

Κεφάλαιο 7. Θεμελιώσεις - συνέχεια

7.1. Αβαθής άμεση θεμελίωση μέσα στο νερό

Όπως είδαμε, η αβαθής θεμελίωση, μπορεί να γίνεται μέσα σε στεγνό περιβάλλον, οπότε έχουμε άμεση (& αβαθή) θεμελίωση σε στεγνό περιβάλλον, ή μπορεί να γίνεται μέσα στο νερό, όπως στην θάλασσα για λιμενικά έργα, σε ποτάμια για γέφυρες, ή σε ψηλή στάθμη υπογείων υδάτων.

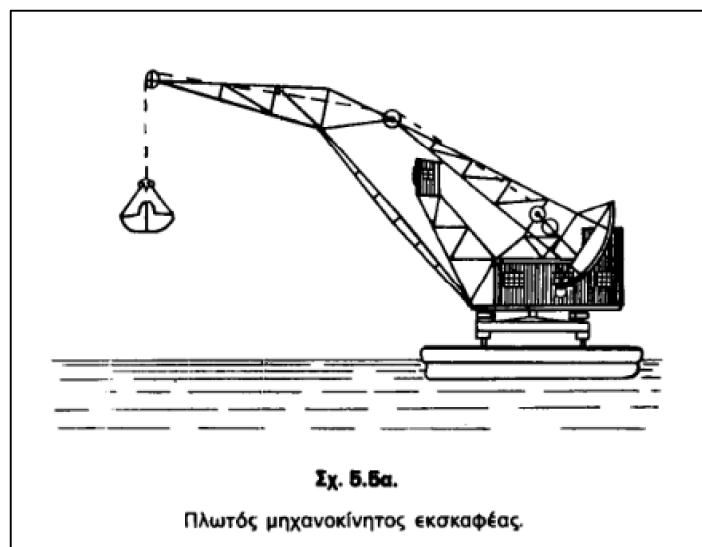
Τα θεμέλια ενός έργου μπορεί να βρίσκονται συνέχεια μέσα σε νερό, όπως στα λιμενικά έργα, στα βάθρα (στηρίξεις) των γεφυρών, στα φράγματα κλπ. Η κατασκευή των θεμελίων, μπορεί να γίνει είτε παρουσία νερού, είτε σε στεγνό περιβάλλον. Η κατασκευή των θεμελίων μέσα στο νερό είναι πιο δύσκολη και πιο δαπανηρή, αλλά και η απομάκρυνση του νερού για να γίνει η θεμελίωση σε στεγνό περιβάλλον επίσης είναι δύσκολη και δαπανηρή.

Για να γίνει η θεμελίωση γέφυρας σε στεγνό περιβάλλον, πρέπει να αλλάξει η κοίτη του ποταμού, να προστατευτούν με πασσαλοσανίδες τα πρανή του ορύγματος, και να γίνεται άντληση υπογείων υδάτων. Για να γίνει η θεμελίωση λιμενικού έργου σε στεγνό περιβάλλον, πρέπει να περιφραχτεί η περιοχή του έργου με στεγανά υλικά, και να γίνεται συνεχής άντληση του νερού της θάλασσας.

Οπότε υπάρχουν περιπτώσεις που συμφέρει να γίνει η θεμελίωση μέσα στο νερό, για να αποφύγουμε τα παραπάνω δύσκολα και δαπανηρά έργα.

Στην θεμελίωση μέσα στο νερό, υπάρχουν 2 φάσεις. Στην 1^η φάση γίνεται η διαμόρφωση (εκσκαφές) της επιφάνειας του εδάφους όπου θα εδραστούν τα θεμέλια, και στην 2^η γίνεται η κατασκευή των θεμελίων.

Στην 1^η φάση που είναι οι εκσκαφές, αυτές γίνονται με εκσκαφείς που είτε είναι πλωτοί, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα, είτε πατούν σε στερεό έδαφος εάν υπάρχει τέτοιο κοντά στο έργο.



Αν υπάρχει ανάγκη εκσκαφής σε βράχο, χρησιμοποιούμε εκρηκτικά, και μετά οι εκσκαφείς απομακρύνουν τα προϊόντα της έκρηξης. Τα διατρήματα στα οποία θα μπουν τα εκρηκτικά, μπορεί να ανοιχτούν με ειδικές αερόσφυρες που έχουν μακρύ στέλεχος, αλλά για την τοποθέτηση των εκρηκτικών, και για άλλες εργασίες βοηθητικές, είναι απαραίτητο να εργαστούν δύτες, ειδικά όταν το βάθος είναι μεγαλύτερο από 1,5-2 μέτρα.

Η παρουσία του νερού επηρεάζει στις περισσότερες περιπτώσεις την κατασκευή των θεμελίων. Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται οι διαφορές με την κατασκευή θεμελίων που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Τα θεμέλια μπορεί να κατασκευάζονται προκατασκευασμένα, είτε χυτά επί τόπου. Υπάρχει η τάση να χρησιμοποιούνται το δυνατόν μεγαλύτερα προκατασκευασμένα στοιχεία, για να γίνεται το μεγαλύτερο ποσοστό του έργου, έξω από το νερό. Σε άλλες περιπτώσεις, τα θεμέλια κατασκευάζονται χυτά επί τόπου, από απλό ή από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ακόμα μπορεί να γίνεται κατασκευή θεμελίων με λιθορριπή.

7.1.1. κατασκευή θεμελίων με χυτή διάστρωση σκυροδέματος μέσα στο νερό

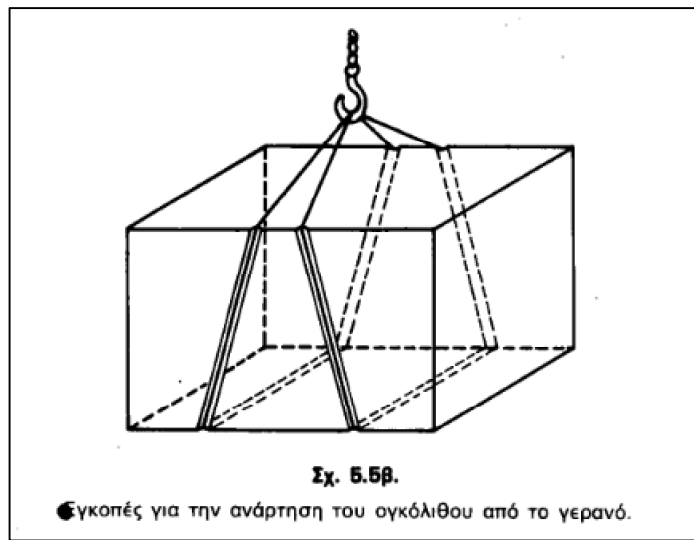
Οι κίνδυνοι για την χυτή κατασκευή σκυροδέματος είναι α) η απόπλυση του σκυροδέματος, δηλαδή το νερό να παρασύρει μέρος από το τσιμέντο και την λεπτόκοκκη άμμο, κάτι που είναι πιο επικίνδυνο όταν υπάρχει ροή νερού όπως στα ποτάμια, ή κυματισμός όπως στα λιμενικά έργα, και β) να ξεχωρίσουν τα υλικά του σκυροδέματος, με τους μεγαλύτερους κόκκους να βουλιάζουν πιο γρήγορα από τους λεπτούς. Με αποτέλεσμα το σκυρόδεμα σε αρκετό βάθος μέσα στο νερό, να αποτελείται από στρώσεις άλλες πλούσιες σε αδρανή υλικά, και άλλες πλούσιες σε τσιμέντο. Αυτό γίνεται αφού πρώτα θα βουλιάζουν τα σκύρα σαν βαρύτερα και έπειτα η άμμος, και τέλος το τσιμέντο σαν πιο ελαφρύ.

Για να αποφύγουμε ή μικρύνουμε αυτούς τους κινδύνους, το σκυρόδεμα πρέπει να φτάσει στην θέση του χωρίς να κάνει μεγάλες διαδρομές μέσα στο νερό. Για αυτόν τον λόγο, δεν επιτρέπεται να χύνεται το σκυρόδεμα στα θεμέλια, κατευθείαν από την επιφάνεια του νερού. Πρέπει αν χρησιμοποιούνται εύκαμπτοι σωλήνες ή άλλοι αγωγοί κατάλληλοι, που να έχουν την μια άκρη τους έξω από το νερό, όπου μπαίνει από εκεί το σκυρόδεμα, και η άλλη άκρη τους μετακινείται ώστε να είναι πάντα κοντά στο σημείο που πρέπει να διαστρωθεί το σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα γλιστράει με το βάρος μέσα στον σωλήνα, και δεν προλαβαίνουν τα υλικά του να διαχωριστούν. Μετά την διάστρωση, γίνεται αμέσως συμπύκνωση του σκυροδέματος με κοπάνισμα ή δόνηση, και έτσι περιορίζουμε τον κίνδυνο απόπλυσης του.

