



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ ΜΕ Ή ΧΩΡΙΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΝΕΡΟΥ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : Δρ. ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΠΑΤΡΑ 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί βασικό κομμάτι των σπουδών μας στο ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας καθώς ασχολείται με την μελέτη αντιστήριξης γαιών. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται όλοι οι τρόποι με τους οποίους δύναται να αντιστηριχτεί ένα επίχωμα αλλά έμφαση δίνεται στο σύστημα των πασσαλοσανίδων.

Περιγράφει αναλυτικά τα είδη των πασσαλοσανίδων, την κατασκευή και την τοποθέτηση αυτών καθώς επίσης και τα μέτρα προστασίας και την πρόληψη αστοχιών. Περιγράφει την διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί για την κατασκευή ενός τέτοιου έργου, τις προδιαγραφές για την επιλογή των αγκυρίων, εφόσον κριθεί απαραίτητη η χρήση τους, η προστασία αυτών από διάβρωση και οι διάφορες μορφές αστοχίας που έχουν παρατηρηθεί.

Γίνεται χρήση ενός λογισμικού της αγοράς, του GEO5, για την κατανόηση του τρόπου εργασίας σε ένα έργο αντιστήριξης. Ορίζοντας τις παραμέτρους του εδάφους αλλά και τις λεπτομέρειες της κατασκευής μας δίνεται η δυνατότητα του γρήγορου υπολογισμού των ωθήσεων και πρόβλεψης των αναμενόμενων μετατοπίσεων της κατασκευής καθώς και των ελέγχων επάρκειας της διατομής της κατασκευής.

Επίσης, το κύριο αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής είναι η παραμετρική μελέτη της ευστάθειας των πασσαλοσανίδων σε κορεσμένο έδαφος με τη μέθοδο Rankine με αγκύρωση και χωρίς αγκύρωση. Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκε πρόγραμμα στον Η/Υ που επιλύει πασσαλοσανίδες οποιουδήποτε βάθους για οποιοδήποτε συντελεστή ασφαλείας με αγκύρωση μεταβλητού βάθους. Μελετήθηκε η επιρροή στο βάθος έμπηξης της γωνίας εσωτερικής τριβής του εδάφους (ϕ) στο βάθος έμπηξης της πασσαλοσανίδας με ή χωρίς αγκύρωση.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται λόγος για την αντιστήριξη γαιών και συγκεκριμένα με την μέθοδο των χαλύβδινων φύλλων (πασσαλοσανίδες) και παραμετρική μελέτη της συμπεριφοράς τους.

Συγκεκριμένα στο 1^ο Κεφάλαιο αναφέρονται όλοι οι τρόποι με τους οποίους δύναται να αντιστηριχτεί ένα έδαφος. Γίνεται λόγος και για τους τοίχους αντιστήριξης και τα είδη που χρησιμοποιούνται καθώς και για το κατά κύριο λόγο προσωρινό σύστημα αντιστήριξης του τοίχου τύπου Βερολίνου. Στη συνέχεια, αναφέρονται τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα των πασσαλοσανίδων καθώς και οι μορφές και τα σχήματα που κάθε εταιρεία κατασκευάζει για την ικανοποίηση των αναγκών του εκάστοτε έργου. Αναφέρονται οι απαιτούμενες προδιαγραφές πριν και κατά την διάρκεια της τοποθέτησης των πασσαλοσανίδων. Όσον αφορά την έμπηξη των πασσαλοσανίδων πρέπει να ληφθούν υπόψιν κάποιες απαιτήσεις του έργου που σχετίζονται με το βάθος έμπηξης και την στεγανότητα της κατασκευής και την πρόκληση ζημιών στις ήδη εγκατεστημένες πασσαλοσανίδες αλλά και ο εξοπλισμός που απαιτείται στα διάφορα είδη του εδάφους. Για την εξαγωγή των πασσαλοσανίδων πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες παραμορφώσεις και η πιθανότητα διαταραχής της στάθμης του υπόγειου νερού. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται φωτογραφίες από διάφορες κατασκευές που έχουν κατασκευαστεί στο εξωτερικό.

Ένα μεγάλο κομμάτι των αγκυρωμένων πασσαλοσανίδων το οποίο πρέπει να μελετηθεί είναι η αγκύρωση. Στο 2^ο Κεφάλαιο της πτυχιακής αυτής, αναλύονται τα πλεονεκτήματα των

αγκυρίων και τα βασικά στοιχεία που το απαρτίζουν καθώς και τα είδη αγκυρίων που χρησιμοποιούνται ευρέως. Περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία κατασκευής προεντεταμένων αγκυρώσεων καθώς και κάποιες από τις πιο συνηθισμένες μορφές αστοχίας και φωτογραφίες που τις συνοδεύουν. Ένα ακόμα στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψιν στην τοποθέτηση αγκυρίων σε σύστημα αντιστήριξης είναι οι αποστάσεις μεταξύ αυτών ώστε να αποφευχθεί η υπέρβαση της παθητικής ικανότητας του εδάφους. Ένα μεγάλο πρόβλημα που καλούνται οι μηχανικοί να αντιμετωπίσουν και να προβλέψουν σε όλες τις κατασκευές είναι η σεισμική δράση. Στην αντιστήριξη του εδάφους με τη μέθοδο της πασσαλοσανίδας αυτή η δράση είναι αμελητέα αφού η συμπεριφορά των τοίχων με αγκύρια είναι πολύ καλή ακόμα και σε σεισμούς μεγάλης έντασης. Εξίσου σημαντικό πρόβλημα που αναζητά λύση είναι η διαβρωτική προστασία του αγκυρίου, πρόβλημα που εντείνεται όταν το περιβάλλον είναι έντονα διαβρωτικό. Όλα τα τμήματα του αγκυρίου προστατεύονται για διάστημα ίσο με την διάρκεια ζωής τους. Κάθε τμήμα του αγκυρίου απαιτεί διαφορετική προστασία η οποία γίνεται εντονότερη όταν το περιβάλλον είναι διαβρωτικό.

Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι θεωρίες των Rankine και Coulomb και οι συντελεστές ώθησης εδάφους ενώ για την κατανόηση του τρόπου εργασίας σε ένα έργο αντιστήριξης εδάφους με τη μέθοδο της πασσαλοσανίδας, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα GEO5. Για τον σκοπό αυτό στο 4^ο Κεφάλαιο, αφού καταχωρήθηκαν όλες οι λεπτομέρειες για την φύση του εδάφους και για το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα ανάντι και κατόντι της κατασκευής, έγινε μελέτη της ευστάθειας και της επάρκειας της διατομής του πασσαλότοιχου και της αγκύρωσης του. Υπολογίστηκαν όλες οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω στο έργο και υπολογίστηκαν οι συντελεστές ασφαλείας τόσο των αγκυρίων όσο και της πασσαλοσανίδας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε φωτογραφίες.

Στο 5^ο και τελευταίο Κεφάλαιο παρουσιάζεται ένα πρόγραμμα κατασκευασμένο με τη χρήση της ψευδογλώσσας FORTAN. Αφού κατασκευαστεί το πρόγραμμα για αγκυρωμένη και μη πασσαλοσανίδα και αφού καταγραφούν τα αποτελέσματα, θα πραγματοποιηθεί παραμετρική μελέτη με τις παραμέτρους του προβλήματος. Θα μελετηθεί η ευνοϊκή επίδραση της γωνίας εσωτερικής τριβής και οι μεταβολές του βάθους έμπηξης σε συνάρτηση με το βάθος εκσκαφής.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ.....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ	8
1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΓΑΙΩΝ	9
1.1 ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	9
1.1.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ	10
1.1.2 ΕΙΔΗ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ	10
1.2 ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΙ ΤΟΙΧΟΙ.....	12
1.3 ΤΟΙΧΟΣ ΤΥΠΟΥ ΒΕΡΟΛΙΝΟΥ	13
1.4 ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑ	14
1.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	14
1.4.2 ΜΟΡΦΕΣ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ	15
1.4.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΩΝ	18
1.4.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	20
1.4.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΜΠΙΞΗΣ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ	20
1.4.6 ΕΞΟΛΚΥΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΩΝ.....	21
1.4.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ	23
2. ΑΓΚΥΡΙΑ	24
2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕ ΑΓΚΥΡΙΑ	24
2.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ	24
2.3 ΕΙΔΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ	25
2.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΑΓΚΥΡΙΩΝ	27
2.5 ΜΟΡΦΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ	29
2.6 ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΑΓΚΥΡΙΩΝ.....	33
2.7 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ	33
2.8 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	33
2.9 ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕ ΑΓΚΥΡΙΑ	35
3. ΩΘΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ.....	36
3.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.....	36
3.2 ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΤΑ Rankine	37
3.2.1 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΚΑΤΑ Rankine	40

3.3 ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΤΑ Coulomb	41
3.3.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΘΕΩΡΙΑΣ Coulomb	42
4. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ GEOS	43
4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	44
5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	50
5.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑ ΧΩΡΙΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑ Υ.Ο.	50
5.1.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	52
5.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑ ΜΕ ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑ Υ.Ο.	53
5.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	55
5.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	56
5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

- ü $\text{PI}=3,14159$
- ü Φ ή φ ή X : γωνία εσωτερικής τριβής ($^{\circ}$)
- ü P_a : συνισταμένη ενεργητική ώθηση (KN/m)
- ü P_r : συνισταμένη παθητική ώθηση (KN/m)
- ü σ_n : οριζόντια τάση (KN/m²)
- ü σ_h : κατακόρυφη τάση (KN/m²)
- ü K_a : συντελεστής οριζόντιας ενεργού ώθησης γαιών
- ü K_p : συντελεστής οριζόντιας παθητικής ώθησης γαιών
- ü M_a : ροπή ευστάθειας (KN*m/m)
- ü M_p : ροπή ανατροπής (KN*m/m)
- ü M_w : ροπή λόγω υδροφόρου ορίζοντα (KN*m/m)
- ü G ή γ : ειδικό βάρος εδάφους (Kg/m³)
- ü G_W : ειδικό βάρος νερού (Kg/m³)
- ü W : βάρος σφήνας (kg)
- ü H_1 : ύψος πασσαλοσανίδας χωρίς αγκύρωση (m)
- ü H_2 : ύψος πασσαλοσανίδας με αγκύρωση (m)
- ü D_1 : αρχική υποτιθέμενη τιμή του βάθους έμπηξης πασσαλοσανίδας χωρίς αγκύρωση (m)
- ü D_2 : αρχική υποτιθέμενη τιμή του βάθους έμπηξης αγκυρωμένης πασσαλοσανίδας (m)
- ü DD : βήμα αύξησης του βάθους έμπηξης πασσαλοσανίδας
- ü S : απόσταση πρώτου αγκυρίου από το έδαφος (m)
- ü δ : γωνία τριβής εδάφους-τοίχου ($^{\circ}$)
- ü c : συνοχή
- ü α : κλίση τοίχου αντιστήριξης ($^{\circ}$)
- ü β : κλίση εδάφους ($^{\circ}$)
- ü θ : κλίση επιπέδου αστοχίας ($^{\circ}$)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη αντιστήριξης εδάφους με την μέθοδο των πασσαλοσανίδων και θα εξετάσουμε την επιρροή της γωνίας εσωτερικής τριβής. Θα αναφερθούμε σε όλους τους τρόπους που δύναται να αντιστηριχτεί ένα έδαφος και θα προσφέρει προστασία του χώρου από την παρουσία του υδροφόρου ορίζοντα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να διευκρινιστεί ο όρος πασσαλοσανίδα.

Πασσαλοσανίδα είναι πάσσαλος κανονικής ή οδοντωτής διατομής που εμπήγεται στο έδαφος ή τον θαλάσσιου βυθό και συνδέεται ή αρθρώνεται με άλλους για να σχηματίσει φράγμα, τοίχο ή φράχτη. Ο ρόλος της είναι να προστατεύσει τα υλικά των θεμελίων από την εξάπλωση ή την αρνητική επίδραση του υδροφόρου ορίζοντα.

Οι εδαφικές μάζες τείνουν να κατολισθήσουν είτε λόγω φυσικών αιτιών (ανύψωση υδροφόρου ορίζοντα στα πρανή, κατολισθήσεις κ.τ.λ.) είτε λόγω τεχνικών έργων (δρόμοι, εκσκαφές κ.τ.λ.). Αν μια κατασκευή δεν μπορεί να στηριχθεί ικανοποιητικά σε αβαθής θεμελιώσεις για λόγους όπως ακατάλληλο έδαφος, συρρικνούμενο/διογκούμενο έδαφος ή ύπαρξη ελεύθερων υδάτων οι πασσαλοθεμελιώσεις μπορούν να προσφέρουν μια οικονομική εναλλακτική λύση. Πολλά γεωτεχνικά έργα, όπως οι τοίχοι αντιστήριξης, τα ακρόβαθρα των γεφυρών, τα τοιχώματα των υπογείων κτιριακών έργων, οι προσωρινές εύκαμπτες αντιστηρίξεις μετώπων εκσκαφών κιβώτια από πασσαλοσανίδες και άλλα, συγκρατούν μεγάλες εδαφικές μάζες. Συνεπώς γίνεται κατανοητό ότι ο σχεδιασμός και η μελέτη αυτών των έργων απαιτεί τη γνώση των ωθήσεων, που δέχονται από το έδαφος. Το θέμα του υπολογισμού των πλευρικών ωθήσεων του εδάφους και η επίδραση αυτών σε ένα μέτωπο , είναι ένα πολλαπλά αόριστο και σύνθετο πρόβλημα, που δεν επιδέχεται αυστηρή επίλυση. Αυτό συμβαίνει, διότι η μορφή της κατανομής των πλευρικών ωθήσεων και τα μεγέθη αυτών, εξαρτώνται από τις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους σε συνδυασμό με τον τύπο και το μέγεθος των μετακινήσεων.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

Οι κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης αποτελούν ίσως το αρχαιότερο και πιο συνηθισμένο έργο που καλείται να σχεδιάσει ένας πολιτικός μηχανικός. Η εξέλιξη της μηχανικής στον τομέα των αντιστηρίξεων εδάφους ξεκινά από την Κίνα το 206π.Χ. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν ξύλινοι κατακόρυφοι πάσσαλοι που τοποθετούνται σε δύο σειρές για την αποφυγή εισροής ύδατος ενώ ο χώρος μεταξύ τους πληρούνταν με άργιλο. Το 16^ο αιώνα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στην ιστορία ασβεστοκονίαμα ως υλικό για την πλήρωση των κενών. Την ίδια περίπου χρονική περίοδο οι ανθρακωρύχοι αντιστήριζαν τις παρειές βαθιών πηγαδιών με ξύλινες σανίδες και οριζόντιες πλαισιωτές αντηρίδες. Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιήθηκε για αρκετά χρόνια χωρίς κάποια παραλλαγή κυρίως το 2^ο ήμισυ του 19^{ου} αιώνα όπου υπήρξε έξαρση των κατασκευαστικών έργων (σιδηροδρομικά δίκτυα, λιμάνια). Παλαιότερα, Γάλλοι μηχανικοί είχαν αναπτύξει μεθοδολογίες αντιστήριξης με λιθόκτιστους τοίχους βαρύτητας όπου μελετούσαν παράλληλα και τη συμπεριφορά τους.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα έγινε η επανάσταση στην μεθοδολογία των αντιστηρίξεων με την χρήση του μετάλλου (πασσαλοσανίδες από χάλυβα) και οπλισμένου σκυροδέματος ενώ λίγο αργότερα εφαρμόστηκε η τεχνική των επί τόπου εγχυόμενων διαφραγμάτων και των συστημάτων αγκυρώσεων. Από τότε ακολούθησε μία σειρά νεώτερων επιτεύξεων οπλισμένης γης, τοίχοι κατασκευαζόμενοι σε στρώσεις, προκατασκευασμένα διαφράγματα ενώ την ίδια εξέλιξη ακολούθησε και η μεθοδολογία των αγκυρώσεων. Την τελευταία λέξη στην τεχνολογία των αντιστηρίξεων αποτελούν τα πολυμερή εδάφη, δηλαδή ανάμιξη εδάφους και πολυμερών υλικών με μεγάλο συντελεστή θερμικής διόγκωσης με αποτέλεσμα να δημιουργείται προένταση στην γεωμάζα καθώς επίσης και η μέθοδος jet grouting δηλαδή η εκτόξευση μίγματος εδάφους και τσιμέντου κάτω από εξαιρετικά υψηλές πιέσεις νερού.

