



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# **ΤΙΤΛΟΣ: ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΩΝ ΜΕ Ή ΧΩΡΙΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗ**



**ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΥΣΑΝΘΗ Α.Μ. 5640**

**ΜΠΑΜΠΙΛΗ ΙΩΑΝΝΑ Α.Μ. 5654**

**ΕΠΟΠΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Δρ. ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ**

**ΠΑΤΡΑ 2016**

*Στις οικογένειές μας.....*

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί βασικό κομμάτι των σπουδών μας στο ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας (πρώην ΤΕΙ Πάτρας). Ασχολείται με την προσωρινή ή μόνιμη αντιστήριξη γαιών και συγκεκριμένα με το σύστημα αντιστήριξης με πασσαλοσανίδες.

Περιγράφει αναλυτικά τα είδη, την κατασκευή και την τοποθέτηση των πασσαλοσανίδων, τα μέσα προστασίας, και την πρόληψη αστοχιών.

Ασχολείται με τον υπολογισμό της ευστάθειας των πασσαλοσανίδων μέσω της ανάπτυξης προγράμματος στον Η/Υ και περιλαμβάνει παραμετρικές μελέτες για τις ιδιότητες του εδάφους και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η κατανόηση των γνώσεων που έχουμε αποκτήσει κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον Πανεπιστημιακό υπότροφο Δρ. Δ. Μπάρος για την πολύτιμη βοήθεια του στην ανάπτυξη του προγράμματος Η/Υ για την επίλυση του προβλήματός μας.

Με την υποστήριξη και την συμβολή της καθηγήτριας μας Δρ. Βγενοπούλου Ειρήνης, όπου σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να την ευχαριστήσουμε θερμά τόσο για τις συμβουλές όσο και για τις απαραίτητες διορθώσεις.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για την ψυχολογική υποστήριξη που μας παρείχαν μέχρι το πέρας της εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται λόγος για τους τρόπους αντιστήριξης των γαιών. Γίνεται αναφορά σε όλα τα είδη, εξειδικεύεται όμως στη μελέτη και στην κατασκευή τοίχων από χαλύβδινα φύλλα (πασσαλοσανίδες). Παρουσιάζονται διαγράμματα, πίνακες και εικόνες για καλύτερη κατανόηση του θέματος από τους αναγνώστες. Η εργασία χωρίζεται σε έξι κεφάλαια, όπου το κάθε ένα από αυτά έχει διαφορετικό αντικείμενο μελέτης.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα είδη των τοίχων αντιστήριξης και λίγες πληροφορίες για αυτούς. Το δεύτερο κεφάλαιο βασίζεται στην παραμετρική μελέτη της πασσαλοσανίδας, συγκεκριμένα για τη χρήση, τις μορφές, τις απαιτούμενες διαδικασίες κατά τη διάρκεια τοποθέτησης και αφαίρεσης των πασσαλοσανίδων. Το τρίτο κεφάλαιο σχετίζεται με τις ωθήσεις γαιών και τον έλεγχο ευστάθειας στη περίπτωση των συνεκτικών και μη συνεκτικών εδαφών, των υδροστατικών πιέσεων και της ενεργούς πίεσης επιφόρτισης. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται οι αγκυρώσεις, δηλαδή, τον τρόπο με τον οποίο προστατεύεται η πασσαλοσανίδα σε περίπτωση αστοχίας του εδάφους και την αντιδιαβρωτική προστασία τους. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση του προγράμματος με το οποίο εξετάστηκαν οι διαφορές της πασσαλοσανίδας σε περίπτωση αγκύρωσης και μη. Στο έκτο κεφάλαιο διεξάχθηκαν παραμετρικές μελέτες με μεταβλητές την αγκύρωση, το ύψος αντιστήριξης και τη γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους. Τέλος, έγινε εξαγωγή συμπερασμάτων.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>2</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>3</b>
<b>ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ</b> .....	<b>6</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>7</b>
<b>1. ΕΙΔΗ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ</b> .....	<b>8</b>
<b>2. ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑ</b> .....	<b>10</b>
2.1 ΧΡΗΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ .....	11
2.2 ΜΟΡΦΕΣ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ .....	13
2.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΩΝ .....	16
2.4 ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΩΝ .....	16
<b>3. ΩΘΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ</b> .....	<b>18</b>
3.1 ΠΙΕΣΕΙΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΕΔΑΦΟΥΣ .....	19
3.1.1 Μη συνεκτικά εδάφη.....	19
3.1.2 Συνεκτικά εδάφη .....	21
3.1.3 Υδροστατικές πιέσεις.....	22
3.1.4 Ενεργός πίεση από επιφόρτιση .....	23
<b>4. ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ</b> .....	<b>24</b>
4.1 ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΓΚΥΡΩΜΕΝΗΣ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ .....	24
4.1.2 Πίεση εδάφους, καμπτική ροπή και βέλος κάμψης .....	26
4.1.3 Πακτωμένη στήριξη .....	27
4.1.4 Μέθοδοι αστοχίας της πασσαλοσανίδας με αγκύρωση .....	27
4.1.5 Εναλλακτικοί οικονομικοί σχεδιασμοί.....	29
4.1.6 Επίδραση της τριβής του τοίχου στα είδη των αγκυρώσεων .....	30
4.1.6.α Χαλύβδινοι πασσαλοζεύγματα, συνδετικοί ράβδοι και λεπτομέρειες για αγκυρωμένους τοίχους αντιστήριξης .....	30
4.1.7 Άλλοι μέθοδοι σχεδιασμού .....	33
4.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ .	34
4.3 ΕΚΣΚΑΦΗ ΜΕ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ .....	35
4.4 ΕΚΣΚΑΦΗ ΜΕ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ.....	37
4.5 ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΝ .....	39

4.5.1 Καταστάσεις διάβρωσης .....	39
4.5.2 Επιστρώσεις (ή επιχρίσματα) .....	40
4.5.3 Άλλες αιτίες διάβρωσης .....	41
<b>5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ ΧΩΡΙΣ ΚΑΙ ΜΕ ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ.....</b>	<b>42</b>
5.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΩΝ .....	43
5.1.1 Πασσαλοσανίδα χωρίς αγκύρωση.....	43
5.1.2 Πασσαλοσανίδα με αγκύρωση .....	46
<b>6. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ .....</b>	<b>49</b>
6.1 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ.....	49
6.1.1 Αναλυτική προσέγγιση χωρίς αγκύρωση.....	49
6.1.2 Αναλυτική προσέγγιση με αγκύρωση .....	49
6.2 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ ΧΩΡΙΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗ.....	50
6.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ ΜΕ ΑΓΚΥΡΩΣΗ .....	54
<b>7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>56</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>57</b>

## ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

$\pi$  ή  $\pi$ : 3.14159

$X$  ή  $\Phi$ : Γωνία εσωτερικής τριβής (μοίρες)

$K_A$ : συντελεστής ενεργητικής τάσης

$K_P$ : συντελεστής παθητικής τάσης

$M_A$ : ροπή ευστάθειας (KN\*m/m)

$M_P$ : ροπή ανατροπής (KN\*m/m)

$G$  ή  $\gamma$ : ειδικό βάρος (kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma'$ : ειδικό βάρος άνωσης (kg/m<sup>3</sup>)

$\delta$ : γωνία τριβής μεταξύ τοίχου και εδάφους (μοίρες)

$H$ : ολικό μήκος πασσαλοσανίδας (m)

$H_1$ : Ύψος πασσαλοσανίδας έως την επιφάνεια του εδάφους (m)

$D_1$ : βάθος έμπηξης της πασσαλοσανίδας (m)

$DD$ : βήμα αύξησης (m)

$F_{MIN}$ : συντελεστής ασφαλείας σε έλεγχο ανατροπής (ελάχιστη τιμή)

$P_A$ : ενεργητική ώθηση γαιών (KN/m)

$P_P$ : παθητική ώθηση γαιών (KN/m)

$F$ : συντελεστής ασφαλείας σε έλεγχο ανατροπής

$S$ : απόσταση του αγκυρίου από το έδαφος (m)

$D_2$ : βάθος έμπηξης της αγκυρωμένης πασσαλοσανίδας (m)

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία περιγράφεται και αναλύεται η αντιστήριξη πρανών με πασσαλοσανίδες. Για να γίνει κατανοητός ο όρος πρέπει να δούμε τι είναι η πασσαλοσανίδα. Καταρχάς, οι πασσαλοσανίδες είναι επίπεδα φύλλα κάθετου καλουπιού ή κάθετου πασσάλου που έχουν ως σκοπό: 1. την προστασία των υλικών των θεμελίων από την εξάπλωση και 2. την φύλαξή τους λόγω της υπονομευτικής δράσης του νερού.

Ο χάλυβας έγινε συμπληρωματικός της ξυλείας στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα και ένα υπόμνημα σχετικά με την χρήση των πασσάλων δημοσιεύτηκε στον πρώτο τόμο των συναλλαγών του θεσμού των πολιτικών μηχανικών. Από τότε έγινε ευρέως γνωστό και αντικατέστησε παλαιές μεθόδους. Πλέον χρησιμοποιείται σε πολλά έργα είτε ως μέρος μόνιμης είτε ως προσωρινής κατασκευής.

Ο Mackley, αναφέρθηκε σε αρκετά παραδείγματα όπου πασσαλοσανίδες από χάλυβα χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη αυτού του είδους αντιστήριξης. Η πρώτη χρήση έγινε στο Ηνωμένο Βασίλειο και ήταν για τη βόρεια προβλήτα του λιμανιού Bridlington στις αρχές της δεκαετίας του 1820. Οι διάφοροι τύποι του τμήματος που χρησιμοποιούνται αυτή τη στιγμή, βοήθησαν στο να αναδειχθεί το εύρος των διερευνητικών εργασιών που πραγματοποιήθηκε με σκοπό να γίνει πιο οικονομικό.

Ο χυτοσίδηρος έχει περιορισμούς και αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο σε θραύση κατά την οδήγησή του σε σκληρό έδαφος. Στις ΗΠΑ, όπου υπήρχε αφθονία του ξύλου, φαίνεται να έχουν χρησιμοποιηθεί μόνο λίγες πασσαλοσανίδες χυτοσιδήρου. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1900, είχαν χρησιμοποιηθεί πασσαλοσανίδες από σφυρήλατο σωρό σιδήρου, σε μία σύνθετη καρφωμένη μορφή. Πολλές από τις πρώιμες μορφές σφυρήλατου σιδήρου πασσάλων, βασίστηκαν στην τοποθέτηση των πλακών μεταξύ κατάλληλων οδηγών ή στηριγμάτων.

Η πρώτη πασσαλοσανίδα που έγινε ποτέ από τμήματα έλασης, χρησιμοποιήθηκε στο Σικάγο το 1901, η οποία ονομάστηκε σωρός Jackson.

Η ανάπτυξη των πασσαλοσανίδων απαιτεί τα ακόλουθα κύρια χαρακτηριστικά:

- Χαμηλό κόστος
- Μία δύναμη η οποία να είναι σε θέση να αντισταθεί στη γή ή νερό υπό πίεση μετά από συσσώρευση, χωρίς υπερβολική αντιστήριξη.
- Ακαμψία ώστε η πασσαλοσανίδα να μπορεί να κινείται χωρίς να λυγίζει κάτω από τα χτυπήματα του σφυριού έμπηξης.
- Υδατοστεγανότητα ώστε να αποφεύγεται η διαρροή
- Ο κατασκευαστής πρέπει να παράγει ένα τμήμα το οποίο θα είναι οικονομικό και πρακτικό.

Όπως μπορεί να εκτιμηθεί, μέχρι και σήμερα ισχύουν οι ίδιοι στόχοι.

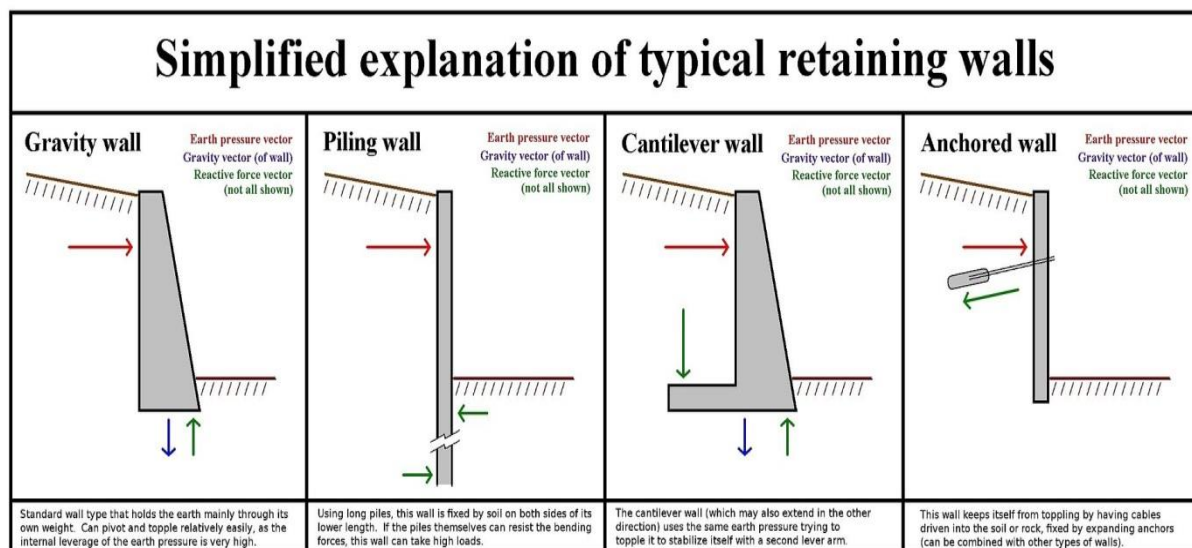


# 1. ΕΙΔΗ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

Με τον όρο τοίχο αντιστήριξης εννοούμε κάθε τεχνικό έργο το οποίο υποστηρίζει επιχώματα που έχουν ύψος μεγαλύτερο από 0,50m πάνω από τη στάθμη επιχώματος ή από το φυσικό έδαφος που βρίσκεται σε απευθείας επαφή με την όψη του. Η διάρκεια ζωής των τοίχων μελετάται στα 100 χρόνια .

Οι μορφές των τοίχων αντιστήριξης ποικίλλουν ανάλογα με την περίπτωση που τους χρειαζόμαστε. Κατασκευάζονται με διάφορες μεθοδολογίες, δομικά υλικά αλλά και τρόπους θεμελίωσης. Κάθε μορφή τοίχου προσφέρει διαφορετική ικανότητα στήριξης στο πρηνές λόγω της χημικής και φυσικής σύστασής του.

Τα βασικά είδη των τοίχων αντιστήριξης είναι βαρύτητας, ημιβαρύτητας, πρόβολος και αντηριδωτοί (Εικόνα 1). Ωστόσο υπάρχουν και οι τοίχοι: μορφής ανεστραμμένου T ή L, διαφραγματικοί, πασσαλοσανίδες, οπλισμένες επιχώσεις, πεδילוδοκοί και συνδυασμός αυτών.



Εικόνα 1: Είδη τοίχων αντιστήριξης.

## Επιχώσεις πίσω από τους τοίχους αντιστήριξης

Η επίχωση πίσω από τους τοίχους αντιστήριξης μπορεί να γίνει είτε για συγκοινωνιακά είτε για μη συγκοινωνιακά έργα.

A) Για την περίπτωση των συγκοινωνιακών έργων θα γίνεται ως εξής:

- i. Για επίχωση πλάτους  $b > 3,00\text{m}$ : Η διαδικασία θα εξελίσσεται με τα προϊόντα εκσκαφών τα οποία θα είναι κατάλληλα για την κατασκευή επιχωμάτων με δεδομένες συνθήκες συμπίκνωσης.
- ii. Για επίχωση πλάτους  $b \leq 3,00\text{m}$ : Η διαδικασία θα εξελίσσεται με μεταβατικά έργα ή μεταβατικά επιχώματα όπως αυτά ορίζονται παρακάτω:
  - Λιθορριπές που κατασκευάζονται από λίθους λατομείου διάστασης 0,40m
  - Κατεργασμένο θραυστό αμμογάλικο με τσιμέντο

- Σταθεροποιημένο εδαφικό υλικό με τσιμέντο
- Σκυρόδεμα κατηγορίας B5

B) Για την περίπτωση μη συγκοινωνιακών έργων θα γίνεται ως εξής:

- Για την επίχωση πλάτους  $b > 3,00\text{m}$ : Η διαδικασία θα εξελίσσεται με οποιοδήποτε βαθμό συμπίκνωσης.
- Για επίχωση πλάτους  $b < 3,00\text{m}$ : Η διαδικασία σύμφωνα με αυτή που προβλέπεται για επίχωση περιοχής πάνω από τη ζώνη αγωγού.

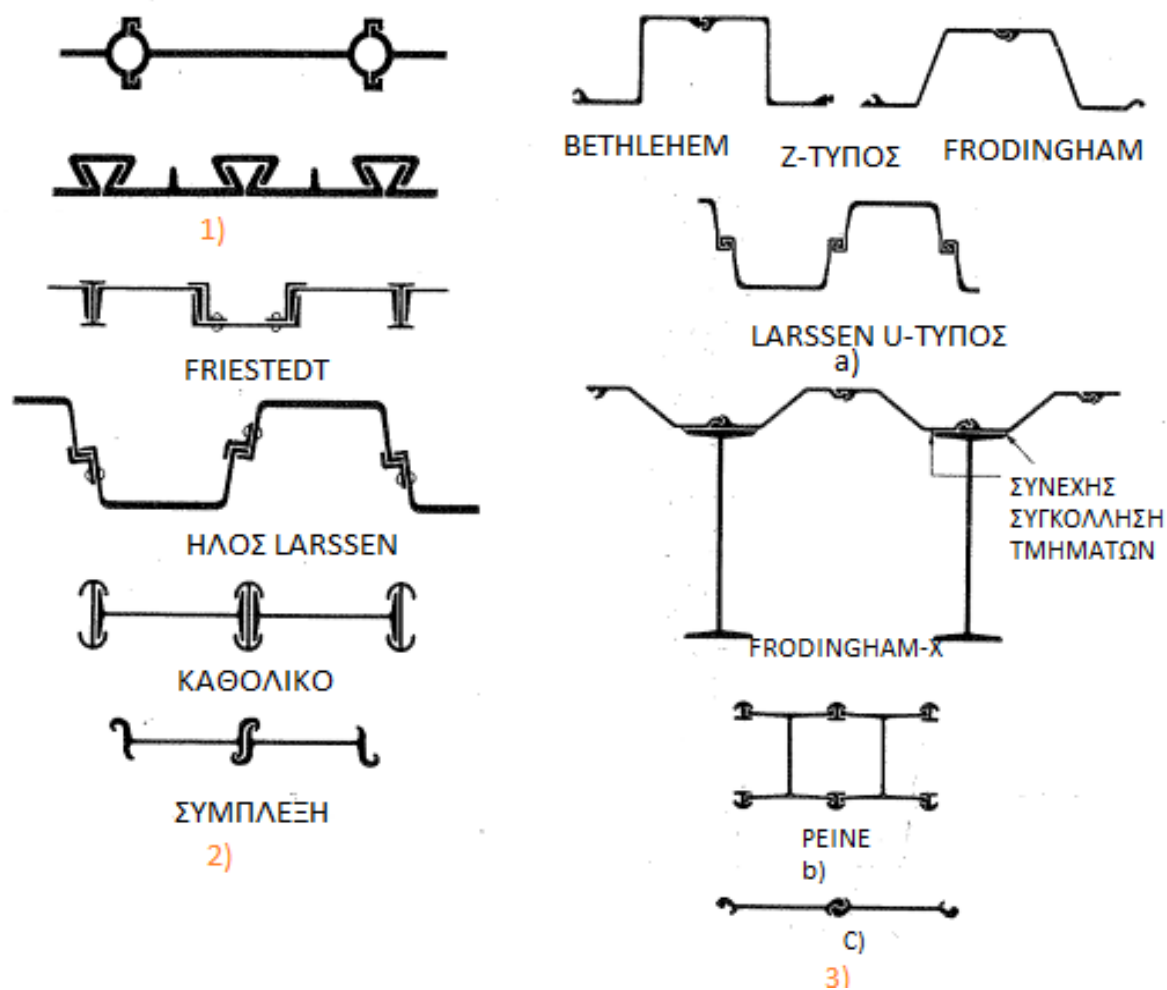


*Εικόνα 2: Τύπος τοίχου αντιστήριξης.*

## 2. ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πασσαλοσανίδες από χάλυβα μπορούν να θεωρηθούν ως εξέλιξη από σωρούς φύλλων ξυλείας. Οι πρώτες προσπάθειες για να βρεθεί ένα υποκατάστατο του ξύλου έγινε τον 19<sup>ο</sup> αιώνα όταν παρήχθησαν διάφορα τμήματα με χυτοσίδηρο. Η ευθραυστότητα του χυτοσίδηρου τον κατέστησε μη ικανοποιητικό για πασσαλοσανίδα, όμως λίγο αργότερα υπήρξε πρόοδος μέχρι που οι χάλυβες έλασης βγήκαν στην παραγωγή. Τα πρώτα επιτυχημένα τμήματα χάλυβα έγιναν θεμέλιο για την αύξηση και την εξέλιξη αυτού του είδους. Οι κύριες χώρες παραγωγής πασσαλοσανίδων από χάλυβα είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες, Ιαπωνία, η Δυτική Γερμανία, η Γαλλία, το Ηνωμένο Βασίλειο, το Λουξεμβούργο, χώρες της ανατολικής Ευρώπης και η ΕΣΣΔ. Εκτιμάται ότι η ετήσια χρήση είναι περίπου 1.700.000 μετρικούς τόνους εξαιρώντας την ΕΣΣΔ και την ανατολική Ευρώπη με το 60% αυτής της κατανάλωσης να γίνεται στις ΗΠΑ και την Ιαπωνία.



Εικόνα 3: 1)Τα πρώτα τμήματα πασσαλοσανίδων από σίδηρο 2)Ξεπερασμένα χαλύβδινα τμήματα πασσαλοσανίδων 3)Καινούρια χαλύβδινα τμήματα πασσαλοσανίδων α)Μερικά παραδείγματα από κανονικά τμήματα πασσαλοσανίδων β)Μερικά παραδείγματα από ψηλά τμήματα πασσαλοσανίδων γ)Παραδείγματα από τμήματα ευθείας πασσαλοσανίδας.