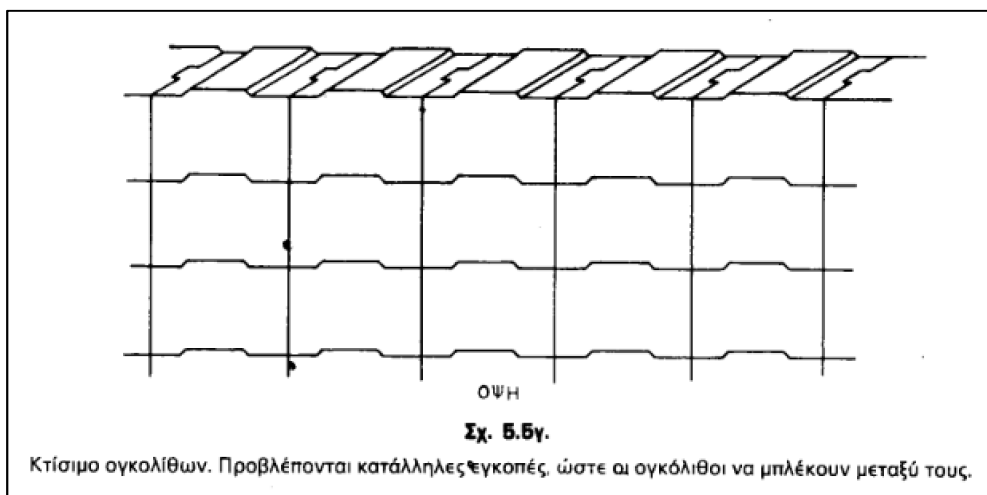
7.1.2. κατασκευή θεμελίων με προκατασκευασμένα στοιχεία μέσα στο νερό

Στην περίπτωση χρήσης προκατασκευασμένων στοιχείων για την θεμελίωση μέσα στο νερό, τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως ογκόλιθοι, ή κιβώτια κυψελωτά. Ακόμη στα λιμενικά έργα η θεμελίωση γίνεται από στρώματα λίθων, δηλαδή λιθορριπές.

Οι ογκόλιθοι κατασκευάζονται από απλό σκυρόδεμα ή από λιθόδεμα, έχουν σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου, όγκο 5 έως 20 μ3, βάρος από 10 έως 50 τόνους, και. Οι ογκόλιθοι έχουν εγκοπές για την ανάρτησή τους από τον γερανό, όπως φαίνεται στο σχήμα της επόμενης σελίδας.

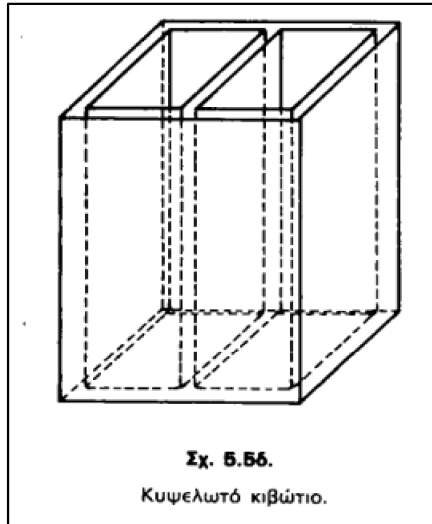


Οι ογκόλιθοι χτίζονται χωρίς συνδετικό κονίαμα, ώστε να βρίσκονται ακριβώς ο ένας πάνω στον άλλο. Δεν εφαρμόζεται το χτίσιμο με σύστημα όπως τα τούβλα, όπου οι κατακόρυφοι αρμοί διακόπτονται από οριζόντιους αρμούς. Οι ογκόλιθοι χτίζονται σχηματίζοντας ανεξάρτητες στήλες, και η ευστάθεια της κατασκευής βασίζεται στο μεγάλο βάρος των ογκόλιθων. Επικουρικά (βοηθητικά) μπορεί να έχουν διαμορφωθεί οι έδρες τους με κατάλληλες εγκοπές, ώστε να συμπλέκονται ο ένας ογκόλιθος με τον άλλον, για αύξηση της ευστάθειας, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Πιο παλιά οι ογκόλιθοι χτίζονταν με πέτρες, και το κονίαμα ήταν υδραυλικό (δηλαδή έπηξε μέσα στο νερό), και ήταν κυρίως κονίαμα με θηραϊκή γη. Νεότερα οι ογκόλιθοι κατασκευάζονται από απλό σκυρόδεμα ή από λιθόδεμα. Εγκοπές διαμορφώνονται στην επιφάνεια τους, για να περνούν τα συρματόσχοινα από τα οποία τα πιάνει το ανυψωτικό μηχάνημα (γερανός) και τα μεταφέρει στην οριστική τους θέση. Όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα, αυτές οι εγκοπές είναι λοξές, για να μην κινδυνεύουν να ανατραπούν, και να έχουν ευσταθή ισορροπία.

Τα κυψελωτά κιβώτια (caissons), κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα, και αποτελούνται από ένα σχετικά λεπτό περίβλημα και μερικά διαφράγματα, όπως φαίνεται στο σχήμα της επόμενης σελίδας, και είναι πολύ ελαφρύτερα. Μπορούν να έχουν πυθμένα ή να είναι απύθμενα. Όταν μετακινηθούν στην τελική τους θέση, γεμίζονται τα κενά τους με αμμοχάλικο και αποκτούν την απαιτούμενη ευστάθεια.

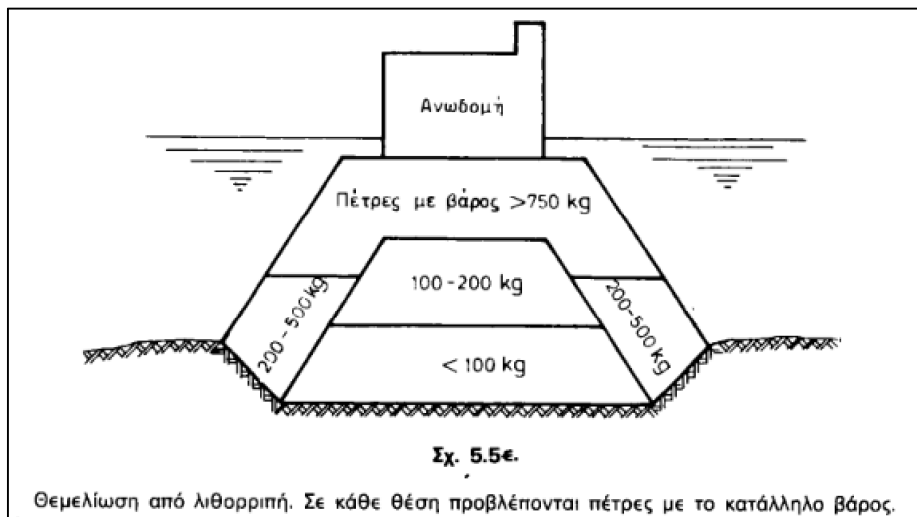


Όταν έχουν πυθμένα, είναι πλωτά, επιπλέουν στο νερό και η μεταφορά τους είναι ευκολότερη. Όταν κατασκευαστούν και πήξουν καλά, μπορούν όπως ένα πλοίο να καθελκυστούν, ή να ρυμουλκηθούν στην τελική τους θέση. Μετά γεμίζονται τα κενά τους με σκυρόδεμα ή λιθόδεμα ή αμμοχάλικο, και έπειτα τα κιβώτια βυθίζονται ήρεμα. Με αυτόν τον τρόπο είναι εύκολο να γίνουν οι κατάλληλοι χειρισμοί, ώστε κάθε κιβώτιο με ακρίβεια να τοποθετηθεί στην σωστή θέση.

Τα κιβώτια χωρίς πυθμένα (απύθμενα) είναι μια ενδιάμεση λύση, μεταξύ στους ογκόλιθους και τα κιβώτια με πυθμένα. Δεν είναι πλωτά, και μεταφέρονται με γεραμούς, όπως οι ογκόλιθοι. Είναι ελαφρύτερα (αφού δεν έχουν πυθμένα), και μπορούν να γίνουν μεγαλύτερα, ώστε να λιγότεψει ο αριθμός των μεταφορών. Το υλικό για την συμπλήρωση των κενών τους, μπορεί να είναι πολύ πιο φθηνό από το υλικό κατασκευής των συμπαγών ογκόλιθων.