1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΓΑΙΩΝ

Υπάρχει μια ευρεία κλίμακα κατασκευών που χρησιμοποιούνται για να αντιστηρίξουν έδαφος και/ή νερό, τόσο για προσωρινές όσο και για μόνιμες εργασίες. Κατά κύριο λόγο κατασκευές αντιστήριξης θεωρούνται όλα εκείνα τα έργα που επιτρέπουν την απότομη αλλαγή της επιφάνειας του εδάφους με τέτοιο τρόπο ώστε η τελική κατασκευή σε συνδυασμό με το αντιστηριζόμενο έδαφος να έχουν περιορισμένες μετατοπίσεις. Τέτοια έργα είναι οι τοίχοι αντιστήριξης, οπλισμένοι ή άοπλοι που στηρίζονται στο ίδιο τους το βάρος ή οι διαφραγματικοί τοίχοι (πετάσματα). Επίσης ένα σύστημα μόνιμης αντιστήριξης είναι και ο τοίχος τύπου Βερολίνου και το σύστημα των πασσαλοσανίδων που θα μελετήσουμε παρακάτω.

1.1 ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

Με τον όρο τοίχος αντιστήριξης εννοούμε κάθε έργο το οποίο θα υποστηρίξει επίχωμα ύψους μεγαλύτερο από 0,5m πάνω από την στάθμη του επιχώματος ή από το φυσικό έδαφος. Η επίχωση πίσω από κάθε τοίχο μπορεί να γίνει είτε για συγκοινωνιακά έργα είτε για μη συγκοινωνιακά.

1) Για συγκοινωνιακά έργα οι εργασίες θα γίνονται ως εξής:

i) Για επίχωση πλάτους $b > 3m$ → Οι εργασίες θα εξελίσσονται με τα προϊόντα εκσκαφής τα οποία θα πρέπει να είναι κατάλληλα συμπυκνωμένα και με τα κατάλληλα επίπεδα υγρασίας.

ii) Για επίχωση πλάτους $b \leq 3m$ → Οι εργασίες θα εξελίσσονται διαδοχικά με μεταβατικά έργα ή μεταβατικά επιχώματα όπως ορίζονται παρακάτω:

-Λιθορριπές που κατασκευάζονται από λίθους λατομείου διάστασης 0,40m.

-Κατεργασμένο θραυστό αμμοχάλικο με τσιμέντο.

-Σταθεροποιημένο εδαφικό υλικό με τσιμέντο.

-Σκυρόδεμα κατηγορίας B5.

2) Για μη συγκοινωνιακά έργα θα γίνονται ως εξής:

i) Για επίχωση πλάτους $b > 3m$ → Οι εργασίες θα γίνονται με οποιοδήποτε βαθμό συμπύκνωσης.

ii) Για επίχωση πλάτους $b \leq 3m$ → Η διαδικασία σύμφωνα με αυτή που προβλέπεται για επίχωση περιοχής πάνω από τη ζώνη αγωγού.

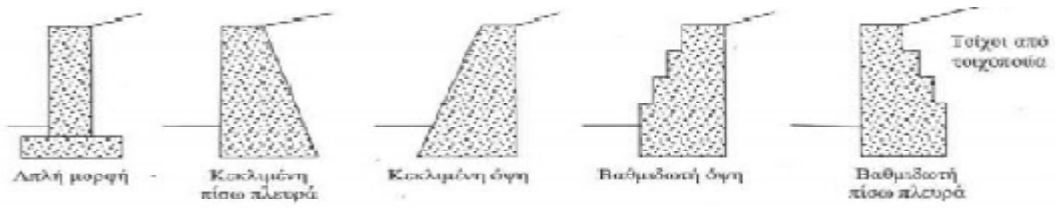
1.1.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

- Υλικό κατασκευής. Το υλικό κατασκευής των τοίχων αντιστήριξης επηρεάζει το σχεδιασμό τους, λόγω της ίδιας του της αντοχής και του ίδιου του βάρους. Από την κατάλληλη εκλογή του υλικού εξαρτάται και η τεχνοοικονομικότητα της λύσης.
- Συνθήκες Δομήσεως. Όταν οι συνθήκες είναι δυσμενείς, όπως π.χ. κάτω από τη στάθμη του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα, αποκλείονται ορισμένοι τύποι τοίχων που θα ήταν προτιμότεροι σε άλλες συνθήκες. Πάντοτε στις περιπτώσεις αυτές, η εκλογή του τύπου του τοίχου αντιστηρίξεως γίνεται με κριτήριο τον οικονομικότερο τρόπο εκτέλεσης του έργου.
- Φύση του εδάφους. Πρόκειται για τον καθοριστικότερο παράγοντα στη σχεδίαση των τοίχων αντιστήριξης γιατί η τιμή των ωθήσεων επί του τοίχου εξαρτάται από την ποιότητα του εδάφους. Έτσι για πολύ συνεκτικά εδάφη ή πετρώματα ο τοίχος αντιστήριξης αποτελεί απλή επένδυση, ενώ για τα χαλαρά εδάφη έχουμε μεγάλες ωθήσεις με αποτέλεσμα να αποκλείονται έτσι ορισμένοι τύποι τοίχων αντιστηρίξεως. Η εκλογή μορφής του τοίχου εξαρτάται και από το έδαφος θεμελίωσης. Είναι γεγονός ότι για καλή ποιότητα εδάφους έχουμε τη δυνατότητα να κατασκευάσουμε τοίχο με μεγάλο ίδιο βάρος ή τοίχο που θα μεταφέρει μεγάλης κλίσεως φορτία στα θεμέλιά του. Αντίθετα για εδάφη κακής ποιότητας επιδιώκουμε να έχουμε χαμηλές τιμές φορτίων των οποίων η συνισταμένη τους να πλησιάζει όσο γίνεται την κατακόρυφη, με στόχο την ομοιόμορφη κατανομή τάσεων στο έδαφος. Στην περίπτωση μεγάλων καθιζήσεων αποφεύγουμε τους μονολιθικούς τοίχους ή επιλέγουμε λύσεις με εύκολη προσαρμογή στο έδαφος ή λύσεις που να καταπονούν στο ελάχιστο το έδαφος θεμελίωσης.
- Φύση των φορτίων και των εξωτερικών δυνάμεων. Εκτός από τις ωθήσεις του εδάφους, λαμβάνονται υπόψη σε ορισμένους τοίχους διάφορα εξωτερικά φορτία που επηρεάζουν σημαντικά τη λύση της επιλογής της μορφής των τοίχων αντιστήριξης.
- Ύψος του τοίχου. Για μικρά ύψη δεν υπάρχουν ιδιαίτερα προβλήματα, όμως για μεγάλα ύψη με οριακή περίπτωση, για τα υδροηλεκτρικά φράγματα, απαιτούνται ειδικές λύσεις.

1.1.2 ΕΙΔΗ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

I. Τοίχοι αντιστήριξης βαρύτητας:

Τοίχοι από τοιχοποιία ή από σκυρόδεμα που στηρίζονται κυρίως στο βάρος τους, για ευστάθεια έναντι ανατροπής και ολίσθησης. Είναι άοπλοι, και έτσι το ύψος τους πρέπει να περιορίζεται ώστε να εξασφαλίζεται η εσωτερική ευστάθεια του τοίχου σε κάμψη και διάτμηση, όταν υπόκειται σε εγκάρσιες τάσεις. Τυπικά, τέτοιοι τοίχοι δεν υπερβαίνουν τα 3m σε ύψος. Φροντίζοντας να έχουν μια κλίση 1:50 (οριζόντια: κατακόρυφη) στην εμπρός όψη τους, αποφεύγουμε την οπτική εντύπωση ενός κατακόρυφου τοίχου με κλίση προς τα έξω.



II. Τοίχοι πρόβολοι:

Οι τοίχοι πρόβολοι κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα και είναι πιο οικονομικοί για ύψος μέχρι 8 μέτρα. Είναι πιο λεπτής διατομής σε σχέση με τους τοίχους βαρύτητας.



III. Τοίχοι με αντηρίδες:

Οι τοίχοι αντιστήριξης με αντηρίδες κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ανά τακτικά διαστήματα έχουν λεπτές κατακόρυφες πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος (αντηρίδες). Σκοπός των αντηρίδων είναι η μείωση των καμπτικών ροπών αλλά και της διάτμησης.



1.2 ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΙ ΤΟΙΧΟΙ

Αυτοί οι τοίχοι διαφέρουν από τους τοίχους βαρύτητας από το γεγονός ότι κατασκευάζονται επιτόπου πριν από την εκσκαφή ώστε να αντιστηρίζουν το έδαφος, ενώ οι τοίχοι βαρύτητας πρώτα κατασκευάζονται και μετά στηρίζουν το επίχωμα. Οι διαφραγματικοί τοίχοι είναι πιο λυγρές κατασκευές γεγονός που σημαίνει ότι:

- Το ίδιο βάρος τους αγνοείται και κανονικά δεν αλληλεπιδρούν κατακόρυφα με το έδαφος από κάτω τους, σε σύγκριση με τους τοίχους- προβόλους.
- Δεν χρειάζονται έλεγχο ολίσθησης ή αστοχίας φέρουσας ικανότητας Η ανατροπή είναι κύρια συνολική ευστάθεια που ελέγχεται.
- Βασίζονται στην ενεργοποίηση της παθητικής ώθησης στο εμπρός τμήμα τους για στήριξη κάτω από τη στάθμη εκσκαφής.
- Αναμένεται ότι θα παραμορφωθούν, τουλάχιστον κάτω από τη στάθμη εκσκαφής.
- Συνήθως αντιστηρίζονται ή ακυρώνονται επάνω από το βάθος εκσκαφής, οπότε οι πιέσεις που μπορεί να αναπτυχθούν πίσω από έναν τοίχο εξαρτώνται από την ευκαμψία του τοίχου, το μέγεθος της αντιστήριξης που παρέχεται και τη στάθμη στην οποία εφαρμόζεται. Γι' αυτό, η πραγματική κατανομή των πιέσεων είναι πολύπλοκη και, σε ένα βαθμό, εξαρτάται από το μέθοδο της κατασκευής.

Οι διαφραγματικοί τοίχοι πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να αποτρέπουν:

- Την γενική αστοχία λόγω περιστροφής ή ολίσθησης σε βάθος.
- Την έλλειψη κατακόρυφης ισορροπίας.
- Δοκιμή αστοχίας λόγω μέγιστης καμπτικής ροπής ή διατμητικής δύναμης.
- Υπερβολική παραμόρφωση.
- Αστάθεια σε ανατροπή- ισορροπία ροπών.
- Αστοχία λόγω μετακίνησης.



1.3 ΤΟΙΧΟΣ ΤΥΠΟΥ ΒΕΡΟΛΙΝΟΥ



Οι τοίχοι αντιστήριξης τύπου «Βερολίνου» είναι εύκαμπτο σύστημα (κυρίως προσωρινή) αντιστήριξη βαθιών εκσκαφών με κατακόρυφα πρανή. Το σύστημα αποτελείται από τα εξής στοιχεία :

1. Κατακόρυφες νευρώσεις, σε απόσταση, της τάξεως των 2m που εκτείνονται από την στέψη του κατακόρυφου πρανούς έως μερικά μέτρα χαμηλότερα από το τελικό δάπεδο της εκσκαφής. Οι νευρώσεις κατασκευάζονται πριν την έναρξη της κύριας εκσκαφής και μπορεί να είναι:

i. Πάσσαλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα δι' εκσκαφής (έγχυτοι πάσσαλοι).

ii. Χαλύβδινα στοιχεία, συνήθως διατομές HEB ή δύο UPN (τοποθετημένες πλάτη με πλάτη σε απόσταση μερικών εκατοστών με εγκάρσιους συνδέσμους ώστε να αποτελούν έναν ενιαίο φορέα). Τα χαλύβδινα στοιχεία συνήθως τοποθετούνται εντός προδιατρημένης οπής (η οποία εν συνεχεία πληρούται με ισχύο κονίαμα από τσιμέντο και άμμο) ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις (σε διατομές HEB) , εμπηγνύονται στο έδαφος με δόνηση ή/και κρούση.

2. Σανίδωμα (πέτσωμα) μεταξύ των νευρώσεων, το οποίο κατασκευάζεται σε φάσεις κατά την διάρκεια και με την πρόοδο της εκσκαφής. Το «πέτσωμα» συνήθως αποτελείται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (συχνά δομημένο με δομικό πλέγμα) και ενίοτε έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε περιπτώσεις νευρώσεων από χαλύβδινες διατομές HEB, το «πέτσωμα» μπορεί να αποτελείται και από ξύλινες δοκούς που τοποθετούνται μεταξύ δύο γειτονικών νευρώσεων και στηρίζονται στην αύλακα που δημιουργείται μεταξύ του κορμού και των πελμάτων της διατομής HEB. Η στατική λειτουργία του «πετσώματος» είναι να μεταφέρει τις πιέσεις γαιών στις εκατέρωθεν νευρώσεις.

3. Σύστημα ανάληψης των πρακτικώς οριζόντιων φορτίων των νευρώσεων. Το σύστημα αυτό αποτελείται είτε από προεντεταμένες αγκυρώσεις (με κεφαλές εδραζόμενες επί των νευρώσεων) είτε από οριζόντιες αντηρίδες που εδράζονται στις νευρώσεις και συνδέουν δύο

απέναντι τοίχους αντιστηρίξεως (στην περίπτωση που η απόσταση μεταξύ δύο τοίχων είναι περιορισμένη). Σε περιπτώσεις εκσκαφών μικρού βάθους (αντιστηριζόμενες κυρίως με εμπηγνυόμενες νευρώσεις από ΗΕΒ και πέτσωμα από ξύλινες δοκούς), οι νευρώσεις μπορεί να λειτουργούν ως πρόβολοι.

