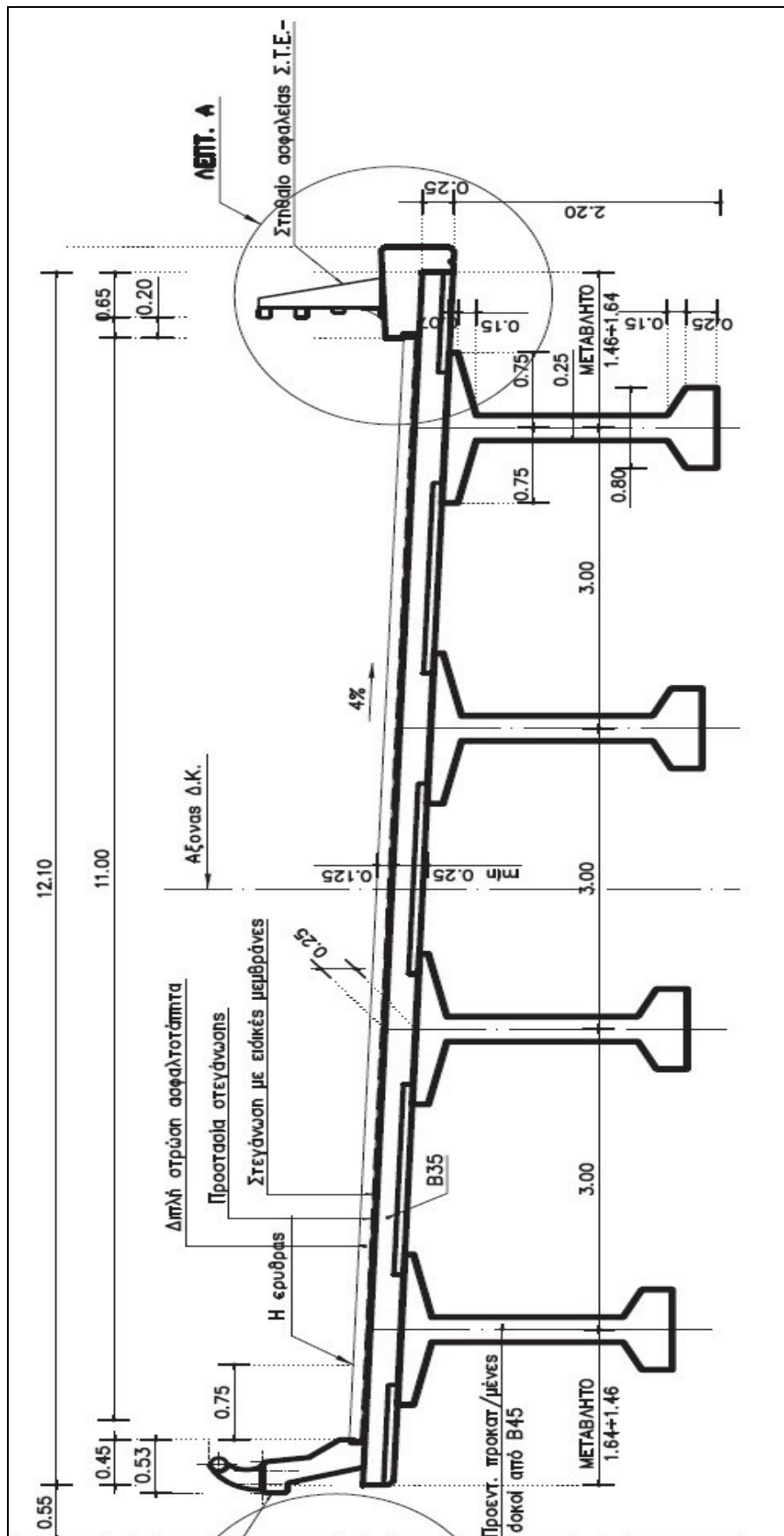
3.2 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ, ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ

Η γέφυρα Γ6 της Εγνατίας Οδού (Εικόνα 3.6) [8] βρίσκεται στη Χ.Θ 14+400 του τμήματος Γρεβενά – Κοζάνη και εξυπηρετεί τη διάβαση της οδού πάνω από τον ποταμό Αλιάκμονα. Το συνολικώς γεφυρούμενο μήκος είναι 280m και περιλαμβάνει επτά ανοίγματα των 40,0m από προκατασκευασμένες δοκούς, ύψους 2,20m με πλάκα καταστρώματος 25cm (Εικόνες 3.7 και 3.8). Τα μεσόβρατρα είναι μονόστυλα

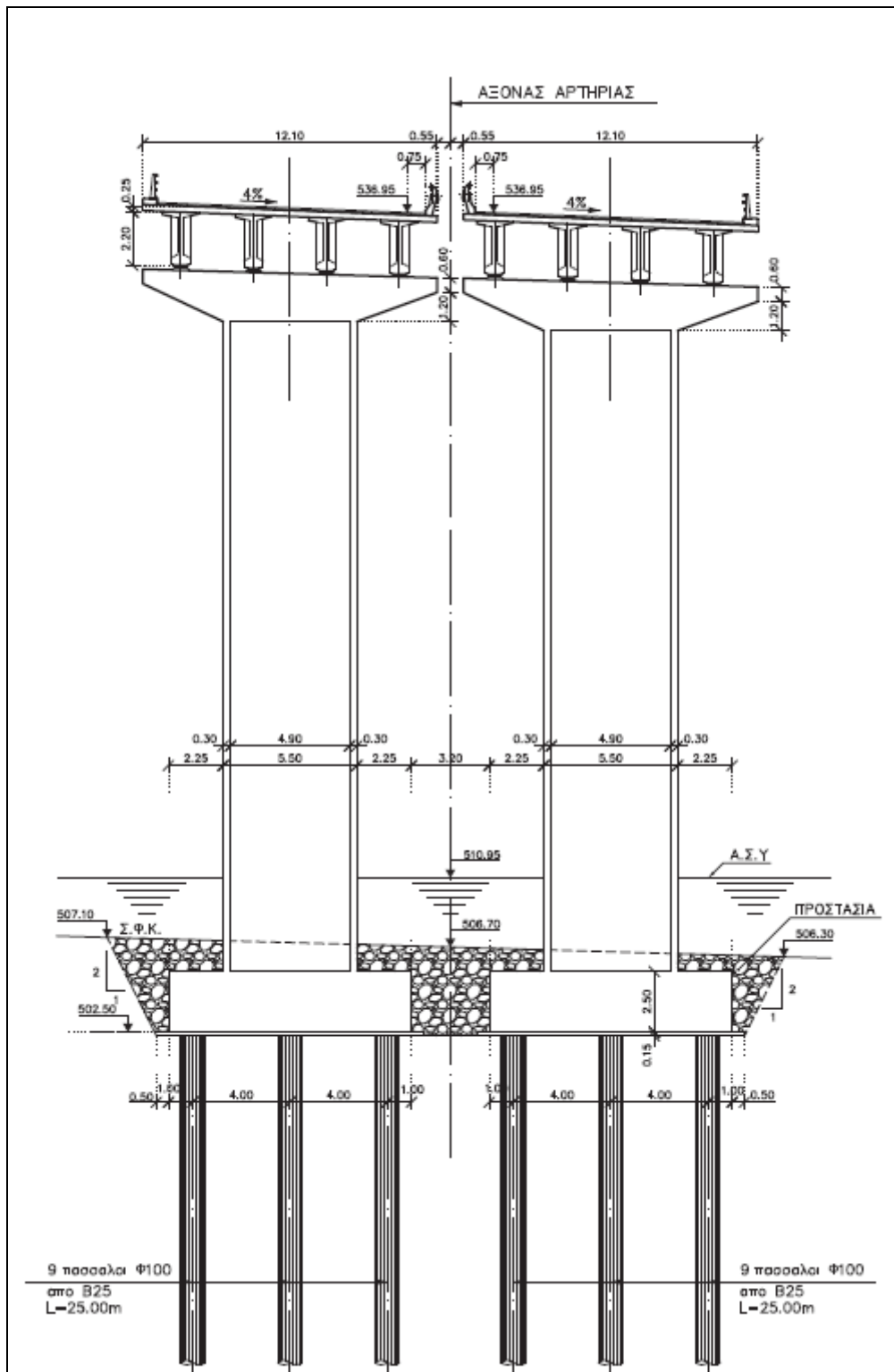
κιβωτοειδούς διατομής. Για τη θεμελίωση λόγω των ειδικών συνθηκών (μεγάλα φορτία) του έργου επιλέχθηκε η χρήση έγχυτων πασσάλων Φ100 που κατασκευάστηκαν σύμφωνα με όσα αναφέρονται σε προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας. Τυπικά σχέδια των βάθρων και της θεμελίωσης δίνονται στις Εικόνες 3.9 και 3.10.