7.1.3. κατασκευή θεμελίων με λιθορριπή μέσα στο νερό

Στα λιμενικά έργα, η θεμελίωση πολλές φορές είναι στρώματα λίθων, στα οποία πάνω εδράζεται η ανωδομή. Οι λίθοι διαστρώνονται στον πυθμένα (και πάνω στα στρώματα λίθων) φύρδη μύγδην, και δεν μπορούν να θεωρηθούν λιθοδομές αλλά λιθορριπές. Οι λίθοι δεν τοποθετούνται τυχαία, αλλά σε ορισμένες θέσεις του θεμελίου του λιμενικού έργου. Σε άλλες θέσεις μπαίνουν μεγαλύτερες πέτρες, στο πάνω μέρος του θεμελίου, και σε άλλες θέσεις μπαίνουν μικρότερες πέτρες (στον πυρήνα, και ενδιάμεσες στα κάτω τοιχώματα), όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Οι πέτρες αυτές που γίνονται αυτές οι κατασκευές λιμενικών έργων, είναι πολύ μεγάλες, με βάρη λιγότερα από 100 κιλά, έως μεγαλύτερο από 750 κιλά. Πολλές φορές, λόγω μεγέθους, χρειάζεται να κατασκευαστούν από λιθοδομή, λιθόδεμα ή σκυρόδεμα.

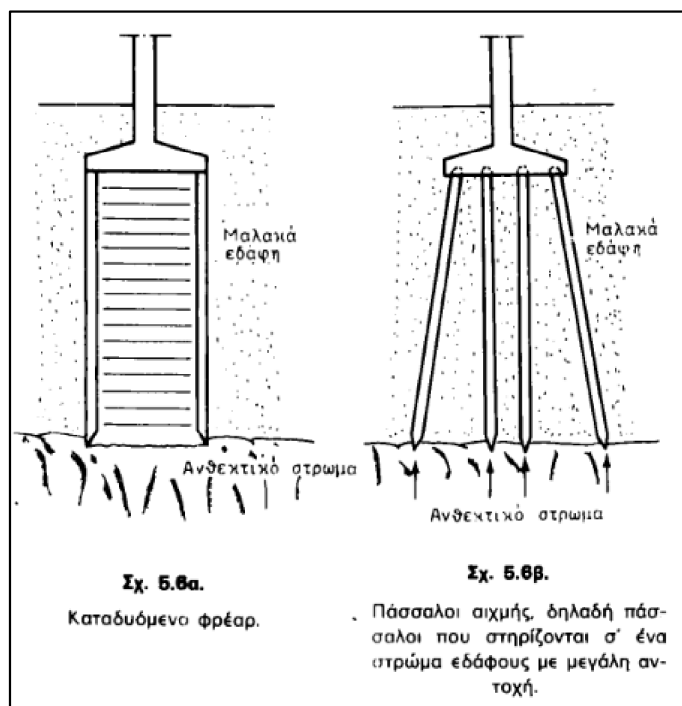
Το έδαφος κάτω από την θεμελίωση, στον πυθμένα της θάλασσας δηλαδή, η θεμελίωση με λιθορριπή κάτω από το νερό, μπορεί να εμφανίσει πολύ μεγάλες καθιζήσεις. Στα λιμενικά έργα είναι ανεκτές οι μεγάλες καθιζήσεις, αλλά απαγορεύονται σε άλλου είδους δομικά έργα.

7.2. Βαθιές θεμελιώσεις (πάσσαλοι και καταδύόμενα φρεάτια)

Οι βαθιές θεμελιώσεις γενικά είναι δύσκολες και δαπανηρές σαν λύση για την θεμελίωση. Για να κατασκευαστούν οι βαθιές θεμελιώσεις, σχεδόν πάντα απαιτείται βαρύς μηχανικός εξοπλισμός, και απαιτείται πείρα του κατασκευαστή. Αν ο εξοπλισμός είναι ακατάλληλος και η πείρα δεν είναι επαρκής, είναι πολύ πιθανό οι εργασίες να αποτύχουν, και η αποτυχία μεταφράζεται σε μεγάλες υλικές ζημιές (και για την θεμελίωση και για το τεχνικό έργο που στηρίζουν).

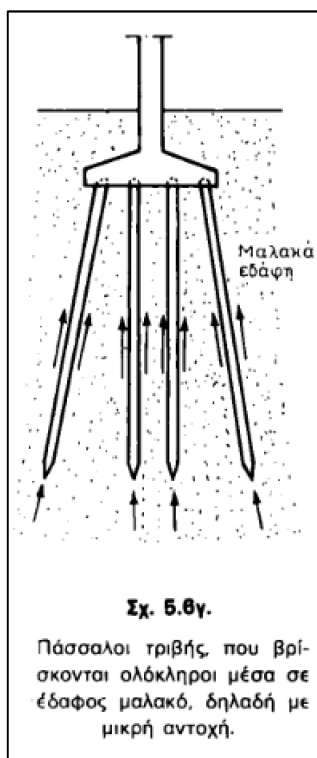
Κυρίως σε 2 περιπτώσεις χρησιμοποιούμε βαθιές θεμελιώσεις. Πρώτον, όταν το στερεό έδαφος, που μπορεί να αναλάβει τα φορτία του έργου με ασφάλεια, βρίσκεται σε μεγάλο βάθος, ώστε δεν συμφέρει να σκαφτούν όλα τα στρώματα του εδάφους, που σκεπάζουν το στερεό έδαφος, για να εδραστεί σε αυτό η θεμελίωση. Και δεύτερον, όταν το έδαφος ακόμα σε μεγάλο βάθος έχει μικρή αντοχή, αλλά αν απαλλαχτούν τα επιφανειακά στρώματα, από τις πρόσθετες επιβαρύνσεις λόγω αβαθούς θεμελίωσης, να μπορεί τότε το έδαφος να παρουσιάσει ανεκτές καθιζήσεις (δεδομένου ότι όσο πιο μεγάλο το βάθος, τόσο πιο μεγάλη αντοχή, άρα και πιο μικρές καθιζήσεις έχει το έδαφος, γιατί είναι ήδη προ-φορτισμένο λόγω βάρους των στρωμάτων του εδάφους),

Στην 1^η γενική περίπτωση με το γερό έδαφος σε μεγάλο βάθος, κατασκευάζονται καταδύόμενα φρεάτια ή κατασκευάζονται πάσσαλοι αιχμής, όπως φαίνεται στο σχήμα



και το έργο στηρίζεται μόνο στα χαμηλότερα βαθιά στρώματα, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

Στην 2^η γενική περίπτωση, με μαλακό έδαφος παντού χωρίς γερό έδαφος χαμηλά, κατασκευάζονται πάσσαλοι τριβής, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Ένα μέρος των φορτίων στηρίζεται το κάτω μέρος του εδάφους (άρα λειτουργεί ελαφρώς σαν πάσσαλος αιχμής), και το μεγαλύτερο μέρος των φορτίων παραλαμβάνονται από το έδαφος με τις δυνάμεις τριβής μεταξύ πασσάλου και εδάφους, σε όλο το μήκος του πασσάλου. Τα φορτία που παραλαμβάνονται με τριβή είναι πολύ μεγάλο ποσοστό όλων των φορτίων.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκαν σε ποιες περιπτώσεις προτιμούνται οι βαθιές θεμελιώσεις.

α/α	Συνθήκες εδάφους	Κατάλληλος τύπος θεμελίου
1	Πυκνή άμμος, στρώματος μεγάλου βάθους	Πέδιλα ή βαθιά θεμελίωση πάσσαλοι (εάν υπάρχει κίνδυνος ανύψωσης, ή δράση άλλων μη συνηθισμένων δυνάμεων)
2	Στερεή άργιλος, ή στερεή ιλύς και άργιλος (μεγάλου βάθους)	Πέδιλα ή βαθιά θεμελίωση πάσσαλοι (όπως ανωτέρω)
3	Σκληρή άργιλος, μετά μαλακή άργιλος	Πέδιλα ή βαθιά θεμελίωση πάσσαλοι (για μεγάλα φορτία)

4	Χαλαρή άμμος, μεγάλου βάθους	Πέδιλα ή βαθιά θεμελίωση πάσσαλοι (οι οποίοι επίσης συμπτκνώνουν το έδαφος)
5	Μαλακή άργιλος αυξανόμενης σκληρότητας με το βάθος, μετά άργιλος μέσης σκληρότητας, και πιο κάτω σκληρή άργιλος	βαθιά θεμελίωση Πάσσαλοι τριβής ή πάσσαλοι αιχμής
6	Μαλακή άργιλος, και πιο κάτω βράχος	Βαθιά θεμελίωση με έδραση στον βράχο ή πάσσαλοι ή βάρθρα ή κιβώτια
7	Πυκνή άμμος, μετά μαλακή άργιλος, και πιο κάτω σκληρή άργιλος	Βαθιά θεμελίωση με έδραση σε στρώμα σκληρής αργίλου πάσσαλοι
8	Μαλακή άργιλος, και πιο κάτω πυκνή άμμος	Βαθιά θεμελίωση ή πάσσαλοι έγχυτοι ή πάσσαλοι ελικοειδείς ή πάσσαλοι σχήματος λωβού σε βάση
9	Επιχώσεις, μετά χαλαρή άμμος ή μαλακή άργιλος ή οργανικό έδαφος, και πιο κάτω άμμος μέσης πυκνότητας	βαθιά θεμελίωση ή πάσσαλοι αιχμής ή πάσσαλοι τριβής
10	Χαλαρές αποθέσεις, μετά άμμος μέσης πυκνότητας, έπειτα άργιλος μέσης σκληρότητας, και πιο κάτω βράχος	βαθιά θεμελίωση πάσσαλοι τριβής μέχρι και το στρώμα άμμου
11	Μαλακή άργιλος, μετά άμμος μέσης πυκνότητας, έπειτα μαλακή άργιλος, και βράχος	βαθιά θεμελίωση ή πάσσαλοι τριβής, μέχρι το στρώμα άμμου ή πάσσαλοι λωβού, μέχρι το στρώμα άμμου ή πάσσαλοι αιχμής, μέχρι τον βράχο
12	Χαλαρές αποθέσεις, μετά χαλαρή άμμος ή μαλακή άργιλος, και πιο κάτω βράχος	Υπόγεια μέχρι τον βράχο ή βαθιά θεμελίωση πάσσαλοι τριβής