## 2.1 ΧΡΗΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ

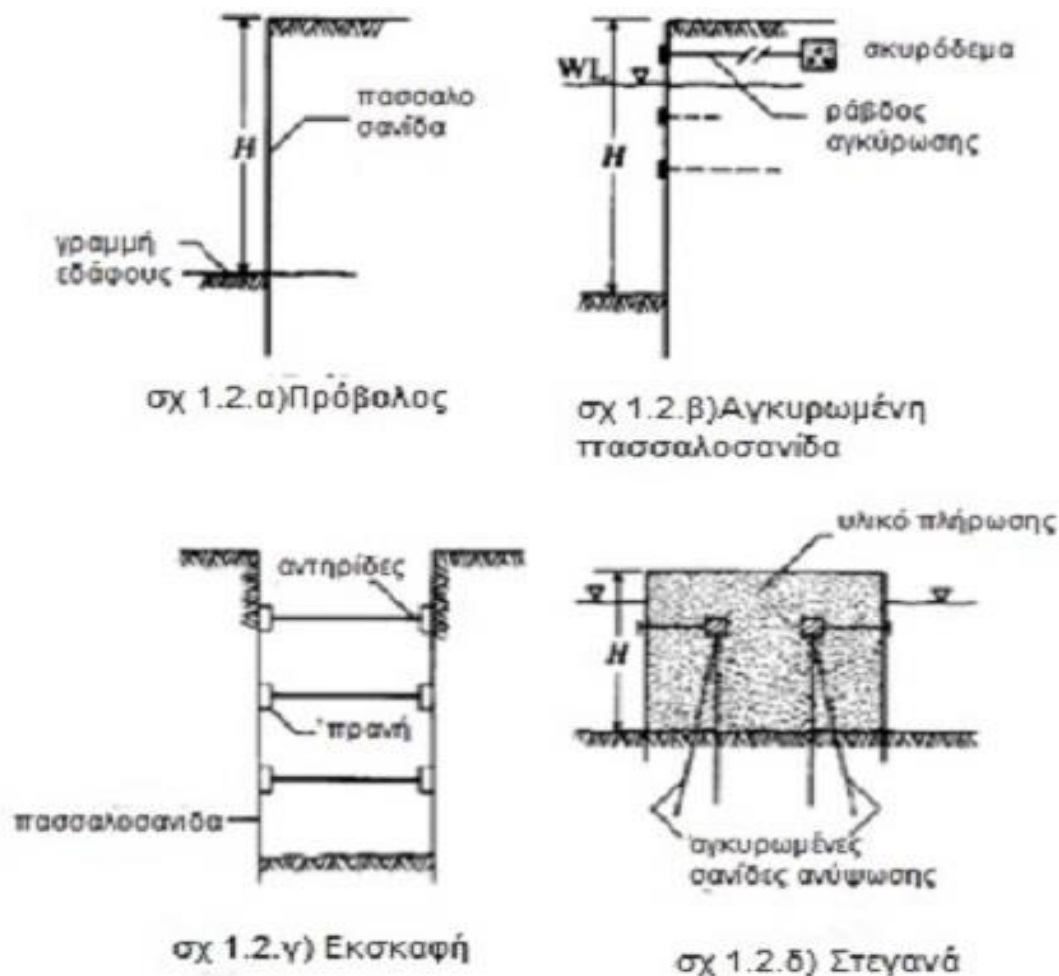
Ο τοίχος αντιστήριξης που θα μελετήσουμε διεξοδικά στην εργασία αυτή, είναι η πασσαλοσανίδα. Είναι μια τεχνική υποστήριξης εδαφών χρησιμοποιώντας χαλύβδινα φύλλα με σύμπλεξη στα άκρα. Κάθε κατασκευαστής παράγει ειδικούς σωρούς όπως γωνίες, διακλαδώσεις και σταυροειδής σωρούς για να ταιριάζει με το σχήμα της διάταξης πασσάλων. Αυτά μπορούν να σχηματίζονται από σωρούς που κάμπτονται κατά μήκος ή με συγκόλληση ή με ήλωση. Η τοποθέτηση της γίνεται σε σειρά με σκοπό το βάθος σχεδιασμού κατά μήκος της περιμέτρου της εκσκαφής που πρόκειται να γίνει ή της δημιουργίας τεχνικών έργων από σκυρόδεμα μέσα σε νερό (ευθυγράμμιση μόλου). Οι πασσαλοσανίδες είναι τοποθετημένες έτσι ώστε να σχηματίζουν ένα τείχος το οποίο προσφέρει μόνιμη ή προσωρινή πλευρική στήριξη, με μειωμένη εισροή υπόγειων υδάτων. Τις συναντάμε αρκετά συχνά στην καθημερινότητα, εφόσον χρησιμοποιούνται για κατασκευή χώρων στάθμευσης, υπογείων, αντλιοστασίων, κυματοθραυστών καθώς και διαφραγμάτων. Σταθεροποιούν εδαφικά πρηνή, προσφέρουν αντιστήριξη των τάφρων και άλλες εκσκαφές και στεγανά. Επιπλέον, η σχεδίαση τους γίνεται με τρόπο τέτοιο ώστε να μη φθείρονται στα έντονα καιρικά φαινόμενα και ν' αντέχουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η εγκατάσταση των πασσαλοσανίδων γίνεται από εξειδικευμένους εργάτες που χειρίζονται ειδικά βαρέα οχήματα, τύπου σφυριών, τα οποία τις ευθυγραμμίζουν και τις εμπήγνουν (με χτύπους στο πάνω μέρος τους) στο έδαφος μέχρι το επιθυμητό βάθος. Συνήθως, το υλικό εγκαθίσταται στο 1/3 πάνω από το έδαφος και στα 2/3 κάτω από αυτό. Οι τιμές αυτές δεν είναι πάντα δεδομένες αλλά καθορίζονται από τις ιδιαίτερες συνθήκες του έργου. Η ολοκλήρωση του έργου γίνεται με την αλληλοσύνδεση του προηγούμενου και του επόμενου φύλλου χάλυβα τα οποία "κλειδώνονται" μεταξύ τους (Εικόνα 4).



*Εικόνα 4: Πασσαλοσανίδες.*

Η πασσαλοσανίδα χρησιμοποιείται συνήθως σε μαλακά εδάφη και περιορισμένους χώρους. Στην περίπτωση όμως που το έδαφος είναι πάρα πολύ σκληρό ή πυκνό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σφυρί κρούσεως για την διεκπεραίωση της εργασίας. Σε σεισμογενείς περιοχές όπου οι δονήσεις του εδάφους είναι συχνές, οι πασσαλοσανίδες μπορούν να ωθηθούν υδραυλικά μέσα στο έδαφος. Στο σημείο αυτό, είναι απαραίτητο να τονιστεί ότι ο χάλυβας αποτελεί οικολογική επιλογή εφόσον είναι ανακυκλώσιμο υλικό και οι σωροί του μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε οποιοδήποτε άλλο έργο. Αυτά αποτελούν τα πλεονεκτήματα της χρήσης των πασσαλοσανίδων.

Ωστόσο, υπάρχουν και μειονεκτήματα τα οποία είναι αναγκαίο να αναφερθούν. Συνήθως δεν χρησιμοποιούνται ως μέρος μιας μόνιμης κατασκευής. Η έμπηξη τους είναι αρκετά ηχηρή πράγμα το οποίο προκαλεί διαταραχή του οικισμού, όταν αυτός βρίσκεται κοντά στο εργοτάξιο, και κίνδυνο ζημιών των όμορων ακινήτων.



Εικόνα 5: Είδη πασσαλοσανίδων.

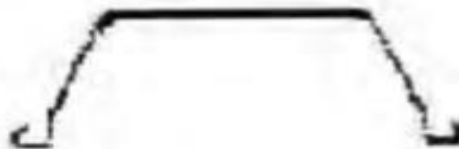
- ❖ **Πρόβολος:** Η κατηγορία αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για ύψος μικρότερο ή ίσο των 6 μέτρων, από τη γραμμή της εκσκαφής. Στη γεωτεχνική πρακτική, ο πρόβολος κατασκευάζεται για την προστασία μόνιμων και προσωρινών εκσκαφών καθώς και για τις κατασκευές των αυτοκινητόδρομων.
- ❖ **Αγκυρωμένη Πασσαλοσανίδα:** Η κατηγορία αυτή χρησιμοποιείται όταν το ύψος της πασσαλοσανίδας είναι μικρότερο από 6 μέτρα. Στην περίπτωση αυτή, αγκυρώνεται στο πάνω μέρος και το κόστος και ο χρόνος είναι μειωμένος λόγω του μικρότερου βάθους έμπηξης. Η αγκυρωμένη πασσαλοσανίδα υποβάλλεται σε λιγότερη πλευρική δύναμη που τείνει να την εκτρέψει, απ' ό,τι ένας τοίχος σκυροδέματος, μειώνοντας έτσι την εμφάνιση έντονων φαινομένων καθίζησης.
- ❖ **Εκσκαφή:** Στην κατηγορία αυτή χρησιμοποιούνται πασσαλοσανίδες με παράλληλα αγκύρια ή αντηρίδες που σταθεροποιούν τα πρανή της εκσκαφής.
- ❖ **Στεγανά (Ξηρά δεξαμενή):** Η κατηγορία αυτή χρησιμοποιείται για τη συγκράτηση νερού και εδάφους γύρω από την εκσκαφή όπου κατασκευάζονται τμήματα γέφυρας ή άλλα έργα. Όταν κατασκευάζεται ένα έργο κάτω από την επιφάνεια του νερού πρέπει να τοποθετηθούν πασσαλοσανίδες για τη δημιουργία ξηρού περιβάλλοντος. Στη συνέχεια, στρώνεται μικρή ποσότητα σκυροδέματος ώστε να εμποδιστεί η εισροή του νερού.

## 2.2 ΜΟΡΦΕΣ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ

Οι συνηθέστερες μορφές πασσαλοσανίδων είναι τύπου “Z” και “U”. Συγκεκριμένα:

- Ο τύπος “Z”, θεωρείται πιο αποδοτικός καθώς χρησιμοποιείται για ενδιάμεσο βάθος κατασκευών και συχνά τον συναντάμε στην περίπτωση του προβόλου και σε βάθρα που φέρουν φορτίο γέφυρας.
- Ο τύπος “U”, διακρίνεται σε πασσαλοσανίδες θερμής και ψυχρής έλασης.
  - Πασσαλοσανίδες θερμής έλασης: Τα προφίλ αυτά διαθέτουν πολλούς τύπους, διατομές και αντοχές. Σκοπός τους είναι η αντιστήριξη ορυγμάτων ή εκσκαφών σε μεγάλα βάθη και αυξημένες παροχές νερού μέσα στο όρυγμα. Στα άκρα τους υπάρχουν κλειδώματα για καλύτερη στεγανότητα αλλά παρουσιάζουν προβλήματα στη συγκόλληση και στη βύθιση παλαιότερων πασσαλοσανίδων λόγω της τριβής. Όσο πιο μεγάλη είναι η τριβή στα κλειδώματα τόσο μεγαλύτερους πασσαλομήκτες απαιτούν.
  - Πασσαλοσανίδες ψυχρής έλασης: Τα προφίλ αυτά διαθέτουν λιγότερους τύπους, διατομές και αντοχές. Σκοπός τους είναι η αντιστήριξη ορυγμάτων ή εκσκαφών σε μικρά βάθη. Στα άκρα τους υπάρχουν κλειδώματα τα οποία προσφέρουν σχετική στεγανότητα και μικρότερες τριβές και παρουσιάζουν λιγότερα φαινόμενα συγκόλλησης και βύθισης παλαιότερων πασσαλοσανίδων. Επίσης, επιτρέπουν τη διόρθωση της καθετότητας κατά την έμπηξη και χρειάζονται μικρότερους πασσαλομήκτες.

Όλα αυτά τα χρόνια έχει δημιουργηθεί διαμάχη για τη συμπεριφορά των Z και U τύπων. Στις ΗΠΑ, υπήρξε η πρακτική να χρησιμοποιείται μόνο το άθροισμα των επιμέρους τμημάτων του τύπου U όταν έχουμε αλληλοσυνδέσεις σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ η Ευρώπη υποστήριξε αυτό τον τύπο για ολόκληρο τείχος. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί μια παγκόσμια τάση προς τη χρήση του τύπου Z σε πολλές χώρες.



Flat/ straight Type (SA), (S): Used for filled cell construction.

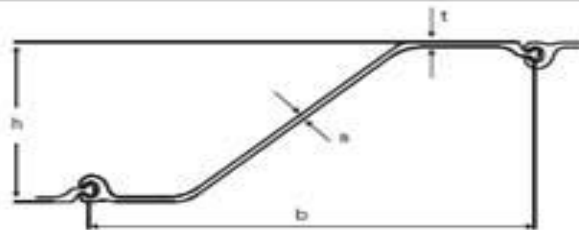


Larson/ “U” Type (U): Used for applications similar to Z-Type.

*Εικόνα 6: Τύποι πασσαλοσανίδας.*

## Z piles

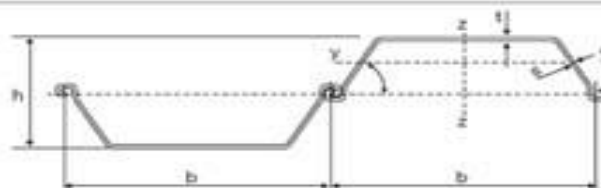
section	width of one pile	height of one pile	thickness of the flange	thickness of the web	mass pile	mass wall	elastic section modulus $W_{yy}$	combined moment of inertia $I_{yy}$
	mm	mm	mm	mm	kg/m	kg/m <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup> /m	cm <sup>4</sup> /m
PZ22	559	235	9.5	9.5	61.8	110.6	555	6495
PZ27	457	307	9.5	9.5	61.8	135.1	760	11695
PZ35	575	384	15.4	12.7	98.2	170.8	1515	29015
PZ40	500	417	15.2	12.7	97.6	195.2	1650	34330
PZC 13	708	319	9.5	9.5	75.1	106.0	1300	20755
PZC 18	635	387	9.5	9.5	75.1	118.2	1800	34890
PZC 26	708	450	15.2	13.3	110.0	155.4	2600	58460
PZC 36	630	506	16.6	15.2	121.7	193.2	3600	91140



Εικόνα 7: Ενδεικτικές διαστάσεις πασσάλου τύπου Z.

## U piles

section	width of one pile	height of wall	thickness of the flange	thickness of the web	mass pile	mass wall	elastic section modulus $W_{yy}$	combined moment of inertia $I_{yy}$
	mm	mm	mm	mm	kg/m	kg/m <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup> /m	cm <sup>4</sup> /m
602	600	310	8.2	8.0	54.3	90.5	845	13075
603	600	310	9.7	8.4	64.8	108.0	1180	18251
603k	600	310	10	9.0	68.1	113.5	1220	18900
604	600	380	10.5	9.0	74.1	123.5	1620	30726
605	600	410	12.8	9.0	82.4	137.3	2006	41127
606	600	420	16.5	9.2	94.8	158.0	2506	52631
SX10	600	260	10.3	-	61.8	103.0	1000	13000
SX18	600	360	13.4	-	81.6	136.0	1800	32400
SX27	600	420	18.0	-	106.0	177.0	2700	56700



Εικόνα 8: Ενδεικτικές διαστάσεις πασσάλου τύπου U.



*Εικόνα 9: Πασαλοσανίδα τύπου U.*



## 2.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΩΝ

Η απαιτούμενη διαδικασία πριν και καθ' όλη τη διάρκεια τοποθέτησης των πασσαλοσανίδων είναι η εξής:

1. Η γεωτεχνική έρευνα θα γίνεται βάση του ευρωπαϊκού κανονισμού EN1997-1:2004<sup>1</sup>, η οποία περιλαμβάνει πληροφορίες για την φύση του υπεδάφους που θα γίνει η έμπηξη των πασσαλοσανίδων.
2. Οι συνθήκες στην περιοχή έδρασης των πασσαλοσανίδων, δηλαδή η έκταση και τα όρια της περιοχής, το τοπογραφικό σχέδιο με επισήμανση στις κλίσεις και στην προσβασιμότητα.
3. Πληροφορίες για οποιαδήποτε τεχνικό-αρχαιολογικό έργο καθώς και έργων εξυπηρέτησης των αναγκών του ανθρώπου (νερό, ρεύμα, κτλ.).
4. Πληροφορίες για ουσίες που προκαλούν κίνδυνο είτε για το έργο είτε για το προσωπικό.
5. Τήρηση των νόμων και προστασία του περιβάλλοντος.
6. Πληροφορίες για το είδος, την κλίση, την διατομή, το μήκος, το μέγεθος, την συντήρηση, την τοποθέτηση της πασσαλοσανίδας.
7. Εξειδικευμένο προσωπικό με γνώση και εμπειρία για την τοποθέτηση των πασσαλοσανίδων.
8. Γνώση των καιρικών συνθηκών, ειδικότερα κατά την περίοδο παγετού που προκαλεί επιπλέον φόρτιση στους τοίχους αντιστήριξης.
9. Πληροφορίες για την κατάλληλη στεγανότητα του τοίχου από πασσαλοσανίδα.
10. Χρονοδιάγραμμα του έργου.
11. Σε έργα που εκτελούνται κοντά σε περιοχές με νερό, είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψη η διακύμανση της στάθμης του.

EN1997-1: 2004<sup>1</sup>: Eurocode 7: Geotechnical design-Part 1: General Rules—Ευρωκώδικας 7: Γεωτεχνικός σχεδιασμός-Μέρος 1: Γενικοί κανόνες

## 2.4 ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΩΝ

Κατά την αφαίρεση των πασσαλοσανίδων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν τα ακόλουθα:

- Οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες παραμορφώσεις που προκαλούνται στο έδαφος.
- Οι αλλαγές στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Συγκεκριμένα, στην περίπτωση των συνεκτικών εδαφών, κατά την αφαίρεση των πασσαλοσανίδων μέρος του εδάφους παραμένει στις παρειές τους δημιουργώντας εδαφικά κενά.

Στην περίπτωση χαλαρών άμμων και ιλύων οι δονήσεις και τα κενά του εδάφους έχουν ως αποτέλεσμα επιπλέον μετατοπίσεις οι οποίες μπορούν να αποβούν μοιραίες για κτήρια κοντά στο έργο. Για την πρόληψη αυτών των μετατοπίσεων ακολουθείται η διαδικασία πλήρωσης των κενών με τσιμεντενέσεις ταυτόχρονα με την έλξη. Επιπλέον, πρέπει να δίνεται προσοχή όταν η αφαίρεση είναι κοντά σε χημικά εργοστάσια, σε "ευαίσθητα" έργα, μετρό κ.α.



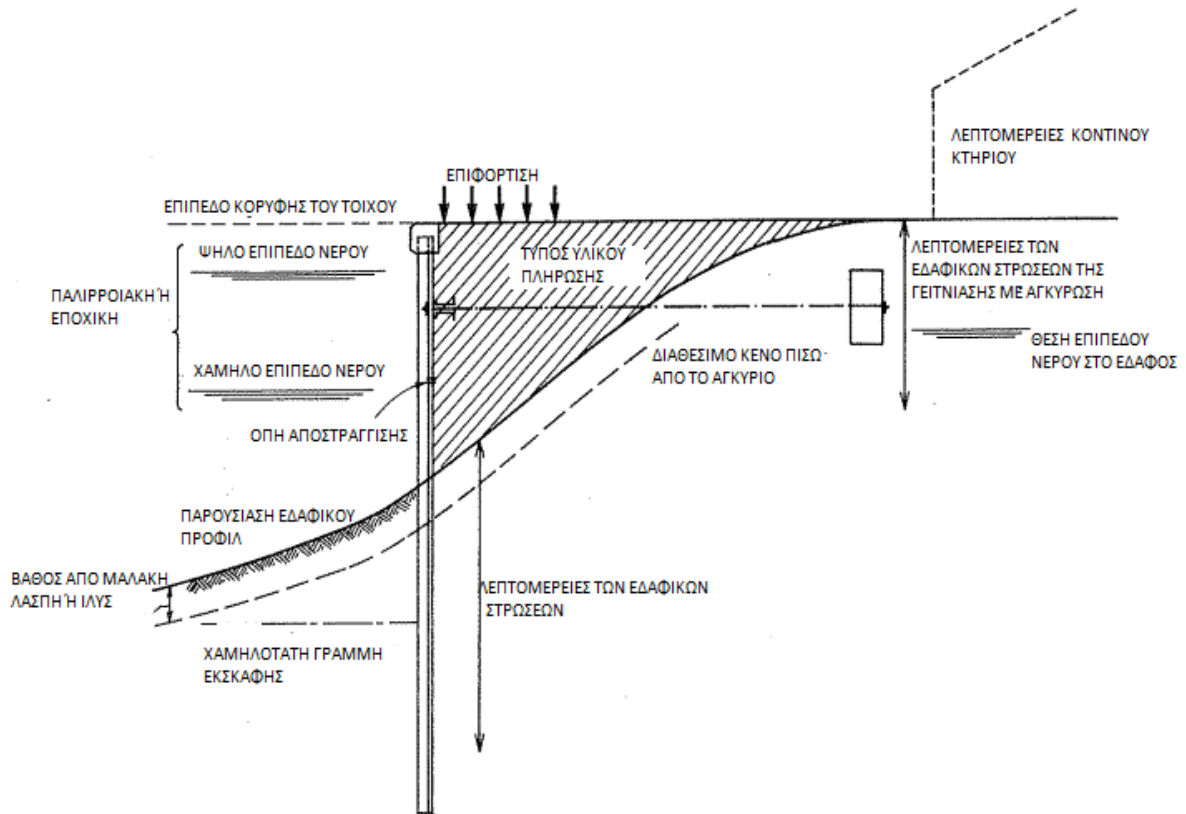
*Εικόνα 10: Αφαίρεση πασσαλοσανίδας.*



*Εικόνα 11: Αφαίρεση πασσαλοσανίδας.*

### 3. ΩΘΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

Πριν προχωρήσουμε στη λεπτομερή σχεδίαση ενός πασσαλότοιχου είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα διάγραμμα των πιέσεων και των αντιστάσεων που ασκούνται στον τοίχο (Εικόνα 12). Αυτό ουσιαστικά καθορίζεται από το ύψος του τοίχου, τις ιδιότητες του εδάφους, τα επίπεδα νερού, και των επιπλέον επιφορτίσεων. Άλλες δυνάμεις οι οποίες μπορεί να θεωρηθούν είναι τα κύματα, ο αντίκτυπος των πλοίων, οι σεισμοί και το “δέσιμο” των σκαφών.



Εικόνα 12: Τυπικές πληροφορίες που απαιτούνται για τον σχεδιασμό ενός τοίχου αντιστήριξης από πασσαλοσανίδες.

Ο αριθμός και η θέση των γεωτρήσεων για την διερεύνηση του εδάφους θα εξαρτηθεί από το μέγεθος και το χαρακτήρα του έργου. Ως γενικός οδηγός, οι γεωτρήσεις μπορούν να βυθιστούν στα 30-60 μέτρα στο κέντρο της προτεινόμενης γραμμής του τοίχου, ή σε μικρή απόσταση μπροστά του, μαζί με επιπλέον γεωτρήσεις μπροστά από την αναμενόμενη γραμμή των αγκυρώσεων. Οι γεωτρήσεις θα πρέπει να πραγματοποιηθούν κάτω από το αναμενόμενο βάθος διείσδυσης των πασσαλοσανίδων. Τα δείγματα του εδάφους θα πρέπει να ληφθούν από όλες τις αλλαγές των στρώσεων από 1.5 έως 3 μέτρα του βάθους της κάθε γεώτρησης. Στην περίπτωση των μη συνεκτικών εδαφών, όπως η άμμος και τα χαλίκια, οι βασικές πληροφορίες για τον σχεδιασμό θα πρέπει να προέρχονται από τυποποιημένες δοκιμές διείσδυσης οι οποίες πραγματοποιούνται από την διάνοιξη και από μηχανικές αναλύσεις αντιπροσωπευτικών δειγμάτων. Για συνεκτικά εδάφη, τα οποία είναι η άργιλος και η ιλύς, αδιατάρακτου εδαφικού δείγματος θα πρέπει να υποβάλλονται σε δοκιμές ανεμπόδισης

θλίψης ή κατά προτίμηση σε αστράγγιστες τριαξονικές δοκιμές και ιδιαίτερα για την μαλακή άργιλο και ιλύ, θα πρέπει να γίνονται επιτόπου δοκιμές. Ακόμα πρέπει να προσδιορίζεται το βάρος των ανενόχλητων δειγμάτων εδάφους.

Οι ιδιότητες του εδάφους οι οποίες είναι σημαντικές για τον υπολογισμό ευστάθειας και τον σχεδιασμό του πασσαλότοιχου, είναι η μονάδα του ειδικού βάρους ( $\gamma$ ) στην φυσική του κατάσταση και σε κατάσταση καθίζησης ( $\gamma'$ ), η γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi$  για μη συνεκτικά εδάφη, η αστράγγιστη διατμητική αντοχή και η συνοχή της αργίλου ή της ιλύς ( $c$ ). Ο τοίχος αντιστήριξης λαμβάνει πλευρικές ωθήσεις, οι οποίες προέρχονται είτε από το έδαφος είτε από το νερό.