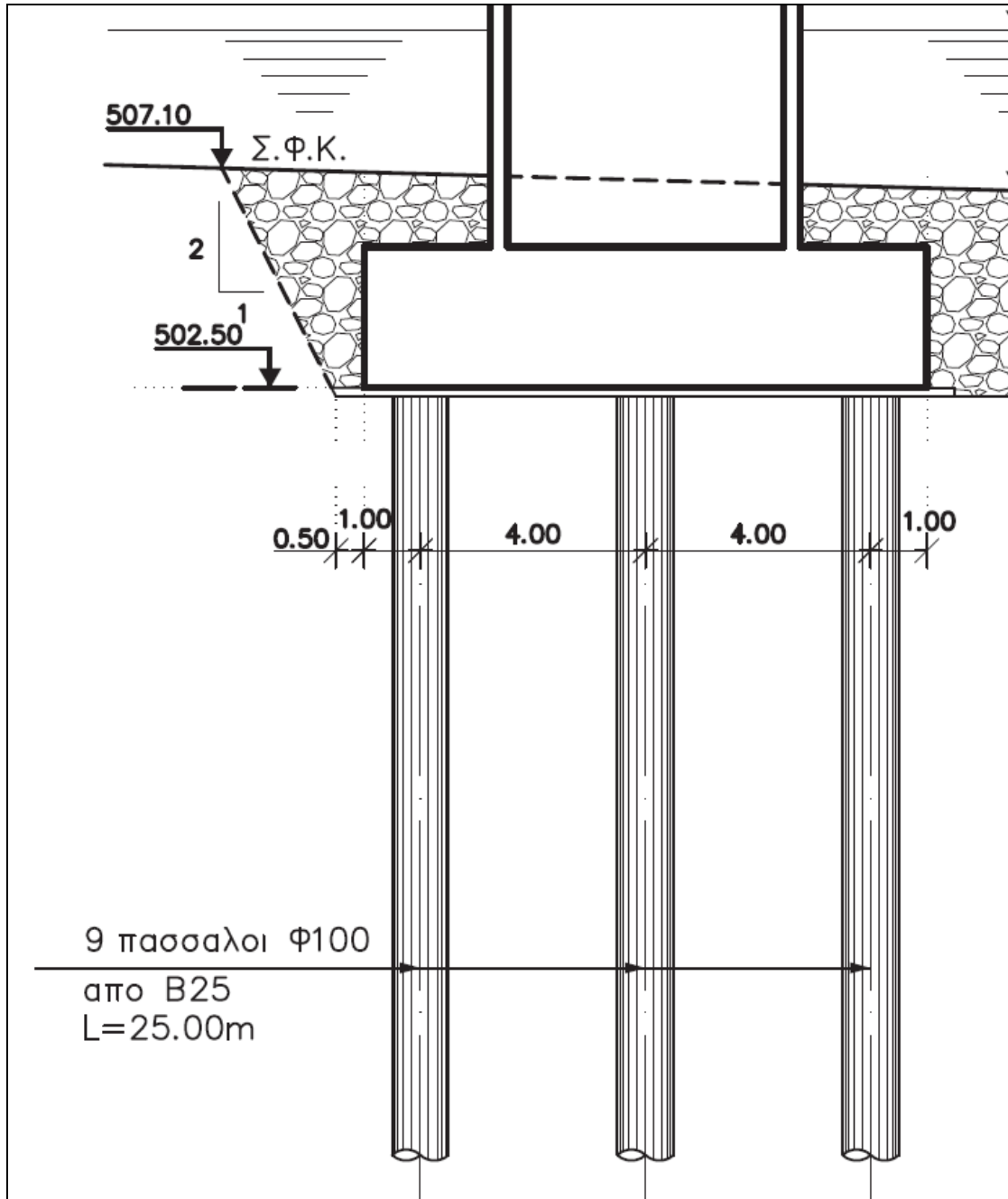
Εικόνα 3.6 Άποψη της Γέφυρας Αλιάκμονα, Εγνατία Οδός, τμήμα Γρεβενά – Κοζάνη [8].



Εικόνα 3.7 Τομή του φορέα ανωδομής της Γέφυρας Αλιάκμονα, Εγνατία Οδός, στο άνοιγμα [8]



Εικόνα 3.8 Τα βάθρα της Γέφυρας Αλιάκμονα, Εγνατία Οδός, και τα βασικά χαρακτηριστικά της θεμελίωσής τους με πασσάλους [8]



Εικόνα 3.9 Λεπτομέρεια της θεμελίωσης του βάθρου της Γέφυρας Αλιάκμονα, Εγνατία Οδός [8].

3.3 ΓΕΦΥΡΕΣ Γ1 ΚΑΙ Γ2 ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ

Πρόκειται για Γέφυρες αυτοκινητόδρομου, το κόστος κατασκευής των οποίων συνολικά ανέρχεται σε περίπου 6 εκ. ευρώ. Το έργο αποτελείται από Δίδυμες γέφυρες με κεντρικά μεσόβαθρα. Έχουν μήκος: 120 και 165m, μέγιστο άνοιγμα: 80m, μέγιστο ύψος μεσόβαθρου: 55m .

Η κατασκευή έχει δομές αντιστήριξης αποτελούμενες από τοίχους τύπου Βερολίνου και αγκυρωμένους πασσαλότοιχους για την κατασκευή των φρεάτων. Ακόμα, απαιτήθηκε τοποθέτηση πλεγμάτων Geobugg για την αποφυγή κίνησης χαλαρών επιφανειακών υλικών και τοποθέτηση άκαμπτου κελύφους υποστήριξης στα φρέατα θεμελίωσης.

Η Θεμελίωση των κεντρικών μεσοβάθρων έγινε σε φρέατα με Φ12m και μέγιστο βάθος 22m. Η Γεωλογία του εδάφους αποτελείται από Φυλλίτες.

Λεπτομέρειες από την κατασκευή των φρεάτων και της γέφυρας παρουσιάζονται στις εικόνες 3.11 έως 3.13.



Εικόνα 3.10 Φρέαρ για τη θεμελίωση του μεσόβαθρου της Γέφυρας Γ1[9].



Εικόνα 3.12 Έργα αντιστήριξης για την κατασκευή του φρέατος θεμελίωσης του κεντρικού μεσόβαθρου [9].



Εικόνα 3.13 Γέφυρα Γ2[9].

3.4 ΓΕΦΥΡΑ ΑΓ2, ΚΑΚΙΑ ΣΚΑΛΑ

Πρόκειται για Γέφυρα αυτοκινητόδρομου με Κόστος Κατασκευής συνολικό περίπου 2,7 εκ. ευρώ. Η εν λόγω κατασκευή έχει μήκος: 107m.

Η Γέφυρα αποτελείται από 2 τμήματα:

- Τμήμα 1: Η κυρίως γέφυρα κατασκευασμένη από προεντεταμένες δοκούς και τρία βάθρα, μήκους περίπου 62m.
- Τμήμα 2: Ο μεταβατικός φορέας πριν το πρώτο ακρόβαθρο, μήκους 45m.

Η Γεωλογία του εδάφους αποτελείται από Κατακλαστικούς ασβεστόλιθους σε περιοχή ενεργά σεισμική, συνεπώς απαιτήθηκε ειδικού τύπου θεμελίωση. Όλα τα βάθρα και ο μεταβατικός φορέας θεμελιώθηκαν σε πασσάλους [9]. Λεπτομέρειες από την κατασκευή του έργου δίνονται στις Εικόνες 3.14 έως και 3.16.



Εικόνα 3.14 Κατασκευή μεταβατικού φορέα της Γέφυρας ΑΓ2 [9].



Εικόνα 3.15 Κατασκευή προεντεταμένων δοκών της Γέφυρας ΑΓ2 [9].



Εικόνα 3.16 Άποψη της γέφυρας ΑΓ2 κατά τη φάση λειτουργίας [9].

3.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΡΓΩΝ ΠΑΣΣΑΛΟΚΟΙΤΟΣΤΡΩΣΗΣ

Οι πρώτες θεμελιώσεις πασσαλοκοιτόστρωσης στην Γερμανία σχεδιάστηκαν και εκτελέστηκαν στην Φρανκφούρτη στα μέσα της δεκαετίας του 1980 και αποτελούν πλέον καθιερωμένο τύπο θεμελίωσης στην πόλη αυτή. Από τις αρχές τις δεκαετίας του 1990 άρχισε και η εφαρμογή σε κτίρια ευαίσθητα σε καθιζήσεις στο Βερολίνο [6].