Συνήθειες περιπτώσεις χρήσης πασσάλων είναι

1. Όταν θέλουμε να μεταφέρουμε φορτία, που είναι κατακόρυφα ή οριζόντια, σε βαθύτερα στρώματα εδάφους, επειδή τα επιφανειακά είναι πολύ συμπιεστά, ή δεν έχουν απαιτούμενη αντοχή
2. Όταν υπάρχει κίνδυνος από την άνωση του νερού, επειδή μέρος του υπογείου κατασκευάζεται κάτω από την στάθμη των υπογείων υδάτων, ή όταν κτίζουμε σε περιοχές παραθαλάσσιες.
3. Όταν τα εδάφη είναι χαλαρά μη συνεκτικά, και θέλουμε να τα συμπτκνώσουμε. Αυτοί οι

πάσσαλοι θεωρούνται πάσσαλοι βελτίωσης εδάφους. Α συμπίεση πετυχαίνεται με την εκτόπιση εδάφους κατά την έμπηξη των πασσάλων, σε συνδυασμό με τις δονήσεις κατά την διαδικασία έμπηξης.

4. Όταν η επιφανειακή θεμελίωση θα εδραζόνταν σε συμπιεστό έδαφος, ή όταν σε μικρό βάθος κάτω από την στάθμη της θεμελίωσης, υπάρχει πολύ συμπιεστό στρώμα εδάφους. Έτσι μειώνουμε με τους πασσάλους τις υψηλές καθιζήσεις που θα είχαμε.
5. Όταν θέλουμε να κατασκευάσουμε μια βιομηχανική μονάδα, με μηχανές των οποίων η λειτουργία, θα προκαλέσει ισχυρές δονήσεις, άρα και καθιζήσεις, στην θεμελίωση και στο έδαφος.
6. Όταν θέλουμε γενικά να αυξήσουμε την ασφάλεια της θεμελίωσης.

Στις επόμενες παραγράφους θα αναφερθούν

- Καταδυόμενα φρεάτια
- Πάσσαλοι από προκατασκευασμένα στοιχεία
 - αιχμής ή τριβής, με πασσαλοεσχάρα
 - βελτίωσης εδάφους
- Πάσσαλοι που κατασκευάζονται μέσα στο έδαφος ή έγχυτοι (χυτοί)
 - αιχμής ή τριβής, με μόνιμη ή όχι επένδυση -περίβλημα
 - φρεατοπάσσαλοι

Η διατομή των πασσάλων πρέπει να έχει απαιτούμενες διαστάσεις που θα εξασφαλίσουν την ανάληψη των φορτίων της ανωδομής. Η τοποθέτηση των πασσάλων γίνεται με διάφορους τρόπους και μεθόδους, όπως

1. Με έμπηξη του πασσάλου με χτυπήματα από την σφύρα. Προκαλούνται έτσι ισχυρές δονήσεις, και θόρυβος, που μπορούν να προκαλέσουν ζημιές σε γειτονικές κατασκευές.
2. Με έμπηξη, μέσω μιας διάταξης προσαρμοσμένης στην κεφαλή του πασσάλου, η οποία προκαλεί μικρότερες ενοχλήσεις
3. Με έγχυση οπλισμένου σκυροδέματος, αφού πρώτα γίνει διάτρηση του εδάφους, και έπειτα γίνει η σκυροδέτηση.

7.2.1. καταδυόμενα φρεάτια

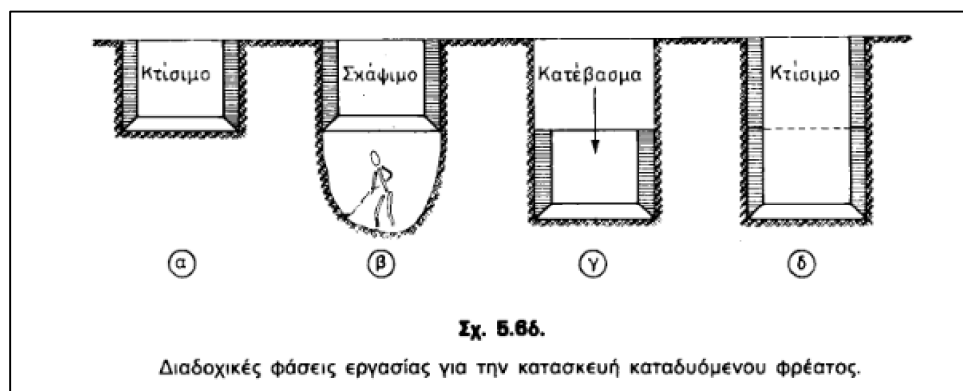
Τα καταδυόμενα φρεάτια, όπως αναφέρθηκε, κατασκευάζονται όταν το στερεό έδαφος, που μπορεί να αναλάβει τα φορτία του έργου με ασφάλεια, βρίσκεται σε μεγάλο βάθος, ώστε δεν συμφέρει να σκαφτούν όλα τα στρώματα του εδάφους, που σκεπάζουν το στερεό έδαφος, για να εδραστεί σε αυτό η θεμελίωση. Τα ανώτερα στρώματα είναι χαλαρά ή υδαρή, και το στερεό έδαφος είναι σε μεγάλο αλλά όχι σε τόσο μεγάλο βάθος. Τα καταδυόμενα φρεάτια έχουν οριζόντιες διαστάσεις 2 με 3 μέτρα, και βάθος 10 με 15 μέτρα.

Η διαφορά της μεθόδου αυτής με την αβαθή θεμελίωση, είναι ότι οι εργασίες εκσκαφής (για την θεμελίωση) γίνεται σύγχρονα με την κατασκευή της θεμελίωσης, και δεν χρειάζεται να

αντιστηριχτούν τα πρανή. Ο όγκος των εκσκαφών περιορίζεται επειδή δεν χρειάζεται να έχουν κλίση τα πρανή. Η κατασκευή του θεμελίου είναι οικονομική επειδή εκτελείται πάντα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και όχι στο βάθος του ορύγματος.

Η διαδικασία κατασκευής των καταδύομενων φρεατίων **περιγράφεται στο επόμενο σχήμα**, όπου φαίνονται οι διαδοχικές φάσεις των εργασιών.

- Σκάβεται πρώτα ένα ρηχό ορύγμα, που είναι συνήθως κυκλικό, και μέσα σε αυτό κατασκευάζεται το χαμηλότερο τμήμα του φρέατος, το οποίο έχει την μορφή επένδυσης πρανών του ορύγματος. Η επένδυση στο κάτω μέρος σχηματίζει ένα νύχι (σχήμα α), που βοηθάει την επένδυση να βυθίζεται στο έδαφος. Το νύχι οπλίζεται συνήθως με μεταλλικό στεφάνι.
- Έπειτα συνεχίζεται το σκάψιμο στον πυθμένα του ορύγματος ώσπου να διπλασιαστεί το βάθος της εκσκαφής (σχήμα β).
- Το νέο κάτω τμήμα του ορύγματος, έχει την ίδια κάτοψη με το αρχικό, και η επένδυση στέκεται χωρίς στήριγμα, και λόγω βάρους αρχίζει να γλιστράει προς τα κάτω, ώσπου να φτάσει στον πυθμένα της νέας εκσκαφής (σχήμα γ).
- Μετά κατασκευάζεται ένα δεύτερο στοιχείο επένδυσης, ακριβώς πάνω από το πρώτο στοιχείο επένδυσης