Για την ευστάθεια ενός τοίχου αντιστήριξης και ειδικότερα για τη πασσαλοσανίδα, λαμβάνεται υπόψη ο έλεγχος ανατροπής. Ακόμα, η ευστάθεια των πασσαλοσανίδων οφείλεται στην παθητική αντίσταση του εδάφους μπροστά από αυτήν και στη δύναμη έλξης της αγκύρωσης. Επιπλέον, παρουσιάζεται μια εναλλαγή στη συμπεριφορά τους και έτσι η ανάλυση τους γίνεται με πιο εύκολους και αναλυτικούς τρόπους οι οποίοι αναφέρονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

### 3.1 ΠΙΕΣΕΙΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΕΛΑΦΟΥΣ

#### 3.1.1 Μη συνεκτικά εδάφη

Οι τυπικές τιμές των  $\gamma$ ,  $\gamma'$  και  $\phi$  για τα μη συνεκτικά εδάφη δίνονται στον παρακάτω πίνακα 1, αλλά οι πραγματικές τιμές για τον τελικό σχεδιασμό θα πρέπει να καθορίζονται βάσει των δοκιμών. Οποιοδήποτε υλικό πλήρωσης χρησιμοποιηθεί πίσω από τον τοίχο θα πρέπει να είναι καθαρό, σκληρό, αποστραγγιστικό, όπως είναι η άμμος, τα χαλίκια, οι σπασμένες πέτρες ή ο βράχος πλήρωσης. Η άργιλος και η ιλύς δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται ως υλικά πλήρωσης διότι θα παράγουν υψηλές πλευρικές πιέσεις.

ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΙΚΙΑ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ, $\gamma$ kg/m <sup>3</sup>	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ, $\gamma'$ kg/m <sup>3</sup>	ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ, $\phi$
ΧΑΜΗΛΑ	1.500-2082.5	916.3-1082.9	30°
ΜΕΤΡΙΑ	1832.6-2165.8	999.6-1166.2	35°
ΥΨΗΛΑ	1832.6-2332.4	1082.9-1332.8	40°

Πίνακας 1

(α) ενεργητική πίεση: για τα μη συνεκτικά εδάφη (ψαθυρά) όπου ο τοίχος είναι κάθετος και για οριζόντια επιφάνεια του εδάφους πίσω από τον τοίχο, η οριζόντια συνιστώσα της έντασης της ενεργητικής πίεσης της γης  $P_a$  και βάθους  $h$ , δίνεται από τον τύπο

$$P_a = K_a \cdot \gamma \cdot h$$

Όπου το  $\gamma \cdot h$  είναι η συνολική ένταση της ασκούμενης κάθετης πίεσης στο βάθος  $h$ . Έτσι, η κατάλληλη τιμή του  $\gamma$  θα πρέπει να χρησιμοποιείται και για τις δύο αποστραγγιζόμενες και βυθιζόμενες μονάδες του βάρους. Οι τιμές του  $K_a$  για διαφορετικές τιμές του  $\phi$  και  $\delta$  καθώς

και η γωνία τριβής του τοίχου ανάμεσα στο έδαφος και τη πασσαλοσανίδα δίνονται από τον πίνακα 2. Για τον υπολογισμό της ενεργού πίεσης, η  $\delta$  (γωνία τριβής μεταξύ τοίχου και εδάφους) μπορεί να πάρει το ήμισυ της τιμής του  $\phi$ . Ωστόσο, η  $\delta$  μερικές φορές παραλείπεται, δηλαδή, λαμβάνεται ως μηδέν όταν υπάρχει αμφιβολία για τις πραγματικές ιδιότητες τους εδάφους στην περιοχή (το σφάλμα είναι στην ασφαλή περιοχή). Σε περίπτωση που  $\delta=0$  τότε έχουμε συνθήκες Rankine. Το εδαφικό δείγμα που τοποθετείται στα κόσκινα και από αυτά περνά περισσότερο από 5 τοις εκατό της ιλύς στο κόσκινο No 200, αποτελεί αντικείμενο ειδικών δοκιμών για τον προσδιορισμό του  $K_a$ .

	$\phi = 30^\circ$	$\phi = 35^\circ$	$\phi = 40^\circ$
$\delta = 0^\circ$	0.33	0.27	0.22
$\delta = 10^\circ$	0.31	0.25	0.20
$\delta = 20^\circ$	0.28	0.23	0.19

Πίνακας 2

(β) παθητική πίεση: Για έναν κατακόρυφο τοίχο με οριζόντιο ψαθυρό έδαφος μπροστά του, η οριζόντια συνιστώσα της έντασης της παθητικής πίεσης του εδάφους  $P_p$  και βάθους  $h$  πίσω από το επίπεδο του εδάφους στο μπροστινό μέρος του τοίχου, δίνεται από τον τύπο

$$P_p = K_p \cdot \gamma \cdot h$$

Οπού  $\gamma \cdot h$  είναι η συνολική ένταση της ασκούμενης κάθετης πίεσης στο βάθος  $h$ , λαμβάνοντας υπόψη και τις αποστραγγιζόμενες και τις βυθιζόμενες μονάδες του βάρους όπως μπορούν να εφαρμοστούν. Η τιμή του  $K_p$  δίνεται από τον πίνακα 3. Για τον υπολογισμό της παθητικής πίεσης είναι συνηθέστερο να λαμβάνεται  $\delta=2/3\phi$  για αγκυρωμένη πασσαλοσανίδα. Ωστόσο, μπορεί να μην υπάρχει αρκετή αντίσταση κάτω για να κινητοποιήσει την δύναμη τριβής του τοίχου, για την περίπτωση της αγκύρωσης, εκτός αν το βάθος εκσκαφής είναι επαρκή και έτσι συνηθίζεται να λαμβάνεται  $\delta=0^\circ$  για το σχεδιασμό των αγκυρώσεων. Σ' έναν τοίχο πρόβολο θα πρέπει να εξεταστεί η πιθανότητα μιας παρόμοιας κατάστασης. Το εδαφικό δείγμα που τοποθετείται στα κόσκινα και από αυτά περνά περισσότερο από 5 τοις εκατό της ιλύς στο κόσκινο No 200, αποτελεί αντικείμενο ειδικών δοκιμών για τον προσδιορισμό του  $K_p$ .

	$\phi = 30^\circ$	$\phi = 35^\circ$	$\phi = 40^\circ$
$\delta = 0^\circ$	3.0	3.7	4.6
$\delta = 10^\circ$	4.0	4.8	6.5
$\delta = 20^\circ$	4.9	6.0	8.8

Πίνακας 3

### 3.1.2 Συνεκτικά εδάφη

Τυπικές τιμές για συνεκτικά εδάφη, όπως κορεσμένη άργιλος και ιλύς, δίνονται στον πίνακα 4, αλλά οι ιδιότητες που πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά τον σχεδιασμό πρέπει να βασίζονται σε δοκιμές των πραγματικών αδιατάρακτων δειγμάτων.

(α) ενεργός πίεση : Για κάθετους τοίχους με οριζόντιες επιφάνειες εδάφους, η οριζόντια ένταση της ενεργούς πίεσης γαιών  $P_a$  σε βάθος  $h$  δίνεται από τον εξής τύπο

$$P_a = \gamma h - 2c$$

(β) παθητική πίεση: Πάλι για κάθετους τοίχους με οριζόντιες επιφάνειες εδάφους, η οριζόντια ένταση της παθητικής πίεσης γαιών  $P_p$  σε βάθος  $h$  δίνεται από τον εξής τύπο

$$P_p = \gamma h + 2c$$

Και στις δύο παραπάνω εκφράσεις, για ενεργητική και παθητική πίεση στα συνεκτικά εδάφη, έχει υποθεθεί ότι η τιμή της συνάφειας του τοιχώματος, που αντιστοιχεί σε τοίχο τριβής στη συνοχή (σε λιγότερα εδάφη), είναι μηδέν, πράγμα που αποτελεί συνήθη πρακτική στους τοίχους από πασσαλοσανίδες. Στη περίπτωση της έκφρασης για την ενεργό πίεση, θα παρατηρηθεί ότι, όταν η τιμή του  $\gamma h$  είναι μόνο ελαφρώς μεγαλύτερη από το  $2c$ , η ενεργητική πίεση  $P_a$  γίνεται πολύ μικρή. Υπάρχει μία μικρή διαφορά μεταξύ δύο πραγματικά μεγάλων ποσοτήτων  $\gamma h$  και  $2c$  όπου η  $P_a$  σε αυτές τις συνθήκες είναι πολύ ευαίσθητη στις τιμές και των δύο ( $\gamma$  και  $c$ ). Σε μια τέτοια περίπτωση, θα πρέπει να ληφθούν ακριβής τιμές των  $\gamma$  και  $c$  από δοκιμές εδάφους μαζί με το φάσμα των τιμών της διασποράς τους.

Όταν στην περίπτωση της ενεργούς πίεσης, η τιμή του  $P_a$  είναι προφανώς αρνητική, είναι λογικό να αναλάβει μία αυθαίρετη ελάχιστη θετική τιμή της ενεργητικής πίεσης ίση περίπου με  $1/3\gamma h$ .

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το τμήμα αυτό αναφέρεται σε επί τόπου συνεκτικά εδάφη και όχι σε αργίλους ή ιλύες που μπορούν να επανατοποθετηθούν από τον άνθρωπο. Σε οποιαδήποτε περίπτωση, δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σαν υλικό πλήρωσης οι άργιλοι ή ιλύες πίσω ή μπροστά από πασσαλότοιχους.

Οι συνήθεις μέθοδοι υπολογισμού της ενεργητικής και παθητικής πίεσης σε συνεκτικά εδάφη, όπως αναφέρεται παραπάνω, βασίζονται στην άμεση διατμητική αντοχή καθορισμένη σε αστράγγιστες τριαξονικές δοκιμές ή δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης, όπως και για κορεσμένα συνεκτικά εδάφη  $\phi=0$ . Με το πέρασμα του χρόνου και την επακόλουθη αλλοίωση των πόρων πίεσης, μερικές φορές θεωρείται ότι οι αλλαγές στις ιδιότητες του σχεδιασμού θα συμβούν σαν καθορισμένες στραγγισμένες τριαξονικές δοκιμές οι οποίες θα αποκαλύπτουν τη τιμή  $c$  τείνοντας προς το μηδέν και την τιμή του  $\phi'$  η οποία ίσως για μερικές αργίλους να κυμαίνεται από 15 έως 25 μοίρες. Ωστόσο, πολλοί πασσαλότοιχοι έχουν χτιστεί για συνήθη  $\phi=0$ .

ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΣΥΝΟΧΗ ,c, kg./m <sup>2</sup>	ΚΕΚΟΡΕΣΜΕΝΟ	ΒΥΘΙΣΜΕΝΗ
		ΒΑΡΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ γ, kg/m <sup>3</sup>	ΜΟΝΑΔΑ ΒΑΡΟΥΣ γ', kg/m <sup>3</sup>
ΠΟΛΥ ΑΚΑΜΠΤΟ	Πάνω 15000	1999.2 ως 2332.4	999.6 ως 1332.8
ΑΚΑΜΠΤΟ	7500 ως 1500	1915.9 ως 2249.1	916.3 ως 1249.5
ΣΤΑΘΕΡΟ	3750 ως 7500	1749.3 ως 2082.5	749.7 ως 1082.9
ΜΑΛΑΚΟ	1875 ως 3750	1499.4 ως 1832.6	499.8 ως 833
ΠΟΛΥ ΜΑΛΑΚΟ	Κάτω 1875	1499.4 ως 1666	499.8 ως 666.4

Πίνακας 4

### 3.1.3 Υδροστατικές πιέσεις

Η επίδραση του υδροφόρου ορίζοντα έχει ως συνέπεια:

- 1) Τη μείωση των ενεργών κατακόρυφων τάσεων κάτω από το φρεάτιο ορίζοντα με αποτέλεσμα τη μείωση των οριζόντιων ενεργητικών και παθητικών πιέσεων.
- 2) Για να δοθεί η ολική εδαφική ώθηση προστίθεται και η οριζόντια ώθηση του νερού κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα, δηλαδή υδροστατική πίεση.

Μη συνεκτικά εδάφη: Στα μη συνεκτικά εδάφη, η ολική υδροστατική πίεση  $\gamma_w h$  θα δρα στους πασσάλους κάτω από το επίπεδο του νερού ή από το επίπεδο των υπογείων υδάτων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η πίεση του εδάφους  $K\alpha\gamma' h$  στην ίδια περιοχή θα πρέπει να βασίζεται στη βυθισμένη μονάδα βάρους του εδάφους  $\gamma'$ .

Συνεκτικά εδάφη: Στα συνεκτικά εδάφη, η ίδια συνολική πίεση θα έχει σαν αποτέλεσμα είτε αν η πίεση του νερού λαμβάνεται χωριστά μαζί με την πίεση του εδάφους βασισμένη στο  $\gamma'$ , είτε αν το νερό δεν θεωρείται «ελεύθερο» και μόνο η πίεση του εδάφους που δρα, θα βασίζεται στο  $\gamma$ . Αυτό προκύπτει από τις εκφράσεις της παθητικής και της ενεργητικής πίεσης. Έτσι για την ενεργό πίεση

$$P_a = \gamma h - 2c$$

Αλλά όμως,

$$\gamma = \gamma_w + \gamma'$$

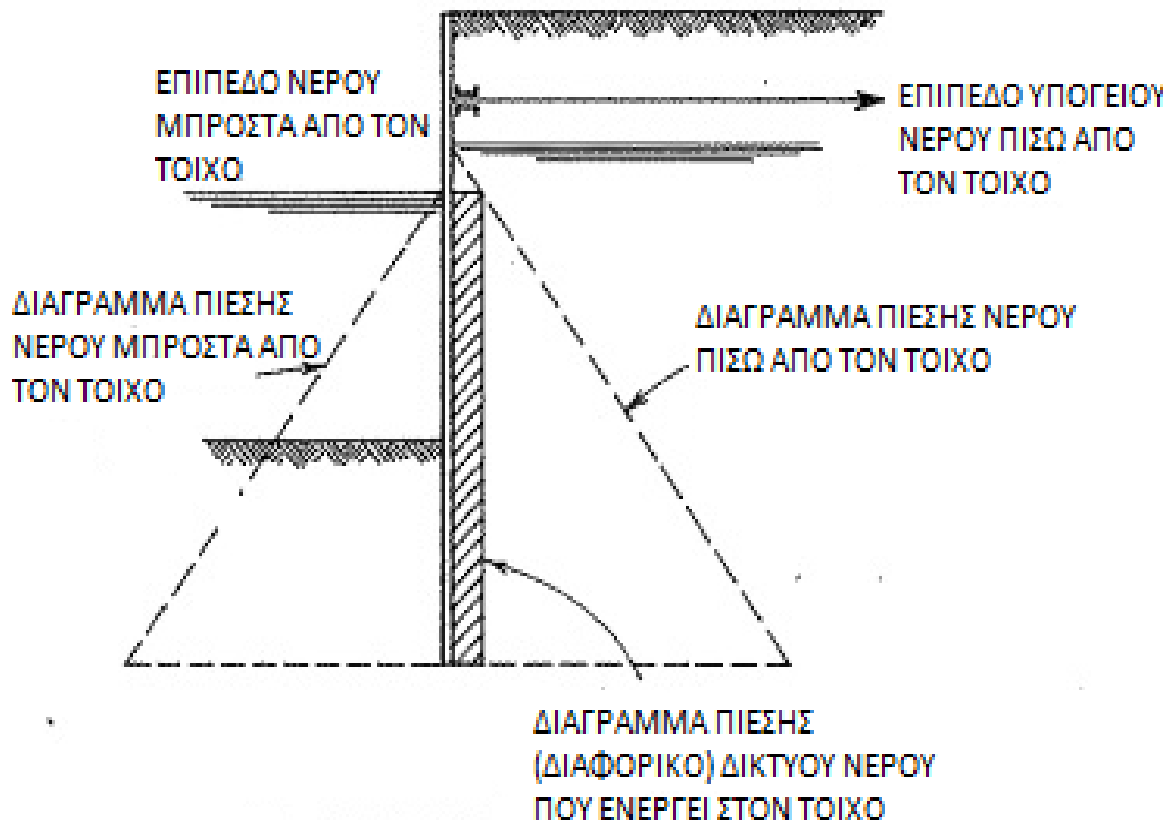
Άρα

$$P_a = \gamma_w h + (\gamma' h - 2c)$$

Διαφορικά επίπεδα νερού: Όπου υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα νερού σε οποιαδήποτε πλευρά της πασσαλοσανίδας, όπως και για έναν τοίχο τύπου αποβάθρα σε παλιρροϊκά ύδατα, και όπου διεισδύει ο πάσσαλος σε ένα σχετικά αδιαπέρατο στρώμα αργίλου, η καθαρή πίεση του νερού είναι απλά η διαφορά μεταξύ των πιέσεων του νερού και στις δύο πλευρές, (σκιασμένο μέρος της Εικόνας 13).

Όταν οι πάσσαλοι δεν διεισδύουν σε ένα αδιαπέρατο στρώμα υπόγειας ροής, η ροή θα λάβει χώρα κάτω από τις προεξοχές των πασσάλων, και το διάγραμμα της καθαρής πίεσης του νερού θα διαφέρει από του σχήματος. Επιπλέον, η υπόγεια ροή θα αυξήσει ελαφρά τη μονάδα βάρους της ενεργούς πλευράς και έτσι θα αυξηθούν οι ενεργές πιέσεις, μειώνοντας την αποτελεσματική μονάδα βάρους στην παθητική πλευρά. Ωστόσο, στη περίπτωση που υπάρχει

τοίχος τύπου προβλήτας (συνηθέστερη μορφή χρήσης πασσαλοσανίδας), το διαφορετικό επίπεδο του νερού είναι απίθανο να υπερβεί τα περίπου 0.9 ή 1.2 μέτρα σε μία πτώση παλίρροιας, και γι' αυτές τις συνθήκες πρέπει να χρησιμοποιηθεί το καθαρό διάγραμμα νερού (βλέπε Εικόνα 13). Στη περίπτωση που η διαφορά μπορεί να αυξηθεί δραματικά, για παράδειγμα, λόγω της ταχείας αύξησης του υδροφόρου ορίζοντα μετά από καταγίδα ή όταν ο πασσαλότοιχος σε μια ξηρά δεξαμενή είναι ζωτικής σημασίας, πρέπει να ληφθεί η υπόγεια ροή στα αποτελέσματα (Terzaghi, 1954).



Εικόνα 13: Διαφορικές πιέσεις νερού.

### 3.1.4 Ενεργός πίεση από επιφόρτιση

Πίεση λόγω ομοιόμορφης κατανεμημένης επιφόρτισης ( $q$ ): η ενεργός πίεση που οφείλεται σε ομοιόμορφη κατανεμημένη επιφόρτιση  $q$  είναι ίση με το  $Ka \cdot q$  σε οποιοδήποτε βάθος. Είναι σύνηθες να θεωρείται ότι η επιφόρτιση είναι ισοδύναμη με την αύξηση του ύψους του τοίχου ή του επιπέδου του εδάφους πίσω από το τοίχο για  $q/\gamma$  m καθώς αυτό δίνει το ίδιο αποτέλεσμα.

Πίεση λόγω γραμμής ή σημείου επιφόρτισης: η επίδραση αυτή μπορεί συχνά να εντοπιστεί με την εκτίμηση του ισοδύναμου ή ομοιόμορφου φορτίου με επιπλέον φόρτιση υποθέτοντας ότι η γραμμή ή το σημείο εξαπλώνεται περίπου σε  $60^\circ$  προς τη κατακόρυφο. Για πιο ακριβή αποτελέσματα θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί Terzaghi, (1954).



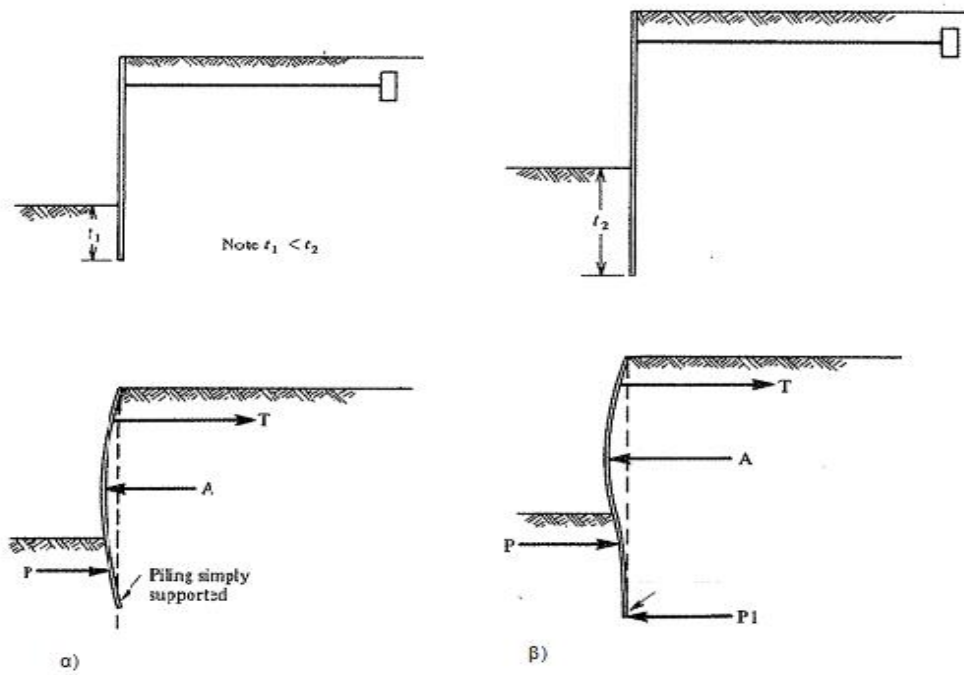
## 4. ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ

Ως αγκύρωση ορίζουμε ένα σύστημα αγκυρίου και την περιβάλλουσα εδαφική μάζα η οποία λαμβάνει το φορτίου του αγκυρίου που προκαλεί εφελκυσμό. Συνήθως, οι αγκυρώσεις λαμβάνουν χώρα σε έργα αντιστηρίξεως με έγχυτους πασσαλότοιχους, τοίχους από μεταλλικές πασσαλοσανίδες (κ.τ.λ.) σε λιμενικά έργα και σε έργα οδοποιίας.