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται ενδεικτικά επιλεγμένα παραδείγματα πασσαλοκοιτόστρωσης στις δύο αυτές πόλεις με ύψη κτιρίων H , ενεργά φορτία ανωδομής P_{eff} , επιφάνεια και μέγιστο πάχος πλάκας A_r και t_r , διάμετρο και αριθμό πασσάλων d και N , όπως και τιμές της σχετικής ακαμψίας πλάκας- εδάφους K_{rs} σύμφωνα με τη σχέση [6]:

$$K_{rs} = 5.57 \frac{E_r}{E_s} \cdot \frac{1-v_s^2}{1-v_r^2} \left(\frac{a}{b}\right)^{0.5} \left(\frac{t_r}{b}\right)^3 \quad (24)$$

όπου E_r και v_r είναι το μέτρο ελαστικότητας και ο λόγος Poisson του εδάφους, E_s και v_s οι αντίστοιχες τιμές της πλάκας, και a , b το μήκος και το πλάτος της πλάκας.

Πίνακας 3.1 Παραδείγματα έργων με πασσαλοκοιτόστρωση [6].

Κτίριο	H [m]	P_{eff} [MN]	A_r [m ²]	t_r [m]	N [-]	L [m]	d [m]	K_{rs} [-]
Torhaus, Frankfurt	130	2 x 200	2 x 429	2.5	2 x 42	20.0	0.9	2.2
Messeturm, Frankfurt	256	1570	3457	6.0	64	26.9 - 34.9	1.3	1.4
Westend 1, Frankfurt	208	950	2940	4.7	40	30.0	1.3	0.6
Japan Center, Frankfurt	115	630	1920	3.5	25	22.0	1.3	0.3
Treptowers, Berlin	121	632	1376	3.0	54	12.5 - 16.0	0.9	0.5

3.5.1 ΕΡΓΑ ΣΤΗ ΦΡΑΝΚΦΟΥΡΤΗ

Το υπέδαφος στο κέντρο της πόλης αποτελείται, εκτός της λεπτής επιφανειακής στρώσης Τεταρτογενών αποθέσεων, από αργιλική στρώση μεταβλητού πάχους μέχρι και 100 m που εδράζεται στον βραχώδη ασβεστόλιθο της Φρανκφούρτης. Η αργιλική στρώση εμπεριέχει ακανόνιστες στρώσεις ασβεστολίθων και άμμων σε διάφορα βάθη.

Η άργιλος, που έχει ομοιότητες με αυτήν του Λονδίνου, χαρακτηρίζεται με βάση τα όρια Atterberg κατά DIN 18196 άργιλος μεσαίας έως υψηλής πλαστιμότητας (TM-TA) με τιμές ορίου υδαρότητας 50 - 80% και δείκτη πλαστιμότητας 40 - 50%. Ο βαθμός συνεκτικότητας μεταβάλλεται μεταξύ 0,75 και 1,10 που αντιστοιχεί σε σιφρό συνεκτικό έδαφος [6].

Η άργιλος θεωρείται υπερστερεοποιημένη χωρίς να είναι ακριβώς γνωστή η τάση προφόρτισης. Το μέτρο συμπίεστότητας εκτιμήθηκε από μετρήσεις στα πρώτα

υψηλά κτίρια που κατασκευάστηκαν εκεί κατά τη δεκαετία του 1970 και επαληθεύτηκε με μικρές αλλαγές από παρατηρήσεις σε πιο πρόσφατα έργα [6]:

Αρχική συμπίεση:

$$E_{se} = 7 + 2.45 t \text{ [MPa]} \quad (25\alpha)$$

Επαναφόρτιση:

$$E_{sw} = 70 \text{ [MPa]} \quad (25\beta)$$

όπου t σε [m] είναι το βάθος από τη επιφάνεια της αργιλικής στρώσης. Η σταθερή τιμή μέχρι βάθους 26 m αντικατοπτρίζει την υπερστεροποίηση.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τιμή του μέτρου παραμόρφωσης στη σχέση (25) είναι αυτή που προκύπτει από ανάστροφη ελαστική ανάλυση καθιζήσεων κατά DIN 4019, δηλ. για $E_{s(v=0)}$. Ο υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητας E γίνεται μέσω της σχέσης [6]:

$$E = E_{s(v=0)} (1 - \nu^2) \quad (26)$$

και απαιτεί εκτίμηση του λόγου Poisson ν , που λαμβάνεται συνήθως ίσος με 0,33.

Η διατμητική αντοχή εκφράζεται από εσωτερική γωνία τριβής $\varphi' = 20^\circ$ και συνοχή $c' = 20$ kPa. Η άργιλος της Φρανκφούρτης θεωρείται έδαφος κατάλληλο για την εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν οι θεμελιώσεις πασσαλοκοιτόστρωσης. Τα όρια εφαρμογής αυτού του τύπου θεμελίωσης φαίνονται βέβαια στο παράδειγμα του ουρανοξύστη της Commerzbank (με 254 m υψηλότερο κτίριο της Ευρώπης), που θεμελιώθηκε λόγω του μεγάλου φορτίου της ανωδομής και του ανεκτού βάθους της φέρουσας ασβεστολιθικής στρώσης σε φρεατοπασσάλους διαμέτρου 1.5 - 1.8 m και μήκους 38 - 46 m με πάχος πλάκας 2.5 m [6].

Παραδείγματα θεμελιώσεων πασσαλοκοιτόστρωσης υψηλών κτιρίων στην άργιλο της Φρανκφούρτης περιγράφονται μεταξύ στις εργασίες που αναφέρονται στις επόμενες παραγράφους.

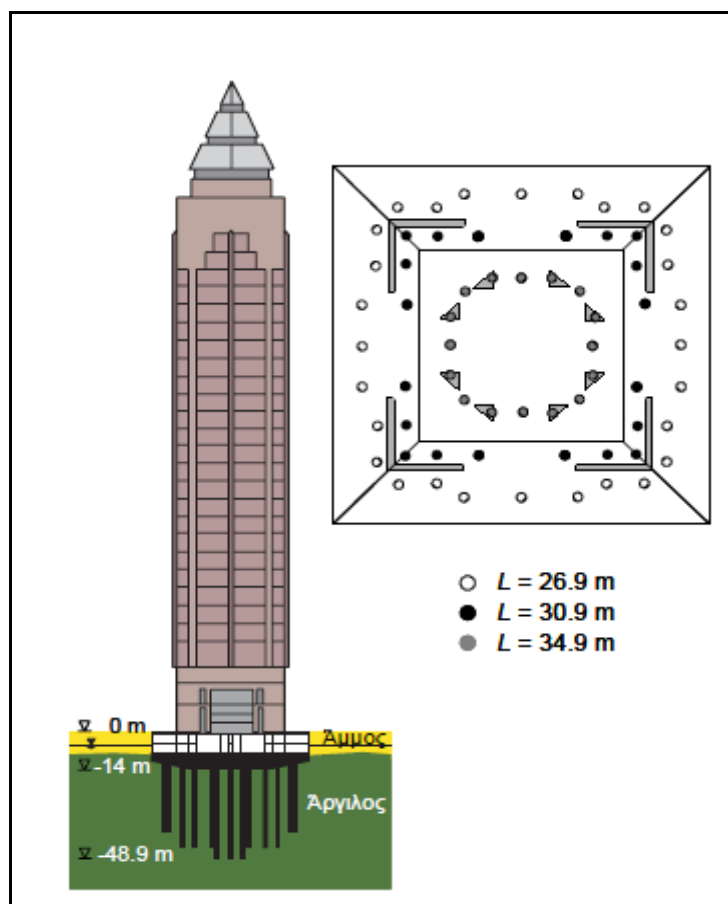
(α) **Torhaus Messegelände (117 m)**

Αποτελεί την πρώτη εφαρμογή στην Φρανκφούρτη και προέκυψε από την αναζήτηση μιας θεμελίωσης μικρών παραμορφώσεων για την έδραση του σε μορφή πλαισίου σχεδιασμένου φέροντος οργανισμού του κτιρίου σε δύο ξεχωριστές πλάκες σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Η λύση που προκρίθηκε αποτελείται από 84 πασσάλους σε βάθος μέχρι 20 m και κοιτόστρωση. Λόγω της μέχρι τότε περιορισμένης εμπειρίας με το άργιλώδες υπέδαφος και με αυτό το τύπο θεμελίωσης, η διαστασιολόγηση, με το 80% του ενεργού φορτίου να παραλαμβάνεται από τους πασσάλους, δεν θεωρείται βέλτιστη με τα σημερινά δεδομένα. Μετρήσεις στο κτίριο αυτό προσέφεραν όμως πολλές από τις θεμελιώδεις γνώσεις που ήταν αναγκαίες για την περαιτέρω εξέλιξη των πασσαλοκοιτοστρώσεων.