1.4 ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑ



ΤΙ ΕΙΝΑΙ

Οι τοίχοι από πασσαλοσανίδες αποτελούνται συνήθως από χαλύβδινα φύλλα που αλληλοκλειδώνονται ή από πλαίσια ξυλείας που εμπύγνυνται στο έδαφος διαμορφώνοντας ένα συνεχές πέτασμα φύλλων. Κάθε κατασκευαστική εταιρεία παράγει ειδικές διατάξεις όπως γωνίες, διακλαδώσεις και σταυροειδής σωρούς προκειμένου να ταιριάζει στην διάταξη των πασσάλων που έχει επιλεγεί για το εκάστοτε έργο. Αυτά μπορούν να σχηματίζονται από σωρούς που κάμπτονται κατά μήκος με συγκόλληση ή με ήλωση. Η τοποθέτησή τους γίνεται σε σειρά στο επιθυμητό βάθος κατά μήκος της περιμέτρου της εκσκαφής ή της δημιουργίας τεχνικών έργων από σκυρόδεμα μέσα στο νερό (ευθυγράμμιση μόλου). Οι πασσαλοσανίδες είναι τοποθετημένες έτσι ώστε να σχηματίζουν ένα τοίχο προστασίας στις ωθήσεις του εδάφους με μόνιμη ή προσωρινή αντιστήριξη με μειωμένη εισροή υπόγειων υδάτων. Η σχεδίασής τους γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην φθείρονται από τα έντονα καιρικά φαινόμενα και να αντέχουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η τοποθέτησής τους γίνεται από εξειδικευμένους εργάτες και με χρήση ειδικών βαρέων οχημάτων (τύπου σφυριών) που τις ευθυγραμμίζουν και τις εμπήγνουν με χτύπους στην κεφαλή κάθε φύλλου στο επιθυμητό βάθος έμπηξης. Κάθε φύλλο "κλειδώνει" με το επόμενο χάρη στο ειδικό τελείωμα τους. Η μέθοδος αντιστήριξης με πασσάλους χρησιμοποιείται κυρίως σε μαλακά εδάφη αλλά εάν το έδαφος είναι αρκετά σκληρό ή πυκνό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σφυρί κρούσεως για την διεκπεραίωση της εργασίας.

1.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η κατασκευή διαφραγμάτων με την χρήση χαλύβδινων πασσαλοσανίδων έχει το πλεονέκτημα ότι είναι εύκολη η μεταφορά και η χρήση τους σε διάφορες συνθήκες.

Επίσης ο χάλυβας είναι ένα υλικό που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε άλλο έργο και είναι ανακυκλώσιμο υλικό, επομένως είναι μια οικολογική λύση κατασκευής. Όμως η πρόκληση θορύβου και οι δονήσεις κατά τη διάρκεια της έμπηξης, μπορούν να προκαλέσουν καθιζήσεις. Επίσης κατά τη σύνδεση των τεμαχίων, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή έτσι ώστε να γίνει στεγανή η σύνδεση αυτών, διότι, οι συγκολλήσεις των τεμαχίων αποτελούν ευαίσθητες ζώνες (κυρίως για τη διάβρωση). Το μήκος των πασσαλοσανίδων ορίζεται πρώτιστα, από τις απαιτήσεις ευστάθειας, εξαρτάται όμως από την τεχνική που ακολουθείται κατά την έμπηξη και από τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

1.4.2 ΜΟΡΦΕΣ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ

Κατά κύριο λόγο η επιλογή τύπου, προφίλ και μήκους της πασσαλοσανίδας έχει να κάνει με τις παρακάτω παραμέτρους:

- I. Τύπος και δυνατότητες του πασσαλοπήκτη.
- II. Φύση του εδάφους και τις αναμενόμενες ωθήσεις που θα προκύψουν.
- III. Ύψος υδροφόρου ορίζοντα και παροχή νερού μέσα στο όρυγμα.
- IV. Τρόπος εργασίας (με ή χωρίς εσωτερική αντιστήριξη, αγκύρωση κ.τ.λ.)
- V. Απαιτούμενες χρήσεις.
- VI. Διαστάσεις του ορύγματος.

Οι μορφές που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι σχήματος ‘Z’ και σχήματος ‘U’. Το σχήμα-Z βρίσκει ευρεία χρήση στην Β.Αμερική και η ακαμψία αυτού του τοίχου, αναπτύσσεται από κάθε χαλύβδινο τεμάχιο, χωρίς τη θεωρητική βοήθεια από τους συνδέσμους που κλειδώνουν τα τεμάχια μεταξύ τους.

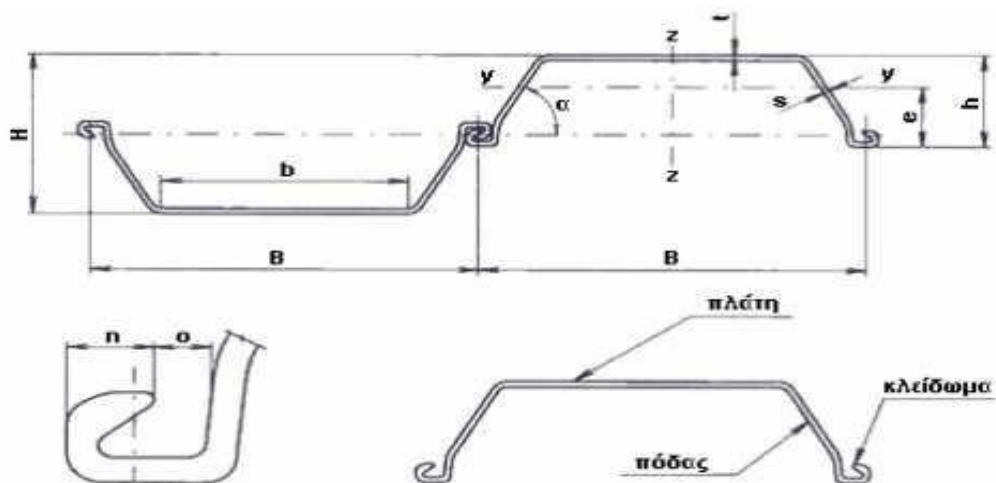
ΤΥΠΟΣ “U” ΘΕΡΜΗΣ ΕΛΑΣΗΣ

Η μορφή τύπου ‘U’ διακρίνεται σε ψυχρής και θερμής έλασης. Τα προφίλ θερμής έλασης τύπου “U” προσφέρουν μεγαλύτερη ποικιλία τύπων διατομών και αντοχών. Προορίζονται για την αντιστήριξη ορυγμάτων/ εσκαφών με αυξημένα βάθη και μεγάλη παροχή νερού στο όρυγμα. Διαθέτουν κλειδώματα τα οποία προσφέρουν μεγαλύτερη στεγανότητα σε σχέση με τα προφίλ ψυχρής έλασης αλλά και προβλήματα κατά την χρήση όπως συγκόλληση και βύθιση προηγούμενων πασσαλοσανίδων, λόγω των αυξημένων τριβών. Επίσης οι μεγαλύτερες τριβές των κλειδωμάτων τους απαιτούν μεγαλύτερους πασσαλοπήκτες για την χρήση τους.

Διαστάσεις και χαρακτηριστικά μονής πασσαλοσανίδας

ΠΡΟΦΙΛ	Επιφάνεια	Ύψος	Κέντρο βάρους	Ροπή Αντίστασης		Ροπή αδράνειας		Ακτίνα Αδράνειας	
	S	H	e	Wy	Wz	Iy	Iz	ry	rz
	cm ²	Mm	mm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm
Lln	62.2	157	107.0	136	608	1453	13310	5.5	14.6
Llln	78.9	168	112.0	271	880	3041	16820	7.0	14.6
VL 503	74.7	190	115.7	324	859	3752	23014	7.1	17.6
VL 503K	78.2	190	15.5	337	900	3895	24121	7.1	17.6
VL 503Z	83.2	191	114.1	363	975	4148	26227	7.1	17.6
VL 601	59.0	175.5	107.8	223	770	2401	24419	6.4	20.3
VL 602L	65.3	175.5	106.5	251	865	2669	27461	6.4	20.5
VL 602	69.2	175.5	106.3	259	913	2749	28947	6.3	20.5
VL 603	82.6	177	117.1	297	1123	3482	35766	6.5	20.8
VL 603K	86.9	177	115.9	317	1196	3679	38043	6.5	20.9
VL 603Z	91.5	177	114.5	343	1290	3921	41015	6.5	21.2
VL 604	94.4	212	137.8	419	1303	5777	41439	7.8	21.0
VL 604D	98.4	212	104.4	422	1316	5930	41973	7.8	20.7
VL 605	104.9	228	152.0	475	1354	7223	43206	8.3	20.3
VL 605K	107.7	228	149.5	493	1430	7371	45548	8.3	20.5

Ανοχές σύμφωνα με το DIN EN 10248-2	Παράμετρος	Περιοχή Ισχύος	Ανοχή
	Ύψος προφίλ h	$h \leq 200\text{mm}$	$\pm 4\text{mm}$
		$h > 200\text{mm}$	$\pm 5\text{mm}$
	Πλάτος προφίλ H		$\pm 2\% B$
	Πλάτος διπλού προφίλ 2B		$\pm 3\% 2B$
	Πάχος πλάτης, πόδα	$t.s \leq 8.5\text{mm}$	$\pm 0,5\text{mm}$
		$t.s > 8.5\text{mm}$	$\pm 6\% t.s$
	Άνοιγμα Κλειδώματος		$\pm 2\text{mm}$
	Πλάτος άγκιστρου κλειδώματος		$\pm 2.5\text{mm}$
	Μήκος προφίλ L		$\pm 100\text{mm}$
	Ευθυγραμμία προφίλ		$q \leq 2\% B$
	Καθετότητα κοψίματος		$q \leq 2\% B$
	Βάρος		$\pm 5\%$

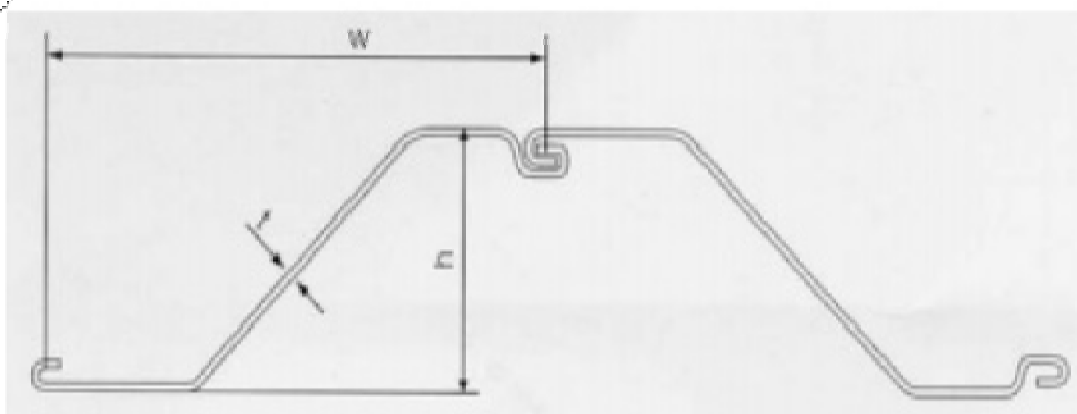


ΤΥΠΟΣ “U” ΨΥΧΡΗΣ ΕΛΑΣΗΣ

Οι πασσαλοσανίδες ψυχρής έλασης τύπου “U” προσφέρουν μικρότερη ποικιλία τύπων, διατομών και αντοχών. Προορίζονται για την αντιστήριξη ορυγμάτων / εκσκαφών με μικρότερα βάθη. Διαθέτουν κλειδώματα τα οποία προσφέρουν σχετική στεγανότητα (μικρότερη των προφίλ θερμής έλασης) αλλά και μειωμένες τριβές κατά την χρήση. Τα κλειδώματα των πασσαλοσανίδων ψυχρής έλασης παρουσιάζουν λιγότερα φαινόμενα συγκόλλησης και βύθισης προηγούμενων πασσαλοσανίδων. Επίσης, προσφέρουν δυνατότητα για μικρές διορθώσεις της καθετότητας των πασσαλοσανίδων κατά την έμπηξη. Τα “χαλαρά” κλειδώματα σε συνδυασμό με τα μεγαλύτερα ωφέλιμα πλάτη (700-750mm) των πασσαλοσανίδων ψυχρής έλασης προσφέρουν μεγαλύτερη απόδοση και απαιτούν μικρότερες πασσαλοπήκτες για την χρήση τους.

Διαστάσεις και χαρακτηριστικά πασσαλοσανίδας

Προφίλ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ			Ροπή Δοράνεια I	Ροπή αντίστα σης w	Βάρος	
	Πλάτος προφίλ	Υψος προφίλ	Πάχος προφίλ			Προφίλ	Τοίχος
	W	h	t				
	Mm	mm	mm			cm ⁴ /m	cm ³ /m
KD 6/8	600	80	8	9 6 8	242	49.9	83.2
LP 76/7	700	150	7	3585	478	53.2	76.0
LP 88/8	700	151	8	4133	552	61.7	88.0
OMEGA 7	750	277	7	12778	1065	67.5	90.0
OMEGA 8	750	278	8	14294	1237	76.9	103.0
OMEGA 9	750	279	9	16083	1393	86.3	115.0
ZN 31/6	825	305	6	11499	755	50.9	62.0
ZN 31/7	825	306	7	13416	880	58.1	70.0



1.4.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΩΝ

1. Γνώση των επικρατουσών συνθηκών στην περιοχή κατασκευής των πασσαλοσανίδων δηλαδή έκταση και όρια της περιοχής τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής με αναφορά στις επικρατούσες κλίσεις και στους περιορισμούς της προσβασιμότητας της.
2. Επαρκή στοιχεία εκ της γεωτεχνικής διερεύνησης των υπαντόμενων σχηματισμών στην περιοχή κατασκευής των πασσαλοσανίδων. Επισημαίνεται ότι η απαιτούμενη γεωτεχνική έρευνα θα πρέπει να εκτελείται σύμφωνα με τις γενικές αρχές που αναφέρονται στον ΕΛΟΤ EN 1997-1, έτσι ώστε να προσφέρει τις αναγκαίες πληροφορίες για την φύση του υπεδάφους σε βάθος το οποίο να περιλαμβάνει το συνολικό προβλεπόμενο μήκος των πασσαλοσανίδων με έμφαση: 1) στις ιδιότητες αντοχής και παραμορφωσιμότητας των υπαρχουσών εδαφικών και βραχωδών στρώσεων, 2) στην πιθανότητα προσκόλλησης συνεκτικών εδαφών στις πασσαλοσανίδες κατά την εξαγωγή τους από το έδαφος, 3) στην πιθανή παρουσία λίθων και ογκολίθων εντός του υπό διερεύνηση εδάφους και 4) στις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής εγκατάστασης των πασσαλοσανίδων.
3. Πληροφορίες σχετικά με την ύπαρξη, την ακριβή θέση και την κατάσταση των υφιστάμενων κατασκευών (π.χ. κτίρια, δρόμοι, δίκτυα κοινής ωφέλειας), υπογείων κατασκευών, ανοιχτών βαθιών εκσκαφών, αγκυρώσεων, επικρεμώμενων καλωδίων υψηλής τάσης, καθοδικών συσκευών προστασίας, αρχαιολογικών αντικειμένων, κ.λπ.
4. Πληροφορίες σχετικά με την ύπαρξη ρυπογόνων ουσιών εντός των γεωυλικών ή με πιθανούς κινδύνους, οι οποίοι είναι δυνατόν να επιρεάσουν την μέθοδο τοποθέτησης των πασσαλοσανίδων, την ασφάλεια του προδωπικού κ.λπ.
5. Ικανοποίηση των νομικών και περιβαλλοντικών περιορισμών (π.χ. μόλυνση ή περιορισμοί του υπερβολικού θορύβου, των προκαλούμενων ταλαντώσεων και την γενικότερης όχλησης στα γειτονικά κτίσματα).
6. Προδιαγραφές που περιλαμβάνουν όλες τις σχετικές λεπτομέρειες αναφορικά με τον τύπο και την διατομή των πασσαλοσανίδων, την πιθανή κλίση τοποθέτησής τους εντός του εδάφους, και την ανάγκη συστημάτων προστασίας και συντήρησης τους και τοποθέτησης κατάλληλων συνδέσεων μεταξύ των αρμών για την εξασφάλιση της κατά μήκος κατανομής των διατμητικών δυνάμεων.
7. Προϋπάρχουσα εμπειρία στην τοποθέτηση των πασσαλοσανίδων.
8. Πληροφορίες σχετικά με την πιθανότητα ανάπτυξης σοβαρής δράσης παγετού στο έδαφος, η οποία είναι δυνατόν, να επιφορτίσει σημαντικά τις κατασκευές τοίχων αντιστήριξης από πασσαλοσανίδες.
9. Δεδομένα για δυσμενής καιρικές συνθήκες (π.χ. συνθήκες ανέμου και συχνότητα εμφάνισης του εν λόγω καιρικού φαινομένου)
10. Περιορισμούς που αναφέρουν στη μέθοδο τοποθέτησης των πασσαλοσανίδων εντός του εδάφους και στην εν γένει υποβοήθηση της όλης διαδικασίας.
11. Πληροφορίες σχετικά με την δυνατότητα επίτευξης στεγανοποίησης του τοίχου από πασσαλοσανίδες.
12. Καθορισμός των διαφορετικών σταδίων εκτέλεσης των εργασιών κατασκευής του τοίχου από πασσαλοσανίδες (όπως προβλέπεται από τη μελέτη).
13. Στην περίπτωση των παράκτιων κατασκευών, πληροφορίες και δεδομένα αναφορικά με τις αναμενόμενες διακυμάνσεις, τα οποία μπορεί να οφείλονται σε εκροή φράγματος ανάσχεσης, σε εκδήλωση φαινομένων παλίρροιας κ.λπ.)