### 4.1 ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΓΚΥΡΩΜΕΝΗΣ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ

Η αγκύρωση των τοίχων από φύλλα χάλυβα χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το ποσό της διείσδυσης των πασσάλων κάτω από την τελική γραμμή βυθοκόρησης (εκσκαφή). Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται στην ελεύθερη στήριξη ενώ η δεύτερη στη πακτωμένη στήριξη. Στην περίπτωση της ελεύθερης στήριξης της γης υποθέτουμε ότι το έδαφος έμπηξης είναι μικρό και το κάτω άκρο του τοίχου περιστρέφεται ελεύθερα. Η παθητική αντίσταση αναπτύσσεται μόνο στο μπροστινό μέρος του τοίχου. Έτσι, για τον υπολογισμό των ροπών, μειώνεται μέσω ενός συντελεστή ασφαλείας  $F'=1,5$ . Το βάθος έμπηξης προκύπτει σαν άθροισμα των ροπών των δυνάμεων που ασκούνται στον τοίχο ως προς το σημείο που βρίσκεται η αγκύρωση το οποίο ισούται με το μηδέν. Επίσης, η δύναμη της αγκύρωσης υπολογίζεται από το αλγεβρικό άθροισμα των οριζόντιων δυνάμεων ίσο με το μηδέν. Τέλος, η μέγιστη ροπή είναι αυτή που θα καθορίσει τη διατομή της πασσαλοσανίδας. Στη περίπτωση αυτή συνιστάται το βάθος έμπηξης να αυξάνει κατά 20% με σκοπό τη πρόληψη μιας μελλοντικής αύξησης του ύψους  $H$ , λόγω διάτρησης του εδαφικού υλικού. Στον τύπο της ελεύθερης στήριξης της γης του τοίχου, ο οποίος έχει μικρότερη διείσδυση από τον δεύτερο τύπο, η πασσαλοσανίδα υποτίθεται ότι ενεργεί ως μία κάθετη δοκό που εκτείνεται σε δύο στηρίγματα. Αυτά είναι το σύστημα αγκύρωσης και το έδαφος μπροστά από τους πασσάλους κάτω από την γραμμή βυθοκόρησης. (Εικόνα 14a)

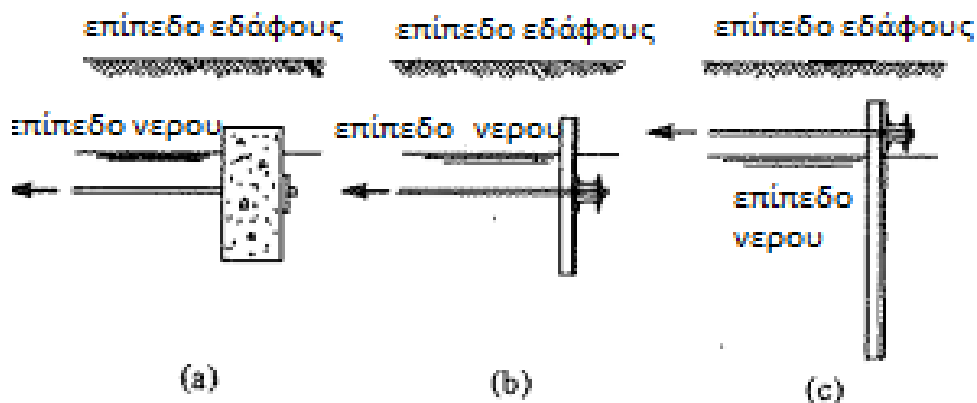
Στη περίπτωση της πακτωμένης στήριξης υποθέτουμε ότι το βάθος έμπηξης είναι πολύ μεγάλο και εμποδίζει τη βάση του τοίχου να περιστρέφεται. Εδώ δε λαμβάνεται υπόψη ο συντελεστής ασφαλείας  $F'$  για τη παθητική αντίσταση αλλά προσμετράτε η ανώθηση που ενεργεί στο κάτω άκρο του τοίχου. Οι μέθοδοι υπολογισμού είναι πάρα πολλοί. Στον τύπο της πακτωμένης στήριξης του τοίχου γίνεται μεγαλύτερη διείσδυση κάτω από τη γραμμή βυθοκόρησης, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα, ο τοίχος πάκτωσης να έχει διεύθυνση στο κάτω μέρος, δηλαδή, οι σωροί του χάλυβα ισοδυναμούν με μία κάθετη δοκό που συγκρατείται σταθερά στο κάτω άκρο. (Εικόνα 14b)



Εικόνα 14: α) ελεύθερη στήριξη β) πακτωμένη στήριξη.

#### 4.1.1 Τύποι αγκυρίων

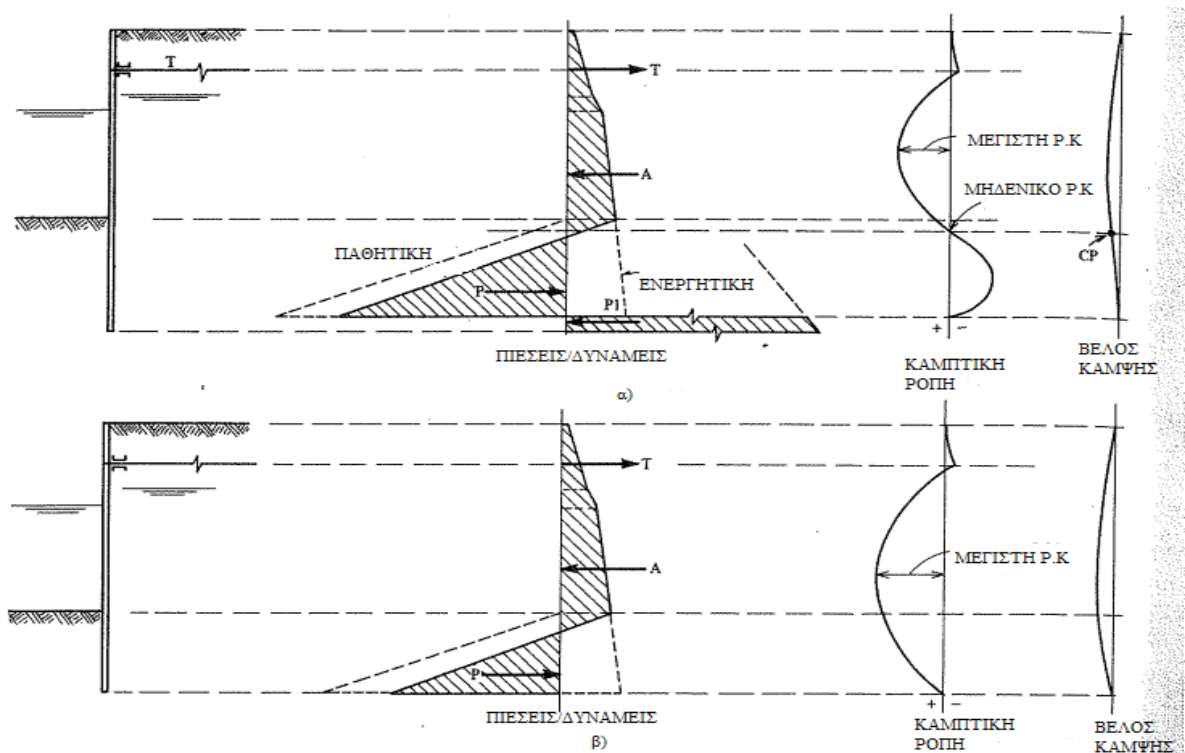
Οι τρεις κύριοι τύποι των αγκυρίων για την κατηγορία των κανονικών οριζόντιων συνδετικών ράβδων με ξεχωριστό κιβώτιο σκυροδέματος ή με απομονωμένη αγκυρωμένη πασσαλοσανίδα (αγκύριο θαμμένο), ή με συνεχόμενο τοίχο από σκυρόδεμα ή πασσαλοσανίδες (ή δύο τοίχοι αγκυρωμένοι ο ένας στον άλλον) φαίνονται στην παρακάτω εικόνα. α) είτε μάζα σκυροδέματος είτε οπλισμένο σκυρόδεμα, β) πασσαλοσανίδα με συνδετικές ράβδους που βρίσκεται σε κεντρική τοποθεσία και γ) αγκυρωμένη πασσαλοσανίδα τύπου προβόλου με συνδετικές ράβδους τοποθετημένες ψηλότερα από το κέντρο των πασσαλοσανίδων. Σε οποιαδήποτε περίπτωση οι αγκυρώσεις θα πρέπει να είναι απομονωμένες ή ξεχωριστού κιβωτίου σκυροδέματος ή ομάδες πασσάλων, ή εναλλακτικά θα πρέπει να μπορούν να είναι υπό την μορφή ενός συνεχούς τοιχώματος από σκυρόδεμα ή πασσαλοσανίδες.



Εικόνα 15: Τύποι αγκυρίων.

#### 4.1.2 Πίεση εδάφους, καμπτική ροπή και βέλος κάμψης

Τα συμβατικά διαγράμματα για την πίεση του εδάφους, την καμπτική ροπή και το βέλος κάμψης φαίνονται παρακάτω. Για την πακτωμένη στήριξη (Εικόνα 16α), το διάγραμμα της πίεσης εδάφους είναι το σύνολο των ενεργών και των παθητικών διαγραμμάτων (διακεκομμένη γραμμή). Η ποσότητα  $T$  αντιπροσωπεύει την αντίσταση λόγω αγκύρωσης,  $A$  είναι το σύνολο των ενεργών δυνάμεων που ασκούνται στον τοίχο, και το  $P$  είναι το σύνολο των παθητικών διαθέσιμων δυνάμεων κάτω από τη γραμμή εκσκαφής. Το  $P_1$  είναι μία αντίθετη παθητική δύναμη στο κάτω μέρος της πασσαλοσανίδας που απαιτείται για την απόκτηση «σταθερότητας». Το αντίστοιχο διάγραμμα καμπτικής ροπής δείχνει ότι η καμπτική ροπή είναι η μέγιστη (θετική) κάπου μεταξύ του επιπέδου της συνδετικής ράβδου και της γραμμής βυθοκόρησης, με μία μέγιστη αντίστροφη ροπή (αρνητική) κάποιας απόστασης κάτω από τη γραμμή εκσκαφής. Ένα μηδενικό σημείο της ροπής κάμψης εμφανίζεται σε μικρή απόσταση κάτω από το όριο εκσκαφής. Η παραμορφωμένη μορφή των πασσάλων δείχνει μέγιστο βέλος κάμψης κοντά στη θέση της μέγιστης παθητικής κάμψης και μηδενική κλίση στο κάτω μέρος των πασσάλων που αντιστοιχεί στη «σταθερότητα». Πρέπει να σημειωθεί, ότι στη θέση του σημείου  $CP$  η καμπύλη κάμψης διασταυρώνεται με τη γραμμή μηδέν. Με άλλα λόγια, είναι το σημείο όπου η ροπή κάμψης αλλάζει πρόσημο από αρνητική σε θετική ή αντίστροφα. Όσον αφορά την ελεύθερη στήριξη, η πίεση του εδάφους, η καμπτική ροπή και το βέλος κάμψης τα διαγράμματα φαίνονται στην Εικόνα 16β. Εδώ οι μοναδικές δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι  $T$ ,  $A$ ,  $P$ , όπως αναφέρεται παραπάνω, ενώ το διάγραμμα της ροπής κάμψης δείχνει μόνο μία μέγιστη θετική ροπή. Αυτή η ροπή είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την προηγούμενη (πακτωμένη στήριξη) για έναν τοίχο του ίδιου ύψους και για ίδιες εδαφικές συνθήκες. Το διάγραμμα του βέλους κάμψης σε αυτή την περίπτωση δεν έχει σημείο όπου η καμπύλη κάμψης διασταυρώνεται με τη γραμμή μηδέν.



Εικόνα 16: Συμβατικά διαγράμματα πίεσης εδάφους, καμπτικής ροπής και βέλους κάμψης με α) πακτωμένη στήριξη και β) ελεύθερη στήριξη.

### 4.1.3 Πακτωμένη στήριξη

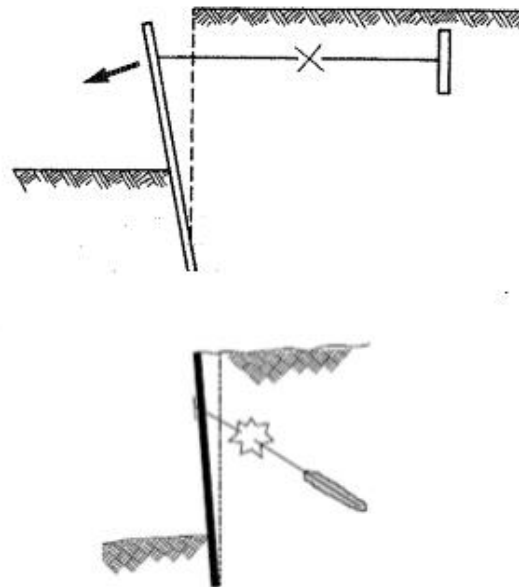
Ενώ σε έναν τοίχο με δεδομένες συνθήκες χώρου και εδάφους μπορεί γενικά να σχεδιαστεί είτε ελεύθερη είτε πακτωμένη στήριξη, η εμπειρία έχει δείξει ότι πιο οικονομικά αποτελέσματα έχουμε από την πακτωμένη στήριξη. Σε περίπτωση που απαιτούνται περισσότεροι σωροί πασσάλων, η απαιτούμενη ροπή αντίστασης ή η καμπτική ροπή των σωρών καθώς και τα φορτία από την αγκύρωση τείνουν να γίνουν μικρότερα. Η σχεδίαση της πακτωμένης στήριξης αυτόματα παρέχει επαρκή διείσδυση για να δώσει έναν επαρκή συντελεστή ασφαλείας έναντι της κίνησης της πασσαλοσανίδας προς τα έξω κάτω από τη γραμμή βυθοκόρησης. Ωστόσο στην περίπτωση της ελεύθερης στήριξης, μία επιπλέον διείσδυση πέρα και πάνω απ' ό,τι ακριβώς χρειάζεται για τη σταθερότητα, πρέπει να υπάρχει για να παρέχει έναν συντελεστή ασφαλείας έναντι της προς τα έξω κίνησης του κάτω μέρους των πασσάλων. Ο σχεδιασμός της ελεύθερης στήριξης θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις όπως α) όταν υπάρχει άργιλος κάτω από τη γραμμή βυθοκόρησης ή β) όταν υπάρχει βράχος στο μέσο ή κοντά στη γραμμή εκσκαφής έτσι ώστε οι πάσσαλοι να μην μπορούν να οδηγηθούν αρκετά μακριά για να παρέχουν σταθερότητα.

### 4.1.4 Μέθοδοι αστοχίας της πασσαλοσανίδας με αγκύρωση

Το παρακάτω είναι μία περίληψη των βασικών τύπων αστοχίας που μπορούν να συμβούν και των κατάλληλων μεθόδων σχεδιασμού, καθώς και της χρήσης των παραγόντων ασφαλείας με σκοπό την πρόληψη.

#### (1) Αστοχία του συστήματος αγκύρωσης

Αστοχία στον τοίχο μπορεί να συμβεί λόγω της ανεπάρκειας των μπουλονιών που συνδέουν τα πασσαλοζεύγματα (οριζόντια δοκός σύνδεσης) στους πασσάλους, στα πασσαλοζεύγματα, των συνδετηρίων των ράβδων και στερέωση των άκρων τους ή τα ίδια τα αγκύρια. Αστοχία επίσης μπορεί να συμβεί εάν τα συστατικά του συστήματος αγκύρωσης είναι επαρκεί αλλά η αγκύρωση είναι τοποθετημένη τόσο κοντά στο τοίχο της πασσαλοσανίδας, δηλαδή, οι συνδετήρες ράβδων δεν έχουν αρκετό μήκος. Μία άλλη πιθανή αστοχία είναι στην υπερβολική φόρτιση πίσω από το αγκύριο. Τέλος, μία ακόμα αποτυχία μπορεί να συμβεί εάν υπάρχει ένα οριζόντιο στρώμα μαλακής αργίλου πίσω από το αγκύριο.



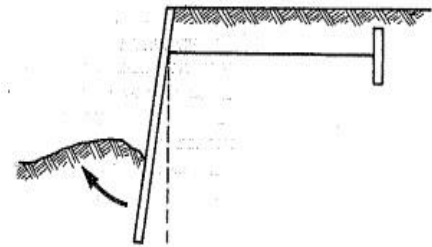
Εικόνα 17: Αστοχία του συστήματος αγκύρωσης.

Παρά το γεγονός ότι στις κατασκευές με αγκύρια δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην

αποφυγή αστοχίας του αγκυρίου, η διαρροή και η θραύση του τένοντα δεν είναι ασυνήθιστη. Αυτό συμβαίνει ειδικά όταν έχει γίνει σωστά η κατασκευή του ενετούμενου τμήματος του αγκυρίου, το οποίο σε συνδυασμό με ένα υψηλής αντοχής έδαφος, αποτρέπει την αστοχία σε αυτό το τμήμα αλλά, σε περίπτωση μεγάλων και μη αναμενόμενων φορτίων, ο τένοντας εντείνεται πέραν της αντοχής του και αστοχεί. Βασική αρχή είναι η σωστή και λογική προένταση του τένοντα γι' αυτό και στην πράξη το μέγιστο προσωρινό φορτίο (δοκιμή) περιορίζεται σε ένα ποσοστό της οριακής εφελκυστικής αντοχής του τένοντα. Ο κανονισμός ACI, για παράδειγμα, ορίζει ως μέγιστο προσωρινό φορτίο το 80% της αντοχής όταν οι ευρωπαϊκοί κανόνες είναι πιο συντηρητικοί και ορίζουν το δοκιμαστικό φορτίο στο 75% της αντοχής. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το φορτίο «κλειδώματος» ή φορτίο λειτουργίας ορίζεται στα 70% εφελκυστικής αντοχής του χάλυβα. Άρα, έχοντας ήδη το 15% της χαρακτηριστικής αντοχής του χάλυβα λόγω μακροχρόνιας χαλάρωσής του και λαμβάνοντας το 70% αυτής θα έχουμε ουσιαστικά σαν τελικό φορτίο προέντασης το 0.6 της εφελκυστικής αντοχής- $f_{pu}$  του. Με αυτό τον τρόπο τα αγκύρια υπερδιαστασιολογούνται.

## (2) Κίνηση του κάτω μέρους της πασσάλου προς τα έξω

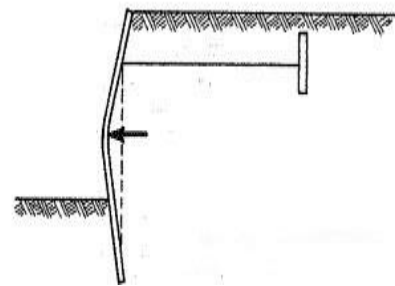
Αστοχία αυτού του τύπου μπορεί να συμβεί όταν υπάρχει ανεπαρκής διείδυση των πασσάλων. Μπορεί επίσης να προκύψει εάν υπάρχει ακούσια μείωση της διείδυσης, για παράδειγμα, διάβρωση λόγω της δράσης των ρευμάτων ύδατος ή των κυμάτων, η υπερβολική εκσκαφή ή η διάβρωση από τις προπέλες των πλοίων.



Εικόνα 18: Κίνηση του κάτω μέρους της πασσάλου προς τα έξω.

## (3) Αστοχία του πασσάλου στην κάμψη

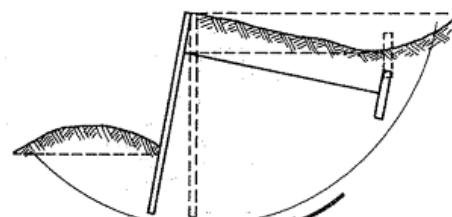
Αυτός ο τύπος της αστοχίας ίσως προκύψει εάν έχει χρησιμοποιηθεί ένα ανεπαρκές τμήμα των πασσάλων, εάν οι πιέσεις του εδάφους έχουν υπολογιστεί λανθασμένα, εάν έχει χρησιμοποιηθεί ακατάλληλο υλικό πλήρωσης, εάν ακούσια υπάρχει μεγάλο φορτίο πίσω από τον τοίχο ή εάν η γραμμή εκσκαφής μειώνεται από διάβρωση ή από υπερεκσκαφή.



Εικόνα 19: Αστοχία του πασσάλου στην κάμψη.

## (4) Κυκλική ολίσθηση σε μαλακή άργιλο

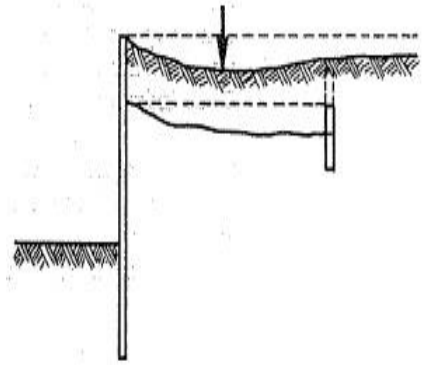
Αποτυχία στον τοίχο ως σύνολο μπορεί να συμβεί λόγω της κυκλικής ολίσθησης στη μαλακή άργιλο.



Εικόνα 20: Κυκλική ολίσθηση σε μαλακή άργιλο.

#### (5) Καθίζηση πίσω από τον τοίχο

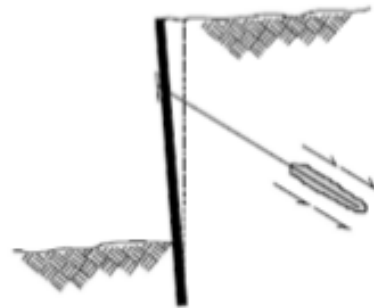
Περίσσια καθίζηση κατά την πλήρωση πίσω από την πασσαλοσανίδα μπορεί να θεωρηθεί ως αστοχία. Τέτοια καθίζηση ίσως επιβραδύνει τις συνδετικές ράβδους προκαλώντας υπερβολική καταπόνηση σε αυτές. Η καθίζηση μπορεί να προκληθεί είτε από την εδραίωση της πλήρωσης της ίδιας είτε από καθίζηση ενός ήδη υπάρχον στρώματος μαλακής αργίλου λόγω του έξτρα βάρους της πλήρωσης.



Εικόνα 21: Καθίζηση πίσω από τον τοίχο.

#### (6) Μη επαρκής συνάφεια μήκους αγκύρωσης και εδάφους

Για την εξασφάλιση της ευστάθειας της κατασκευής, σημαντικός παράγοντας είναι η αλληλεπίδραση του πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου και του εδάφους. Η συγκεκριμένη σχέση εξαρτάται από τις ορθές τάσεις που αναπτύσσονται στην περιοχή της αγκύρωσης καθώς και από τη συνοχή και την τριβή οι οποίες ενεργοποιούνται κατά μήκος του πακτωμένου τμήματος. Αρχικά, καθώς το αγκύριο εντείνεται, το κομμάτι του πακτωμένου τμήματος που βρίσκεται πλησιέστερα στο σημείο εφαρμογής του φορτίου επιμηκύνεται και μεταφέρει φορτία στο έδαφος. Ενεργοποιείται η αντίσταση της διεπιφάνειας στο κομμάτι αυτό και στη συνέχεια προοδευτικά μεταφέρεται σε όλο το μήκος της διεπιφάνειας. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας, το αγκύριο συνεχίζει να επιμηκύνεται και να κινητοποιούνται βαθύτερες ζώνες της διεπιφάνειας. Όταν η ένταση μεταφερθεί στο άλλο άκρο του μήκους αγκύρωσης και εξαντληθεί η φέρουσα ικανότητα της διεπιφάνειας οδηγούμαστε σε εξόλκευση-αστοχία του αγκυρίου.



Εικόνα 22: Μη επαρκής συνάφεια μήκους αγκύρωσης και εδάφους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αστοχίες που έχουν συμβεί κατά καιρούς οφείλονται στις κατηγορίες (1) και (2) λόγω της αστοχίας μερών της αγκύρωσης ή από τη ανεπαρκή διείδυση κάτω από την συγκεκριμένη γραμμή βυθοκόρησης. Πολύ λίγες περιπτώσεις αστοχίας οφείλονται αποκλειστικά στην κάμψη.