(β) **Messeturm (256 m)**

Τα διδάγματα από το Torhaus βρήκαν συνεπή εφαρμογή στον σχεδιασμό του Messeturm. Ο ουρανοξύστης τετράγωνικής κάτοψης μήκους πλευράς 58,8 m εδράζεται σε πλάκα πάχους 3 έως 6 m και 64 συνολικά φρεατοπασσάλους διαμέτρου

1,3 m με μήκος που μειώνεται σταδιακά από 34,9 m στον εσωτερικό, 30,9 m στον μεσαίο και 26,9 m στον εξωτερικό περιφερειακό δακτύλιο. Η στάθμη θεμελίωσης βρίσκεται 11-14 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (Εικόνα 3.17).



Εικόνα 3.17 Messeturm στην Φρανκφούρτη[6]

Για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του κτιρίου εγκαταστάθηκε εκτενές σύστημα μετρήσεων αποτελούμενο από 12 οργανομετρούμενους πασσάλους, 13 κύτταρα πιέσεων για μέτρηση εδαφικών πιέσεων, ένα πιεζόμετρο για μέτρηση υδατικών πιέσεων και 3 εκτασιόμετρα ράβδου εντός γεωτρήσεων. Η μέτρηση κατά τη περάτωση του έργου έδειξε μέση καθίζηση 14,4 cm. Το ποσοστό φορτίου που παραλαμβάνεται από το σύνολο των πασσάλων εκτιμήθηκε από τις μετρήσεις στους οργανομετρούμενους πασσάλους και έδωσε μια μέση τιμή 43%.

Λόγω της συμμετρικής του μορφής και της λεπτομερούς τεκμηρίωσης των μετρήσεων, το κτίριο χρησιμοποιήθηκε συχνά για την βαθμονόμηση μεθόδων υπολογισμού [6]. Αριθμητικές αναλύσεις με κατάλληλο μη-γραμμικό καταστατικό μοντέλο για το έδαφος δίνουν μεγαλύτερες τιμές τόσο για τις καθιζήσεις όσο και για το συνολικό φορτίο πασσάλων.

Η σύνθεση κατά Randolph που παρουσιάστηκε παραπάνω στην εργασία μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα στο συγκεκριμένο έργο κάνοντας χρήση των εξής παραδοχών [6]:

Διάμετρος πασσάλου 1,3 m, μέσο μήκος $L = 30.15$ m, μέση απόσταση $s = 7.34$ cm.

Ενεργό φορτίο: $P = 1600$ MN (μέση τάση = 463 kPa)

Έδαφος: Με στάθμη επιφάνειας αργιλικής στρώσης στα - 8.0 m και στάθμη έδρασης πλάκας στα -12.83 m.

Έχουμε από τη σχέση (25) μέτρο ελαστικότητας $E = 70 (1-\nu^2)$ μέχρι βάθους $z = 20,9$ m κάτω από τη στάθμη έδρασης της πλάκας και $E = 7 + 2,45 (z + 4.83)] (1-\nu^2)$ για $z > 20,9$ m. Από το προφίλ του E υπολογίζεται ο μέσος βαθμός ανομοιογένειας του εδάφους $\rho = 0,793$. Ο λόγος Poisson ν λαμβάνεται ίσος με 0.33.

Όσον αφορά την εκτίμηση της δυσκαμψίας της πλάκας εφαρμόζεται η εξής μέθοδος υπολογισμού της μέσης αντιπροσωπευτικής τιμής μέτρου ελαστικότητας του εδάφους E_m : για μια στρώση πάχους 150 m με τις παραπάνω σχέσεις μεταβολής του E με το βάθος υπολογίζεται η καθίζηση στο κέντρο μιας εύκαμπτης τετραγωνικής πλάκας μήκους πλευράς 58,8 m.

Αυτή η τιμή τίθεται ίση με τη καθίζηση της ίδιας πλάκας σε ομοιογενή εδαφική στρώση μέτρου ελαστικότητας E_m , από όπου λαμβάνουμε $E_m = 105$ MPa. Η επίδραση της μερικής ακαμψίας της πλάκας λαμβάνεται υπ' όψη προσεγγιστικά με μείωση της τιμής της δυσκαμψίας απόλυτα άκαμπτης πλάκας από τη σχέση (13) κατά 15%.

Ο υπολογισμός με τις εξισώσεις (1) έως (16) δίνει μια μέση τιμή καθιζήσεων 15,7 cm και ποσοστό φορτίου παραλαμβανόμενου από τους πασσάλους 60%. Η μη γραμμική αριθμητική ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία κατά Reul δίνει αντίστοιχα 17.4 cm και 60% [6].

Η πολύ μικρή απόκλιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων οφείλεται στο γεγονός, ότι η συμπεριφορά της θεμελίωσης σε επίπεδα παραμορφώσεων μακριά από οριακές καταστάσεις αστοχίας κυριαρχείται από το μέτρο ελαστικής παραμόρφωσης του εδάφους, όπως συμβαίνει και με τον υπολογισμό καθιζήσεων μέσω ελαστικών λύσεων. Προϋπόθεση βέβαια είναι η επιλογή καταλλήλων τιμών για το μέτρο ελαστικότητας (και τη μεταβολή του με το βάθος) που στην προκειμένη περίπτωση έγινε από επί τόπου μετρήσεις καθίζησης κτιρίων στην περιοχή. Σημειώνεται ότι οι παραπάνω υπολογισμοί προέρχονται από την εργασία [6].

(γ) Westend 1 (208 m)

Το πολύ λεπτό αυτό κτίριο (λυγηρότητα ίση με 4,7) έχει μια ασυμμετρική κάτοψη με περισσότερα περιφερειακά κτίρια ύψους μέχρι 60 m. Υπολογισμοί έδειξαν ότι μια θεμελίωση απλής κοιτότρωσης θα προκαλούσε καθιζήσεις της τάξης των 30 cm και ως εκ τούτου σημαντικά προβλήματα στη σύνδεση των τμημάτων του κτιριακού συγκροτήματος. Η λύση που προκρίθηκε και εκτελέστηκε αποτελείται από μια πασσαλοκοιτόστρωση στο τμήμα του πύργου και μια απλή κοιτόστρωση για τα χαμηλότερα κτίρια του συγκροτήματος.

Στα μεταξύ των κτιρίων όρια έχουν κατασκευαστεί κατάλληλοι αρμοί. Οι μετρήσεις φορτίων πασσάλων και τάσεων εδάφους έδειξαν ότι η ομάδα πασσάλων παραλαμβάνει το 50% του συνολικού φορτίου της ανωδομής. Οι τελικές καθιζήσεις του πύργου ήταν 11 cm [6].

(δ) Japan-Center (115 m)

Το αρχιτεκτονικό σχέδιο προέβλεπε κτίριο τετραγωνικής κάτοψης με πρόσθετο τετραώροφο υπόγειο σταθμό αυτοκινήτων, που εφάπτεται του κυρίως κτιρίου χωρίς αρμούς. Πάσσαλοι έχουν τοποθετηθεί έκκεντρα μόνο κάτω από το πολυώροφο κτίριο. Οι καθιζήσεις που μετρήθηκαν ήταν 5 - 6 cm. Οι πάσσαλοι παραλαμβάνουν 40% του φορτίου [6].

Πρόσφατα παραδείγματα πασσαλοκοιτόστρωσης αποτελούν οι θεμελιώσεις των ουρανοξυστών Westend Duo (96 m) και Skyper (154 m). Το τελευταίο έργο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον μια και η διάταξη των πασσάλων στην κάτοψη είναι ακανόνιστη.

3.5.2 ΕΡΓΑ ΣΤΟ ΒΕΡΟΛΙΝΟ

Με βάση την εμπειρία στην Φρανκφούρτη η μέθοδος πασσαλοκοιτόστρωσης εφαρμόστηκε από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 και σε υψηλά κτίρια στο Βερολίνο για τον έλεγχο παραμορφώσεων και την ικανοποίηση των απαιτήσεων λειτουργικότητας.