14. Εξασφάλιση της κατασκευασιμότητας των πασσάλων. Η διερεύνηση της δυνατότητας έμπηξης των πασσαλοσανίδων θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τυχόν περιορισμούς που αφορούν την εφαρμογή τεχνικών υποβοήθησής της (π.χ. εισπίεση νερού στην αιχμή ή προδιάτρηση) Σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει σχετική εμπειρία τοποθέτησης πασσαλοσανίδων, συνιστάται να εκτελούνται μία ή περισσότερες έμπηξεις πριν την έναρξη της συστηματικής τοποθέτησης των πασσαλοσανίδων. Τα δεδομένα έμπηξης που αποκτώνται από την προαναφερθείσα δοκιμή (δοκιμές) , χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της αποδοτικότητας κατά την διάρκεια των εργασιών των πασσαλοσανίδων και για την διαπίστωση του εάν είναι απαραίτητη η υποβοήθηση της έμπηξης τους καθώς και της επιρροής της όλης μεθόδου κατασκευής στις εδαφικές ιδιότητες. Επισημαίνεται ότι μία δοκιμαστική έμπηξη πασσαλοσανίδας είναι δυνατό να υποδείξει την αναγκαιότητα ή μη της χρήσης βλήτρων βράχου.



1.4.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Η σειρά εκτέλεσης των εργασιών υλοποίησης μια κατασκευής τοίχου από πασσαλοσανίδες θα πρέπει να είναι σύμφωνη με τα σχετικώς καθοριζόμενα από τη μελέτη. Τα ελάχιστα κριτήρια για την υλοποίηση του κάθε σταδίου εργασιών περιλαμβάνουν:

- I. Την επίτευξη των σταθμών εκσκαφής και επίχωσης .
- II. Την διαπίστωση μεταβολών των σταθμών του υπόγειου και του ελεύθερου ύδατος.
- III. Την επίτευξη αποδεκτών χαρακτηριστικών για τα χρησιμοποιούμενα χαρακτηριστικά (συμπεριλαμβανομένων και των επιχώσεων) κατά μήκος και των δύο πλευρών του τοίχου από πασσαλοσανίδες και μπροστά από τις πλάκες αγκύρωσης.
- IV. Το μέγεθος των μετακινήσεων του πασσαλότοιχου σύμφωνα με τις προβλέψεις της μελέτης.
- V. Τους περιορισμούς που αφορούν τις επιφορτίσεις.

Στις περιπτώσεις όπου η προδιαγραφείσα σειρά εργασιών κατασκευής δε μπορεί να εφαρμοστεί, θα πρέπει να γίνει σχετική αναθεώρησή της, η οποία να είναι συμβατή με τη μελέτη και να ικανοποιεί τα προαναφερθέντα ελάχιστα κριτήρια.

1.4.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΜΠΗΞΗΣ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΩΝ

Η τεχνική , ο εξοπλισμός και η υποβοήθηση της έμπηξης των πασσαλοσανίδων θα πρέπει να επιλέγεται με βάση την υπάρχουσα σχετική εμπειρία και να είναι σύμφωνες με την μελέτη, ιδιαιτέρως όσον αφορά τις ανοχές που σχετίζονται με:

- Την επίτευξη της απαραίτητης φέρουσας ικανότητας.
- Τη διατήρηση της οριζοντιογραφικής θέσης και τις κατακορυφότητας των πασσαλοσανίδων
- Την αποφυγή πρόκλησης βλαβών στις ήδη εγκατεστημένες πασσαλοσανίδες.
- Την επίτευξη του αναγκαίου βαθμού στεγάνωσης.
- Την έμπηξη των πασσαλοσανίδων ως και το απαιτούμενο βάθος.
- Την εξασφάλιση ότι οι δυνάμεις έμπηξης δρουν κατά μήκος του ουδέτερου άξονα των πασσαλοσανίδων και των κυρίων στοιχείων τοίχων συνδεδεμένου τύπου.
- Την διατήρηση της σειράς έμπηξης των κυρίων στοιχείων ενός τοίχου από πασσαλοσανίδες συνδεδεμένου τύπου.

Όταν δεν υπάρχει αντίστοιχη εμπειρία ή στις περιπτώσεις όπου αυτή θεωρείται ανεπαρκής, θα πρέπει η επιλογή της τεχνικής έμπηξης να βασίζεται στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων σχετικών δοκιμών έμπηξης. Τονίζεται ότι με την βοήθεια εκτέλεσης τέτοιων δοκιμών θα πρέπει επιπλέον να επιβεβαιώνεται ότι η τελικώς επιλεγείσα μέθοδος έμπηξης των πασσαλοσανίδων δεν προκαλεί ζημιές σε παρακείμενα κτίρια και εγκαταστάσεις αλλά και σε γειτονικές και ήδη εγκατεστημένες πασσαλοσανίδες.

Η έμπηξη των πασσαλοσανίδων εντός των γεωυλικών είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με μία ή με συνδυασμό των παρακάτω τεχνικών:

- § Άσκηση κρούσης.
- § Άσκηση δονήσεων.
- § Άσκηση πίεσης.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι εξοπλισμού έμπηξης των πασσαλοσανίδων. Οι πλέον συνηθισμένοι τύποι είναι:

- § Πετρελαιοκίνητες κρουστικές σφύρες
- § Συστήματα άσκησης πίεσης
- § Κρουστικές αερόσφυρες
- § Κρουστικές σφύρες ελεύθερης πτώσης
- § Υδραυλικές κρουστικές σφύρες
- § Δονητικές σφύρες υψηλής και χαμηλής συχνότητας
- § Δονητικές σφύρες υψηλής συχνότητας με μεταβλητή εκκεντρότητα της περιστρεφόμενης μάζας
- § Δονητικές σφύρες υψηλής συχνότητας με συνεχώς μεταβαλλόμενη εκκεντρότητα και συντονισμό.

1.4.6 ΕΞΟΛΚΥΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΩΝ

Η πιο συνηθισμένη τεχνική που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των πασσάλων και των πασσαλοσανίδων είναι η δονητική εξόλκωση. Η δονητική κεφαλή αναρτάται από γερανό και φέρει ειδικό εξάρτημα που προσαρμόζεται στην κεφαλή του πασσάλου σε υπάρχουσα προεξοχή ή διαμορφωμένη εγκοπή. Αρχικά, εφαρμόζεται δύναμη με φορά προς τα κάτω έτσι ώστε να προκληθεί έμπηξη του πασσάλου. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται σε ένα βαθμό η συνοχή του πασσάλου και του εδαφικού υλικού, που έχει αναπτυχθεί με την πάροδο του χρόνου. Κατόπιν, εφαρμόζεται δύναμη εξόλκωσης με ρυθμό τέτοιον ώστε να μην εφαρμοστούν μεγάλες δυνάμεις στον πάσσαλο. Καθώς η εργασία προχωρά και οι δυνάμεις που συγκρατούν την πασσαλοσανίδα μειώνονται ανάλογα θα πρέπει να μειώνεται και η δύναμη εξόλκωσης. Μετά την πλήρη αποκάλυψη τους, τα φύλλα πασσαλοσανίδας οδηγούνται στον προβλεπόμενο χώρο αποθήκευσής τους. Εάν πρόκειται να ξαναχρησιμοποιηθούν θα πρέπει να καθαριστούν από ξένα σώματα και να αφαιρεθεί τυχόν θαλάσσια βλάστηση στην περίπτωση λιμενικών έργων.



Κατά την εξαγωγή των πασσαλοσανίδων από το έδαφος θα να ληφθεί υπόψιν:

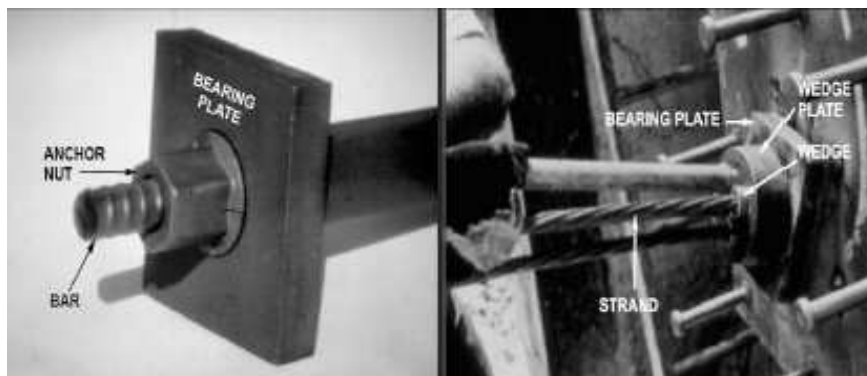
- Οι προκαλούμενες οριζόντιες και κατακόρυφες παραμορφώσεις στοπεριβάλλον έδαφος
- Η πιθανότητα διαταραχής του υπάρχοντος καθεστώτος δικτύων ροής υπογείων νερών.

Ειδικότερα αναφέρεται ότι τα συνεκτικά εδάφη μπορούν να προσκολληθούν στις παρειές των εξαγόμενων πασσαλοσανίδων γεγονός που θα οδηγήσει στην δημιουργία κενών εντός της εδαφικής μάζας. Σε συνθήκες χαλαρών άμμων και ιλύων, οι προκαλούμενες δονήσεις και τα δημιουργούμενα κενά εντός της εδαφικής μάζας είναι δυνατόν να προκαλέσουν πρόσθετες εδαφικές μετατοπίσεις, οι οποίες με τη σειρά τους να αποτελέσουν αιτία πρόκλησης βλαβών σε παρακείμενα κτίρια και εγκαταστάσεις. Η αντιμετώπιση τέτοιων εδαφικών μετατοπίσεων γίνεται με την πλήρωση των δημιουργούμενων κενών με έγχυση ενεμάτων τσιμέντου ταυτόχρονα με την έλξη. Τονίζεται ότι η εξαγωγή πασσαλοσανίδων θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή σε περιοχές που είναι κοντά σε ευαίσθητες κατασκευές (π.χ. χημικά εργοστάσια , υπόγειοι σιδηρόδρομοι κ.α.)

1.4.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑΣ



2. ΑΓΚΥΡΙΑ



Με τον όρο **αγκύρωση** αναφερόμαστε στο σύστημα του αγκυρίου και εδαφικής μάζας η οποία συμμετέχει στην ανάληψη του εφελκυστικού του αγκυρίου. Στην περίπτωση των προεντεταμένων αγκυρώσεων επιβάλλεται αξιόλογη δύναμη προέντασης στην κεφαλή του αγκυρίου μετά το πέρας της κατασκευής του. Σε αντίθετη περίπτωση των μη-προεντεταμένων αγκυρώσεων, το αγκύριο αρχικά είναι αφόρτιστο και με την παραμόρφωση του περιβάλλοντος εδάφους θα προκληθεί η ένταση του αγκυρίου και θα ενεργοποιηθεί η εφελκυστική του ικανότητα. Οι αγκυρώσεις διακρίνονται σε προσωρινές (διάρκεια ζωής μέχρι 2 έτη) και σε μόνιμες (μεγαλύτερη από 2 έτη αλλά όχι απεριόριστη τεχνική διάρκεια ζωής).

2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕ ΑΓΚΥΡΙΑ

Υπό συγκεκριμένες κατασκευαστικές συνθήκες τα αγκύρια προσφέρουν πολλαπλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλα συμβατικά συστήματα τόσο σε οικονομικό όσο και σε τεχνικό επίπεδο. Για παράδειγμα, τα πλεονεκτήματα των τοίχων αντιστήριξης με αγκύρια έναντι των τοίχων βαρύτητας για την υποστήριξη ενός εδάφους είναι:

- I. Ελεύθερος χώρος εργασίας για τις εκσκαφές.
- II. Ικανότητα να αντιστηρίζει σχετικά μεγάλες οριζόντιες πιέσεις χωρίς την απαίτηση σημαντικής αύξησης της διατομής του τοίχου.
- III. Δεν χρειάζεται προσωρινή υποστήριξη μιας εκσκαφής καθώς ο αγκυρωμένος τοίχος μπορεί να ενσωματωθεί στην μόνιμη εκσκαφή.
- IV. Δεν χρειάζεται επιχωμάτωση.
- V. Δεν απαιτείται βαθιά θεμελίωση της υποστήριξης.
- VI. Μειώνεται ο χρόνος την κατασκευής.

2.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ

Τα προεντεταμένα αγκύρια είναι ένα κατασκευαστικό στοιχείο των κατασκευών που τοποθετείται στο έδαφος ή σε βράχο και έχει ως στόχο την μεταφορά του εφελκυστικού

φορτίου. Τα μέλη από τα οποία απαρτίζεται είναι η αγκύρωση, το ελεύθερο μήκος και το μήκος δεσμού.

Η αγκύρωση περιλαμβάνει το κεφάλι του αγκυρίου, τη φέρουσα πλάκα και τη χοάνη η οποία μεταφέρει την προένταση από την χαλύβδινη ράβδο ή το συρματόσκοινο στην επιφάνεια του εδάφους ή τον τοίχο αντιστήριξης.