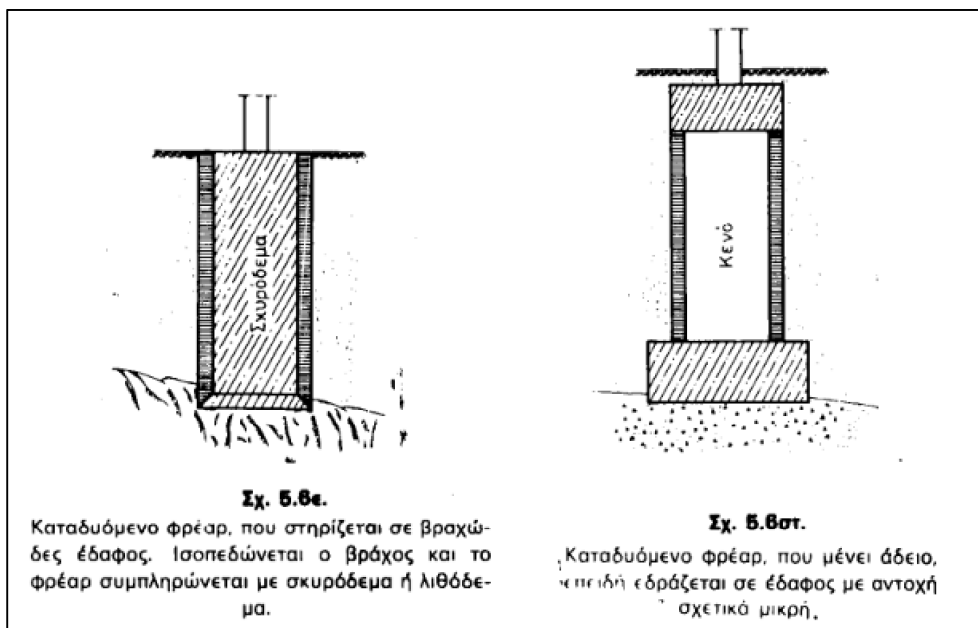
Μετά επαναλαμβάνεται το σκάψιμο, γίνεται ένα νέο γλίστρημα της επένδυσης, νέο κατασκευή επένδυσης κ.ο.κ. ώστε να φτάσουμε στο επιθυμητό βάθος, και το νύχι του 1^{ου} και κατώτερου τμήματος να ακουμπήσει σταθερά στο στερεό έδαφος. Το φρέατιο μπορεί α) να συμπληρωθεί με σκυρόδεμα απλό ή οπλισμένο όταν στηρίζεται σε βραχώδες έδαφος, **όπως φαίνεται στο σχήμα της επόμενης σελίδας.**

ή β) να μείνει άδειο όταν εδράζεται σε έδαφος σχετικά μικρής αντοχής (αλλά μεγαλύτερης από τα ανώτερα μαλακά στρώματα), **όπως φαίνεται στο σχήμα της επόμενης σελίδας.**

Το έδαφος στο οποίο γίνονται τα καταδύομενα φρεάτια, είναι συνήθως μαλακό ή υδαρές, ώστε είναι αρκετό να σκάβεται μόνο το κέντρο του ορύγματος. Με το σκάψιμο γίνονται κατολισθήσεις στα πρανή, και η επένδυση γλιστράει προς τα κάτω από το βάρος της, και στο ανώτερο μέρος της συνεχίζεται η κατασκευή της επένδυσης. Έτσι η κατασκευή των καταδύομενων φρεατίων γίνεται σχεδόν συνεχώς και όχι με τόσο ξεχωριστά βήματα.

Σε άλλες περιπτώσεις, που το έδαφος δεν αφήνει την επένδυση να γλιστρήσει μόνη της λόγω

του βάρους της, τοποθετούμε στην επένδυση προσωρινά φορτία, για να αναγκαστεί (πιέζοντας το έδαφος με τα φορτία) να προχωρήσει προς τα κάτω.



Η κατασκευή των καταδυόμενων φρεατίων είναι εργασία πάντα επικίνδυνη. Γίνεται σε μεγάλο βάθος, επίσης στον πάτο της εκσκαφής συγκεντρώνονται διοξείδιο του άνθρακα ή άλλα βαριά αέρια, και υπάρχει ο κίνδυνος απρόβλεπτης κατολίσθησης. Για αυτούς τους λόγους, είναι απαραίτητο να υπάρχει παροχή καθαρού αέρα, για να αποφευχθούν φαινόμενα ασφυξίας από τα αέρια. Ακόμη πρέπει οι εργάτες να είναι δεμένοι με σκοινιά, για να μπορούν να ανασυρθούν σε περίπτωση ασφυξίας ή απώλειας αισθήσεων λόγω αερίων, ή σε περίπτωση ατυχήματος από απρόβλεπτη κατολίσθηση.

Σε ανωδομή με φέρουσα κατασκευής που έχει μορφή σκελετού, κατασκευάζεται ένα καταδυόμενο φρεάτιο κάτω από κάθε σημείο (πχ κολώνες) στο οποίο καταλήγουν τα φορτία της ανωδομής. Εάν η φέρουσα κατασκευή της ανωδομής έχει συνεχή στοιχεία (πχ τοίχοι), κατασκευάζονται περισσότερα φρεάτια κάτω από κάθε κατακόρυφο στοιχείο, και πάνω στα φρεάτια αυτά κατασκευάζεται μια θεμελοδοκός- πεδιλοδοκός, η οποία είναι και η χαμηλότερη ζώνη και στοιχείο της φέρουσας κατασκευής του τεχνικού έργου.

Τα υλικά των καταδυόμενων φρεατίων, παλιότερα ήταν πέτρες ή τούβλα συμπαγή, και χτιζόνταν με υδραυλικά κονιάματα (όπως θηραϊκό-κονίαμα) σύνδεσης. Μεταγενέστερα χρησιμοποιούνταν απλό ή οπλισμένο σκυρόδεμα.

Πάντως λόγω της προόδου της τεχνολογίας των πασσάλων, και της δυνατότητας κατασκευής πασσάλων της ίδιας διαμέτρου που λέγονται φρεατοπάσσαλοι, και που έχουν περίπου το ίδιο αποτέλεσμα, η χρήση των καταδυόμενων φρεατίων είναι όλο και λιγότερη.

7.2.2. πασσαλώσεις με προκατασκευασμένους πασσάλους

Η πασσάλωση ως μέθοδος κατασκευής και θεμελίωσης εφαρμόζεται από πολύ παλιές εποχές, όπως οι λιμναίες προϊστορικές κατοικίες στηρίζονταν σε πασσάλους πάνω. Σε

περιοχές ελώδεις ή περιοχές με μαλακά και ασταθή εδάφη, η θεμελίωση με πασσάλους ήταν πάντα η συνηθισμένη λύση.

Αρχικά οι πάσσαλοι ήταν ξύλινοι, όπου ξύλινοι χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα σε περιοχές με άφθονη ξυλεία, και σε μικρά έργα. Στα νεότερα χρόνια οι ξύλινοι πάσσαλοι έχουν την τάση να αντικατασταθούν από μεταλλικούς, και όλο περισσότερο από οπλισμένου σκυροδέματος. Οι πάσσαλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα, δεν σαπίζουν ούτε σκουριάζουν μέσα στο έδαφος (όπως συμβαίνει στους υπόλοιπους), και ειδικότερα προτιμούνται σε περιοχές με στάθμη υπογείων υδάτων που είναι άλλοτε ψηλά και άλλοτε χαμηλά.

Οι πάσσαλοι μπορεί να είναι προκατασκευασμένοι, ή να κατασκευάζονται στο έργο.

Οι προκατασκευασμένοι πάσσαλοι, μπορεί να λειτουργήσουν α) ως πάσσαλοι αιχμής για βαθιά θεμελίωση, β) ως πάσσαλοι τριβής για βαθιά θεμελίωση, και γ) ως πάσσαλοι για βελτίωση του εδάφους.

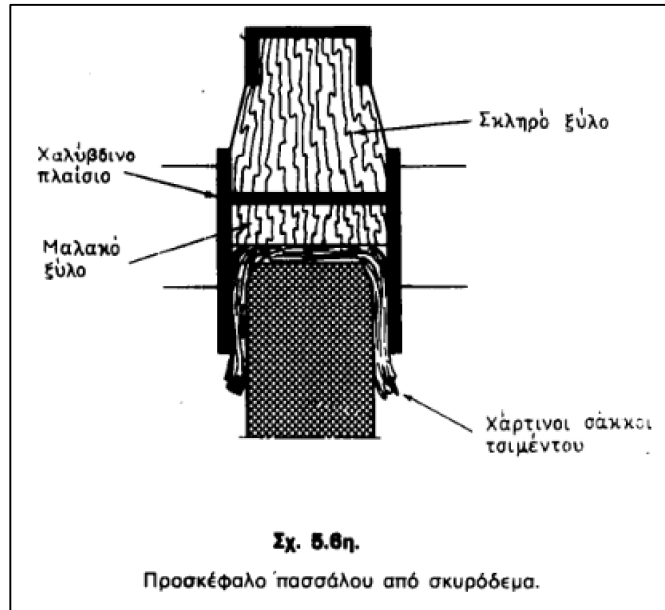
Οι πάσσαλοι αιχμής έχουν το μειονέκτημα ότι η επιφάνεια έδρασης τους είναι μικρή. Μεταβιβάζουν τα φορτία που φέρουν από την ανωδομή, μέσω της αιχμής τους, σε βαθύτερα και ανθεκτικότερα στρώματα

Οι πάσσαλοι τριβής μεταβιβάζουν τα φορτία που φέρουν από την ανωδομή, μέσω της τριβής, που αναπτύσσεται μεταξύ εδάφους και παράπλευρης επιφάνειας πασσάλου. Μειονεκτούν επειδή η πλευρική επιφάνεια τους είναι σχετικά λεία και έχουν μικρό συντελεστή τριβής. Το κύριο πλεονέκτημα των προκατασκευασμένων πασσάλων, είναι ότι η ποιότητα, η κατασκευή και το σχήμα τους, ελέγχονται πολύ καλύτερα από τους πασσάλους που κατασκευάζονται μέσα στο έδαφος στον χώρο του έργου.