Οι γεωλογικές συνθήκες στην πόλη χαρακτηρίζονται από μια επιφανειακή στρώση άμμου μέτριας πυκνότητας (S1), που ακολουθείται από πυκνές στρώσεις άμμων (S2) μέχρι μεγάλου βάθους. Τοπικά παρεμβάλεται μεταξύ των δύο αυτών στρώσεων μια στρώση σπιφρού μέχρι πολύ σπιφρού τιλλίτη (Mg) μεταβλητού πάχους. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται περίπου 3 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους [6].

Από πειραματικές διερευνήσεις, παρατηρήσεις και ανάστροφες αναλύσεις υψηλών κτιρίων έχουν προταθεί οι εξής σχέσεις για την μεταβολή του μέτρου συμπίεστότητας του εδάφους με το βάθος για συνθήκες αρχικής φόρτισης E_{se} σε MPa [6]:

$$\text{Άμμοι (S1): } E_{se} = (12.5 \div 20) \sqrt{z} \quad (27\alpha)$$

$$\text{Τιλλίτης (Mg): } E_{se} = 20.0 \sqrt{z} \quad (27\beta)$$

$$\text{Άμμοι (S2): } E_{se} = (20 \div 40) \sqrt{z} \quad (27\gamma)$$

όπου z (m) το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους.

Η αύξηση του μέτρου συμπίεστότητας λόγω προφόρτισης από τους παγετώνες λαμβάνεται υπ' όψη με εφαρμογή ενός συντελεστή 3 στις παραπάνω τιμές.

Η διατμητική αντοχή εδάφους των τριων στρώσεων δίνεται από τις εξής τιμές: άμμοι (S1): $\varphi' = 30^\circ - 35^\circ$, τιλλίτης (Mg) $\varphi' = 37.5^\circ - 32.5^\circ$ και $c' = 5 - 35$ kPa, άμμοι (S2): $\varphi' > 35^\circ$ [6].

(α) Treptowers (121 m)

Το κτίριο τετραγωνικής κάτοψης με μήκος πλευράς 37,1 m βρίσκεται δίπλα στο ποτάμι Spree. Στην περιοχή αυτή δεν εμφανίζεται η τιλλιτική στρώση. Η πλάκα θεμελίωσης έχει μεταβλητό πάχος (2,0 m και 3,0 m) με εμβάθυνση στο κέντρο στην περιοχή του πυρήνων των ανελκυστήρων και εδράζεται εκτός από το έδαφος σε 54

πασσάλους διαμέτρου 0,88 m και μεταβλητού μήκους 12,5 m μέχρι 16,0 m. Οι πάσσαλοι κατασκευάστηκαν ως έγχυτοι με επιπλέον ενεμάτωση της διεπιφάνειας πασσάλου- εδάφους για αύξηση της πλευρικής τριβής. Το πρόγραμμα ενόργανης παρακολούθησης περιελάμβανε εξοπλισμό 3 αντιπροσωπευτικών πασσάλων με δυναμοκυψέλες στην κεφαλή και ειδικά μηκυσιόμετρα σε τέσσερα επίπεδα κατά μήκος του οπλισμού, όπως επίσης και 5 κύτταρα πίεσης κάτω από την πλάκα θεμελίωσης [6].

Οι κατακόρυφες μετακινήσεις στα τέσσερα άκρα του κτιρίου μετρήθηκαν με γεωδαιτικές μεθόδους. Κατά τη περάτωση του εργασιών η μέση καθίζηση για φορτίο 665 MN ήταν 6,3 cm. Η μέση τιμή της τάσης επαφής εδάφους-πλάκας από τις μετρήσεις ήταν 220 kPa, ενώ η μέση τιμή του φορτίου κάθε πασσάλου ήταν 6.9 MN. Αυτές οι τιμές αντιστοιχούν σε ποσοστό φορτίου ομάδας πασσάλων ίσο με 55% του φορτίου της ανωδομής.

Ο υπολογισμός με μη-γραμμικό ελαστοπλαστικό εδαφικό μοντέλο έδωσε παρόμοιες τιμές μέσων καθιζήσεων αλλά υψηλότερες δυσκαμψίες πασσάλων, που αντιστοιχούν σε ποσοστό φορτίου πασσάλων ίσο με 63% του συνολικού φορτίου της ανωδομής. Μια θεμελίωση γενικής κοιτόστρωσης θα έδινε περίπου διπλάσιες καθιζήσεις [6].

(β) SONY Center (103 m)

Ο ουρανοξύστης αυτού του κτιριακού συγκροτήματος εδράζεται απ' ευθείας στην στρώση του τιλλίτη, κάτι που θα προκαλούσε μεγάλες καθιζήσεις στην περίπτωση επιλογής επιφανειακής θεμελίωσης γενικής κοιτόστρωσης. Η καταπόνηση του γειτονικού σιδηροδρομικού σταθμού λόγω της κατασκευής του κτιρίου έπρεπε επίσης να περιοριστεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Η θεμελίωση αποτελείται από πλάκα πάχους 1,5 μέχρι 2,5 m και 44 φρεατοπασσάλους διαμέτρου 1,5 m και μήκους μεταξύ 15 m και 25 m.

Οι πάσσαλοι χρησιμοποιήθηκαν και για την εξασφάλιση ευστάθειας έναντι ανώσεως κατά τις διάφορες φάσεις κατασκευής. Ως εκ τούτου ο οπλισμός των πασσάλων πακτώθηκε στην πλάκα και έτσι δεν ήταν δυνατή η εγκατάσταση δυναμοκυψελών στην κεφαλή των πασσάλων. Το φορτίο υπολογίστηκε έμμεσα από αποτελέσματα μετρήσεων της συμπίεσης ενός πασσάλου μέσω επαγωγικών αισθητήρων. Για την μέτρηση της τάσης εδάφους τοποθετήθηκαν κύτταρα πίεσης σε διάφορες θέσεις [6].

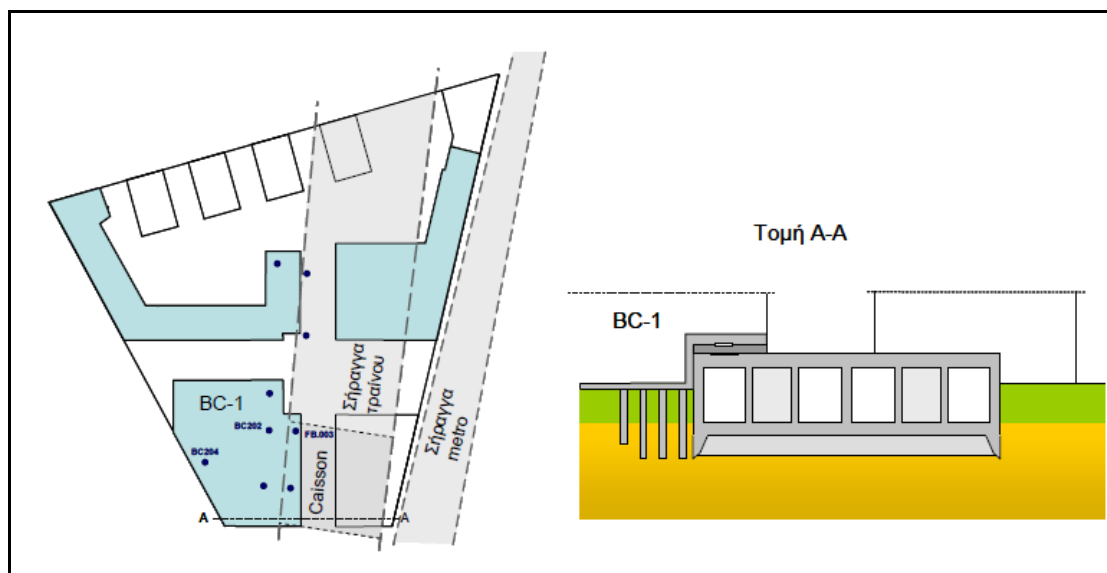
Λόγω της ασυμμετρίας της κάτοψης του συγκροτήματος ήταν αναγκαίο να γίνουν τριδιάστατες αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων σε μεμονωμένα στοιχεία της θεμελίωσης. Η καταστατική προσομοίωση της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους έγινε με βάση τα αποτελέσματα δοκιμαστικής φόρτισης πασσάλου [6].

Οι μετρήσεις κατά την περάτωση του κτιρίου έδειξαν καθιζήσεις 2,8 cm, φορτίο 15 MN σε ένα πασσάλο μήκους 25 m και μέση τιμή τάσης έδρασης της πλάκας 160 kPa, που σημαίνει ότι το μεγαλύτερο μέρος των 900 kPa του φορτίου της ανωδομής παραλαμβάνεται από τους πασσάλους και μεταφέρεται σε βαθύτερες εδαφικές στρώσεις.