Το ελεύθερο μήκος είναι το ποσοστό του προεντεταμένου χάλυβα το οποίο είναι ελεύθερο να επιμηκυνθεί ελαστικά και να μεταφέρει την δύναμη αντίστασης από την πάκτωση στην κατασκευή. Περιβάλλεται από ένα πλαστικό αμελητέας τριβής κάλυμμα το οποίο προστατεύει τον τένοντα από το περιβάλλον ένεμα και τη διάβρωση.

Το μήκος δεσμού του αγκυρίου πρέπει να εκτείνεται πέρα από την κρίσιμη επιφάνεια αστοχία.

2.3 ΕΙΔΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ

Αυτό που διαχωρίζει τους κύριους τύπους των αγκυρίων είναι το σχήμα που δίνεται στο πακτωμένο τμήμα του αγκυρίου ως αποτέλεσμα συγκεκριμένου τύπου κατασκευής.

Τύπος Α: Χρησιμοποιείται σε βράχο ή πολύ σκληρές αργίλους. Ο συγκεκριμένος τύπος αγκυρίου είναι προτιμητέος στην Ελλάδα λόγω της φύσης των πετρωμάτων και των χαμηλών απαιτήσεων σε εξοπλισμό του τύπου αυτού. Το ένεμα εισάγεται με απλή πίεση από το άκρο του αγκυρίου προς την κεφαλή χρησιμοποιώντας αντλία ή απλά με βαρύτητα. Λόγω της φύσης του εδάφους το διάτρημα είναι λείο επομένως η διάμετρος του πακτωμένου τμήματος είναι ίση με τη διάμετρο του διατρήματος με εξαίρεση εάν το ένεμα εισχωρήσει μέσα στο έδαφος σε σημεία που συναντά έγκοιλα, πορώδη μέσα ή ρήγματα. Το μέγεθος του πακτωμένου τμήματος ενός τέτοιου αγκυρίου μπορεί τυπικά να φτάσει τα 8m ενώ η διάμετρός του να κυμαίνεται στα 110mm. Η διατμητική αντοχή ενός τέτοιου αγκυρίου οφείλεται στην πλευρική τριβή που αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια εδάφους-ενέματος.

Τύπος Β: Ο συγκεκριμένος τύπος αγκυρίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μαλακούς ρηγματωμένους βράχους ή κοκκώδεις αλλουβιακούς σχηματισμούς. Η εισαγωγή του ενέματος γίνεται με μικρή πίεση (1 MPA) διευκολύνοντας έτσι την διείσδυση του ενέματος στο εσωτερικό του εδάφους με αποτέλεσμα το ακανόνιστο σχήμα του πακτωμένου τμήματος και τη μεγαλύτερη διάμετρο από αυτή του διατρήματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η αντοχή αυτού του τύπου να είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή του τύπου Α. Η διατμητική αντοχή αυτού του τύπου οφείλεται κυρίως στην πλευρική τριβή που αναπτύσσεται αλλά και στην παθητική αντίσταση από τις ωθήσεις του συμπιεσμένου εδάφους που αναπτύσσονται στο άνω άκρο του πακτωμένου τμήματος μόλις το αγκύριο αρχίσει να κινείται.

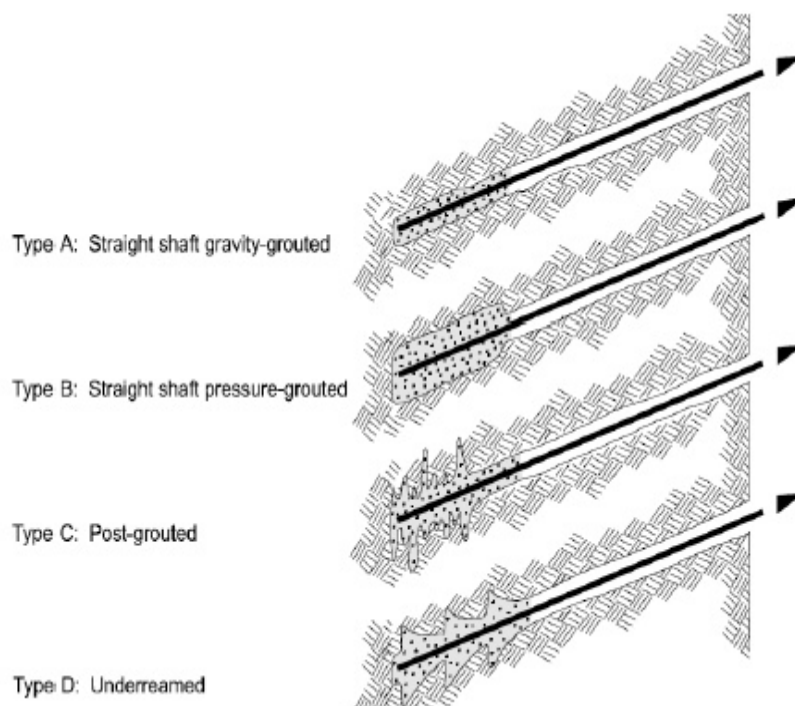
Τύπος C: Ο τύπος αυτός είναι ιδανικός για λεπτά κοκκώδη εδάφη και στιφρές εδαφικές αποθέσεις. Η εισαγωγή του ενέματος σε αυτή την περίπτωση γίνεται με υψηλή πίεση ($> 2\text{MPa}$) με αποτέλεσμα την διείσδυση μεγάλου ποσοστού ενέματος στο περιβάλλον έδαφος με ακανόνιστο τρόπο και την ενσωμάτωση σε αυτό μεγάλου όγκου εδάφους. Το πακτωμένο τμήμα παίρνει οδοντωτή μορφή γεγονός που συμβάλει στην αύξηση της διατμητικής αντοχής του αγκυρίου. Στην περίπτωση όμως που οι υψηλές πιέσεις για την εισαγωγή του ενέματος επιφέρουν βλάβες στο περιβάλλον έδαφος ή σε παρακείμενες κατασκευές εφαρμόζεται η τεχνική των μετενέσεων. Πιο αναλυτικά, η κατασκευή του αγκυρίου τύπου C γίνεται ως εξής:

- i. Εισαγωγή του τένοντα και εν συνεχεία του ενέματος χωρίς την άσκηση πίεσης από το άκρο προς τα πάνω καταλαμβάνοντας τον χώρο του διατρήματος και

- εισχωρώντας σε κάποια έγκοιλα ή ρωγμές που πιθανόν θα υπάρχουν.
- ii. Μετά την σκλήρυνση του ενέματος , επαναλαμβάνεται η εισαγωγή ενέματος υπό πίεση με τη χρήση ειδικού σωλήνα μικρής διαμέτρου. Ο σωλήνας φέρει ανοίγματα που προστατεύονται από ελαστικό περίβλημα που εμποδίζει την διείσδυση του αρχικού ενέματος και κατά συνέπεια την αχρήστευση του σωλήνα.
 - iii. Μέσα στον σωλήνα αυτό, εισάγεται ένας μικρότερος που με βύσματα απομονώνει το τμήμα του ανοίγματος. Από αυτόν τον σωλήνα διοχετεύεται το νέο ένεμα, το οποίο πιέζει το ελαστικό περίβλημα , σπάει το αρχικό ένεμα και διαχέεται στο έδαφος.
 - iv. Το ελαστικό περίβλημα, υπό την επίδραση της εξωτερικής πίεσης , επανέρχεται στη θέση του εμποδίζοντας την εισροή του ενέματος στον σωλήνα και την πτώση της πίεσης. Στην συνέχεια τα βύσματα μεταφέρονται στην επόμενη θέση και η διαδικασία συνεχίζεται.

Τύπος D: Είναι ιδανικός τύπος αγκυρίου για στιφρά έως μετρίως στιφρά συνεκτικά εδάφη. Η κατασκευή του πακτωμένου τμήματος με μηχανικές διευρύνσεις προηγείται της εισαγωγής του ενέματος υπό πίεση. Ο χρόνος που παρεμβάλλεται ανάμεσα στην διεύρυνση των βολβών και στην εισαγωγή του ενέματος πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος ώστε να μην επανέρχεται η χαλάρωση των τοιχωμάτων της αργίλου λόγω ενυδάτωσης, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία λάσπης που μειώνει πολύ σημαντικά την τριβή εδάφους-ενέματος.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται σχηματικά τα διάφορα είδη αγκυρίων τα οποία περιγράφηκαν αναλυτικά παραπάνω.



2.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΑΓΚΥΡΙΩΝ

Διάτρηση οπών: Η διαδικασία ξεκινά με τη διάτρηση των οπών στις θέσεις, κλίσεις, μήκη και βάθη που έχει ορίσει ο μηχανικός. Η διάνοιξη των οπών γίνεται με χρήση περιστροφικού (rotary drilling) ή κρουστικοπεριστροφικού εξοπλισμού (down the hole rotary-percussive drilling). Η διάμετρος των οπών θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να διατίθεται το προβλεπόμενο πάχος κάλυψης των τενόντων με τσιμεντένεμα. Η ελάχιστη διάμετρος των οπών θα πρέπει να είναι 76mm. Στην περίπτωση που έχουμε καταπτώσεις τοιχωμάτων, η διάτρηση της οπής θα γίνεται με συνεχή σωλήνωση. Κατά την διάρκεια της διάτρησης δεν θα πρέπει να γίνεται καθαρισμός της οπής από τα προϊόντα της διάτρησης με νερό εφόσον δύναται να πραγματοποιηθεί ευχερώς πεπιεσμένος αέρας. Ειδικότερα στα συνεκτικά εδάφη, η χρήση νερού θα πρέπει να αποφεύγεται ή να περιορίζεται όσο είναι δυνατόν ώστε να μην επέλθει χαλάρωση του εδάφους και συνακολούθως μείωση της πρόσφυσης του τσιμεντενέματος και του περιβάλλοντος εδάφους. Στην περίπτωση διάτρησης σε περατούς σχηματισμούς υπό υδραυλική πίεση, θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ταπείνωσης ή εξισορρόπησης της υδατικής πίεσης ώστε να αποφεύγεται η υδραυλική διάβρωση των οπών μέχρι την πλήρωσή τους με τσιμεντένεμα.

Προ-ενεμάτωση: Στην περίπτωση όπου αναμένονται μεγάλες απώλειες ενέματος κατά την πλήρωση των οπών, όπως σε έντονα ρηγματωμένους ή πορώδεις βράχους θα εφαρμόζεται διάτρηση και προενεμάτωση (pre-grouting). Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται σημαντικά η φέρουσα ικανότητα των αγκυρώσεων και η απώλεια ενέματος κατά την πλήρωση των οπών λόγω απορρόφησης του εδάφους. Η κρισιμότητα της απώλειας ενέματος μπορεί να εκτιμηθεί με δοκιμή εισπίεσης νερού με υπερπίεση 100 KPa στο πακτωμένο τμήμα του αγκυρίου και η απώλεια νερού υπερβαίνει τα 5lt νερού το λεπτό για χρονική περίοδο 10 λεπτών. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπερ-τριπλάσιος όγκος τσιμεντενέματος από τον θεωρητικό όγκο του διατρήματος της οπής. Κατά την προ-ενεμάτωση η οπή γεμίζεται με τσιμεντένεμα με ταυτόχρονη αφαίρεση της σωλήνωσης εφόσον υπάρχει. Η εισαγωγή του ενέματος γίνεται συνήθως με χαμηλή πίεση μέχρι την πλήρωση της οπής και εξόδου του ενέματος από το στόμιό της. Εφόσον οι συνθήκες το επιβάλλουν, η εισαγωγή του ενέματος μπορεί να γίνει και με υψηλή πίεση αλλά με έμφραξη του στομίου της οπής και ταυτόχρονη αφαίρεση της σωλήνωσης. Στην περίπτωση όπου με τον τρόπο αυτό αναμένονται καταπτώσεις τοιχωμάτων της οπής, η εισπίεση του ενέματος γίνεται σε δύο στάδια. Αρχικά, η εισαγωγή του ενέματος γίνεται υπό χαμηλή πίεση και ταυτόχρονη αφαίρεση της σωλήνωσης, και στη συνέχεια το στόμιο της οπής φράζεται και ασκείται υψηλή πίεση.

Τοποθέτηση τένοντα και πλήρωση της οπής: Ο τένοντας θα συναρμολογείται και θα εφοδιάζεται με αποστάτες σε κατάλληλες αποστάσεις ώστε να διασφαλίζεται το απαιτούμενο ελάχιστο πάχος επικάλυψης με τσιμεντένεμα. Το ελεύθερο τμήμα του τένοντα καλύπτεται από έναν προστατευτικό σωλήνα με χαμηλό συντελεστή τριβής. Τα άκρα του σωλήνα προσδένονται στον τένοντα σε θέση όπου ο τένοντας έχει καλυφθεί με κατάλληλο στεγανωτικό υλικό με αδιάβροχη ταινία επαρκούς αντοχής. Πριν την τοποθέτηση του τένοντα θα πρέπει να ελέγχεται η οπή εάν έχει το απαιτούμενο μήκος και εάν είναι καθαρή χωρίς εμπόδια. Η εισαγωγή του τένοντα και η πλήρωση της οπής μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

I. Πλήρωση της οπής πριν την τοποθέτηση του τένοντα.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε οπές με κλίση προς τα κάτω και για μικρά μήκη αγκυρίων. Αρχικά, η κενή οπή γεμίζεται με τσιμεντένεμα με την εισαγωγή του σωλήνα τσιμεντένεσης μέχρι τον πυθμένα της οπής και την εισαγωγή του ενέματος με χαμηλή πίεση μέχρι αν εξέλθει τσιμεντένεμα από το στόμιο της οπής. Στην περίπτωση όπου έχει χρησιμοποιηθεί σωλήνωση, αφαιρείται ταυτόχρονα με την πλήρωση της οπής. Εάν παρουσιαστούν φαινόμενα ταπείνωσης της στάθμης του ενέματος θα πρέπει να γίνει συμπλήρωση και εάν το φαινόμενο είναι έντονο και συστηματικό τότε προτείνεται η μέθοδος της προ-ενεμάτωσης που περιγράφηκε παραπάνω.

II. Πλήρωση της οπής μετά την τοποθέτηση του τένοντα.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις μορφές αγκυρώσεων. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου, ο τένοντας εισάγεται με πίεση στην οπή ενώ ταυτόχρονη εισαγωγή έχουμε και για τον σωλήνα ενεμάτωσης και για τον σωλήνα εξαερισμού εφόσον απαιτείται. Στις οπές με κλίση προς τα κάτω, εισαγωγή του ενέματος γίνεται από κάτω προς τα πάνω μέσω σωλήνα τσιμεντένεσης. Η εισαγωγή του ενέματος γίνεται με χαμηλή πίεση μέχρι να πληρωθεί πλήρως η οπή ενώ η σωλήνωση γίνεται ταυτόχρονα με την πλήρωση της οπής. Σε οπές με κλίση προς τα άνω η σωλήνωση αφαιρείται αμέσως πριν την πλήρωση της οπής με ένεμα.

Στον τένοντα προσδένονται δύο σωλήνες, ο σωλήνας εξαερισμού που φτάνει μέχρι το απώτερο άκρο της οπής και ο σωλήνας τσιμεντένεσης που έχει μικρό μήκος. Μετά την εισαγωγή του τένοντα, το στόμιο της οπής σφραγίζεται με γύψο ή τσιμεντοκονία ταχείας πήξεως και στην συνέχεια γίνεται εισπίεση ενέματος με χαμηλή πίεση μέχρι να πληρωθεί η οπή και να εξέλθει από τον σωλήνα εξαερισμού.