### 4.1.5 Εναλλακτικοί οικονομικοί σχεδιασμοί

Ο κύριος στόχος του σχεδιασμού είναι να επιλεγθεί με λεπτομέρεια μια ασφαλή και επαρκή κατασκευή που έχει ελάχιστο κόστος. Δεδομένου ότι το κόστος της πασσαλοσανίδας αποτελεί το μεγαλύτερο ενιαίο στοιχείο σ' έναν τοίχο από πασσάλους, αξίζει να εξεταστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τα τμήματα των πασσάλων που χρησιμοποιούνται. Ακόμα η δύναμη των πασσάλων θα πρέπει να διέπεται από τις πιέσεις του εδάφους, τις διάφορες πιέσεις νερού, την επιπλέον φόρτιση, καθώς και τα ενεργά ανοίγματα των πασσάλων μεταξύ των συνδετικών ράβδων και το σημείο όπου η καμπύλη κάμψης διασταυρώνεται με τη

γραμμή μηδέν. Μπορεί να προκύψουν πολλές εναλλακτικές δυνατότητες. Μια άλλη πτυχή που μπορεί να ληφθεί υπόψη είναι η περίπτωση όπου οι καταστάσεις του εργοταξίου και του εδάφους απαιτούν τη χρήση ενός τμήματος πασσάλων βαρύτερων από οποιονδήποτε άλλο διαθέσιμο. Αυτός είναι ένας άλλος λόγος για τη μελέτη αναγωγικών πιέσεων στη πασσαλοσανίδα. Έτσι, όπου υπάρχει μαλακή άργιλος κάτω από τη γραμμή βυθοκόρησης, έχει βρεθεί μερικές φορές οικονομικότερο να σκάβουμε όλο το μαλακό έδαφος πριν και να το αντικαθιστούμε με άμμο. Εάν η άργιλος είναι φθηνά διαθέσιμη για την πλήρωση και ανάκτηση πίσω από τον πασσαλότοιχο, για να έχουμε πιο οικονομικό αποτέλεσμα, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ψαθυρό υλικό για πλήρωση πίσω από τον τοίχο, ενώ η άργιλος που έχει βρεθεί πριν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο κύριο τμήμα της αποκατάστασης. Τα πλεονεκτήματα για τη χρήση τύπου τοίχων πλατφόρμας σε κάποιες καταστάσεις έχουν ήδη αναφερθεί. Όταν υπάρχει μαλακή άργιλος σε μεγάλο βάθος σε ένα εργοτάξιο ίσως είναι αδύνατο να κατασκευαστεί ένας οικονομικός πασσαλότοιχος, και η σωστή λύση θα είναι μία τσιμεντένια γέφυρα όπου θα στηρίζεται σε κάθετες στήλες που φέρουν μία κλίση στο έδαφος εκτεινόμενη κάτω από το κατάστρωμα της γραμμής εκσκαφής στο πίσω μέρος του καταστρώματος.

#### **4.1.6 Επίδραση της τριβής του τοίχου στα είδη των αγκυρώσεων**

Οι τοίχοι τριβής και η επίδραση τους στον σχεδιασμό της αγκύρωσης έχει ήδη αναφερθεί για τους τύπους των αγκυρώσεων, όταν οι συνδετικοί ράβδοι είναι οριζόντιοι.

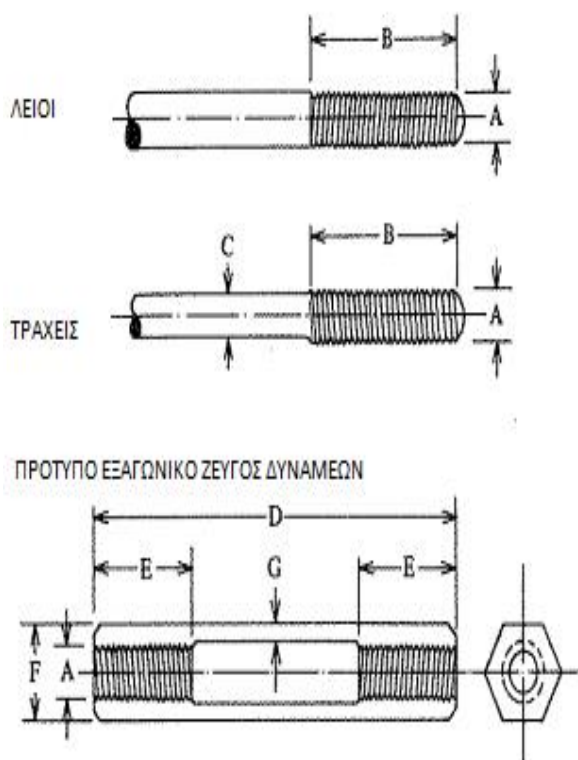
Εάν οι συνδετικοί ράβδοι σε πρηνή βρίσκονται σε χαμηλό επίπεδο του αγκυρίου, τότε υπάρχει λιγότερη τριβή στον τοίχο. Από την άλλη πλευρά, αν σε επικλινή πρηνή οι συνδετικοί ράβδοι χρησιμοποιούνται σε υψηλότερα επίπεδα, τότε δεν θα υπάρχει πρόβλημα σχετικά με την μετακίνηση του τοίχου τριβής, αλλά έλεγχος πρέπει να γίνει στον κύριο πασσαλότοιχο, στην κύρια πλευρά του. Η ίδια κατάσταση προκύπτει σε έναν τοίχο ο οποίος στηρίζεται στην εξωτερική όψη λόγω μιας απότομης επικλινής στήριξης των πασσάλων. Όπου οι εφελκόμενοι πάσσαλοι από χάλυβα (H) ή τα αγκύρια εδάφους σε 45° παρέχουν αγκύρωση, το μόνο πρόβλημα που μπορεί να υπάρξει είναι οι πτωτικές συνιστώσες στον πασσαλότοιχο, και στη συνέχεια θα πρέπει να ελέγχεται η κατακόρυφη τάση στην πασσαλοσανίδα.

##### **4.1.6.a Χαλύβδινοι πασσαλοζεύγματα, συνδετικοί ράβδοι και λεπτομέρειες για αγκυρωμένους τοίχους αντιστήριξης**

Τα πασσαλοζεύγματα για τους αγκυρωμένους τοίχους αντιστήριξης συνήθως αποτελούνται από ένα ζευγάρι χαλύβδινων καναλιών με τους ιστούς πίσω και οριζόντια (Εικόνα 24). Είναι σύνηθες να τοποθετούνται τα κανάλια πίσω από την πασσαλοσανίδα καθώς βελτιώνεται η εμφάνιση του τοίχου, και καθιστά τα κανάλια λιγότερο εκτεθειμένα σε διάβρωση και εξαφανίζει κάθε προεξοχή που θα μπορούσε να επηρεάσει τη χρήση του τοίχου. Τα πίσω μπουλόνια απαιτούνται για τη μεταφορά του φορτίου από το πάσσαλο στο πασσαλόζευγμα. Οι χαλύβδινοι συνδετικοί ράβδοι έχουν διάμετρο από 1 ½ μέχρι 4 in οι οποίες χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν το φορτίο από τα πασσαλοζεύγματα στα αγκύρια. Για υψηλά φορτία, η χρήση των συνδετικών ράβδων με σπείρωμα στα άκρα μπορεί να δικαιολογηθεί όταν η περιοχή στο κάτω μέρος των νημάτων είναι το ελάχιστο ίση με τη

περιοχή διατομής της ράβδου, στη περίπτωση όμως μικρότερων διαμέτρων των απλών ράβδων με σπείρωμα θα είναι συνήθως πιο οικονομική. Όπου συνδετικοί ράβδοι υπερβαίνουν τα 30-40 πόδια ολικού μήκους, τα εξαγωνικά ζεύγη δυνάμεων ή οι εντατήρες ενσωματώνονται για να κάνουν τον χειρισμό και την ανέγερση στο χώρο του εργοταξίου πιο εύκολο (Εικόνα 23).

Εάν υπάρχει οποιαδήποτε πιθανότητα διευθέτησης του εδάφους κάτω από τις συνδετικές ράβδους, αυτή θα πρέπει να υποστηρίζεται ξεχωριστά, για παράδειγμα, στους ελαφριούς κάθετους πασσάλους σε κατάλληλα κέντρα εξαρτώμενους από τη διάμετρο των συνδετικών ράβδων, θα πρέπει να εγκατασταθούν μέσα σε ένα μεγάλο σωλήνα με τη συνδετική ράβδο που βρίσκεται στο πυθμένα αρχικά. Οι συνδετικοί ράβδοι και τα πίσω μπουλόνια, πρέπει να είναι εφοδιασμένα με φλάντζα και με φέρουσες πλάκες όπως φαίνεται στην Εικόνα 23. Αυτά θα πρέπει να είναι επαρκούς μεγέθους και πάχους για να παρέχουν επαρκή σχέση με τις πασσαλοσανίδες και τα πασσαλοζεύγματα ή σε σκυροδετημένους αγκυρωμένους ογκόλιθους. Οι αγκυρωμένες πασσαλοσανίδες απαιτούν πασσαλοζεύγματα παρόμοια με αυτά των κύριων τοίχων, όμως καθώς τα πασσαλοζεύγματα μπορούν να τοποθετηθούν πίσω από τους αγκυρωμένους πασσάλους, κανένα μπουλόνι δεν απαιτείται εκτός από κάποιες βίδες συναρμολόγησης. Χρησιμοποιούνται σύνδεσμοι με μπουλόνια ή συγκολλημένοι αρμοί για σύνδεση μεγάλων μηκών των πασσαλοζευγμάτων. Η Εικόνα 23 επίσης δείχνει μερικές τυπικές λεπτομέρειες των κεφαλών των πασσαλότοιχων και λεπτομέρειες ενός ξύλινου προστατευτικού για μικρούς τοίχους.

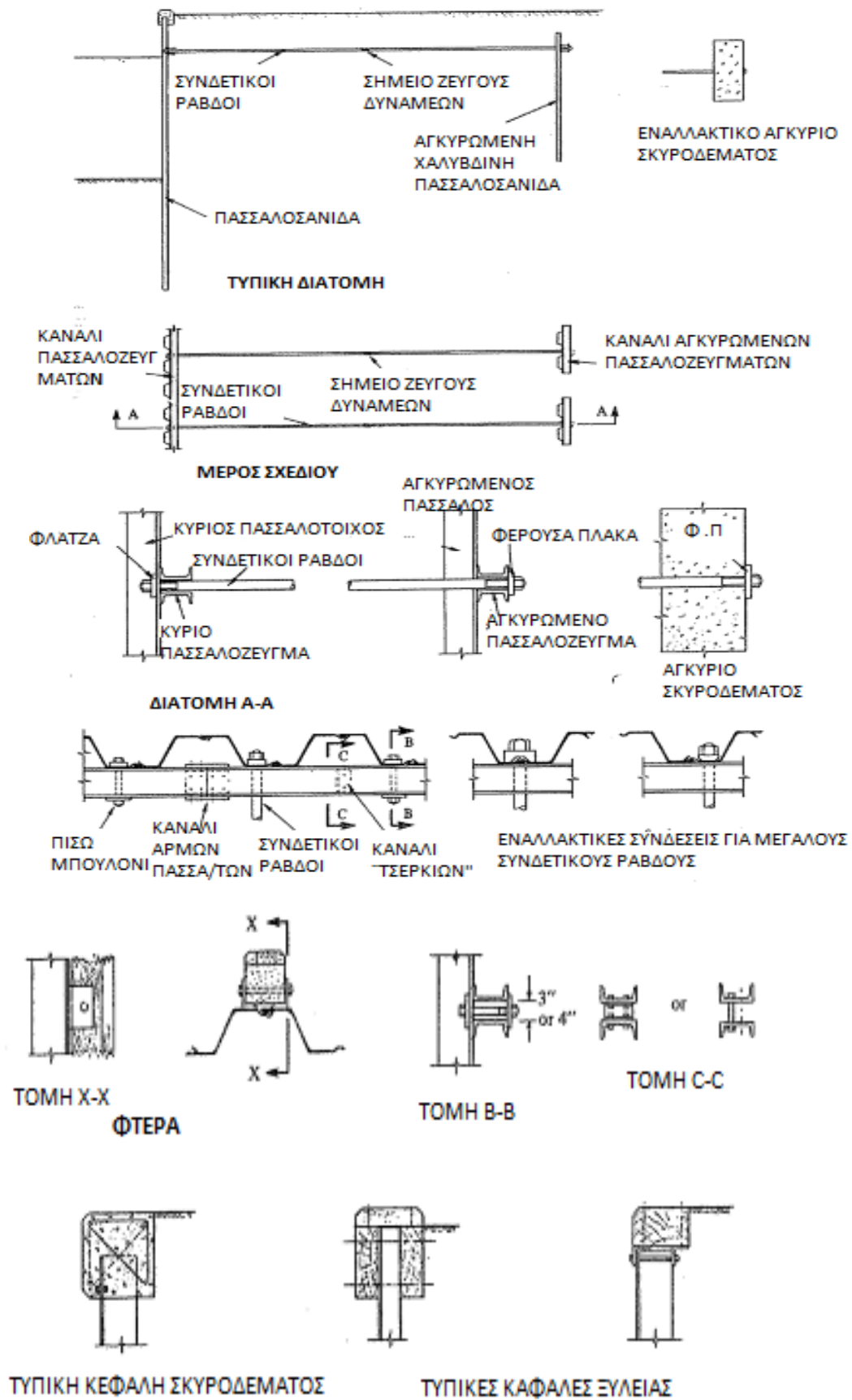


ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΞΑΓΩΝΙΚΩΝ ΖΕΥΓΟΥΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

A, in	D, in	E, in	F, in	G, in
1	6 $\frac{3}{4}$	1 $\frac{3}{8}$	1 $\frac{13}{32}$	1 $\frac{17}{64}$
1 $\frac{1}{4}$	7 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{3}{32}$	1 $\frac{19}{64}$
1 $\frac{1}{2}$	8	2	2 $\frac{13}{32}$	2 $\frac{11}{64}$
1 $\frac{3}{4}$	8 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{4}$	1 $\frac{1}{8}$
2	9	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{32}$	2 $\frac{39}{64}$
2 $\frac{1}{2}$	10	3	3 $\frac{27}{64}$	2 $\frac{9}{16}$
3	11	3 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{17}{32}$	3 $\frac{11}{64}$
3 $\frac{1}{2}$	11 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{3}{4}$	5 $\frac{11}{64}$	3 $\frac{13}{32}$
4	12 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{4}$	5 $\frac{61}{64}$	4 $\frac{35}{64}$
4 $\frac{1}{2}$	13	4 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{29}{64}$	1

Εικόνα 23: Σχήμα συνδετικών ράβδων και πίνακας διαστάσεων αυτών.





Εικόνα 24: Τυπικές λεπτομέρειες σιδηροκατασκευών.

#### 4.1.7 Άλλοι μέθοδοι σχεδιασμού

Αυτές είναι μερικές από τις άλλες μεθόδους σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται για αγκυρωμένη πασσαλοσανίδα:

- 1) Μέθοδος Tschebotarioff (Tschebotarioff, 1973)
- 2) Μέθοδος Terzaghi (Terzaghi, 1954, με ιδιαίτερη αναφορά στη συζήτηση). Επιτρέπει τη μείωση της ευελιξίας σύμφωνα με το Rowe
- 3) Μέθοδος Rowe
- 4) Κώδικας πρακτικής, έργα συγκράτησης εδαφών. Μία μείωση 25% των συμβατικών ροπών κάμψεων επιτρέπεται
- 5) Γερμανική επιτροπή για δομές Waterfront (επιτροπή για δομές Waterfront, 1966). Επιτρέπει μία μείωση 33% των συμβατικών ροπών κάμψης μόνο υπό ορισμένες προϋποθέσεις. Επίσης, επιτρέπει τη σχεδίαση βάση της εργασίας του Rowe ή εναλλακτικά με απόλυτο τρόπο το φορτίο του Hansen (κάτω)
- 6) Απόλυτη μέθοδος φορτίο του Hansen (Brinch Hansen, 1953). Αυτή είναι μία αστοχία ή η απόλυτη μέθοδος βασίζεται στο σχηματισμό της υποχώρησης της άρθρωσης το οποίο οδηγεί σε αστοχία. Η ευελιξία των πασσάλων δεν εισέρχεται στη μέθοδο
- 7) Οι Δανικοί κανόνες (Tschebotarioff, 1973). Μια μεγάλη μείωση επιτρέπεται με βάση την αμίδα



Εικόνα 25: Τοποθέτηση αγκυρίου.

## 4.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Τα αγκύρια αποτελούνται από τρία μέρη, τα οποία απεικονίζονται αναλυτικά στην Εικόνα 26:

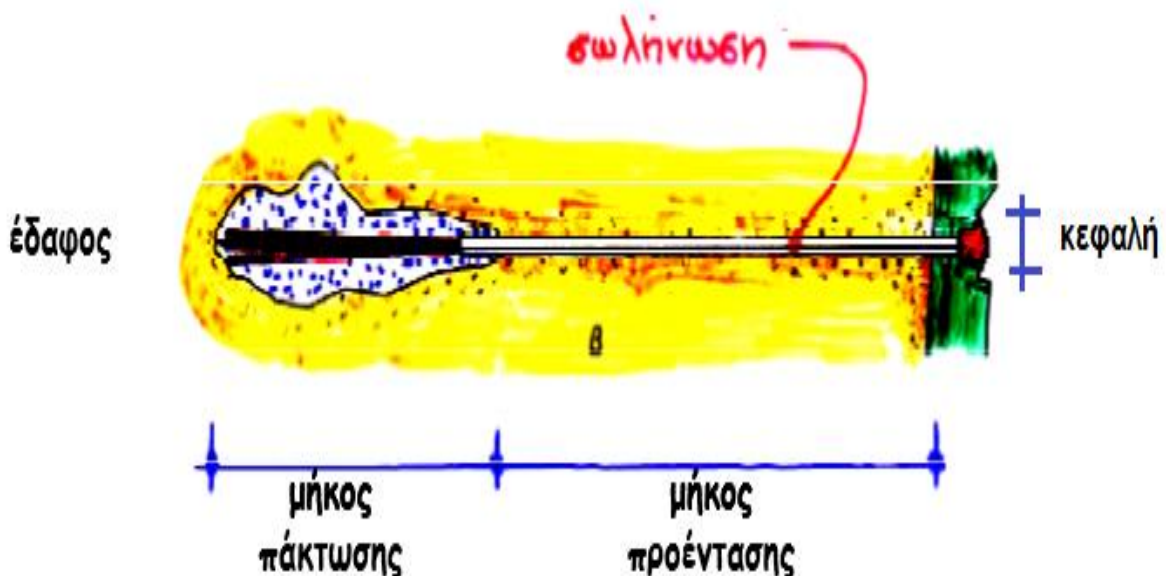
- ❖ Την κεφαλή, η οποία μεταβιβάζει το εφελκυστικό φορτίο του αγκυρίου στην επιφάνεια του εδάφους (μεταλλική πασσαλοσανίδα).
- ❖ Το πακτωμένο τμήμα του τένοντα, το οποίο μεταβιβάζει το εφελκυστικό φορτίο του αγκυρίου στην εδαφική μάζα.
- ❖ Το ελεύθερο τμήμα του τένοντα, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα στην κεφαλή και στο πακτωμένο τμήμα, μεταφέρει το εφελκυστικό φορτίο μέσω αυτών από μια απόσταση ικανοποιητική ώστε η πάκτωση του αγκυρίου να γίνεται σε έδαφος ευσταθές και επαρκούς αντοχής.

Αναλυτικότερα:

Κεφαλή: Αποτελείται από χαλύβδινη πλάκα που επιτρέπει την τάνυση κάθε ράβδου και την εκτέλεση τσιμεντένεσης για την πλήρωση του κενού.

Πακτωμένο τμήμα του τένοντα: Για τους τένοντες προεντεταμένων αγκυρίων χρησιμοποιούνται χαλύβδινα προϊόντα (συρματόσχοινο), χαλύβδινα γαλβανισμένα προϊόντα, χαλύβδινα προϊόντα με επικάλυψη θερμού ψευδαζόμενου κράματος ψευδάργυρου-αλουμινίου.

Τσιμέντο: Το τσιμέντο το οποίο χρησιμοποιείται για την αγκύρωση θα επιλέγεται σύμφωνα με τον βαθμό προσβολής του περιβάλλοντος, την διαπερατότητα του γεωυλικού και στην τεχνική, διάρκεια ζωής του αγκυρίου.



Εικόνα 26: Αγκύρωση-κατασκευή της κεφαλής.

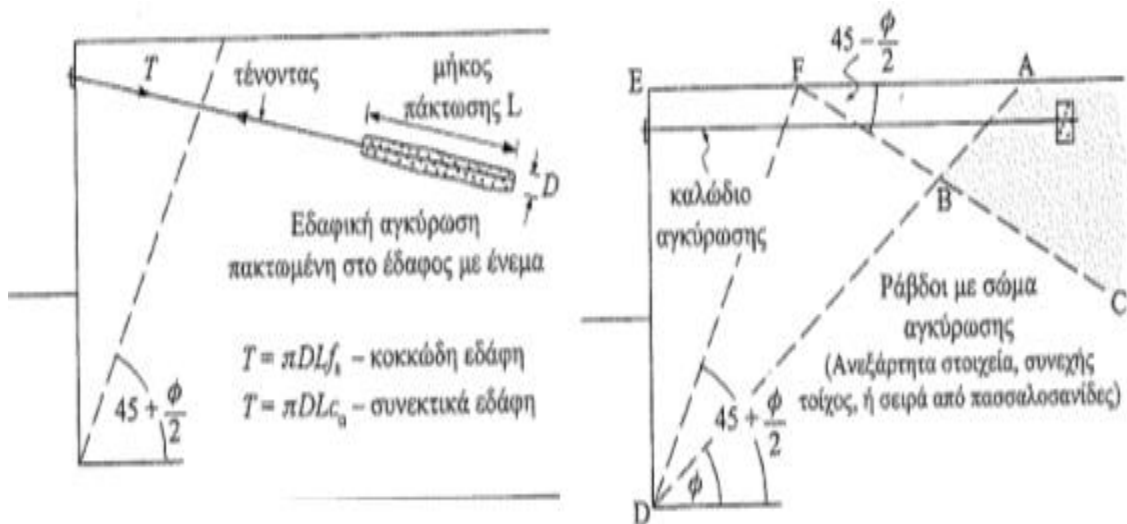
### 4.3 ΕΚΣΚΑΦΗ ΜΕ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ

Για την ευστάθεια του εδάφους χρησιμοποιούνται δύο τρόποι εκσκαφής:

1. Με αγκυρώσεις
2. Με αντηρίδες

Αυτές διαφέρουν μεταξύ τους, δηλαδή με τις αγκυρώσεις η διαδικασία της εκσκαφής είναι πιο εύκολη σε σχέση με αυτή των αντηρίδων, η οποία μειώνει την ασφάλεια και την απόδοση του έργου.

Ο συνήθης τρόπος με τον οποίο γίνεται η αγκύρωση στα μη συνεκτικά εδάφη, αναπαρίσταται στην Εικόνα 27. Το έδαφος που βρίσκεται μπροστά από τον τοίχο των πασσαλοσανίδων δημιουργεί παθητική ώθηση, δίνοντας έτσι επάρκεια αντοχής και προστασίας στο εμπρόσθιο τμήμα που θέλουμε να αγκυρωθεί. Η αγκύρωση πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένο σημείο μέσα στο έδαφος. Σύμφωνα με την Εικόνα 27 το σημείο αυτό θα βρίσκεται στην περιοχή που περιβάλλεται από τα σημεία ABC ώστε η παθητική ώθηση να μην επηρεάσει και καταστρέψει την εδαφική μάζα DEF.



Εικόνα 27: Αγκυρώσεις για διαφράγματα πασσαλοσανίδων.