(γ) Beisheim Center (70 m)

Η ιδιαιτερότητα αυτού του κτιριακού συγκροτήματος που γειτνιάζει με το SONY Center έγκειται στο ότι η θεμελίωση του υψηλού κτιρίου ύψους 70 m όπως και ενός μέρους των άλλων κτιρίων ύψους 35 m έπρεπε να γίνει εν μέρει πάνω σε υφιστάμενη σιδηροδρομική σήραγγα, η οποία είχε κατασκευαστεί στο νότιο τμήμα με βυθιζόμενα προκατασκευασμένα κιβώτια (caisson) και στο βόρειο με την μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης με διαφραγματικούς τοίχους. Στο υψηλό κτίριο εφάπτονται χαμηλότερα κτίρια που θεμελιώθηκαν με γενική κοιτόστρωση σε ενιαία πλάκα.

Το φορτίο της ανωδομής του 19ώροφου υψηλού κτιρίου του συγκροτήματος BC-1 με διαστάσεις κάτοψης περίπου 20×50 m φτάνει τοπικά τα 600 kPa. Για τον έλεγχο των διαφορικών καθιζήσεων και την εξασφάλιση της δομικής ακεραιότητας του κτιρίου, η πλάκα θεμελίωσης για το τμήμα που βρίσκεται εκτός της σήραγγας εδράζεται σε φρεατοπασσάλους (Εικόνα 3.18).

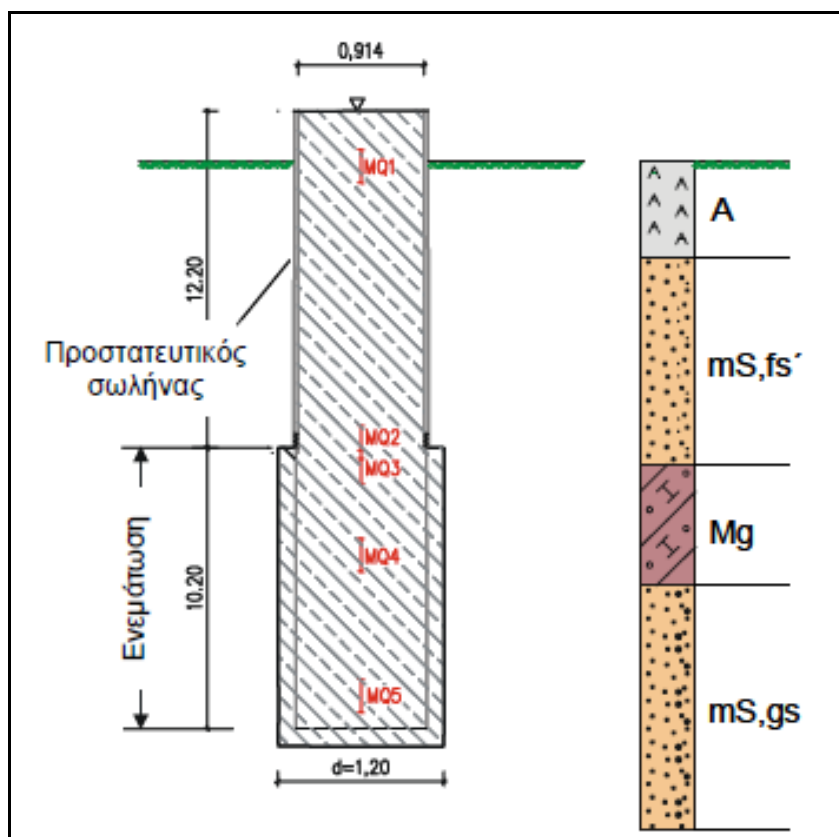


Εικόνα 3.18 Beisheim Center: Κάτοψη με θέσεις μαρτύρων καθίζησης και τομή [6].

Για την αποφυγή αστοχίας της κατασκευής απαιτείται ακριβής εκτίμηση των αναμενόμενων καθιζήσεων, τόσο της πασσαλοκοιτόστρωσης όσο και της ήδη υπάρχουσας σήραγγας. Με βάση την εμπειρία από το SONY Center επαναπροσδιορίστηκαν οι τιμές του μέτρου παραμόρφωσης των εδαφικών στρώσεων: Για την τιλλιτική στρώση (Mg) επιλέχτηκε μέτρο συμπίεστότητας $E_s = 20\sqrt{z}$ και για τις άμμους (S2) αντίστοιχα $E_s = 90\sqrt{z}$, λαμβάνοντας δηλαδή εξ' αρχής υπ' όψη την ευνοϊκή επίδραση της προφόρτισης του εδάφους [6].

Το μέγιστο βάθος έμπηξης των πασσάλων καθορίστηκε έτσι ώστε να μείνει ανέπαφη η υπάρχουσα στρώση στεγάνωσης της εκσκαφής. Οι πάσσαλοι, έχουν διάμετρο 1,20 m και είναι διατεταγμένοι σε κάρναβο 3×3 m. Το μήκος τους είναι 10 m στο κέντρο της ομάδας και 8 m στην περιφέρεια. Για την αύξηση της δυσκαμψίας τους εφαρμόστηκε ενεμάτωση της διεπιφάνειας πασσάλου - εδάφους και της βάσης με κατάλληλη διαδικασία. Η πλάκα θεμελίωσης του κτιρίου BC-1 έχει μεταβλητό πάχος από 1,0 ως 2,0 m.

Για την επαλήθευση των παραδοχών της μελέτης εκτελέστηκαν δοκιμαστικές φορτίσεις σε δύο πασσάλους. Στο Σχήμα 5 απεικονίζεται ο ένας πάσσαλος μήκους 10 m μαζί με το εδαφικό προφίλ. Εκτός της δύναμης στην κεφαλή του πασσάλου, μετρήθηκαν με ειδικά παραμορφωσίμετρα που τοποθετούνται πάνω στον κλωβό οπλισμού οι ανηγμένες παραμορφώσεις βράχυνσης σε 4 θέσεις κατά μήκος του πασσάλου (Εικόνα 3.19).



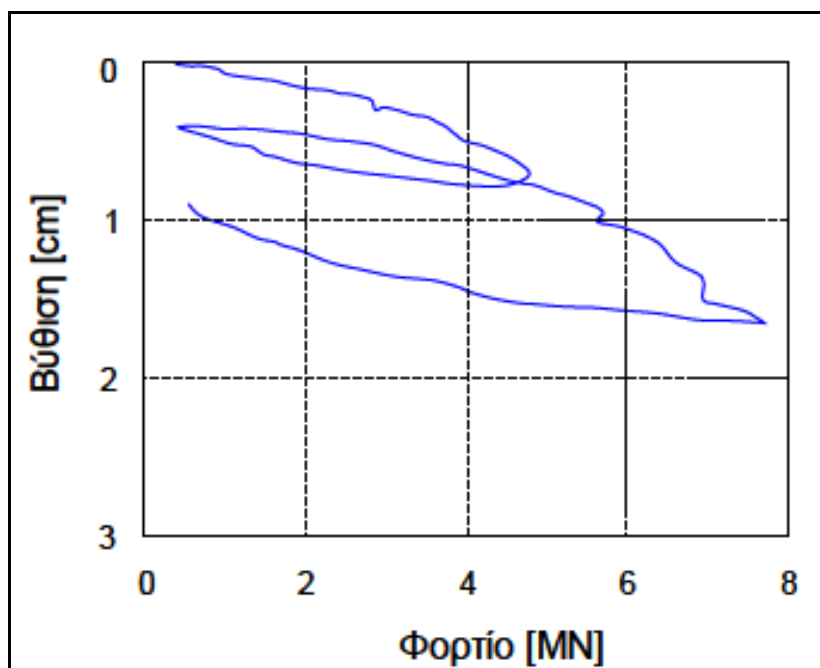
Εικόνα 3.19 Δοκιμαστικός πάσσαλος με εδαφικό προφίλ όπως προέκυψε για το κτίριο Beisheim Center [6]

Στην Εικόνα 3.20 διακρίνονται οι σωλήνες ενεμάτωσης του μανδύα και τα παραμορφωσίμετρα όπως επίσης το «μαξιλάρι» πίεσης για την ενεμάτωση της βάσης.

Το αποτέλεσμα της δοκιμαστικής φόρτισης συναρτήσει της βύθισης παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.21. Διακρίνεται η μεγαλύτερη δυσκαμψία του ενεματωμένου πασσάλου σε σύγκριση με τις τιμές για ένα κοινό έγχυτο φρεατοπάσσαλο κατά DIN 1054:2005.