Τάνυση: Η τάνυση των αγκυρίων γίνεται για να αποδειχθεί αφενός η δυνατότητα ανάληψης φορτίων λειτουργίας και αφετέρου η προένταση του αγκυρίου στο φορτίου που έχει προβλεφθεί από τη μελέτη. Η τάνυση ξεκινά αφού το τσιμεντένεμα στο πακτωμένο τμήμα έχει σκληρυνθεί επαρκώς ώστε να αναλάβει τα φορτία της τάνυσης. Ο χρόνος τάνυσης καθορίζεται με δοκιμές σε δοκίμια τσιμεντένεματος από τις οποίες θα προκύψει η ικανότητα ανάληψης των φορτίων. Μετά την προένταση των αγκυρίων, τα προεξέχοντα τμήματα των καλωδίων αποκόπτονται με χρήση κοπτικού, τόσον ώστε το απομένον μήκος να επαρκεί για ενδεχόμενη επανατάνυση.





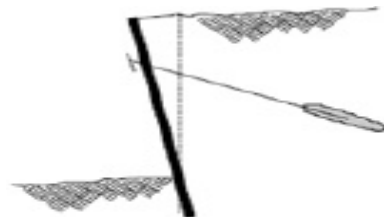
2.5 ΜΟΡΦΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ

Ο στόχος ενός τοίχου με αγκύρια είναι να δημιουργήσει μία εσωτερικά σταθερή εδαφική μάζα εδάφους η οποία θα αντισταθεί στις εξωτερικές μορφές αστοχίας σε ένα επαρκές επίπεδο λειτουργικότητας.

Οι μορφές αυτές αστοχίας είναι οι παρακάτω:

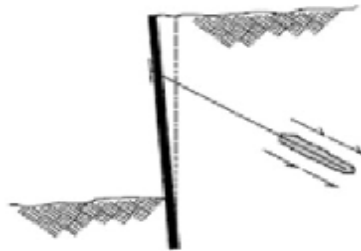
i. Αστοχία τένοντα

Παρά το γεγονός ότι δίνεται βάση στην τοποθέτηση αγκυρίου σε σύστημα αντιστήριξης η διαρροή ή θραύση του τένοντα δεν είναι ασυνήθιστη. Όταν έχει κατασκευαστεί σωστά το ενετούμενο τμήμα του αγκυρίου, 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.



ii. Μη επαρκής συνάφεια μήκους αγκύρωσης και εδάφους

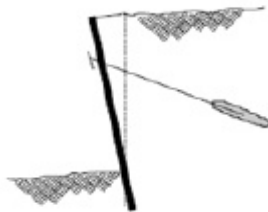
Για την εξασφάλιση της ευστάθειας της κατασκευής, σημαντικός παράγοντας είναι η αλληλεπίδραση του πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου και του εδάφους. Η συγκεκριμένη σχέση εξαρτάται από τις ορθές τάσεις που αναπτύσσονται στην περιοχή της αγκύρωσης καθώς και από τη συνοχή και την τριβή οι οποίες ενεργοποιούνται κατά μήκος του πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου.



iii. Μη επαρκής συνάφεια τένοντα και ενέματος

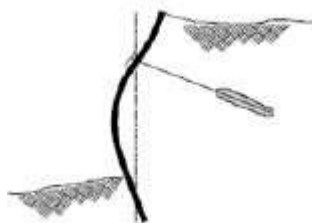
Σε τύπο αυτό αστοχίας έχουμε απώλεια συνάφειας μεταξύ του τένοντα και του ενέματος όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η εξασφάλιση της συνάφειας μεταξύ του τένοντα και του αγκυρίου επιτυγχάνεται μέσω τριών μηχανισμών:

1. Την πρόσφυση.
2. Την τριβή.
3. Την αλληλεμπλοκή των τμημάτων που αστόχησαν.



iv. Αστοχία τοίχου σε κάμψη

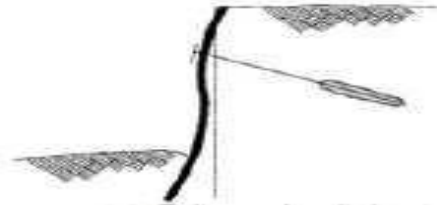
Η μορφή αυτή αστοχίας είναι η μόνη που δεν συσχετίζεται με το έδαφος ή με κάποιο άλλο στοιχείο της κατασκευής. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα αστοχεί λόγω ανεπάρκειας της καμπτικής αντοχής του τοίχου. Η αστοχία ενός μόνο αγκυρίου μπορεί να μην επηρεάσει την συνολική ευστάθεια του συστήματος αλλά τμήμα του τοίχου θα κληθεί να παραλάβει μεγαλύτερα φορτία από εκείνα για τα οποία σχεδιάστηκε και τελικά αστοχεί.



v. Αστοχία τοίχου λόγω μη επαρκής παθητικής αντίστασης

Η πλευρική πίεση πάνω στον τοίχο σε συνδυασμό με την απομείωση των τάσεων από την πρόοδο της εκσκαφής μπορεί να προκαλέσει τοπική διαρροή του εδάφους. Αυτή η τοπική ένταση οδηγεί

στην απώλεια παθητικής αντίστασης η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε μεγάλες μετακινήσεις που μπορεί να φτάσουν και το 50% της συνολικής μετατόπισης.



vi. Αστοχία τοίχου λόγω μη επαρκούς παθητικής αντίστασης

Η πλευρική πίεση που ασκεί το έδαφος πάνω στον τοίχο σε συνδυασμό με την απομείωση των τάσεων από την πρόοδο της εκσκαφής μπορεί να προκαλέσει τοπική διαρροή του εδάφους. Αυτή η διαρροή μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες μετακινήσεις που μπορεί να φτάσουν το 50% της συνολικής μετατόπισης.



vii. Στροφή του τοίχου πριν την τοποθέτηση του πρώτου αγκυρίου

Μετά την ολοκλήρωση του πρώτου σταδίου εκσκαφής ο τοίχος συμπεριφέρεται ως πρόβολος μέχρι την τοποθέτηση του πρώτου αγκυρίου. Αν, στην δεδομένη κατάσταση, η παθητική αντίσταση που προσφέρει το εμπηγμένο τμήμα του πασσάλου δεν είναι επαρκής, τότε έχουμε σαν αποτέλεσμα ο τοίχος να στραφεί, όπως ακριβώς φαίνεται στην εικόνα.



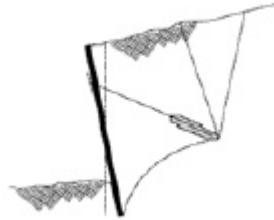
viii. Βύθιση του τοίχου

Κατά την πρόοδο της εκσκαφής, η οποία συνεπάγεται με μετακίνηση του τοίχου προς το εσωτερικό της, το αντιστηριζόμενο έδαφος υφίσταται καθιζήσεις και ασκεί στον τοίχο κατακόρυφες διατμητικές τάσεις προς τα κάτω.

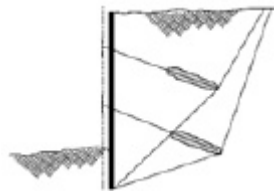
Εφόσον τα αγκύρια είναι τοποθετημένα με κλίση προς την οριζόντιο, η κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης προέντασης προστίθεται στην αξονική καταπόνηση του τοίχου. Καθώς λοιπόν προχωράμε στα τελευταία στάδια της εκσκαφής, η τάση αυτή του τοίχου να μετατοπιστεί προς τα κάτω μπορεί να επιφέρει αστοχία της διατομής σε θλίψη.



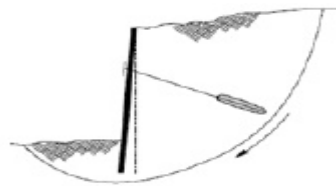
ix. Ανατροπή όλου του συστήματος



x. Ολίσθηση όλου του συστήματος



xi. Στροφή της εδαφικής μάζας.



2.6 ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΑΓΚΥΡΙΩΝ

Η επιτρεπόμενη παραμόρφωση του προβόλου-τοίχου θα καθορίσει την κάθετη απόσταση του πρώτου αγκυρίου, δηλαδή αυτού που είναι πλησιέστερα στο έδαφος. Η απόσταση αυτή θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα υπέρβασης της παθητικής ικανότητας του εδάφους που υποστηρίζεται κατά την τοποθέτηση του αγκυρίου και των δοκιμαστικών φορτίσεών του. Η ελάχιστη απόσταση του πρώτου αγκυρίου από το έδαφος είναι 4,5m με σκοπό την αποφυγή διαρροής ενέματος ή διαφυγής του στην επιφάνεια λόγω της πίεσης κατά την ενεμάτωση. Τέλος, λαμβάνεται ως ελάχιστη οριζόντια απόσταση μεταξύ των γειτονικών αγκυρίων μεγαλύτερη από 1,2m.

2.7 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

Κατά γενική ομολογία, η συμπεριφορά ενός αγκυρωμένου τοίχου είναι πολύ καλή ακόμα και σε σεισμούς μεγάλης έντασης. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι ερευνητές μετά από μία έρευνα σε 10 τοίχους με αγκύρια στην περιοχή του Los Angeles. Διαπίστωσαν ότι οι τοίχοι που εξετάστηκαν παρουσίασαν πολύ καλή συμπεριφορά και είχαν μικρή έως καμία απώλεια της ακεραιότητάς τους κατά το σεισμό του 1987 στην Καλιφόρνια. Κατά τη σχεδίαση ενός τοίχου με αγκύρια λαμβάνονται υπόψιν δύο μορφές αστοχίας, η εσωτερική και η εξωτερική αστοχία. Στην εσωτερική αστοχία παρουσιάζεται αστοχία ενός μόνο στοιχείου της κατασκευής όπως οι τένοντες, τα αγκύρια ή ακόμα και ο ίδιος ο τοίχος ενώ στην εξωτερική αστοχία έχουμε καθολική αστοχία του τοίχου, η οποία περνά από την επιφάνεια ολίσθησης πέρα από τα αγκύρια και καταλήγει στον πόδα του πασσάλου. Μία ψευδο-στατική ανάλυση μπορεί να εκτιμήσει τα μεγέθη αυτών των αστοχιών.

2.8 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Επειδή δεν υπάρχει συγκεκριμένος τρόπος προσδιορισμού παραγόντων διάβρωσης με ικανοποιητική ακρίβεια ώστε να προβλέπεται και ο ρυθμός διάβρωσης του χάλυβα στο έδαφος, όλα τα τμήματα του αγκυρίου θα πρέπει να προστατεύονται έναντι διάβρωσης για χρονικό διάστημα ίσο με τη διάρκεια ζωής τους. Η αντιδιαβρωτική προστασία εξαρτάται από τη διάρκεια ζωής ενός αγκυρίου. Συγκεκριμένα, για την αντιδιαβρωτική προστασία **προσωρινών αγκυρώσεων** τα χαλύβδινα στοιχεία θα πρέπει να προστατεύονται με τέτοιο τρόπο ώστε να παρεμποδίζεται η διάβρωσή τους κατά την τεχνική διάρκεια ζωής τους (2 έτη).

- ✓ Η συνήθης αντιδιαβρωτική προστασία των **προσωρινών αγκυρίων** περιλαμβάνει την επικάλυψη των τενόντων, στο πακτωμένο τμήμα, με τσιμεντένεμα πάχους τουλάχιστον 10mm. Εφόσον όμως το περιβάλλον έδρασης των αγκυρίων είναι έντονα διαβρωτικό συνίσταται η κάλυψη των τενόντων με απλό κυματοειδή σωλήνα ο οποίος θα διαθέτει την απαραίτητη πρόσφυση με το περιβάλλον τσιμεντένεμα.
- ✓ Στο **ελεύθερο τμήμα** των τενόντων, μπορεί να χρησιμοποιηθούν πλαστικοί σωλήνες ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη αντιδιαβρωτική προστασία. Όμως, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην σφράγιση των άκρων του σωλήνα για την αποφυγή εισχώρησης νερού ή τσιμεντενέματος. Στην περίπτωση που το περιβάλλον είναι έντονα διαβρωτικό συνίσταται πλήρωση του σωλήνα με αντιδιαβρωτικό υλικό χαμηλού συντελεστή τριβής.

Η προστασία των κεφαλών των προσωρινών αγκυρίων και της περιοχής μεταξύ κεφαλής και τένοντα γίνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του EN 1537:1999. Για προσωρινές αγκυρώσεις με διάρκεια ζωής μικρότερη από δύο χρόνια ενδεικτικοί τρόποι προστασίας παρουσιάζονται παρακάτω:

- ✓ Το **πακτωμένο τμήμα** των τενόντων θα πρέπει να προστατεύεται από ένα ελάχιστο πάχος ενέματος 10mm στο τοίχωμα του διατρήματος . Όταν είναι γνωστές οι έντονες διαβρωτικές συνθήκες του εδάφους είναι απαραίτητη η χρήση ραβδωτού σωλήνα γύρω από τον τένοντα.

- ✓ Ο **τένοντας** θα πρέπει να έχει χαμηλό συντελεστή τριβής έτσι ώστε να επιτρέπεται η κίνηση του ελεύθερου τμήματος μέσα στη γεώτρηση. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε με τη χρήση πλαστικού περιβλήματος για κάθε τένοντα ξεχωριστά είτε με πλαστικό ή μεταλλικό περίβλημα προστασίας κοινό για όλους τους τένοντες με σφραγισμένες άκρες για την αποφυγή εισροής νερού και στις δύο περιπτώσεις. Όταν είναι γνωστές οι έντονες διαβρωτικές συνθήκες του εδάφους δύναται να χρησιμοποιηθεί είτε πλαστικό περίβλημα προστασίας για κάθε τένοντα ξεχωριστά είτε πλαστικό ή μεταλλικό περίβλημα προστασίας κοινό για όλους τους τένοντες γεμάτο με αντιδιαβρωτικά προστατευτικά συνθετικά υλικά και στις δύο περιπτώσεις.

- ✓ Η **μετάβαση ανάμεσα στην κεφαλή και το ελεύθερο μήκος** θα πρέπει να προστατεύεται με ένα περίβλημα ή αγωγό σφραγισμένο στην περιοχή της κεφαλής. Διαφορετικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μεταλλικό περίβλημα ή πλαστικός αγωγός σφηνωμένα ή συγκολλημένα στην πλάκα αγκύρωσης, ενώ για παρατεταμένη χρήση είναι απαραίτητη η πλήρωση με αντιδιαβρωτικό συνθετικό υλικό, ένεμα ή ρητίνη.

- ✓ Όταν η **κεφαλή** είναι προσβάσιμη για έλεγχο ή μετρήσεις προτείνονται τα ακόλουθα:
 - Επικάλυψη με αντιδιαβρωτικό συνθετικό υλικό αλλά όχι σε υγρή μορφή.
 - Συνδυασμός αντιδιαβρωτικού συνθετικού υλικού και ταινίας εμποτισμένης με αντιδιαβρωτικό συνθετικό υλικό.Όταν η κεφαλή δεν είναι προσβάσιμη χρησιμοποιείται μεταλλικό ή πλαστικό καπάκι γεμάτο με αντιδιαβρωτικό συνθετικό υλικό. Όταν είναι γνωστό ότι οι συνθήκες είναι έντονα διαβρωτικές η παραπάνω διαδικασία χρησιμοποιείται και για τις προσβάσιμες κεφαλές.