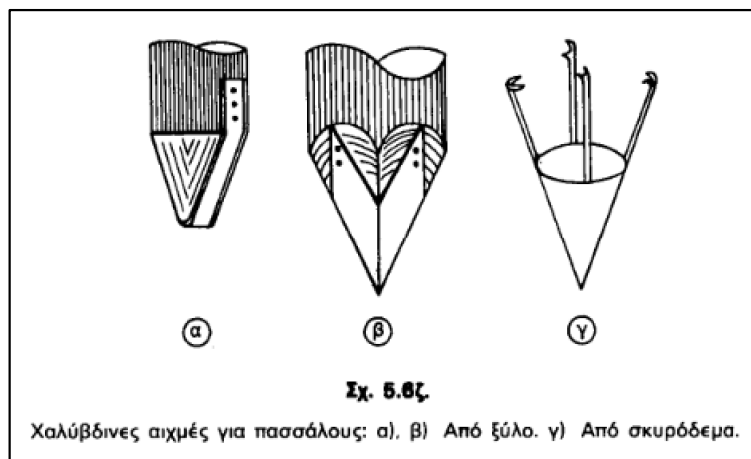
Οι προκατασκευασμένοι πάσσαλοι αποτελούνται από 3 μέρη, την κεφαλή στο πάνω μέρος, τον κορμό, και την αιχμή στο κάτω μέρος.

Η κεφαλή του πασσάλου είναι το πάνω μέρος του, και συνήθως προσαρμόζεται πάνω της ένα ξύλινο προσκέφαλο, ακόμα και αν ο πάσσαλος είναι από σκυρόδεμα, για να προστατεύει από τα χτυπήματα του πασσαλοπήκτη. **Στο σχήμα της επόμενης σελίδας φαίνεται** ξύλινο προσκέφαλο πασσάλου από σκυρόδεμα.

Ο κορμός του πασσάλου είναι το ενδιάμεσο τμήμα μεταξύ κεφαλής και αιχμής, και το πιο μεγάλο. Το μήκος των πασσάλων είναι μεταξύ 5 και 20 μέτρων. Σπάνια χρησιμοποιούνται πάσσαλοι με μεγαλύτερο μήκος. Σε ξύλινους πασσάλους ο κορμός είναι συνήθως κυλινδρικός γιατί προέρχεται από κορμό κάποιου δέντρου. Η διατομή του ξύλινου πασσάλου δεν είναι σταθερή σε όλο το μήκος του, αλλά στενεύει ελαφρά από πάνω προς τα κάτω. Στους μεταλλικούς πασσάλους, ο κορμός έχει διατομή συνήθως διπλού Ταυ, και σπανιότερα έχει σχήμα σωλήνα. Η διατομή των μεταλλικών πασσάλων παραμένει ίδια σε όλο το μήκος του κορμού. Οι πάσσαλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα, έχουν διατομή συνήθως τετραγωνική γιατί κατασκευάζεται πιο εύκολα, αλλά επίσης κυκλική ή οκταγωνική ή άλλη. Ο κορμός έχει την ίδια διατομή από πάνω ως κάτω. Στους πασσάλους που κατασκευάζονται με φυγοκέντρωση, ο κορμός στενεύει από πάνω προς τα κάτω.



Η αιχμή του πασσάλου είναι το κάτω μέρος του, και πρέπει να γίνει όσο το δυνατόν πιο μυτερή, για να μπορεί να εισδύει ευκολότερα στο έδαφος. Στους ξύλινους πάσσαλους και στους πασσάλους από σκυρόδεμα, κατασκευάζεται χαλύβδινη αιχμή, ή αλλιώς χαλύβδινο πέδιλο, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Στους μεταλλικούς πασσάλους η αιχμή γίνεται από μεταλλικό υλικό, το ίδιο με το υλικό του πασσάλου.

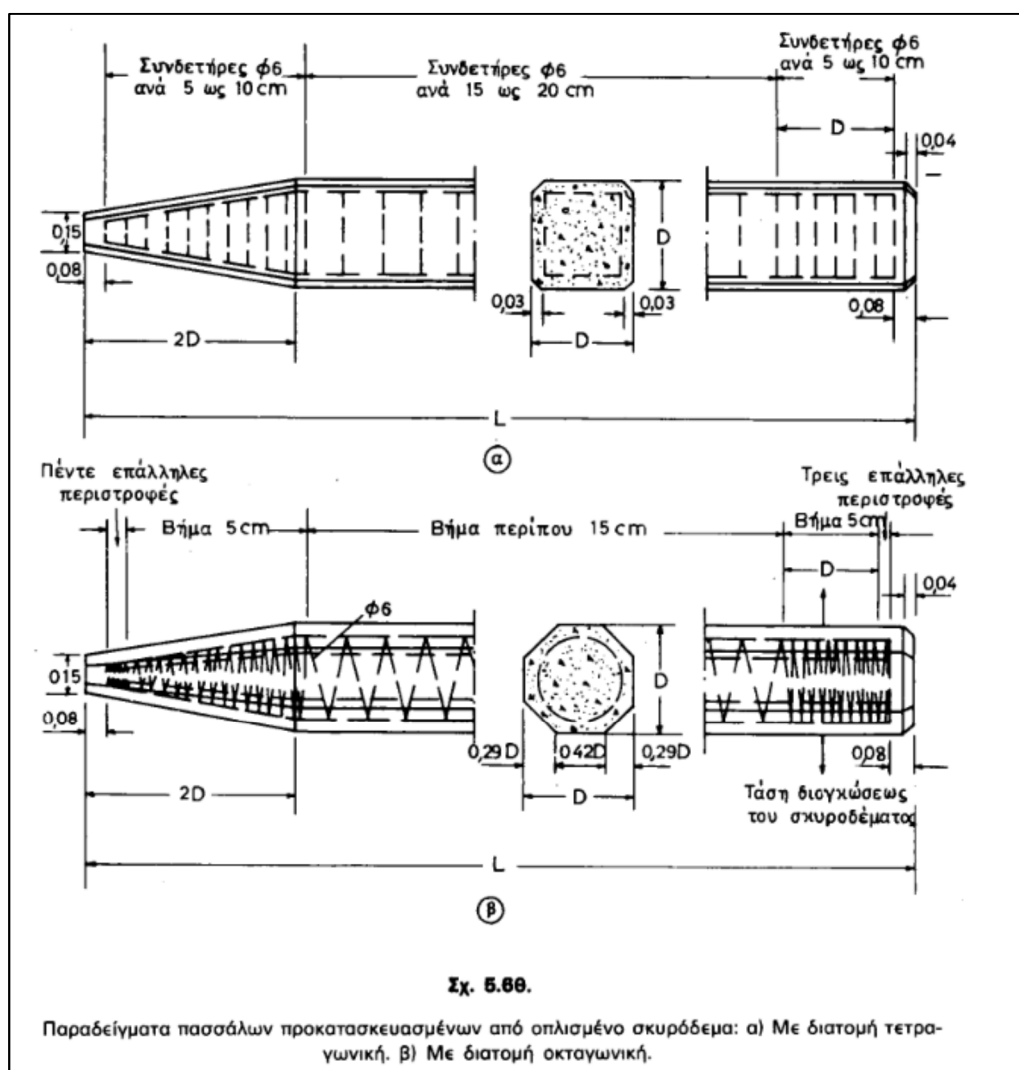


Οι πάσσαλοι με φυγοκέντρωση, κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα, με διατομή κύκλου ή δακτυλίου. Η μέθοδος κατασκευής είναι φυγοκέντρωση, στην οποία μετά την σκυροδέτηση στο καλούπι, και πριν πήξουν και ξεκαλουπωθούν, περιστρέφονται γύρω από τον άξονα τους με μεγάλη ταχύτητα, με την χρήση ειδικής συσκευής. Η μεγάλη φυγόκεντρος δύναμη που αναπτύσσεται, προκαλεί έντονη συμύκνωση στο σκυρόδεμα. Η συμύκνωση αυτή αυξάνει σημαντικά την αντοχή του σκυροδέματος άρα και του πασσάλου, και αυξάνεται η στεγανότητα του σκυροδέματος άρα προστατεύεται ο οπλισμός του πασσάλου από την υγρασία του εδάφους.