Εικόνα 3.20 Οργανομετρούμενος δοκιμαστικός πάσσαλος με εξοπλισμό ενεμάτωσης [6]



Εικόνα 3.21 Αποτέλεσμα δοκιμαστικής φόρτισης πασσάλου της θεμελίωσης του κτιρίου Beisheim Center [6]

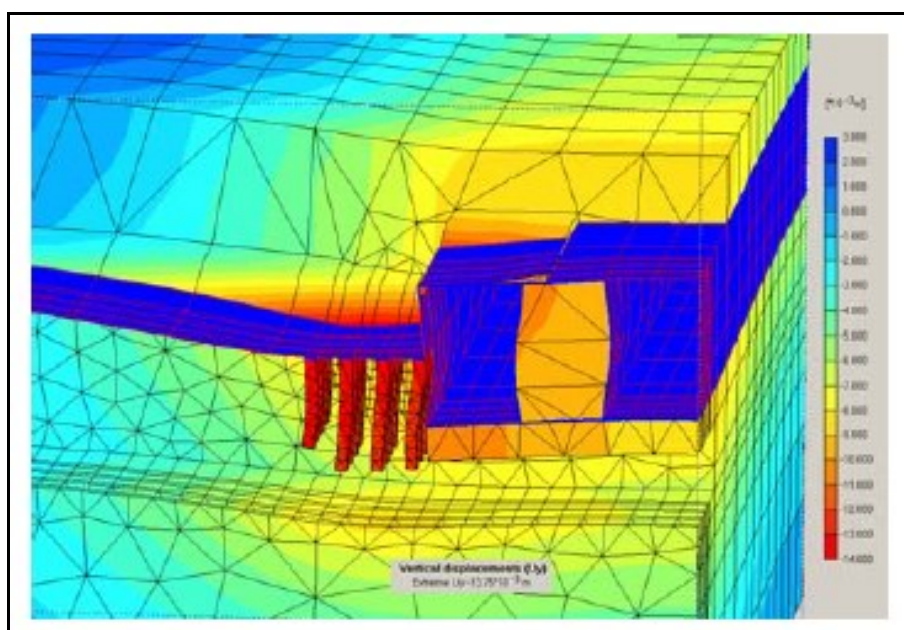
Τα δύο τμήματα της θεμελίωσης, πασσαλοκοιτόστρωση και σήραγγα, αναλύθηκαν κατ' αρχήν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Η σήραγγα υπολογίστηκε με πεπερασμένα στοιχεία και δείκτη εδάφους 30 MN/m^3 , που έδωσε – θεωρώντας ότι το φορτίο που προκαλεί καθιζήσεις ισούται με το 70% του συνολικού φορτίου – μια μέση τιμή καθίζησης 13 mm. Η πασσαλοκοιτόστρωση υπολογίστηκε με την μέθοδο Randolph που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και τις επιπλέον παραδοχές για την προσομοίωση της μη-γραμμικής συμπεριφοράς και της γεωμετρίας. Για την εκτίμηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο τμημάτων της σύνθετης θεμελίωσης, που οδηγεί σε μείωση των δυσκαμψιών, υιοθετήθηκε προσομοίωμα δύο εγκιβωτισμένων βάθρων [6]. Ο συνολικός δείκτης εδάφους για την πασσαλοκοιτόστρωση προκύπτει έτσι ίσως με 25 MN/m^3 , ενώ το ποσοστό φορτίου που παραλαμβάνουν οι πάσσαλοι είναι 79%. Η διάταξη των πασσάλων εξασφαλίζει την ομοιόμορφη κατανομή του φορτίου, με μέση τιμή 4,7 MN υπό συνθήκες συνολικού φορτίου. Η μέση καθίζηση εκτιμήθηκε σε 17 mm. Τοπικά, λόγω της τοποθέτησης μονωτικού υλικού για την απορρόφηση των κραδασμών από τη κυκλοφορία τραίνων μέσα στη σήραγγα, η εκτιμώμενη καθίζηση αυξάνεται κατά 5 mm.

Για τον έλεγχο της συμπεριφοράς της θεμελίωσης και για τη καταγραφή τυχόν ζημιών τοποθετήθηκαν τοπογραφικοί μάρτυρες καθίζησης τόσο μέσα στη σήραγγα (FB 003) όσο και στα κτίρια (BC 202 στο τμήμα του υψηλού κτιρίου που εδράζεται σε πασσάλους, BC 204 στο γεινιάζον χαμηλότερο τμήμα που θεμελιώθηκε σε ενιαία πλάκα). Στην Εικόνα 3.23 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων συναρτήσει της χρονικής εξέλιξης της κατασκευής του κτιριακού συγκροτήματος. Οι μετρήσεις δείχνουν τις αναμενόμενες ανυψώσεις κατά την διάρκεια της εκσκαφής και την σταδιακή αύξηση των καθιζήσεων.

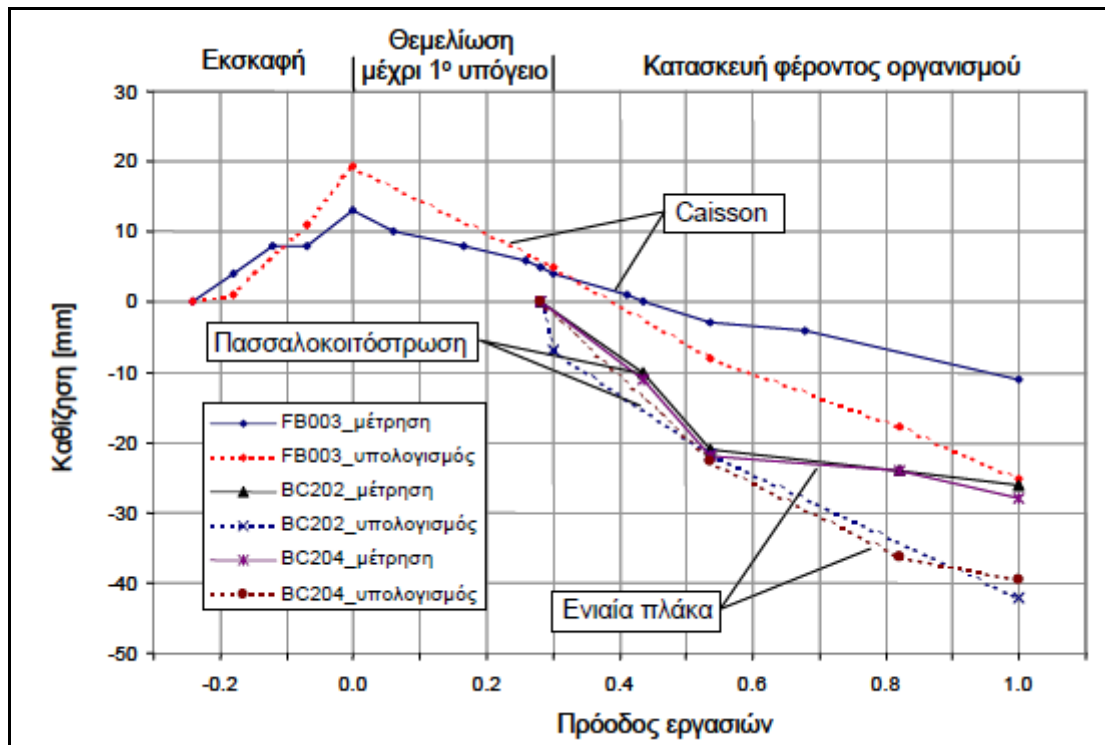
Η μέγιστη ανύψωση κατά 13 mm προέρχεται από την εκσκαφή πάνω και δίπλα από την σήραγγα όπως επίσης και από την υδατική πίεση στον πυθμένα της σήραγγας. Διακρίνεται επίσης ότι το caisson αρχίζει να βυθίζεται καθώς αυξάνεται το ύψος του κτιρίου.

Σκοπός του σχεδιασμού ήταν η επίτευξη, κατά το δυνατόν, ίσης καθίζησης για τα επιμέρους τμήματα της θεμελίωσης. Ενώ κατά την έναρξη της κατασκευής του φέροντος οργανισμού η διαφορά μεταξύ της καθίζησης της πασσαλοκοιτόστρωσης και του caisson αυξάνεται με τον χρόνο, μετά τη συμπλήρωση του 50% της κατασκευής του φέροντος οργανισμού παρατηρείται σταθεροποίηση της διαφοράς με τις δύο γραμμές να τείνουν να γίνουν παράλληλες (εξίσωση δυσκαμψιών).