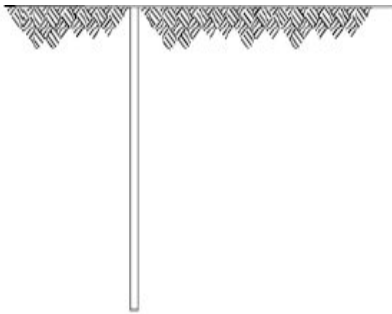
Όσον αφορά τις **μόνιμες αγκυρώσεις**, στο πακτωμένο τμήμα των τενόντων πρέπει να χρησιμοποιείται ως ελάχιστη αντιδιαβρωτική προστασία μία συνεχής στρώση αντιδιαβρωτικού υλικού με διάρκεια ζωής τουλάχιστον ίση με τη διάρκεια ζωής της αγκύρωσης, ενώ για το **ελεύθερο τμήμα** των τενόντων χρησιμοποιούνται δύο συνεχείς στρώσεις αντιδιαβρωτικού συνθετικού υλικού.

2.9 ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕ ΑΓΚΥΡΙΑ

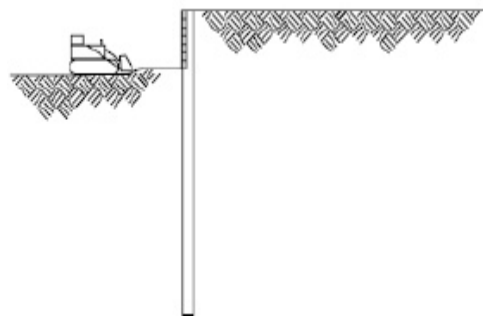
Το πρώτο βήμα κατασκευής είναι η τοποθέτηση του πασσάλου στην τελική στάθμη όπως προδιαγράφει ο σχεδιασμός. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των πασσάλων κυμαίνεται από 1.5 έως 3m. Οι πάσσαλοι μπορεί να είναι είτε πρότυπες χαλύβδινες διατομές ή προκατασκευασμένοι από σκυρόδεμα ή προϊόν γεώτρησης και σκυροδέτησης.

Στην συνέχεια γίνεται εκσκαφή κάποιων μέτρων και τοποθετείται η επένδυση, συνήθως πλέγμα και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (κάποιες φορές χρησιμοποιείται ξύλο).

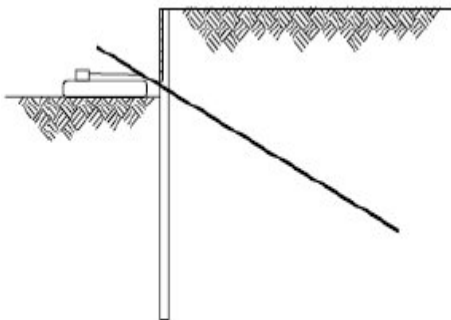
Στο τρίτο βήμα τοποθετείται το αγκύριο και προεντνείνεται. Συνεχίζεται η εκσκαφή.



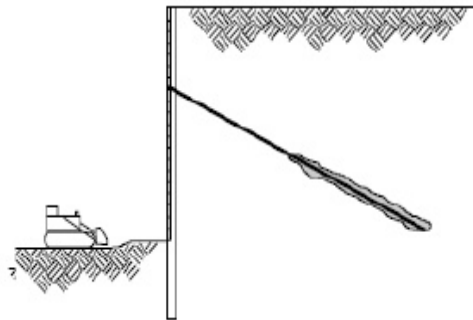
ΣΤΑΔΙΟ 1^ο



ΣΤΑΔΙΟ 2^ο



ΣΤΑΔΙΟ 3^ο



ΕΚΣΚΑΦΗ

3. ΩΘΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ

Η φυσική κατάσταση του εδάφους δεν μπορεί να χαρακτηριστεί, ούτε στερεή, ούτε υγρή, όμως παρατηρείται πως το έδαφος έχει μερικά χαρακτηριστικά και από τις δύο αυτές καταστάσεις της ύλης. Ένα από τα χαρακτηριστικά του εδάφους, που παρατηρείται στα υγρά, είναι η τάση να ασκεί πλευρικές πιέσεις σε κάθε αντικείμενο, με το οποίο έρχεται σε επαφή. Η ιδιότητα αυτή του εδάφους είναι εξαιρετικά σημαντική στη μελέτη διάφορων υπογείων κατασκευών, τοίχων αντιστήριξης και άλλων παρόμοιων έργων. Η εκτίμηση των εδαφικών πιέσεων βασίζεται γενικά σε ανάλυση ενεργών τάσεων.

Για το σκοπό αυτό διακρίνουμε τριών ειδών ωθήσεις γαιών:

- I. Η **ενεργός ώθηση**, που εκφράζει την πλευρική πίεση που ασκεί το έδαφος στη κατασκευή που το αντιστηρίζει.
- II. Η **παθητική ώθηση**, που εκφράζει την αντίσταση του εδάφους, όταν κάποιο δομικό στοιχείο ωθείται προς το έδαφος.
- III. Υπάρχει και η περίπτωση κατά την οποία το δομικό στοιχείο δεν μετακινείται, οπότε η αναπτυσσόμενη ώθηση γαιών καλείται **ουδέτερη ή ώθηση σε ηρεμία**.

Οι πλευρικές πιέσεις του εδάφους επί των έργων αντιστήριξης εκφράζονται συνήθως με την έννοια του συντελεστή ωθήσεων K , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της οριζόντιας τάσης s_h ως προς την αντίστοιχη κατακόρυφη τάση s_v :

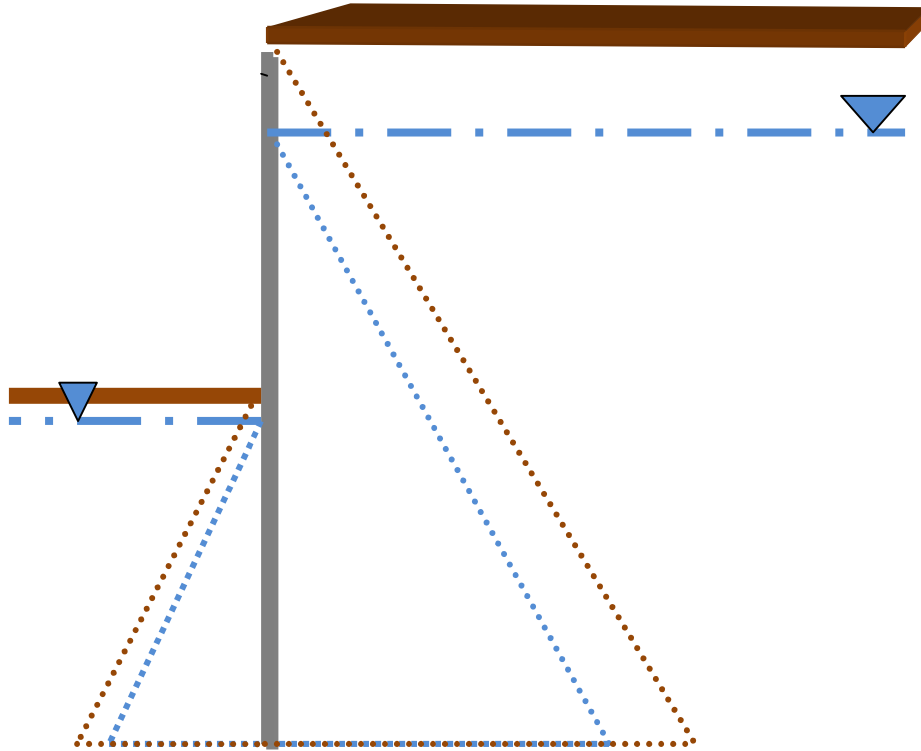
$$K = \frac{s_h}{s_v}$$

3.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Ο ρόλος του νερού είναι καθοριστικός σε κάθε κατασκευαστικό έργο αντιστήριξης. Η παρουσία του νερού στο έδαφος από τη μία αυξάνει την εδαφική δράση και από την άλλη μειώνει την εδαφική αντοχή. Έτσι όταν διανοίγεται μία εκσκαφή σε άργιλο, οι πιέσεις πόρων στο μέτωπο γίνονται αρνητικές, η διατμητική αντοχή αυξάνεται και το έδαφος διογκώνεται υπό αστράγγιστες συνθήκες, μέχρι μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, να δημιουργηθούν συνθήκες μόνιμης ροής, οπότε το φαινόμενο αντιστρέφεται και η πίεση των πόρων αυξάνεται ενώ η εδαφική αντοχή μειώνεται. Το γεγονός αυτό οδηγεί το μέτωπο σε μεγάλες μετακινήσεις και ενδεχομένως σε κατάρρευση. Στη περίπτωση της αντιστήριξης γαιών, έχουμε μείωση των ενεργών κατακόρυφων τάσεων κάτω από το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα με αποτέλεσμα τη μείωση των οριζόντιων ενεργητικών και παθητικών πιέσεων. Για τον υπολογισμό της ολικής εδαφικής ώθησης θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν και η οριζόντια ώθηση του νερού κάτω από τον φρεάτιο ορίζοντα, δηλαδή υδροστατική πίεση. Γενικά, επειδή η υδραυλική συμπεριφορά του εδάφους δεν είναι απολύτως γνωστή, εξαιτίας της παρουσίας ρωγμών, της ανισορροπίας της διαπερατότητας κ.λπ. θα πρέπει να προβλέπονται κατάλληλα συστήματα αποστράγγισης. Για την περίπτωση των μη-συνεκτικών εδαφών η υδροστατική πίεση που δρα στους πασσάλους κάτω από το επίπεδο του νερού είναι $\gamma_w \cdot h$ με h ύψος του νερού από το επίπεδο αναφοράς έως τη στάθμη του νερού.

Οι μορφές που μπορεί να εμφανιστεί το νερό στα έργα αντιστήριξης είναι :

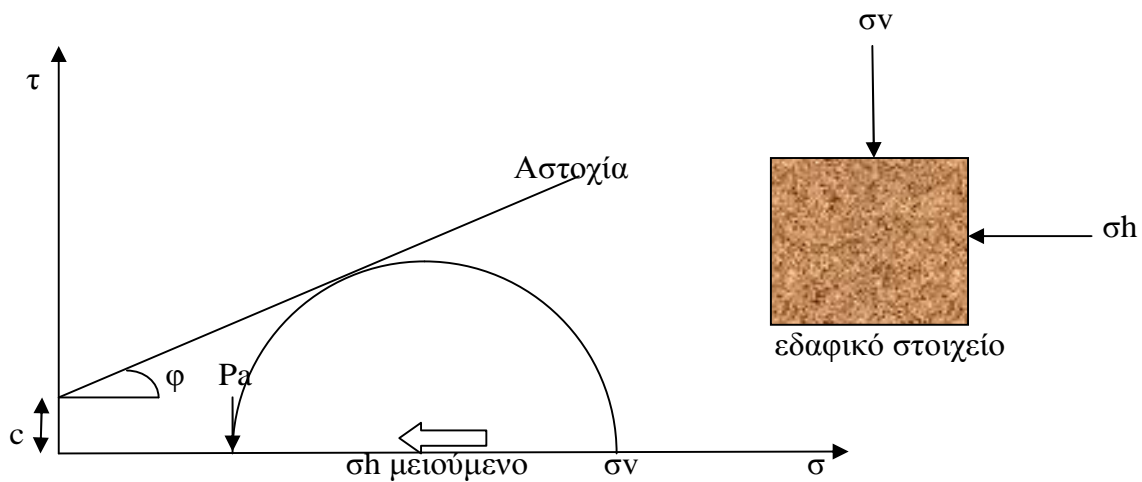
- I. Με την μορφή της πίεσης των πόρων, οπότε αυξάνει το βαθμό κορεσμού το ειδικό βάρος του εδάφους και τελικά της ωθήσεις.
- II. Με την μορφή του ελεύθερου νερού όταν πίσω από το έργο ανέβει η στάθμη , με αποτέλεσμα να αναπτυχθούν υδροστατικές πιέσεις.



3.2 ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΤΑ Rankine

Ενεργητική πίεση

Τα εδάφη λόγω του ίδιου τους του βάρους , ασκούν πιέσεις (πλευρικές ωθήσεις) στα κατακόρυφα στοιχεία που τα περιορίζουν. Η εκτίμηση των ωθήσεων που ασκούν τα εδαφικά υλικά είναι απαραίτητη σε πολλούς τύπους κατασκευών όπως οι τοίχοι αντιστήριξης γαιών. Η θεωρία αυτή εξετάζει το λόγο των δύο κύριων τάσεων όταν το έδαφος έρχεται σε κατάσταση διατμητικής αστοχίας μέσα στη μάζα του (πλαστική ισορροπία). Η κατακόρυφη ενεργός τάση σ_v στο έδαφος παραμένει σταθερή αφού έχει τη μεγαλύτερη τιμή, είναι η μέγιστη κύρια τάση. Καθώς το έδαφος διαστέλλεται οριζόντια όταν ο τοίχος απομακρύνεται από αυτό και ενεργοποιείται το μεγαλύτερο μέρος της αντοχής του, η οριζόντια τάση στον τοίχο μειώνεται. Όταν ενεργοποιηθεί η αντοχή αστοχίας τους εδάφους, η ελάχιστη οριζόντια τάση ονομάζεται ενεργητική πίεση P_a και είναι η ελάχιστη κύρια τάση. Η κατάσταση αντιπροσωπεύεται από έναν κύκλο του Mohr, που εφάπτεται στην περιβάλλουσα αστοχίας.



Για έναν κατακόρυφο τοίχο ενεργητική ώθηση στην βάση του δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

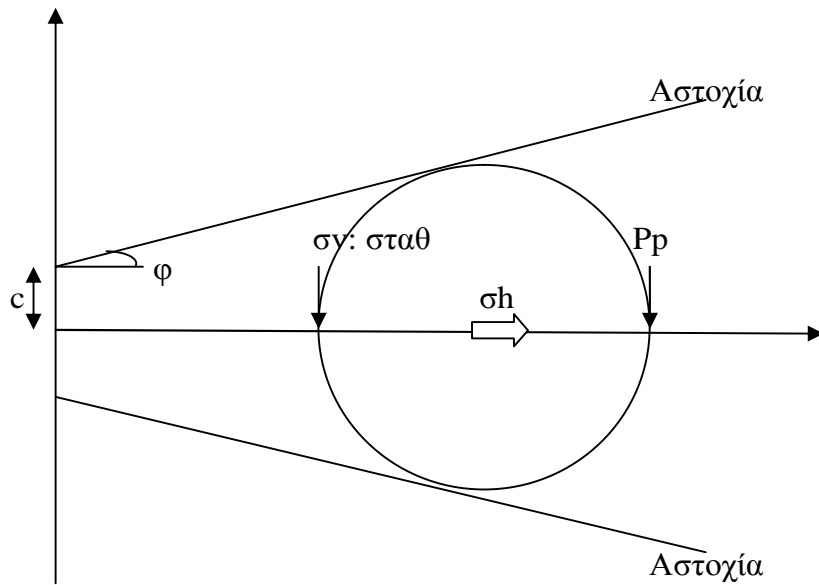
$$\text{Ενεργητική ώθηση : } \sigma_a = K_a \cdot \gamma \cdot h$$

Όπου $\gamma \cdot h$ είναι η συνολική ένταση της ασκούμενης κάθετης πίεσης στο βάθος h . Ο συντελεστής K_a παίρνει τιμή ανάλογα με την γωνία εσωτερικής τριβής φ και την γωνία τριβής πασσαλοσανίδας και εδάφους, δ . Η γωνία δ μπορεί να πάρει τιμή ίση με το μισό της γωνίας εσωτερικής τριβής φ , ωστόσο κάποιες φορές η γωνία δ παραλείπεται όταν οι ιδιότητες του εδάφους δεν έχουν καθοριστεί επαρκώς. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε $\delta=0$. (Συνθήκες Rankine).