Με αυτό τον τρόπο αγκύρωσης περιορίζονται οι παραμορφώσεις του τοίχου και ταυτόχρονα μειώνονται οι οριζόντιες και κατακόρυφες εδαφικές μετακινήσεις γύρω από το σημείο εκσκαφής. Αυτό είναι εφικτό όταν η αγκύρωση γίνεται σε μικρό βάθος δηλαδή όταν έχουμε μικρό μήκος τένοντα. Η δύναμη του αγκυρίου T δίνεται από τον εξής τύπο:

$$T = \pi * D * L * f_s \quad (\text{για κοκκώδη εδάφη})$$

$$T = \pi * D * L * C_u \quad (\text{για συνεκτικά εδάφη})$$

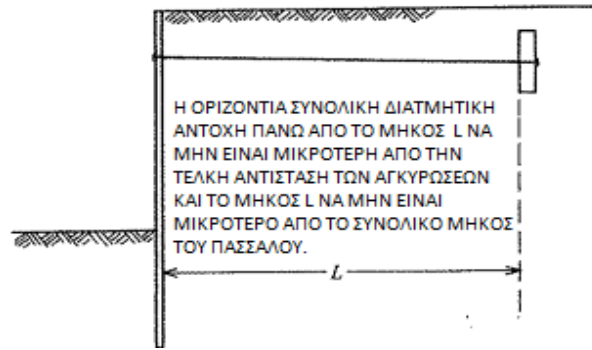
Όπου :  $\pi = 3,14159$

$D$  = πάχος τσιμεντενέματος

$L$  = μήκος πάκτωσης

$f_s$  = συντελεστής σχήματος

$C_u$  = αστράγγιστη συνοχή



Εικόνα 28: Μήκος πάκτωσης.

Για τα συνεκτικά εδάφη, προτείνονται δυο κριτήρια για το μήκος των συνδετικών ράβδων.

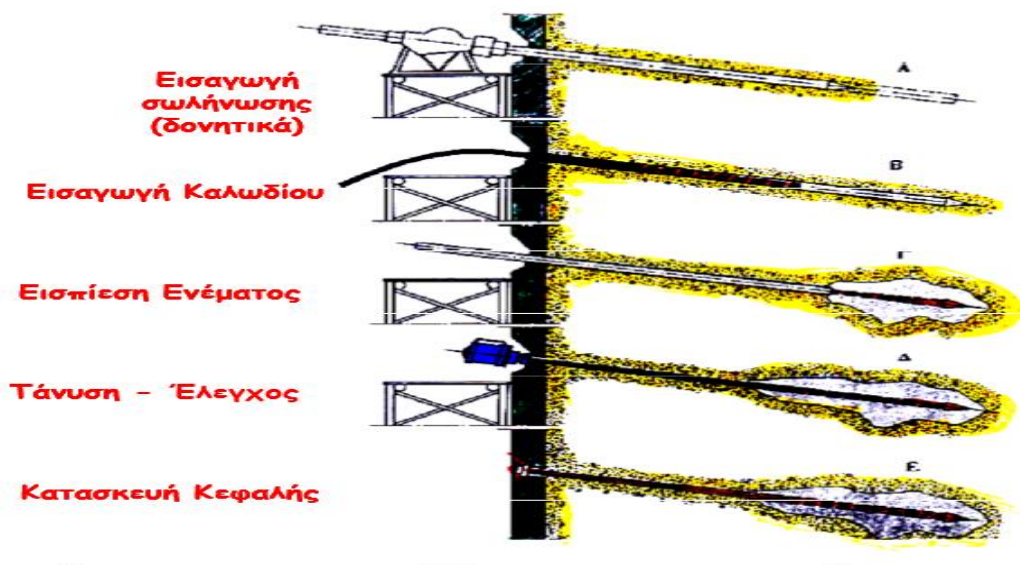
- 1) Προτείνεται ότι αυτά δεν πρέπει να είναι μικρότερα από το μήκος των πασσαλοσανίδων, και
- 2) Θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ένας έλεγχος όπως φαίνεται στην Εικόνα 28.

Παρόμοιος έλεγχος θα πρέπει να γίνει εάν υπάρχει ένα οριζόντιο στρώμα από συνεκτικό έδαφος ανάμεσα στα στρώματα των μη συνεκτικών εδαφών. Αν για λόγους εργοταξίου, δεν είναι δυνατό να εντοπιστεί το αγκύριο όπως προτείνεται παραπάνω, η επιτρεπόμενη αντίσταση των αγκυρίων μειώνεται όπως περιγράφεται από τον Terzaghi (1943). Εναλλακτικά, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα αγκύριο ή μια πλατφόρμα ανακούφισης.

Ο ίδιος χρησιμοποιείται και στην περίπτωση των αντηρίδων.

### Διαδικασία αγκύρωσης:

Αρχικά εισέρχεται σωλήνας στο έδαφος (δονητικά) ώστε να ανοιχθεί οπή. Στη συνέχεια, εισάγεται καλώδιο με το οποίο γίνεται η έγχυση του τσιμεντενέματος, το οποίο εξαρτάται από το είδος του εδάφους κατάλληλο για τον σχηματισμό του μήκους πάκτωσης ( $L$ ) της αγκύρωσης, στο άκρο του σωλήνα ώσπου να πληρωθεί το κενό. Έπειτα, αφαιρείται το καλώδιο αυτό και γίνεται τάνυση – έλεγχος ώστε να εξασφαλιστεί η κάλυψη όλων των πόρων κενών. Τέλος, κατασκευάζεται η κεφαλή και η αγκύρωση ολοκληρώνεται.



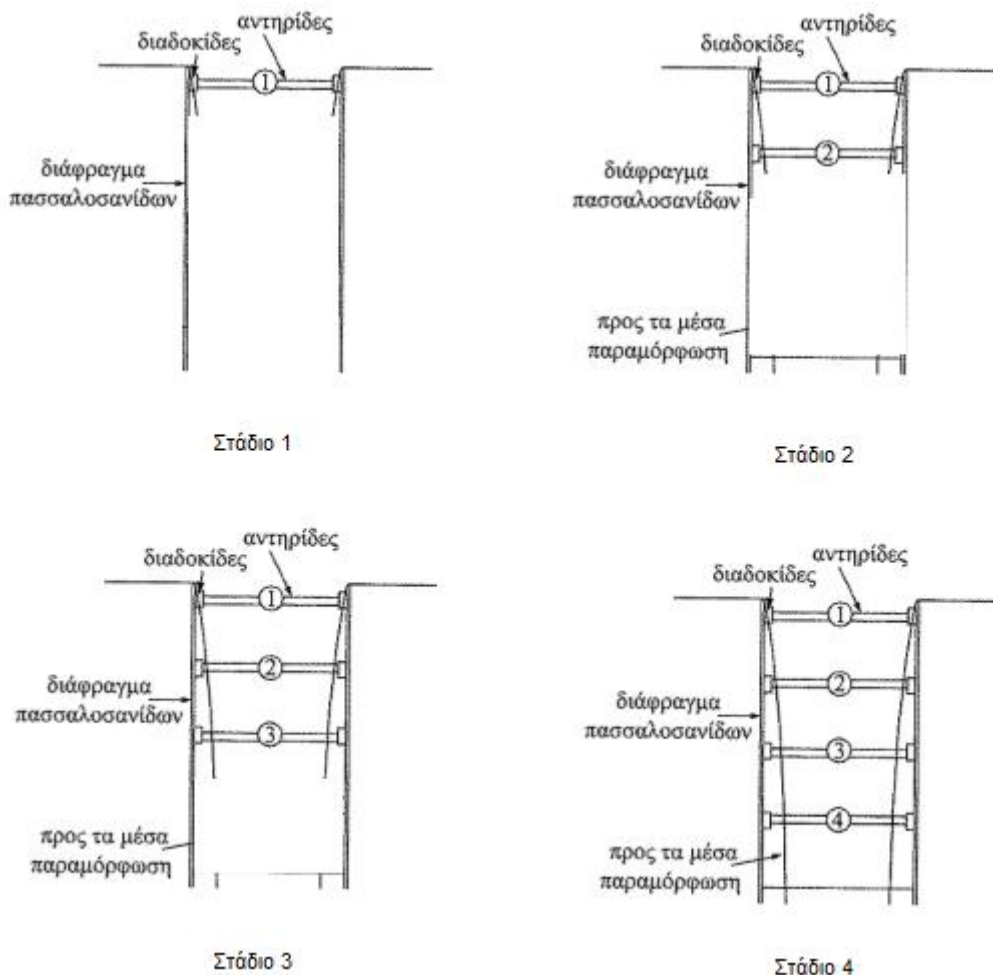
Εικόνα 29: Αγκύρωση μέσα στο έδαφος.

## 4.4 ΕΚΣΚΑΦΗ ΜΕ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ

Όταν το βάθος εκσκαφής φτάσει στα 6 μέτρα, οι πλευρικές πιέσεις του εδάφους επηρεάζονται από:

- Συρρίκνωση ή διόγκωση της εδαφικής μάζας και των στηρίξεων
- Αλλαγή θερμοκρασίας
- Χρήση των υλικών

Σύμφωνα με τα παραπάνω η εκσκαφή με αντηρίδες δεν βασίζεται σε κανονισμούς αλλά στην πείρα του μηχανικού και τη θεωρητική ανάλυση. Η διαδικασία ξεκινά με την έμπηξη δύο σειρών πασσαλοσανίδων μέχρι κάποιο συγκεκριμένο βάθος για την αντιστήριξη των πρανών της εκσκαφής. Η αφαίρεση του όγκου των χωματισμών γίνεται σε στάδια, όπου σε κάθε ένα από αυτά τοποθετείται μία αντηρίδα η οποία αποτρέπει την διαρροή χώματος στο επόμενο στάδιο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται ώσπου να φτάσουμε στο επιθυμητό βάθος.



Εικόνα 30: Στάδια εκσκαφής με αντηρίδες.



*Εικόνα 31: Αντιστήριξη μεταλλικού τοίχου με αντηρίδες.*



*Εικόνα 32: Αντιστήριξη πασσαλοσανίδων με αντηρίδες.*

## 4.5 ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΝ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διάρκεια ζωής των αγκυρώσεων οφείλεται σε διατάξεις αντιδιαβρωτικής προστασίας όπου σύμφωνα με αυτές κατατάσσονται σε μόνιμες αγκυρώσεις όπου η διάρκεια ζωής τους ξεπερνά τα δύο χρόνια. Στο πακτωμένο τμήμα των τενόντων των μόνιμων αγκυρώσεων η αντιδιαβρωτική τους προστασία θα γίνεται με μια στρώση αντιδιαβρωτικού υλικού που έχει διάρκεια ζωής ίση ή και μεγαλύτερη από αυτήν της αγκύρωσης. Στο ελεύθερο τμήμα η αντιδιαβρωτική προστασία θα γίνεται με δύο στρώσεις αντιδιαβρωτικού υλικού.

Δεν έχουν παρατηρηθεί σημαντικές διαφορές στα ποσοστά διάβρωσης για τις διάφορες ποιότητες του χάλυβα που χρησιμοποιείται κανονικά για την κατασκευή των πασσαλοσανίδων. Το σύνολο της περιεκτικότητας σε χαλκό δεν έχει βρεθεί να έχει οποιαδήποτε σημαντική επίδραση στην μείωση της διάβρωσης λόγω του νερού ή του εδάφους, αλλά το περιεχόμενο του χαλκού της τάξης του 0,3 τοις εκατό και υψηλότερα μπορεί να δώσει κάποια βελτίωση στην ατμοσφαιρική αντοχή όταν ο χάλυβας είναι ακάλυπτος.

### 4.5.1 Καταστάσεις διάβρωσης

Τρεις πιθανές καταστάσεις της διάβρωσης μπορούν να ισχύουν για την πασσαλοσανίδα: διάβρωση λόγω εδάφους ή υλικού πλήρωσης, νερού και ατμόσφαιρας.

Διάβρωση του εδάφους: Όταν η πασσαλοσανίδα είναι κάτω από το επίπεδο των υπόγειων υδάτων και είναι σε επαφή με αδιατάρακτο έδαφος, η διάβρωση είναι τόσο μικρή όπου συχνά αγνοείται, και γενικά είναι περιττό να εφαρμοστεί οποιαδήποτε προστατευτική επικάλυψη σε αυτή τη περίπτωση (πρότυπο Βρετανικό ινστιτούτο, 1966/ επιτροπή για Waterfront Δομές, 1966/ Cornfield, 1969/ Fang, 1970/ Ίδρυμα για Πολιτικούς Μηχανικούς, 1951). Πάνω από το επίπεδο των υπογείων υδάτων ή σε διαταραγμένο έδαφος μπορεί να συμβεί μερική διάβρωση, και ίσως είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί προστασία με την μορφή βαφών επίστρωσης ανάλογα με τις καταστάσεις (Fang, 1970/ Ίδρυμα για Πολιτικούς Μηχανικούς, 1951).

Διάβρωση του νερού: Όταν βυθίζεται πλήρως ο μέσος όρος της διάβρωσης του γυμνού χάλυβα δεν ξεπερνά τα 0,08 mm (0,003 in) ανά έτος σε θαλασσινό νερό, και 0,05 mm (0,002 in) ανά έτος σε γλυκό νερό. Τα ποσοστά αυτά είναι πιθανό να σημειώσουν υπέρβαση στην ζώνη βουτιάς ανάμεσα στα επίπεδα παλίρροιας και πάνω από υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, αλλά αυτή η περιοχή είναι συνήθως προσβάσιμη για την βαφή συντήρησης (Brinch Hansen, 1953/ πρότυπο Βρετανικό ινστιτούτο, 1966/ επιτροπή για Waterfront Δομές, 1966/ Cornfield, 1970/ Fang, 1970).

Ατμοσφαιρική διάβρωση: Η διάβρωση του χάλυβα από την ατμόσφαιρα μπορεί να είναι πολύ μεταβλητή και μπορεί να είναι υψηλή σε κάποιες περιπτώσεις, αλλά οι επικαλύψεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν και είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί βαφή συντήρησης.

Ασυνήθιστο έδαφος, νερό ή ατμοσφαιρικές συνθήκες μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντική διάβρωση. Έτσι για παράδειγμα, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί σε τροπικές συνθήκες, ή όπου υπάρχουν χημικά, ή όπου ο χάλυβας είναι σε επαφή με άλλα μέταλλα.

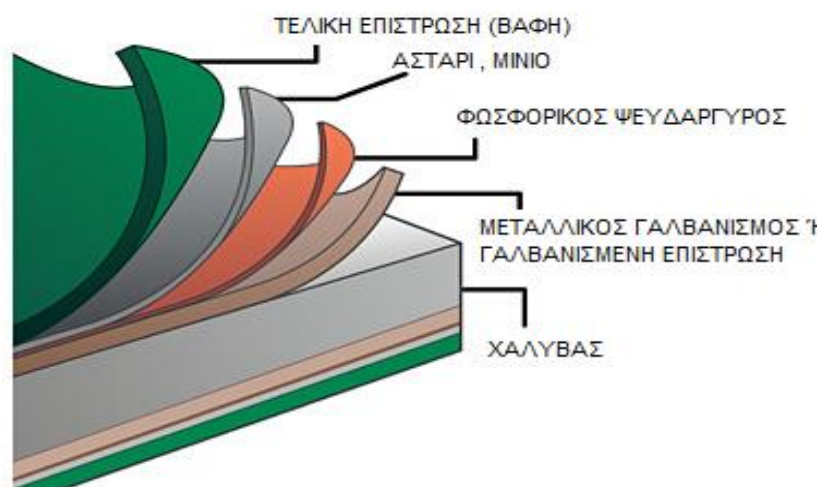


#### 4.5.2 Επιστρώσεις (ή επιχρίσματα)

Τα οικονομικά της βαφής των κατασκευών με πασσαλοσανίδες είναι εντελώς διαφορετικά από αυτά της βαφής της υπέργειας των μεταλλικών κατασκευών επειδή τα μέρη των πασσάλων τα οποία είναι κάτω από το επίπεδο του νερού ή του εδάφους δεν είναι προσβάσιμα για μελλοντική βαφή συντήρησης. Λόγω αυτού του παράγοντα η ζωή των πασσάλων θα εξαρτηθεί από τη ζωή του αρχικού βαψίματος η οποία μπορεί να είναι μόνο λίγα χρόνια, και μετά από αυτή ο ρυθμός διάβρωσης του ίδιου του χάλυβα θα γίνει καθοριστικός παράγοντας. Η πιο κοινή πρακτική για χαλύβδινους πασσάλους είναι να εφαρμοστούν ένα ή δύο βαρέα στρώματα χρώματος με κονίαμα που περιέχει πίσσα χωρίς ιδιαίτερη προετοιμασία της επιφάνειας του εδάφους εκτός από απομάκρυνση των ακαθαρσιών με συρματόβουρτσα. Το πολύ υψηλό κόστος της εφαρμογής επιχρισμάτων συνήθως περιλαμβάνει αρκετές στρώσεις από αμμοβολή, έτσι με τέτοια επιχρίσματα καθυστερεί η έναρξη της διάβρωσης για επιπλέον χρόνια, σε σύγκριση με μία απλούστερη επίστρωση.

Εάν η αναμενόμενη διάρκεια ζωής ενός πασσαλότοιχου είναι, ας πούμε, 60 χρόνια, δεν αξίζει να αυξηθεί το κόστος μιας επιπλέον ειδικής επίστρωσης κατά 15-25 % για να αυξηθεί η διάρκεια ζωής μόνο για 5 χρόνια. Σε κανονικές συνθήκες διάβρωσης, είναι σαφώς φθηνότερο να χρησιμοποιηθεί ένα ελαφρώς αυξημένο πάχος του χάλυβα εάν πραγματικά τα επιπλέον χρόνια ζωής έχουν σημασία. Όπου χρησιμοποιούνται τα επιχρίσματα, η επιλογή του τύπου τους, θα πρέπει να γίνεται με βάση τη προσβασιμότητα που υπάρχει από την επιφάνεια του εδάφους. Για παράδειγμα, τα χρώματα τα οποία απαιτούν μία απόλυτα καθαρή και στεγνή επιφάνεια για την εφαρμογή τους δεν θα είναι κατάλληλο για τη βαφή συντήρηση του χάλυβα μεταξύ παλιρροιών. Η βαφή των επιχρισμάτων μπορεί να έχει καταστραφεί ή μετακινηθεί κατά τη διάρκεια της έμπηξης, ιδιαίτερα σε εδάφη με χαλίκια, ή κατά τη μεταφορά και το χειρισμό των πασσάλων, και όταν οι πάσσαλοι είναι σε επαφή με τους βοηθούς πασσάλους που χρησιμοποιούνται για αντιστήριξη κατά την εκσκαφή (εκσκαφή με αντηρίδες).

Οι πασσαλοσανίδες, οι συνδετικοί ράβδοι και άλλα εξαρτήματα από χάλυβα μπορούν να προστατευτούν με απλές βαφές από πίσσα, κατά προτίμηση σε δύο στρώσεις, ενώ οι συνδετικοί ράβδοι θα πρέπει να τυλίγονται σπειροειδώς με ένα ανθεκτικό ύφασμα ή με ταινία ινών γυαλιού μετά την εφαρμογή της πρώτης στρώσης.



Εικόνα 33: Στρώσεις επιχρίσματος χάλυβα.

### 4.5.3 Άλλες αιτίες διάβρωσης

Μία άλλη αιτία διάβρωσης είναι η χρήση ακατάλληλου υλικού πληρώσεως, παλαιά τέφρα. Στην αγκυρωμένη πασσαλοσανίδα το σημείο όπου η μέγιστη διάβρωση μπορεί να γίνει δεν μπορεί να συμπίπτει με το σημείο όπου η καμπτική ροπή είναι μέγιστη κι έτσι αυτό πρέπει να ληφθεί κατά την εκτίμηση της αναμενόμενης ζωής της κατασκευής. Οι χαμηλές τάσεις λειτουργίας σε πασσάλους τύπου Η, οι οποίοι μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε τοίχο πλατφόρμα ανακούφισης, είναι ένας παράγοντας ο οποίος οδηγεί σε μία μακροχρόνια ζωή.

Όπου υπάρχουν ασυνήθιστες σκληρές συνθήκες διάβρωσης, για οικονομικούς λόγους θα πρέπει να γίνει καθοδική προστασία έχοντας κατά νου ότι η διαδικασία θα παρέχει προστασία μόνο στα σημεία κάτω από το νερό ή το επίπεδο των υπογείων υδάτων. Η καθοδική προστασία είναι απίθανο να δικαιολογηθεί οικονομικά υπό κανονικές συνθήκες εδάφους και νερού για εύκρατα κλίματα.

Η ζωή της πασσαλοσανίδας μπορεί να περιοριστεί σοβαρά από την τριβή του χάλυβα λόγω της κίνησης των χονδροειδών υλικών στην παραλία, για παράδειγμα στις κατασκευές προβόλων. Τα συνολικά οικονομικά για κάθε συγκεκριμένη κατάσταση θα πρέπει να εξετάζονται ξεχωριστά για να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα προστασίας, εάν υπάρχουν, και κατά της διάβρωσης, λαμβάνοντας υπόψη την απαιτούμενη διάρκεια ζωής της κατασκευής και του αναμενόμενου ποσού της διάβρωσης.



Εικόνα 34: Διάβρωση πασσαλοσανίδας.

## 5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ ΧΩΡΙΣ ΚΑΙ ΜΕ ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN FORCE 2.0. Η γλώσσα αυτή είναι υψηλού επιπέδου η οποία έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως σε επιστημονικές αλλά και σε εμπορικές εφαρμογές. Δημιουργήθηκε την δεκαετία του 1950 από την IBM και χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα. Είναι εύκολη στην χρήση της και επιλύει διαφόρων τύπων προβλήματα.