Οπλισμός πασσάλου

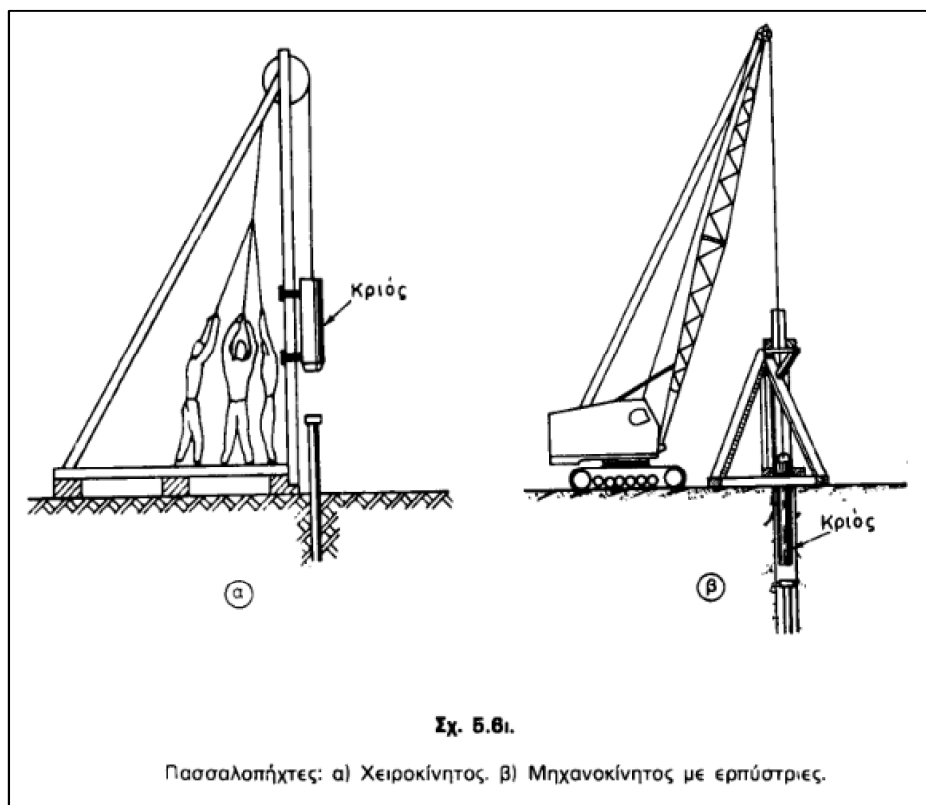
Ο πάσσαλος μπηγεται στο έδαφος με κρούσεις του πασσαλομπήκτη, και λόγω των κρούσεων, αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις και στην κεφαλή του. Λόγω της έμπηξης του

πασσάλου στο έδαφος, αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις που προκαλούν την θραύση του εδάφους, και επιτρέπεται έτσι ο πάσσαλος να προχωρήσει βαθύτερα. Και λόγω των δυνάμεων του εδάφους πλευρικά με τον πάσσαλο, αναπτύσσονται στο σώμα του πασσάλου μεγάλες τάσεις. Και λόγω αντίδρασης του εδάφους, αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις και στην αιχμή του. Για αυτούς τους λόγους α) στην κεφαλή κατασκευάζεται το προσκέφαλο, β) στον κορμό υπάρχουν συνδετήρες που πυκνώνουν στα άκρα, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα, για να μην υπάρχει κίνδυνος διαστολής του σκυροδέματος εγκάρσια, όταν αυξάνεται πολύ η καταπόνηση σε θλίψη κατά την διεύθυνση του άξονα του πασσάλου, και γ) στην αιχμή τοποθετείται το μεταλλικό πέδιλο.



Έμπηξη πασσαλου

Οι πάσσαλοι μπήγονται στο έδαφος με κρούσεις του πασσαλομπήκτη, που είναι ειδικό μηχάνημα, και υπάρχουν πολλών ειδών. Στο σχήμα της επόμενης σελίδας φαίνονται α) απλές πρόχειρες διατάξεις, που σηκώνουν ένα βάρος και το αφήνουν να πέσει ελεύθερα στην κεφαλή του πασσάλου, και πολλές φορές, και β) μεγάλα συγκροτήματα αυτοκινούμενα ή ρυμουλκούμενα, που λειτουργούν με πεπιεσμένο αέρα ή ατμό.



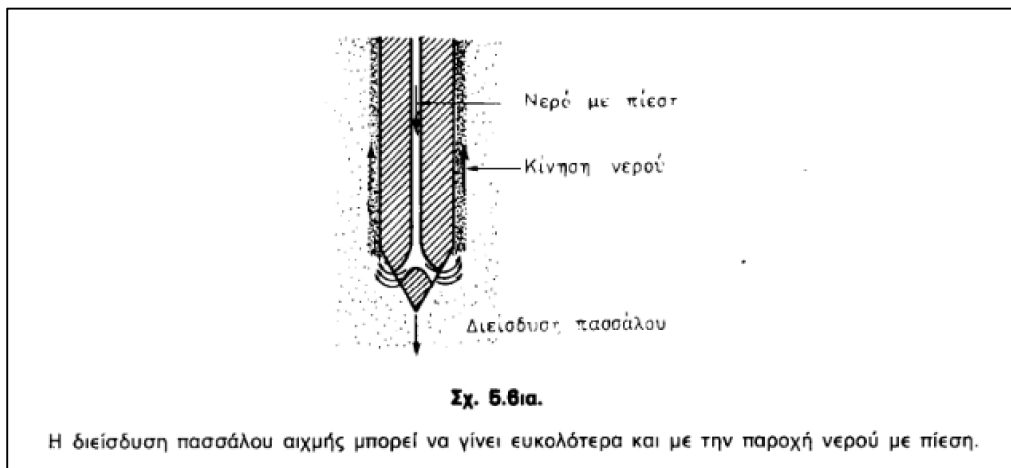
Οι πασσαλοπήχτες χρησιμοποιούνται α) στις θεμελιώσεις με πασσάλους, β) στις δοκιμαστικές πασσαλώσεις, γ) στην τοποθέτηση των χιτώνων - περιβλήματος των πασσάλων που κατασκευάζονται μέσα στο έδαφος.

Οι πασσαλομήχτες αποτελούνται από ένα κινητό ψηλό κριώμα - σκαλωσιά, ανάλογο με το μήκος του πασσάλου. Το κριώμα αυτό έχει δύο οδηγούς κατακόρυφους, όπου ανάμεσα τους ανεβοκατεβαίνει ο κριός, που είναι το βάρος που πέφτει στην κεφαλή του πασσάλου, και προκαλεί την έμπηξη του. Ο κριός μπορεί να είναι απλής ενέργειας ή να είναι διπλής ενέργειας. Απλής ενέργειας πασσαλομήκτης είναι όταν ο κριός ανυψώνεται με κάποιον τρόπο σε ένα ορισμένο ύψος, και μετά αφήνεται να πέσει ελεύθερα. Η ενέργεια κάθε κρούσης ισούται με το βάρος G του κριού επί το ύψος h από το οποίο πέφτει, αφαιρώντας τις απώλειες λόγω τριβής πάνω στους οδηγούς, δηλαδή $W = G \cdot h - \text{απώλειες}$. Διπλής ενέργειας καλείται ο πασσαλομήκτης, όταν ο κριός συνδέεται με έναν κινητήρα που τον ανεβοκατεβάζει συνέχεια. Η ενέργεια της κρούσης τότε προέρχεται από το βάρος του κριού και από τον κινητήρα, άρα μπορεί $W \geq G \cdot h$.

Οι κριοί έχουν μεγάλο βάρος, που μπορεί σε εξαιρετικές περιπτώσεις να φτάσει τους 10 τόνους. Το βάρος του κριού πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 1/3 του βάρους που έχει ο πάσσαλος. Οι απλής ενέργειας, είναι αργοί, και κάνουν 5 έως 15 κρούσεις σε κάθε λεπτό. Οι διπλής ενέργειας, είναι πιο γρήγοροι και κάνουν 100 ή 200 ή και 300 κρούσεις ανά λεπτό.

Άλλοι τρόποι έμπηξης πασσάλου είναι με χρήση νερού, και με περιστροφή. Α) Η διείδυση πασσάλου αιχμής γίνεται ευκολότερα με παροχή νερού με υψηλή πίεση, όπως φαίνεται στο σχήμα της επόμενης σελίδας. Με χρήση νερού, περνάει μέσα από πάσσαλο νερό με μεγάλη πίεση, και βγαίνει από τις τρύπες κοντά στην αιχμή του, και το νερό ξαναέρχεται στην

επιφάνεια του εδάφους, ακολουθώντας το εξωτερικό περίβλημα του πασσάλου. Το νερό δηλαδή σκάβει με πίεση το έδαφος, αλλά και λειτουργεί ως λιπαντικό μέσο ανάμεσα στο έδαφος και στον πάσσαλο. Με αυτόν τον τρόπο, ο πάσσαλος βυθίζεται με το βάρος του και με βοήθεια μικρού φορτίου. Αυτή η μέθοδος απαγορεύεται σε πασσάλους τριβής. Χρησιμοποιείται σε κοκκώδη αμμώδη εδάφη, και σε μαλακούς πηλούς και αργίλους. Β) οι πάσσαλοι μπορούν καρφωθούν στο έδαφος και με περιστροφή, με τον ίδιο τρόπο που γίνονται οι περιστροφικές γεωτρήσεις, αλλά αυτός ο τρόπος δεν συνηθίζεται.