Μετά την περάτωση της κατασκευής έγινε μια επανεξέταση του συστήματος θεμελίωσης μέσω μιας τριδιάστατης ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων και προσομοίωσης της μη γραμμικής συμπεριφοράς του εδάφους με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού, όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 3.22). Τα αποτελέσματα του υπολογισμού των καθιζήσεων στις θέσεις των μαρτύρων δίνονται χάριν συγκρίσεως, δείχνοντας μεν διαφορές στις απόλυτες τιμές αλλά παρόμοια μεγέθη διαφορικών καθιζήσεων [6].



Εικόνα 3.22 Παραμόρφωση της θεμελίωσης του κτιρίου Beisheim Center, όπως προέκυψε από αναλύσεις [6]



Εικόνα 3.23 Σύγκριση μετρήσεων και υπολογισμών της χρονικής εξέλιξης των καθιζήσεων της θεμελίωσης του κτιρίου Beisheim Center [6.]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η επιστήμη των θεμελιώσεων, όπως και κάθε άλλος κλάδος της επιστήμης του Πολιτικού Μηχανικού, βασίζεται στη θεωρία, στην έρευνα και σε παρατηρήσεις από τη συμπεριφορά των έργων. Από την επιτυχή αξιολόγηση όλων των ανωτέρω παραγόντων εξαρτάται η επιλογή ενός σωστού τρόπου θεμελιώσεως.

Ο Μηχανικός των θεμελιώσεων προσπαθεί να βρει λύσεις με επαρκή ασφάλεια από απόψεως φερούσης ικανότητας και επιτρεπομένων καθιζήσεων χωρίς όμως η επάρκεια αυτή να οδηγεί σε αντισοικονομικές λύσεις. Για να το επιτύχει αυτό χρειάζεται να είναι γνώστης των προσφερομένων θεωριών και της συμπεριφοράς των μαζών των διαφόρων τύπων εδαφών κάτω από διάφορες συνθήκες φορτίσεως και στραγγίσεως. Η γνώση των εδαφικών ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς των εδαφών θα πρέπει να συνδυάζεται με την κατανόηση της γεωλογίας του περιβάλλοντος και την κατανόηση και αντίληψη της λειτουργίας της ανωδομής.

Γνώσεις για τον τρόπο κατασκευής και της αλληλεπίδρασεως εδάφους-ανωδομής σε συνδυασμό με την επιτυχή αξιολόγηση των ανωτέρω θα οδηγήσουν την "προσωπική κρίση του Μηχανικού" σε μια επιτυχή λύση.

Όσον αφορά τις ειδικά τις τεχνικές θεμελίωσης που εξετάστηκαν στην εργασία:

Τα εγκιβωτισμένα θεμέλια μεγάλων διαστάσεων (φρέατα πάκτωσης) αποτελούν το κύριο είδος θεμελίωσης των γεφυρών μεγάλων ανοιγμάτων σε επικλινή κυρίως εδάφη στον άξονα της Εγνατίας Οδού. Η επιλογή των συγκεκριμένων στοιχείων θεμελίωσης προκύπτει κυρίως από την ανάγκη θεμελίωσης γεφυρών με μεγάλα ανοίγματα και υψηλά σεισμικά φορτία. Η μεγάλη πλευρική και στροφική αντίσταση των στοιχείων δίδει τη δυνατότητα υλοποίησης θεμελίωσης γεφυρών σε περιοχές με συνδυασμό δύσκολων μορφολογικών χαρακτηριστικών φυσικού εδάφους, σε περιοχές με εδαφικούς σχηματισμούς χαμηλής γενικά αντοχής, ή σε περιοχές με κατολισθητικά ή ερπυστικά φαινόμενα [7].

Ο σχεδιασμός τους διέπεται κυρίως από διεθνή κανονιστικά πρότυπα και τη διεθνή βιβλιογραφία. Η διαστασιολόγηση τους θεωρείται ένα σύνθετο γεωτεχνικό-στατικό πρόβλημα αλληλεπίδρασης «Θεμελίου-Περιβάλλοντος Μέσου-Ανωδομής» λόγω των αρκετών γεωμετρικών και μηχανικών παραμέτρων που εισάγονται στο πρόβλημα. Επιπρόσθετος παράγοντας δυσκολίας είναι η ενεργοποίηση των αντίστοιχων μηχανισμών εδαφικής αντίστασης, οι οποίοι δεν είναι κατ' ανάγκη ταυτόχρονοι και εξαρτώνται από το συμβιβαστό των αντίστοιχων παραμορφώσεων του στοιχείου.

Η μεθοδολογία κατασκευής των φρεάτων καθορίζεται ανάλογα με τις γεωτεχνικές και μορφολογικές συνθήκες. Η διάνοιξη της εκσκαφής τους απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό τόσο όσον αφορά θέματα εκσκαψιμότητας (Βραχώδη Εδάφη - Εκρηκτικά), όσο και για θέματα προσωρινών αντιστηρίξεων κυρίως για εκσκαφή σε εδάφη χαμηλής αντοχής.

Η πασσαλοκοιτόστρωση [6] σε εδάφη ικανής αντοχής αποτελεί σήμερα μια δοκιμασμένη μέθοδο θεμελίωσης υψηλών κτιρίων αλλά και βάθρων γεφυρών. Λόγω της πολυπλοκότητας του προβλήματος αλληλεπίδρασης εδάφους- κατασκευής, η

εφαρμογή της μεθόδου σε εδάφη με ελλιπή εμπειρία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την εγκατάσταση κατάλληλου συστήματος ενόργανης παρακολούθησης.

Όπως και στην πλειονότητα των γεωτεχνικών κατασκευών σήμερα, οι μέθοδοι ανάλυσης επικεντρώνονται προοδευτικά από την φέρουσα ικανότητα και την ασφάλεια έναντι αστοχίας της θεμελίωσης στη πρόγνωση των παραμορφώσεων και την ικανοποίηση των όρων λειτουργικότητας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. «Επιφανειακές θεμελιώσεις», Αναγνωστόπουλος Α.Γ.
- [2]. «Θεμελιώσεις με πασσάλους», Αναγνωστόπουλος Α.Γ.
- [3]. «Βαθιές θεμελιώσεις (πασσαλοι, πασσαλοσανίδες, αγκυρία), εγχυτοι πασσαλοι και φρεατοπασσαλοι», Γενική τεχνική συγγραφή υποχρεώσεων – Βαθιές θεμελιώσεις, Υπουργείο Οικονομίας και Οικονομικών, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων.
- [4]. «Χαλικοπάσσαλοι», Γεωργιος Μποκοβάλας, Καθ. ΕΜΠ, Μάρτιος 2013
- [5]. Εγνατία Οδός, Προδιαγραφές, Κάθετος άξονας Εγνατίας Οδού, Αρδάνιο – Ορμένιο:Τμήμα Αρδάνιο Μάνδρα, 2010.
- [6]. «Θεμελιώσεις πασσαλοκοιτόστρωσης για υψηλά κτίρια», Βρεττός Χ., 5^ο Πανελλήνιο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη, Τόμος 4, 2006.
- [7]. «Αντοχή του συστήματος θεμελίου – εδάφους και κατασκευή φρεατίων θεμελίωσης Γεφυρών στην Εγνατία Οδό», 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ ΕΤΕΚ, 2009, Κύπρο.
- [8]. http://www.kalliergos.com/sites/default/files/files/project/bridges_Part15%20GEFYRA%20ALIAKMONA%20EGNATIA.pdf
- [9]. <http://www.omikronkappa.gr/22-Stuff/04-Erga/04-01-Ektelesmena/04-01-04gr-GEFYRES.pdf>
- [10]. «Έδαφος Διάβρωση Ερημοποίηση Ρύπανση», Σφακιανάκη Μαρία, Γεωπόνος (ΠΕ14), Υπεύθυνη Περιβαλλοντικής Εκπ/σης Δ/σης Δ/θμιας Εκπαίδευσης Ν. Ηρακλείου, Μαγαλιού Καλλιόπη, Καθηγήτρια Πληροφορικής (ΠΕ19) 3^{ου} Γυμνάσιου Τρικάλων, Μπότσαρης Ιωάννης, Φυσικός (ΠΕ04), ΩΓ Βιολογίας, Λυκειάρχης Γενικού Λυκείου Θέρμου Αιτωλ/νιας
- [11]. 10^ο Μάθημα Τεχνικής Σεισμικής Γεωλογίας, Β. Χρηστάρας Καθηγητής, Β. Μαρίνος Λέκτορας.