Για την επίλυση της άσκησης θεωρήθηκαν συνθήκες Rankine [λείος τοίχος ( $\delta=0$ ) και κατακόρυφη πασσαλοσανίδα], όπου σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του προγράμματος είναι οι εξής:

$$K_a = \frac{1 - \sin \alpha}{1 + \sin \alpha} \quad , \quad K_p = \frac{1 + \sin \alpha}{1 - \sin \alpha} \quad \text{και} \quad F = \frac{M_p}{M_a}$$

Χωρίς αγκύρωση:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma K_a (H_1 + D_1)^2 \quad \text{και} \quad P_p = \frac{1}{2} \gamma K_p (D_1)^2$$

$$M_a = P_a \left( \frac{H_1 + D_1}{3} \right) \quad \text{και} \quad M_p = P_p \left( \frac{D_1}{3} \right)$$

Με αγκύρωση:

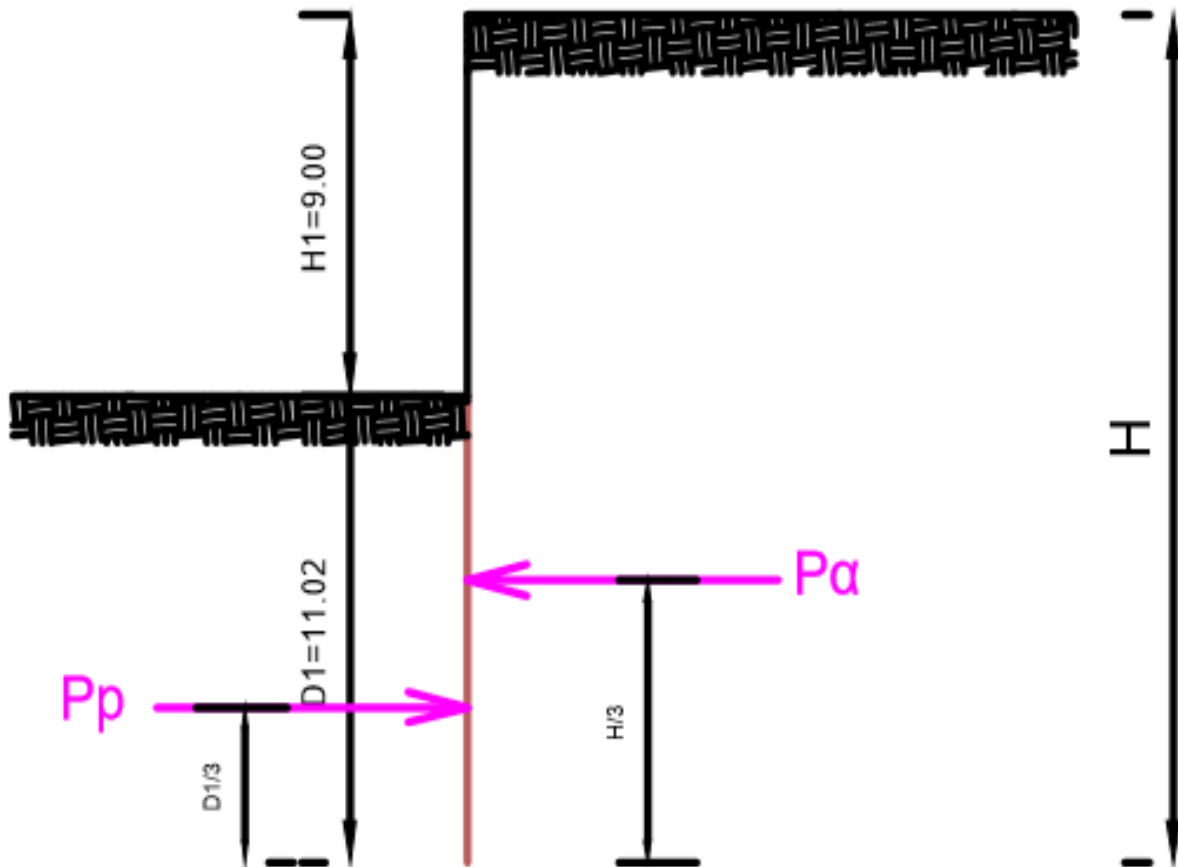
$$P_a = \frac{1}{2} \gamma K_a (H_1 + D_2)^2 \quad \text{και} \quad P_p = \frac{1}{2} \gamma K_p (D_2)^2$$

$$M_a = P_a \left[ \frac{2}{3} (H_1 + D_2) - S \right] \quad \text{και} \quad M_p = P_p \left[ \left( H_1 + \frac{2}{3} D_2 \right) - S \right]$$

## 5.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΩΝ

### 5.1.1 Πασσαλοσανίδα χωρίς αγκύρωση

Για την δημιουργία και την επίλυση του προγράμματος λήφθηκε υπόψιν η άσκηση 5.8 της σελίδας 100 του βιβλίου, «ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ασκήσεις και προβλήματα» με δεδομένα τα εξής:  $\Phi=30^\circ$ ,  $\gamma=20 \text{ Kn/m}^3$ ,  $H_1=9 \text{ m}$ ,  $DD=0.01 \text{ m}$ ,  $D_1=0.1 \text{ m}$ ,  $F_{\text{MIN}}=1.50$  και με ψαθυρό έδαφος, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα για τον υπολογισμό του βάθους έμπτυξης της πασσαλοσανίδας μέσα στο έδαφος.



Εικόνα 35: Πασσαλοσανίδα χωρίς αγκύρωση.

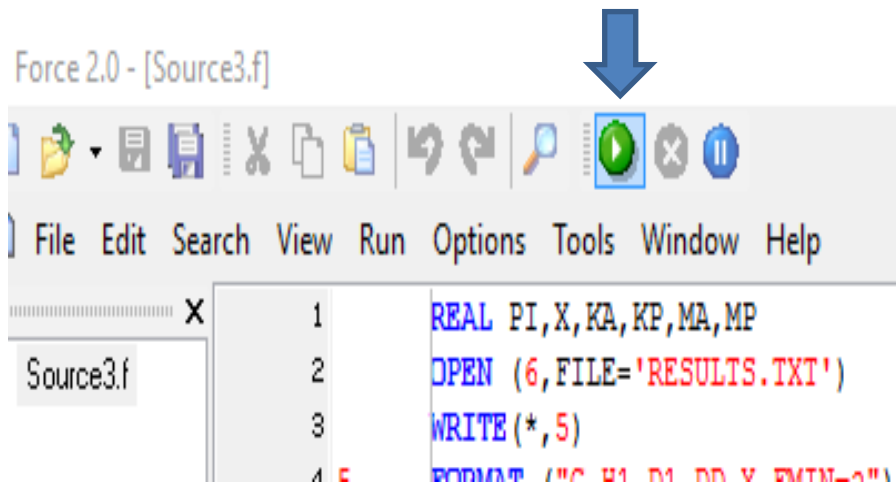
## Πρόγραμμα:

```
1 REAL PI, X, KA, KP, MA, MP
2 OPEN (6, FILE='RESULTS.TXT')
3 WRITE (*, 5)
4 5 FORMAT ("G, H1, D1, DD, X, FMIN=?")
5 READ (*, *) G, H1, D1, DD, X, FMIN
6 PI=3.14159
7 6 WRITE (*, 7) PI
8 7 FORMAT (2X, 2F10.2)
9 X=X*PI/180
10 KA=(1-SIN(X))/(1+SIN(X))
11 KP=(1+SIN(X))/(1-SIN(X))
12 8 WRITE (*, 9) KA, KP
13 9 FORMAT (2X, 2F10.2)
14 50 PA=1./2.*G*KA*(H1+D1)**2
15 PP=1./2.*G*KP*D1**2
16 MA=PA*(H1+D1)/3
17 MP=PP*D1/3
18 F=MP/MA
19 IF (F.GT.FMIN) THEN
20 GOTO 30
21 END IF
22 IF (F.LT.FMIN) THEN
23 D1=D1+DD
24 GOTO 50
25 END IF
26 30 WRITE (*, 15) PA, PP, MA, MP, F, D1
27 15 FORMAT (1X, 2F10.2)
28 STOP
29 END
```

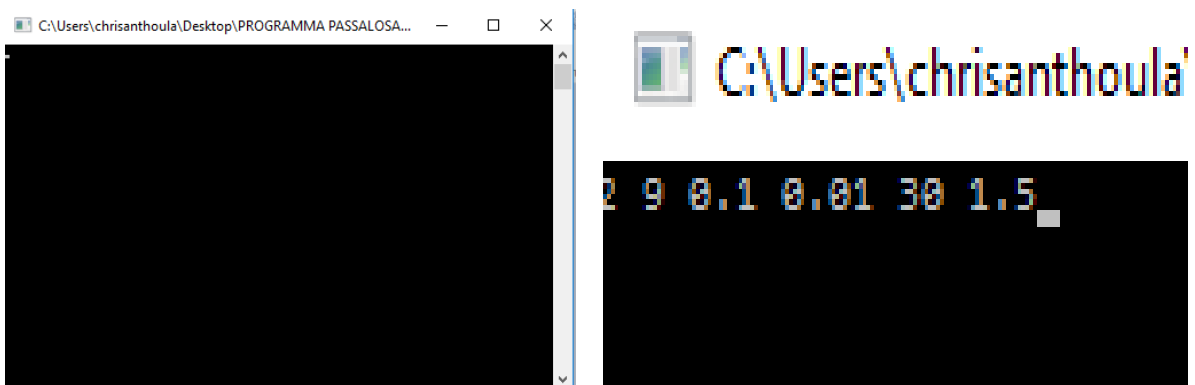
Αναλυτική διαδικασία προγράμματος: Θεωρούμε ως σταθερές τιμές τα  $P_I, X, K_A, K_P, M_A, M_P$  για σωστή λειτουργία του προγράμματος. Ανοίγουμε αρχείο FILE ώστε να αποθηκεύονται τα δεδομένα που εισάγουμε. Με την εντολή WRITE εκτυπώνουμε την γραμμή που έχει μπροστά τον ίδιο αριθμό με την παρένθεση π.χ., για την γραμμή 3 [η οποία περιέχει το WRITE (\*,5) ] εκτυπώνεται η γραμμή 4 [5 FORMAT ('G,H1,D1,DD,X,FMIN=?')] που εμφανίζεται στον μαύρο πίνακα. Για την εύρεση του αγνώστου  $D_1$ , μετατρέπουμε τα ακτίνια (γραμμή 9) σε μοίρες και χρησιμοποιούμε τις εξισώσεις του  $K_A, K_P, P_A, P_P, M_A, M_P$ . Επιπλέον εφαρμόζουμε βήμα αύξησης DD για πιο ακριβή αποτελέσματα και συντελεστή ασφαλείας F (γραμμή 18). Στην συνέχεια κάνουμε δύο υποθέσεις ορίζοντας μια αρχική τιμή ώστε να «τρέξει» η επανάληψη: 1) Αν το F είναι μεγαλύτερο από το  $F_{MIN}$  (γραμμή 19) τότε το πρόγραμμα πηγαίνει στην γραμμή 26 και εκτυπώνει τα αποτελέσματα στο αρχείο RESULTS. 2) Αν το F είναι μικρότερο από το  $F_{MIN}$  (γραμμή 22) τότε ενεργοποιείται η εντολή στην γραμμή 23 και με την εντολή GOTO πηγαίνει στην γραμμή 14 και ξεκινά η επανάληψη. Η επανάληψη σταματά όταν το F θα γίνει μεγαλύτερο από το  $F_{MIN}$ . Η τελική τιμή που βρέθηκε ήταν  $D_1=11.02$  m. Το 1X ή 2X δηλώνει τα κενά μεταξύ των λέξεων ενώ το 2F10.2 δηλώνει τον αριθμό των δεκαδικών ψηφίων.

## ΕΞΗΓΗΣΗ ΜΕ ΕΙΚΟΝΕΣ:

1. «Τρέχουμε» το πρόγραμμα:



2. Εμφάνιση μαύρου πίνακα για την εισαγωγή δεδομένων:



3. Αποτελέσματα:

RESULTS - Σημειωματάριο

Αρχείο Επεξεργασία Μορφή Προβολή Βοήθεια

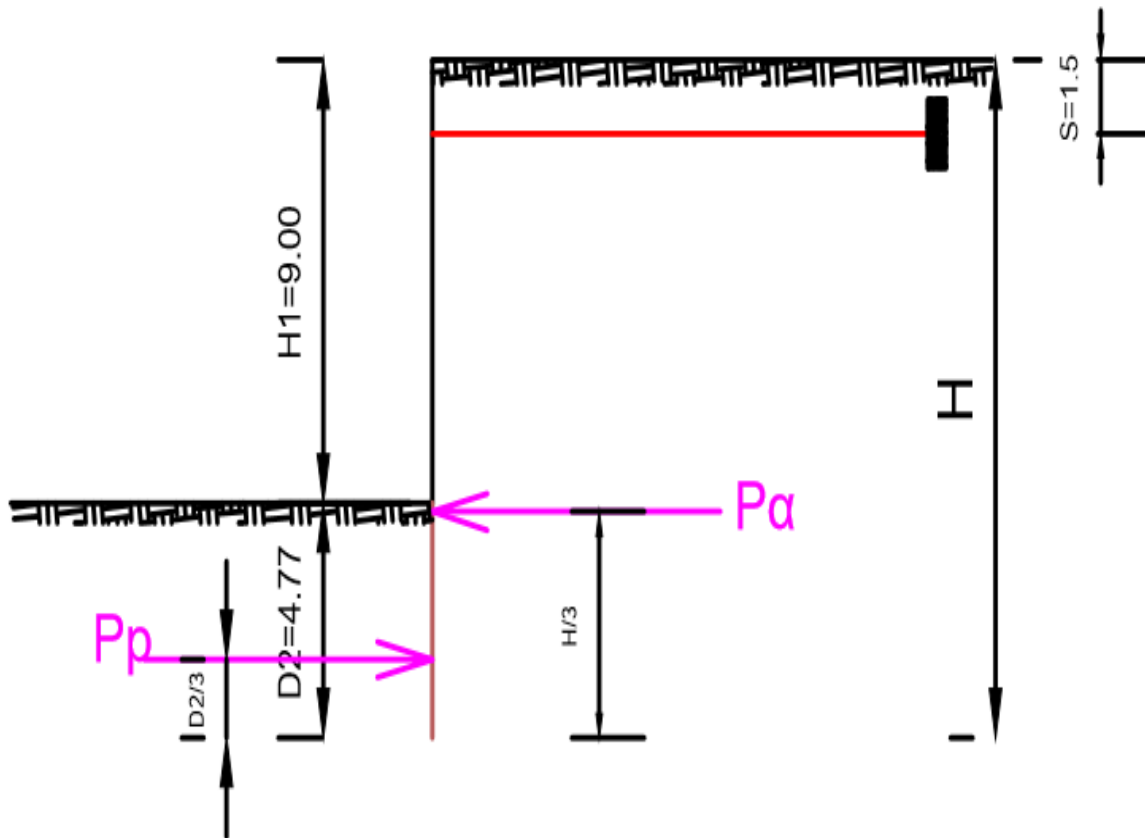
---

Κ, H1, D1, DD, X, FMIN=?

3.14	
0.33	3.00
133.60	364.33
891.58	1338.33
1.50	11.02

### 5.1.2 Πασσαλοσανίδα με αγκύρωση

Για την δημιουργία και την επίλυση του προγράμματος λήφθηκε υπόψιν η άσκηση 5.8 της σελίδας 100 του βιβλίου, «ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ασκήσεις και προβλήματα» με δεδομένα τα εξής:  $\Phi=30^\circ$ ,  $\gamma=20 \text{ Kn/m}^3$ ,  $H_1=9 \text{ m}$ ,  $S=1.50 \text{ m}$ ,  $DD=0.01 \text{ m}$ ,  $D_2=0.1 \text{ m}$ ,  $F_{\text{MIN}}=1.50$  και με ψαθυρό έδαφος, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα για τον υπολογισμό του βάθους έμπηξης της πασσαλοσανίδας μέσα στο έδαφος.



Εικόνα 36: Πασσαλοσανίδα με αγκύρωση.

### Πρόγραμμα:

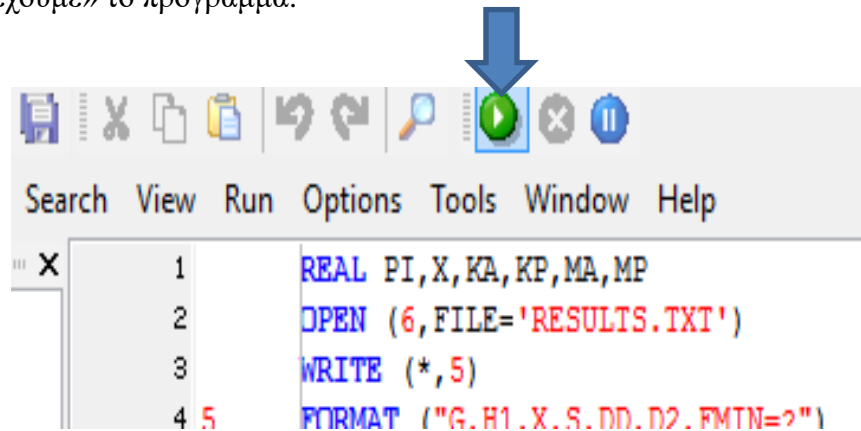
```
1 | REAL PI, X, KA, KP, MA, MP
2 | OPEN (6, FILE='RESULTS.TXT')
3 | WRITE (*, 5)
4 5 | FORMAT ("G, H1, X, S, DD, D2, FMIN=?")
5 | READ (*, *) G, H1, X, S, DD, D2, FMIN
6 | PI=3.14159
7 6 | WRITE (*, 7) PI
8 7 | FORMAT (2X, 2F10.2)
9 | X=X*PI/180
10 | KA=(1-SIN(X))/(1+SIN(X))
11 | KP=(1+SIN(X))/(1-SIN(X))
12 8 | WRITE (*, 9) KA, KP
13 9 | FORMAT (2X, 2F10.2)
14 10 | PA=1./2.*G*KA*(H1+D2)**2
15 | PP=1./2.*G*KP*D2**2
16 | MA=PA*((2./3.)*(H1+D2)-S)
17 | MP=PP*((H1+(2./3.)*D2)-S)
18 | F=MP/MA
19 | IF (F.GT.FMIN) THEN
20 | GOTO 15
21 | END IF
22 | IF (F.LT.FMIN) THEN
23 | D2=D2+DD
24 | GOTO 10
25 | END IF
26 15 | WRITE (*, 20) PA, PP, MA, MP, F, D2
27 20 | FORMAT (2X, 2F10.4)
28 | STOP
29 | END
```

Αναλυτική διαδικασία προγράμματος: Θεωρούμε ως σταθερές τιμές τα  $P_I, X, K_A, K_P, M_A, M_P$  για σωστή λειτουργία του προγράμματος. Ανοίγουμε αρχείο FILE ώστε να αποθηκεύονται τα δεδομένα που εισάγουμε. Με την εντολή WRITE εκτυπώνουμε την γραμμή που έχει μπροστά τον ίδιο αριθμό με την παρένθεση π.χ., για την γραμμή 3 [η οποία περιέχει το WRITE (\*,5)] εκτυπώνεται η γραμμή 4 [5 FORMAT ('G,H1,X,S,DD,D2,FMIN=?')] που εμφανίζεται στον μαύρο πίνακα. Για την εύρεση του αγνώστου  $D_2$ , μετατρέπουμε τα ακτίνια (γραμμή 9) σε μοίρες και χρησιμοποιούμε τις εξισώσεις του  $K_A, K_P, P_A, P_P, M_A, M_P$ . Επιπλέον εφαρμόζουμε βήμα αύξησης DD για πιο ακριβή αποτελέσματα και συντελεστή ασφαλείας F (γραμμή 18). Θεωρήθηκε ότι η αγκύρωση τοποθετήθηκε στο 1,50 m από το ελεύθερο άκρο. Στην συνέχεια κάνουμε δύο υποθέσεις ορίζοντας μια αρχική τιμή ώστε να «τρέξει» η επανάληψη: 1) Αν το F είναι μεγαλύτερο από το  $F_{MIN}$  (γραμμή 19) τότε το πρόγραμμα πηγαίνει στην γραμμή 26 και εκτυπώνει τα αποτελέσματα στο αρχείο RESULTS. 2) Αν το F είναι μικρότερο από το  $F_{MIN}$  (γραμμή 22) τότε ενεργοποιείται η εντολή στην γραμμή 23 και με την εντολή GOTO πηγαίνει στην γραμμή 14 και ξεκινά η επανάληψη. Η επανάληψη σταματά όταν το F θα γίνει μεγαλύτερο από το  $F_{MIN}$ . Η τελική τιμή που βρέθηκε ήταν  $D_2=4.77$  m, η οποία είναι μικρότερη από την αρχική τιμή  $H_1=9$  m (ελεύθερη επιφάνεια πασσαλοσανίδας πάνω από το έδαφος) πράγμα λογικό αφού η χρήση της αγκύρωσης μειώνει σημαντικά το βάθος έμπτυξης. Το 1X ή 2X δηλώνει τα κενά μεταξύ των λέξεων ενώ το 2F10.2 ή 2F10.4 δηλώνει τον αριθμό των δεκαδικών ψηφίων.

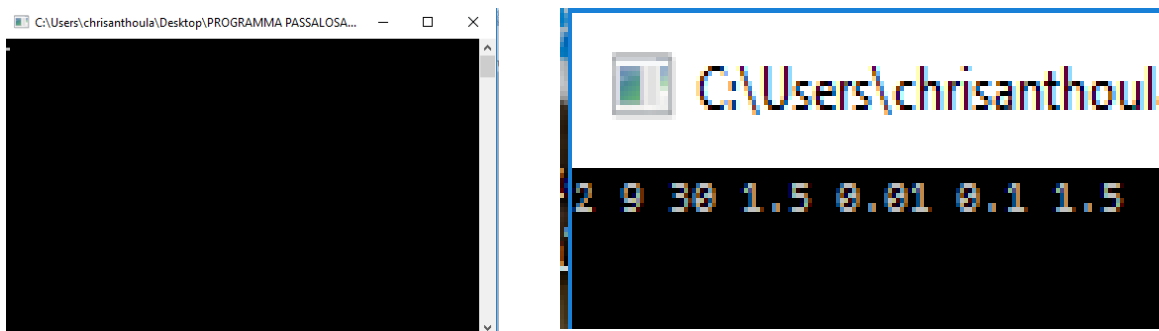


## ΕΞΗΓΗΣΗ ΜΕ ΕΙΚΟΝΕΣ:

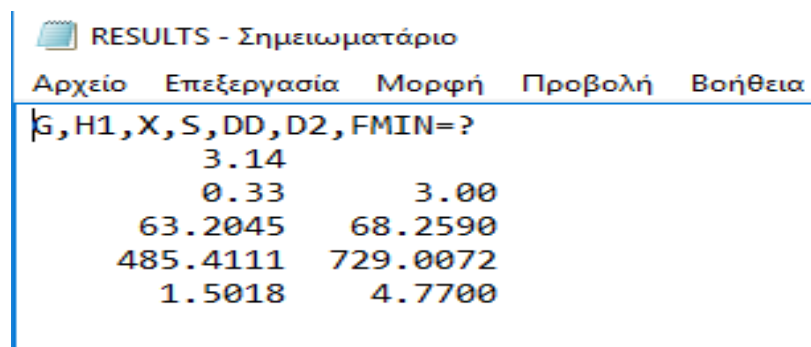
1. «Τρέχουμε» το πρόγραμμα:



2. Εμφάνιση μαύρου πίνακα για την εισαγωγή δεδομένων



3. Αποτελέσματα



## 6. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

### 6.1 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ

#### 6.1.1 Αναλυτική προσέγγιση χωρίς αγκύρωση

$$P_a = \frac{1}{2} G k_a (H_1 + D_1)^2 \quad \text{και} \quad M_a = \frac{1}{3} P_a (H_1 + D_1) \rightarrow M_a = \frac{1}{3} \frac{1}{2} G k_a (H_1 + D_1)^3$$

$$P_p = \frac{1}{2} G k_p (D_1)^2 \quad \text{και} \quad M_p = \frac{1}{3} P_p D_1 \rightarrow M_p = \frac{1}{3} \frac{1}{2} G k_p (D_1)^3$$

Ο συντελεστής ασφαλείας είναι:

$$F = \frac{M_p}{M_a} \rightarrow F = \frac{\frac{1}{3} \frac{1}{2} G k_p (D_1)^3}{\frac{1}{3} \frac{1}{2} G k_a (H_1 + D_1)^3} \rightarrow F = \frac{k_p (D_1)^3}{k_a (H_1 + D_1)^3} \rightarrow F k_a (H_1 + D_1)^3 = k_p (D_1)^3 \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{(H_1 + D_1)^3}{(D_1)^3} = \frac{k_p}{F k_a} \rightarrow \left( \frac{H_1 + D_1}{D_1} \right)^3 = \frac{k_p}{F k_a} \rightarrow \frac{H_1 + D_1}{D_1} = \sqrt[3]{\frac{k_p}{F k_a}} \rightarrow \frac{H_1}{D_1} + 1 = \sqrt[3]{\frac{k_p}{F k_a}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{H_1}{D_1} = \sqrt[3]{\frac{k_p}{F k_a}} - 1 \rightarrow H_1 = \left( \sqrt[3]{\frac{k_p}{F k_a}} - 1 \right) D_1$$

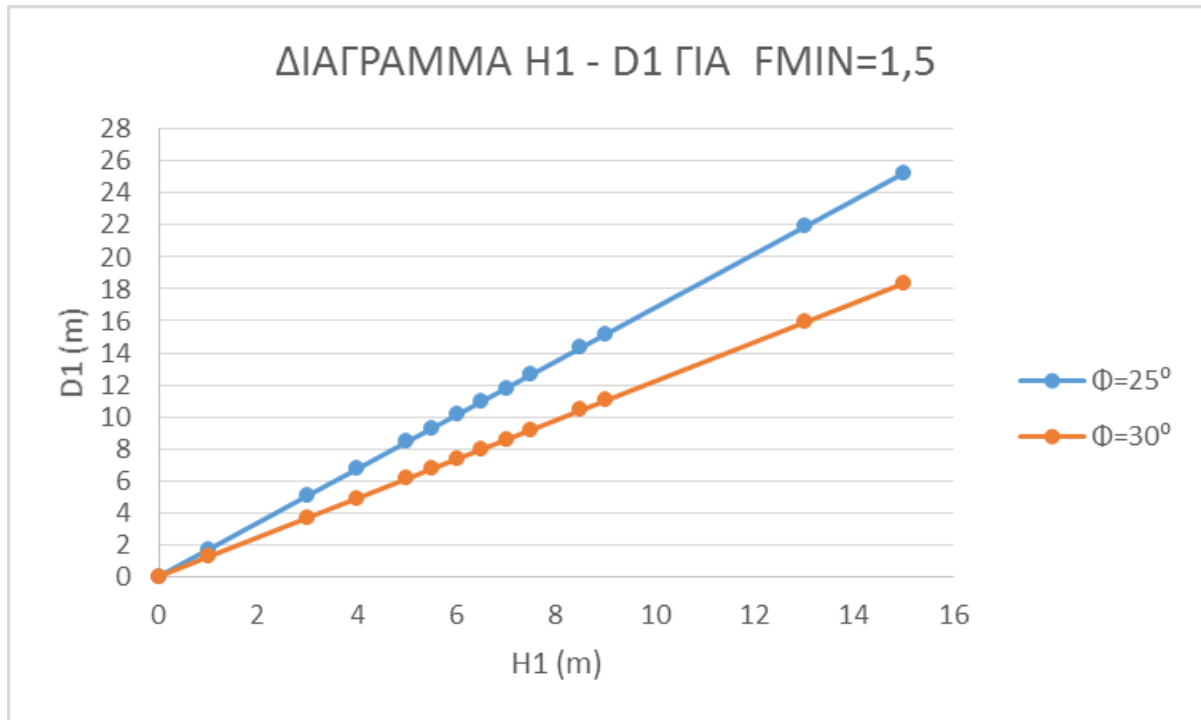
Από το αποτέλεσμα που προκύπτει, παρατηρούμε ότι το διάγραμμα  $H_1$  σε συνάρτηση με το  $D_1$  που ακολουθεί παρακάτω μεταβάλλεται γραμμικά.