Κλίση πασσάλων

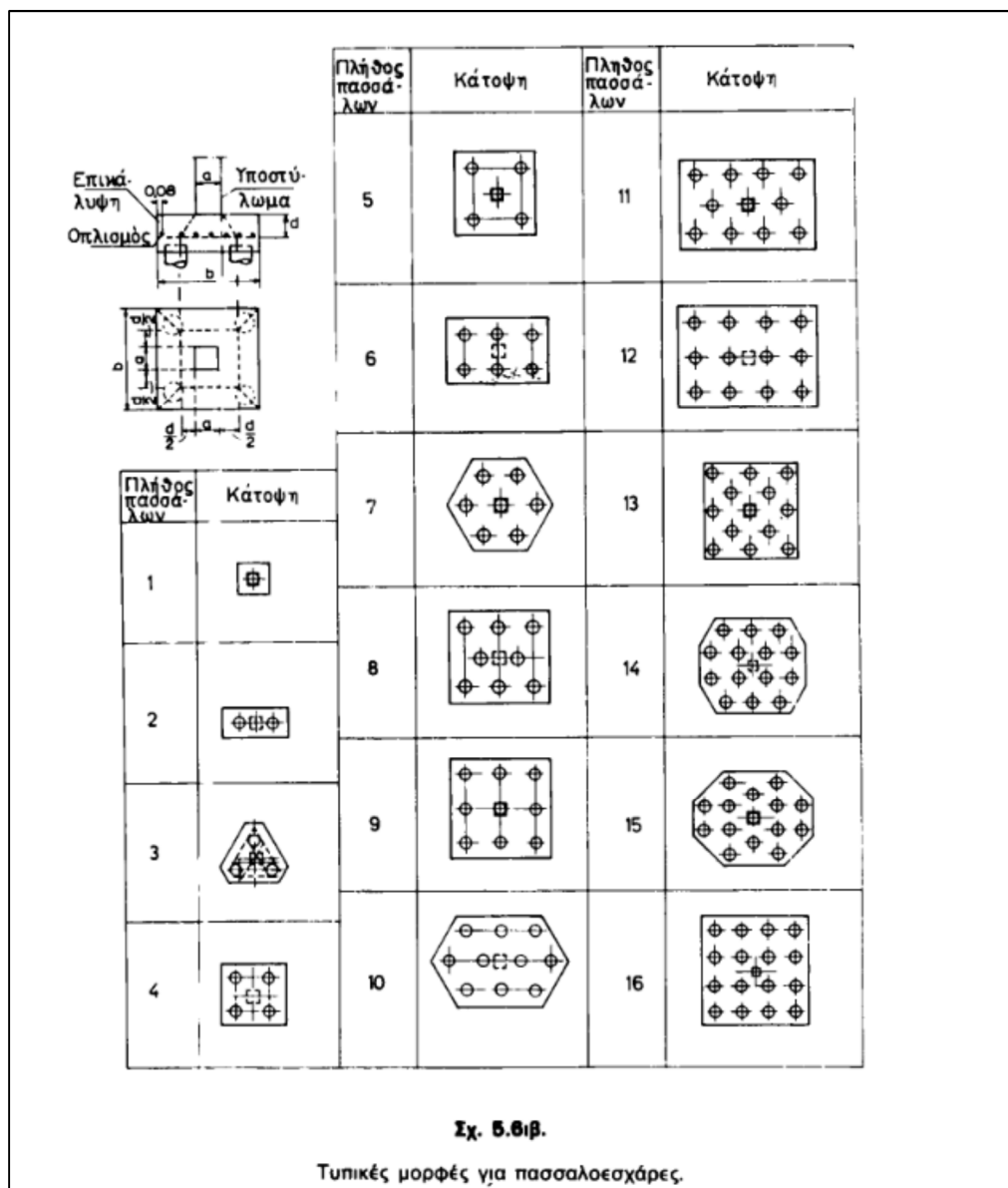
Επειδή τα φορτία είναι κατά κανόνα κατακόρυφα, και οι πάσσαλοι ομοίως είναι γενικά κατακόρυφοι και παράλληλοι μεταξύ τους. Όταν όμως υπάρχουν οριζόντια φορτία, όπως ωθήσεις από θόλους, σεισμό, χώματα κτλ, τότε μερικοί ή όλοι οι πάσσαλοι τοποθετούνται με κάποια κλίση. Όταν δεν είναι όλοι οι πάσσαλοι παράλληλοι μεταξύ τους, χρειάζεται μεγάλη προσοχή στην μελέτη του έργου, ώστε να μην εμφανιστεί ο κίνδυνος κάποιος πάσσαλος καθώς εισέρχεται στο έδαφος, να συναντήσει κάποιον άλλο πάσσαλο. Η κλίση των πασσάλων, όταν είναι λοξοί, είναι μικρή και δεν πρέπει να ξεπερνάει το 1 προς 5, ή το πολύ 1 προς 4, σχετικά με την κατακόρυφη. Η τοποθέτηση των πασσάλων με κλίση, εμφανίζει αρκετές δυσκολίες κατά την εκτέλεση της, γιατί απαιτείται ειδικός πασσαλομπήκτης, η απαιτείται ειδική ρύθμιση.

Πασσαλο-εσχάρα ή πασσάλο-δεμος

Όταν η φέρουσα κατασκευή της ανωδομής του τεχνικού έργου έχει μορφή σκελετού, σε κάθε σημείο που καταλήγουν τα κατακόρυφα φορτία της ανωδομής, χρειάζεται συνήθως 2 ή περισσότερους πασσάλους. Όταν η φέρουσα κατασκευή έχει μορφή συνεχών δομικών στοιχείων, κάτω από κάθε συνεχές φέρον στοιχείο χρειάζονται περισσότεροι από ένας πάσσαλοι.

Για αυτόν τον λόγο, οι κεφαλές των πασσάλων, που στηρίζουν το ίδιο δομικό στοιχείο, σημειακό ως υποστύλωνα, ή συνεχές ως τοίχος/τοιχείο, συνδέονται μεταξύ τους με μια κατασκευή, που λέγεται πασσαλοεσχάρα ή πασσάλοδεσμος. Παλαιότερα κατασκευάζονταν από ξύλο τα οποία σχημάτιζαν μια πραγματική σχάρα, έπειτα όμως κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα συνήθως.

Οι πάσσαλοι μπαίνουν με τρόπο, ώστε οι κεφαλές τους να έχουν συμμετρική διάταξη, γύρω από το σημείο που εφαρμόζεται η συνισταμένη των δυνάμεων από φορτία της ανωδομής, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Στο σχήμα φαίνεται ότι οι πασσαλοεσχάρες έχουν μορφή απομονωμένων πέδιλων, ή συνεχών θεμελίων, αναλογα με την περίπτωση του τρόπου θεμελίωσης. Η διαφορά είναι ότι δέχονται από κάτω τις συγκεντρωμένες αντιδράσεις των πασσάλων, αντί τις μοιρασμένες αντιδράσεις από το έδαφος.



Λόγω της χρήσης των πασσάλων σε ασταθή εδάφη, και της πιθανότητας εμφάνισης διαφορετικών καθιζήσεων σε διαφορετικά σημεία της θεμελίωσης, πρέπει οι πασσαλοεσχάρες να συνδέονται μεταξύ τους, και η σύνδεση γίνεται με σύστημα δοκών, ή με συνεχή πλάκα. Οι δοκοί σύνδεσης λειτουργούν όπως στις αβαθείς θεμελιώσεις, αλλά η πλάκα λειτουργεί με διαφορετικό τρόπο από την συνεχή πλάκα της γενικής κοιτόστρωσης, γιατί οι αντιδράσεις του εδάφους που φορτίζουν την πλάκα, είναι πολύ μικρές.

Πάσσαλοι βελτίωσης εδάφους

Αν οι αντιδράσεις του εδάφους είναι μεγάλες, τότε το έργο στηρίζεται και στους πασσάλους αλλά και στο έδαφος, που βελτιώθηκε από τους πασσάλους. Μια τέτοια κατασκευή δεν εντάσσεται στις βαθιές θεμελιώσεις, αλλά θεωρείται αβαθής θεμελίωση με βελτίωση εδάφους.

7.2.3. πασσαλώσεις με πασσάλους, που κατασκευάζονται στο έδαφος (χυτοί)