#### 6.1.2 Αναλυτική προσέγγιση με αγκύρωση

Η αναλυτική προσέγγιση δεν επιτεύχθηκε διότι προκύπτει εξίσωση τρίτου βαθμού και δεν θεωρήθηκε αναγκαίο να γραφεί.

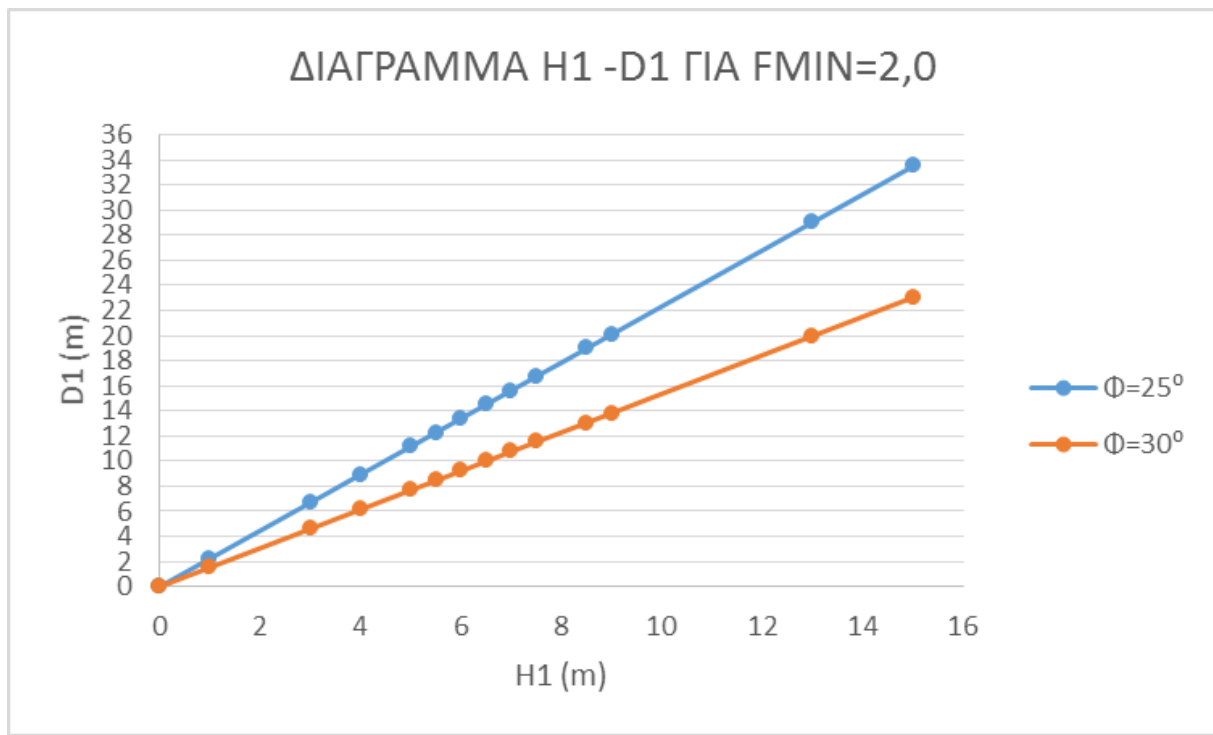
## 6.2 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ ΧΩΡΙΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗ

Διάγραμμα  $H_1 - D_1$  για διαφορετική τιμή του  $F_{MIN}$ .



Σχήμα 1: Διάγραμμα  $H_1 - D_1$  για  $F_{MIN}=1.5$ .

	$\Phi=25^\circ$	$\Phi=30^\circ$
$H_1$ (m)	$D_1$ (m)	$D_1$ (m)
0	0	0
1	1,69	1,23
3	5,06	3,68
4	6,74	4,90
5	8,43	6,12
5,5	9,27	6,74
6	10,11	7,35
6,5	10,95	7,96
7	11,8	8,57
7,5	12,64	9,18
8,5	14,32	10,41
9	15,17	11,02
13	21,90	15,91
15	25,27	18,36



Σχήμα 2: Διάγραμμα H<sub>1</sub> - D<sub>1</sub> για F<sub>MIN</sub>=2.0.

	<b>Φ=25°</b>	<b>Φ=30°</b>
<b>H<sub>1</sub> (m)</b>	<b>D<sub>1</sub> (m)</b>	<b>D<sub>1</sub> (m)</b>
0	0	0
1	2,24	1,54
3	6,70	4,61
4	8,94	6,15
5	11,17	7,69
5,5	12,28	8,45
6	13,40	9,22
6,5	14,52	9,99
7	15,63	10,76
7,5	16,75	11,53
8,5	18,98	13,06
9	20,10	13,83
13	29,03	19,98
15	33,49	23,05

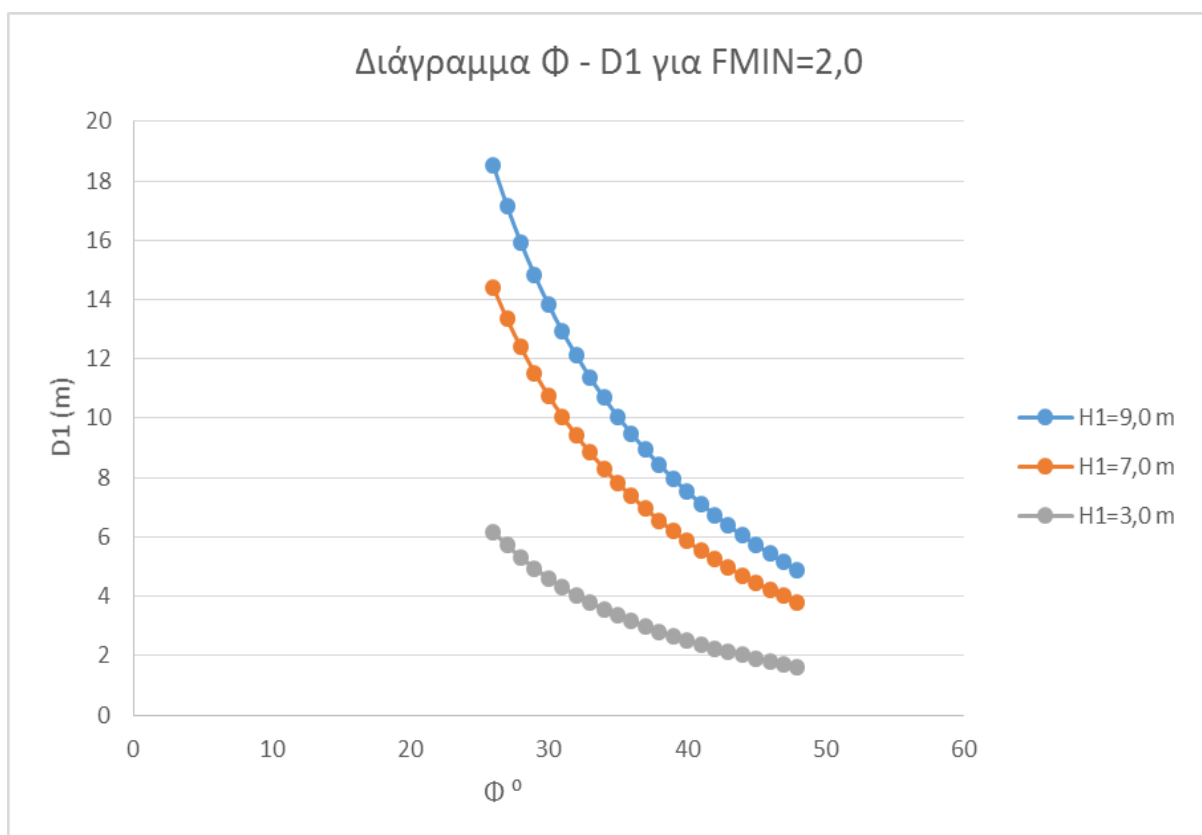
Τα αποτελέσματα της λύσης με χρήση Η/Υ συμπίπτουν με αυτά της αναλυτικής λύσης.

Διάγραμμα  $\Phi - D_1$  για  $F_{MIN}=2,0$ .

Τύπος Εδάφους	$\Phi$ (μοίρες)
Άμμος: σφαιρικοί κόκκοι	
Χαλαροί	27-30
Μεσαίοι	30-35
πυκνοί	35-38
Άμμος: γωνιώδης κόκκοι	
Χαλαροί	30-35
Μεσαίοι	35-40
πυκνοί	40-45
Χαλίκι με άμμο	34-48
Γλύς	26-35

Πίνακας 5

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 5), για τις διάφορες τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής, η μεταβολή του βάθους έμπηξης ( $D_1$ ) απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 3: Διάγραμμα  $\Phi - D_1$  για  $F_{MIN}=2,0$ .

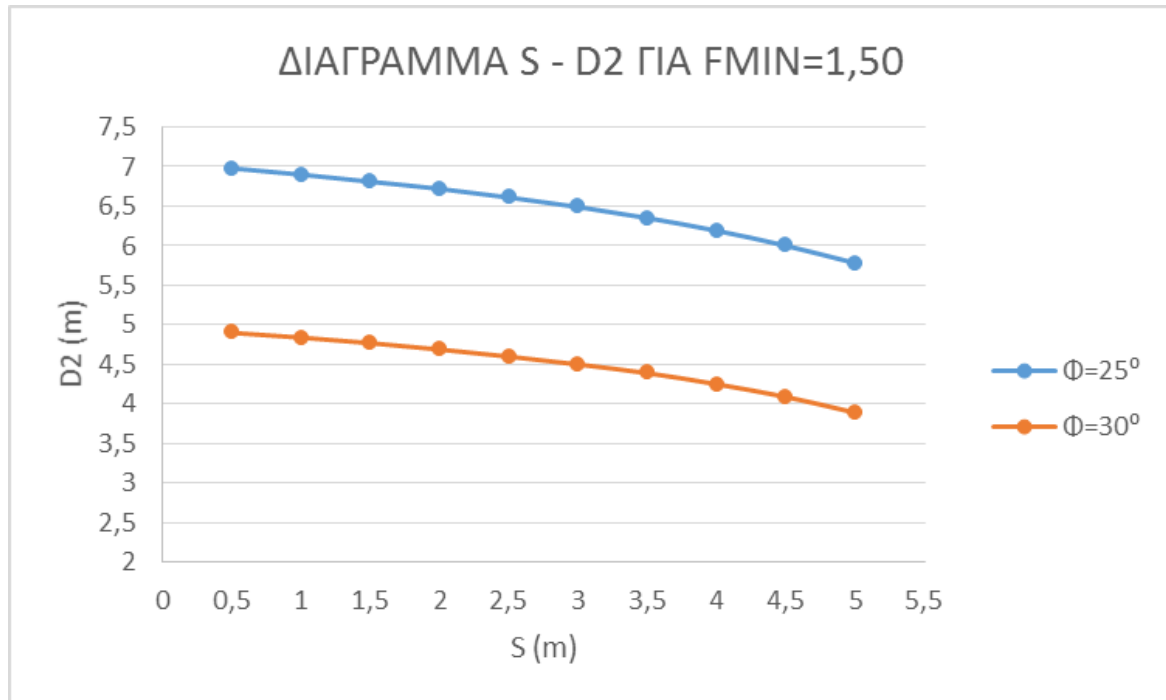
Και οι τιμές που λαμβάνει είναι:

	$H_1=9,0\text{ m}$	$H_1=7,0\text{ m}$	$H_1=3,0\text{ m}$
$\Phi^\circ$	$D_1\text{ (m)}$	$D_1\text{ (m)}$	$D_1\text{ (m)}$
26	18,53	14,42	6,18
27	17,15	13,34	5,72
28	15,92	12,39	5,31
29	14,82	11,53	4,94
30	13,83	10,76	4,61
31	12,93	10,06	4,31
32	12,12	9,42	4,04
33	11,37	8,84	3,79
34	10,69	8,31	3,57
35	10,06	7,82	3,36
36	9,48	7,37	3,16
37	8,94	6,95	2,98
38	8,44	6,56	2,82
39	7,97	6,20	2,66
40	7,54	5,86	2,52
41	7,13	5,55	2,38
42	6,75	5,25	2,25
43	6,39	4,97	2,13
44	6,05	4,71	2,02
45	5,74	4,46	1,92
46	5,44	4,23	1,82
47	5,15	4,01	1,72
48	4,88	3,80	1,63

### 6.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ ΜΕ ΑΓΚΥΡΩΣΗ

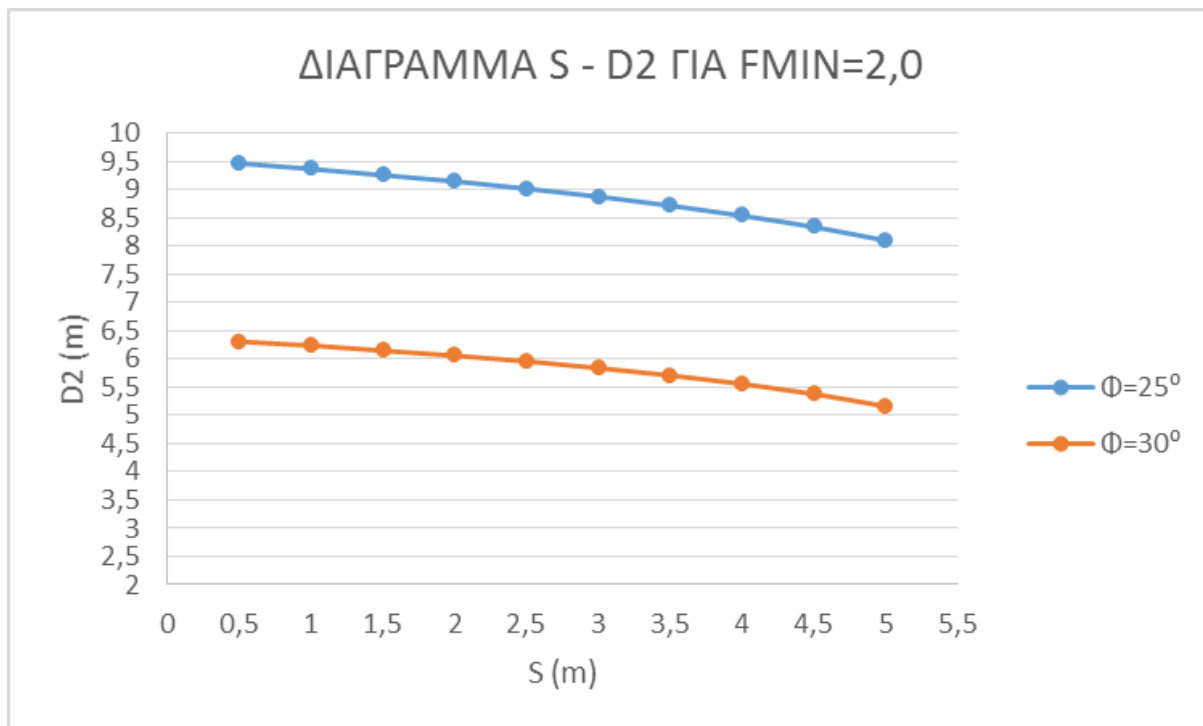
Διάγραμμα  $S - D_2$  για  $F_{MIN}=1,50$ .

Για σταθερή τιμή του  $H_1=9,00$  m προκύπτει:



Σχήμα 4: Διάγραμμα  $S - D_2$  για  $F_{MIN}=1.50$ .

	$\Phi=25^\circ$	$\Phi=30^\circ$
<b>S (m)</b>	<b>D<sub>2</sub> (m)</b>	<b>D<sub>2</sub> (m)</b>
0,5	6,98	4,90
1	6,90	4,84
1,5	6,81	4,77
2	6,72	4,69
2,5	6,61	4,60
3	6,49	4,50
3,5	6,35	4,39
4	6,19	4,25
4,5	6,00	4,09
5	5,78	3,89



Σχήμα 5: Διάγραμμα S - D<sub>2</sub> για F<sub>MIN</sub>=2.0.

	Φ=25°	Φ=30°
S (m)	D <sub>2</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)
0,5	9,47	6,31
1	9,37	6,24
1,5	9,26	6,15
2	9,15	6,06
2,5	9,02	5,96
3	8,88	5,84
3,5	8,72	5,71
4	8,54	5,56
4,5	8,34	5,38
5	8,10	5,16



## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα διαγράμματα του Κεφαλαίου 6 έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

1. Από την αναλυτική προσέγγιση προκύπτει ότι η σχέση χωρίς αγκύρωση είναι γραμμική. Από το Σχήμα 1,2 συμπεραίνουμε ότι όσο μειώνεται η γωνία εσωτερικής τριβής  $\Phi$  του εδάφους, αυξάνεται η διαφορά του βάθους έμπηξης  $D_1$  ( $H_1$ = σταθερό).
2. Από την επίλυση με χρήση  $H/Y$  χωρίς αγκύρωση, προκύπτει ότι όσο μεγαλώνει η γωνία εσωτερικής τριβής  $\Phi$ , μικραίνει το βάθος έμπηξης (Σχήμα 5). Επίσης, παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το ύψος αντιστήριξης  $H$ , παίζει σημαντικό ρόλο η γωνία εσωτερικής τριβής και συγκεκριμένα για μικρές τιμές της  $\Phi$  αυξάνει σημαντικά δυσανάλογα το βάθος έμπηξης  $D_1$ . Οι μικρές αυτές τιμές της  $\Phi$  αντιστοιχούν σύμφωνα με τον Πίνακα 5 σε χαλαρή άμμο και ιλύ.
3. Από την απίλυση με χρήση  $H/Y$  με αγκύρωση, από Σχήμα 4,5 προκύπτει ότι όσο μεγαλώνει η απόσταση αγκύρωσης  $S$ , μικραίνει το βάθος έμπηξης  $D_2$  σε σχετικά μικρό ποσοστό (17%).

$$\text{Σχήμα 4: για } S = 0,50 \text{ έως } 5,00 \quad \alpha = \frac{|6,98-5,78|}{6,98} = 17\%$$

$$S = 6,98 \text{ έως } 5,78$$

Επομένως, συμπεραίνεται ότι -εφόσον το επιτρέπουν οι επιτόπου συνθήκες και οι συνθήκες κατασκευής- είναι προτιμητέο το μεγαλύτερο βάθος αγκύρωσης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. GE. Barnes, « Εδαφομηχανική Αρχές και Εφαρμογές » 1995-2000. Απόδοση στα Ελληνικά Δρ. Φ. Καραντώνη Πολιτικός Μηχανικός , Εκδόσεις Κλειδάριθμος
2. Σημειώσεις Εδαφομηχανικής Δρ. Ειρήνη Βγενοπούλου
3. Χαράλαμπος Ζερβογιάννης, « Έργα Αντιστήριξης »
4. Ελληνική Δημοκρατία ΥΠΕΧΩΔΕ, « Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές » ΠΕΤΕΠ 11-02-02-00
5. Ειδική Επιτροπή Επεξεργασίας θεμάτων διευρωπαϊκού δικτύου – Ομάδα εργασίας Ο.Μ.Ο.Ε. - ΤΕΥΧΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
6. Γιώργος Μπουκοβάλας, Καθηγητής Ε.Μ.Π., « Ανάλυση και Σχεδιασμός Αγκυρώσεων » Μάιος, 2013
7. Ιγνατάκης Χρήστος, Καθηγητής Α.Π.Θ., « Διαμόρφωση και λεπτομέρειες όπλισης δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα, Κωδικοποίηση Εφαρμογές » Θεσσαλονίκη, 2006
8. Αφοί Πεπονά Ο.Ε., « Εξοπλισμοί Τεχνικών Έργων »
9. Leila Eskandari & Behzad Kalantari, « Basic types of sheet piles walls and their application in the construction industry – a review », 2011
10. [www.scholargoogle.gr](http://www.scholargoogle.gr)
11. [geo.cv.nctu.edu.tw/.../SheetPile.pdf](http://geo.cv.nctu.edu.tw/.../SheetPile.pdf)
12. Γεώργιος Αθανασόπουλος, « Συνοπτική θεωρία και προβλήματα εδαφομηχανικής » Πάτρα, 2014
13. Ελληνική Δημοκρατία ΥΠΕΧΩΔΕ, «Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές » ΠΕΤΕΠ 11-02-04-00
14. Γ.ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟΠΟΥΛΟΣ,Ν.ΜΑΝΟΥΥ-ΑΝΔΡΕΑΔΟΥ,Θ.ΧΑΤΖΗΓΩΓΟΣ Εκδοτικός οίκος Αδελφών Κυριακίδη α.ε,«ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ασκήσεις και προβλήματα»
15. Hans F.Winterkorn and Hsai-Yang Fang, «Foundation Engineering Handbook»
16. Μεταπτυχιακή εργασία Ιωάννας Ν. Δακανάλη, «Αριθμητική προσομοίωση συστήματος αντιστήριξης σε βαθιά εκσκαφή», ΙΟΥΝΙΟΣ 2013
17. Braja M. Das, «Principles of Geotechnical Engineering», Fourth edition

## ΠΙΝΑΚΕΣ

1. Hot Rolled sheet piles / Tata steel construction
2. Θεοφάνης Α. Γεωργόπουλος Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, « Οπλισμένο σκυρόδεμα, πίνακες υπολογισμού », ΤΟΜΟΣ Γ'