	$\varphi=30^\circ$	$\varphi=35^\circ$	$\varphi=40^\circ$
$\delta=0^\circ$	0,33	0,27	0,22
$\delta=10^\circ$	0,31	0,25	0,20
$\delta=20^\circ$	0,28	0,23	0,19

Παθητική πίεση

Θεωρούμε έναν τοίχο ο οποίος μετακινείται ή ωθείται προς το έδαφος πίσω του. Η κατακόρυφη ενεργός τάση σ_v στο έδαφος παραμένει σταθερή αλλά η οριζόντια τάση σ_h πρέπει να αυξηθεί μέχρι το έδαφος να φτάσει σε κατάσταση πλαστικής ισορροπίας. Η σ_h θα είναι μεγαλύτερη από την σ_v , οπότε η τελευταία θα είναι η μικρότερη κύρια τάση. Η μέγιστη οριζόντια τάση που απαιτείται για να προκαλέσει αστοχία του εδάφους ονομάζεται παθητική πίεση P_p και είναι η μέγιστη κύρια τάση. Αυτή η κατάσταση μπορεί να αντιπροσωπευτεί από έναν κύκλο Mohr-Coulomb που εφάπτεται στην περιβάλλουσα αστοχίας.



§ Για έναν κατακόρυφο τοίχο, η παθητική ώθηση στην βάση του δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Παθητική ώθηση: } \sigma_p = K_p \cdot \gamma \cdot h$$

Όπου $\gamma \cdot h$ είναι η συνολική ένταση της ασκούμενης κάθετης πίεσης στο βάθος h . Η τιμή του K_p δίνεται από τον παρακάτω πίνακα. Για αγκυρωμένη πασσαλοσανίδα συνηθίζεται να λαμβάνεται $\delta = 2/3\phi$ 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.

	$\phi = 30^\circ$	$\phi = 35^\circ$	$\phi = 40^\circ$
$\delta = 0^\circ$	3,0	3,7	4,6
$\delta = 10^\circ$	4,0	4,8	6,5
$\delta = 20^\circ$	4,9	6,0	8,8

Οι συντελεστές κατά Rankine , ενεργούς και παθητικής ώθησης για επίπεδη επιφάνεια ($\beta=0$) δίνονται από τους εξής τύπους :

$$K_a = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} = \tan\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$K_p = \frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi} = \tan\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

Επίσης μεταξύ των τύπων αυτών ισχύει και η σχέση: $K_a = 1/K_p$.

3.2.1 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΘΕΩΡΙΑΣ Rankine

Αρχικά, θα πρέπει να αναφερθούν οι παραδοχές της θεωρίας του Rankine:

1. Μια σημαντική παραδοχή στη θεωρία του Rankine, είναι ότι θεωρεί πως η εντατική κατάσταση της εδαφικής μάζας βρίσκεται σε πλαστική ισορροπία. Ο όρος “πλαστική ισορροπία εδάφους”, αναφέρεται στην κατάσταση μιας εδαφικής μάζας εδάφους, κάθε σημείο της οποίας βρίσκεται στα πρόθυρα θραύσης, γεγονός που σημαίνει ότι ο κύκλος του Mohr εφάπτεται στην ευθεία

2. Το πρόβλημα θεωρείται επίπεδο, αγνοείται δηλαδή η επιρροή των άκρων. Η παραδοχή αυτή πλησιάζει την πραγματικότητα μόνο όταν το μήκος του μετώπου είναι μεγάλο. Οι υπολογισμοί αναφέρονται σε τυπικό τμήμα του έργου, μοναδιαίο πλάτος.

Η επιφάνεια του μετώπου που δέχεται τις ωθήσεις θεωρείται λεία (δεν αναπτύσσονται τριβές). Συνέπεια αυτού είναι ότι οι κατακόρυφες και οι παράλληλες στην ελεύθερη επιφάνεια διευθύνσεις είναι συζυγείς, δηλαδή ολική τάση που ασκείται στη μια επιφάνεια έχει τη διεύθυνση της άλλης (Τσότσος, 1991). Σύμφωνα με την θεωρία του **Rankine** (1857) , θεωρείται αρχικά ότι το έδαφος είναι ομογενές και ότι β είναι η γωνία κλίσης της ελεύθερης επιφάνειας όπως φαίνεται στο σχήμα. Σκοπός να υπολογιστούν οι τάσεις στο εσωτερικό του εδάφους.

3.3 ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΤΑ Coulomb

Ενεργητική ώθηση

Οι επιδράσεις της τριβής του τοίχου, της κλίσης του τοίχου και της κλίσης της επιφάνειας του εδάφους μπορούν να συμπεριληφθούν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο που παρατάθηκε από τον Coulomb (1776). Θεωρείται μια ευθεία δοκιμαστική επιφάνεια που αποτελεί το σύνορο της σφηνοειδούς επιφάνειας του εδάφους βάρους W , όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Καθώς η σφηνοειδής επιφάνεια μετακινείται προς τα κάτω λόγω βαρύτητας, θεωρείται ότι ενεργοποιείται η πλήρης διατμητική αντοχή του εδάφους στο υποτιθέμενο επίπεδο αστοχίας, και η τριβή του τοίχου ή η συνάφεια ενεργοποιούνται στο πίσω μέρος του τοίχου. Η διατμητική αντοχή και η τριβή του τοίχου στηρίζουν την σφηνοειδή επιφάνεια του εδάφους, και έτσι η ενεργητική ώθηση που μεταφέρεται στον τοίχο είναι μικρότερη για ανθεκτικότερο έδαφος και μεγαλύτερη τριβή του τοίχου. Το W είναι γνωστό από το μέγεθος της σφηνοειδούς επιφάνειας και το ειδικό βάρος του εδάφους. Οι διευθύνσεις των συνιστωσών δυνάμεων που δρουν στη σφήνα, R και P_a είναι γνωστές. Γι' αυτό, υποθέτοντας $c'=0$, μπορούμε να συμπληρώσουμε το τρίγωνο των δυνάμεων για να προκύψει μια τιμή για την P_a της δοκιμαστικής επιφάνειας που εκλέχθηκε. Η μέθοδος επαναλαμβάνεται για έναν αριθμό δοκιμαστικών επιπέδων αστοχίας ώστε να προκύψει η μέγιστη τιμή P_a με βάση τη γεωμετρία της σφήνας, μπορούν να προσδιοριστούν οι τιμές των P_a και W ως συναρτήσεις των α , β , θ , και δ . Η μέγιστη τιμή της συνισταμένης P_a δίνεται από την σχέση :

$$P_a = 1/2 * K_a * \gamma * H^2$$

ενώ το K_a δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$K_a = \left(\frac{\sin(\alpha - \varphi) / \sin \alpha}{\sqrt{[\sin(\alpha + \delta)] + \left[\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha - \beta)} \right]}} \right)^2$$

Το σημείο εφαρμογής της ώθησης P_a μπορεί να ληφθεί στο $1/3H$ κατακόρυφα πάνω από τη βάση του τοίχου, με την παραδοχή ομοιόμορφης κλίσης του εδάφους β . Αν η επιφάνεια του εδάφους είναι ακανόνιστη, πρέπει να προσδιοριστεί το κέντρο βάρους της κρίσιμης σφήνας αστοχίας (που δίνει τη μέγιστη ώθηση). Το σημείο εφαρμογής της ενεργητικής ώθησης υποτίθεται ότι είναι το σημείο όπου μια ευθεία, που διέρχεται από το κέντρο βάρους της σφήνας και είναι παράλληλη στο επίπεδο αστοχίας, τέμνει την πίσω επιφάνεια του τοίχου.

Παθητική ώθηση

Η παθητική ώθηση παράγεται στο πίσω μέρος του τοίχου καθώς αυτό ωθείται προς τη σφήνα του εδάφους βάρους W . Αν υποθεθεί επίπεδη δοκιμαστική επιφάνεια, η διατμητική αντοχή του εδάφους σε αυτό το επίπεδο 'αστοχίας' ενεργοποιείται πλήρως καθώς η σφήνα εξαναγκάζεται να μετακινηθεί προς τα επάνω, και η τριβή του τοίχου ή η συνάφεια ενεργοποιείται στο πίσω μέρος του τοίχου δρώντας προς τα κάτω. Η διατμητική αντοχή και η τριβή του τοίχου αντιστέκονται στην προς τα επάνω κίνηση της σφήνας, οπότε η παθητική ώθηση η οποία μεταφέρεται στον τοίχο θα είναι μεγαλύτερη για ισχυρότερα εδάφη και μεγαλύτερη τριβή του τοίχου. Οι διευθύνσεις των συνιστωσών δυνάμεων R που δρουν στην σφήνα και η παθητική ώθηση P_p είναι γνωστές και, έτσι, υποθέτοντας $c=0$, μπορούμε να

συμπληρώσουμε τον τρίγωνο των δυνάμεων και να πάρουμε την τιμή του P_p για την δοκιμαστική επιφάνεια που εκλέχθηκε. Η μέθοδος επαναλαμβάνεται για μια σειρά δοκιμαστικών επιπέδων αστοχίας ώστε να προκύψει η ελάχιστη τιμή P_p . Με βάση τη γεωμετρία της σφήνας, μπορούν να προσδιοριστούν οι τιμές των P_p και W ως συναρτήσεις των α, β, θ και δ . Η μικρότερη τιμή της συνισταμένης P_p δίνεται από τη σχέση:

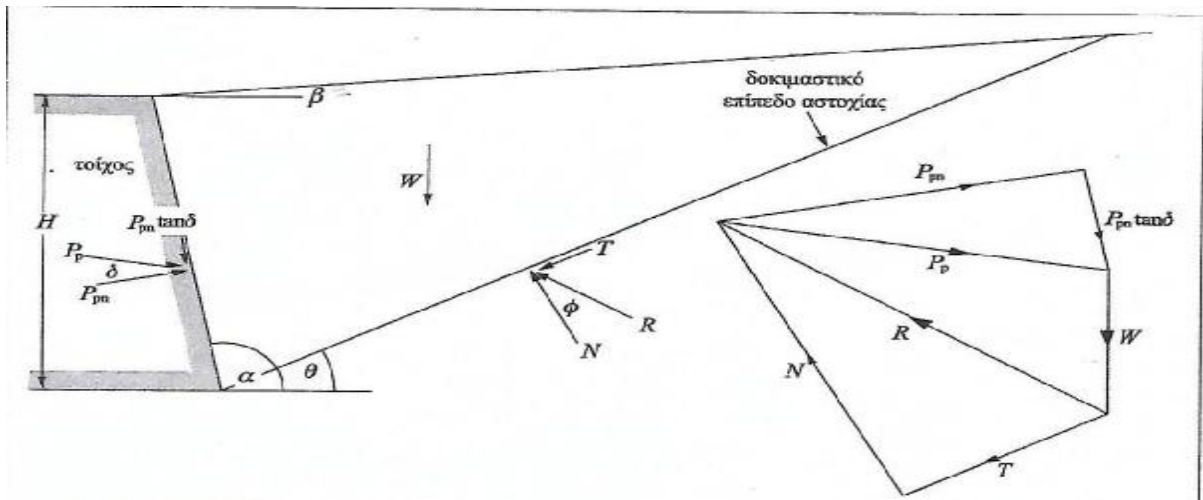
$$P_p = \frac{1}{2} * K_p * \gamma * H^2$$

Ενώ το K_p δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$K_p = \left(\frac{\sin(\alpha + \varphi) / \sin \alpha}{\sqrt{[\sin(\alpha - \delta)] + \left[\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi + \beta)}{\sin(\alpha - \beta)} \right]}} \right)^2$$

Για την περίπτωση λείου και κατακόρυφου τοίχου ($\delta=0^\circ$ και $\alpha=90^\circ$) και οριζόντια επιφάνεια εδάφους τότε οι παραπάνω συντελεστές ωθήσεων είναι οι εξής:

$$K_a = 1 - \sin \varphi / 1 + \sin \varphi \text{ και } K_p = 1 + \sin \varphi / 1 - \sin \varphi$$



3.3.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΘΕΩΡΙΑΣ Coulomb

Οι δοκιμαστικές επιφάνειες αστοχίας υποτίθενται επίπεδες και για την ενεργητική και για την παθητική κατάσταση, ενώ στην πράξη οι πραγματικές επιφάνειες αστοχίας έχουν τα κατώτερα τμήματά τους καμπύλα, λόγω της τριβής του τοίχου. Για την ενεργητική περίπτωση, το σφάλμα της υπόθεσης επίπεδης επιφάνειας είναι μικρό, και το K_a υποεκτιμάται κάπως. Για την παθητική περίπτωση το σφάλμα είναι επίσης μικρό, με την προϋπόθεση ότι η τριβή του τοίχου είναι χαμηλή, αλλά για τιμές του $\delta > \varphi/3$ το σφάλμα γίνεται μεγάλο, και το K_p προκύπτει σημαντικά υπερεκτιμημένο.

4. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ GEO5

Το GEO5 είναι ένα πακέτο προγραμμάτων που περιέχει κυρίως διάφορες γεωτεχνικές κατασκευές. Με τη βοήθεια του προγράμματος Πασσαλότοιχος II θα υπολογίσουμε τις ωθήσεις του εδάφους σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα που θα ορίσουμε εμείς και θα ελέγξουμε την ευστάθεια της κατασκευής και των κατασκευαστικών στοιχείων που την συνοδεύουν.

- § Αρχικά, θα ρυθμίσουμε το πρόγραμμα ώστε οι υπολογισμοί να γίνουν με την μέθοδο Rankine. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται οι ρυθμίσεις που έχουμε ορίσει.

Ρυθμίσεις ανάλυσης : (εισαγωγή τρέχουσας εργασίας)

Κατασκευές από σκυρόδεμα :	EN 1992-1-1 (EC2)
Συντελεστές EN 1992-1-1 :	πρότυπο
Μεταλλικές κατασκευές :	EN 1993-1-1 (EC3)
Μερικός συντ φέρουσας ικανότητας μεταλλικής διατομής :	$\gamma_{M0} = 1,00$
Ξύλινες κατασκευές :	EN 1995-1-1 (EC5)
Μερικός συντελεστής για ιδιότητα ξυλείας :	$\gamma_M = 1,30$
Τροποποιητικός συντελεστής διάρκειας φορτίου και περιεκτικότητας υγρασίας :	$k_{mod} = 0,50$
Συντελεστής για ενεργό πλάτος σε διαμητική τάση :	$k_{cr} = 0,67$
Υπολ ενεργητικών ωθήσεων γαιών :	Mazindrani (Rankine)
Υπολ παθητικών ωθήσεων γαιών :	Mazindrani (Rankine)
Μέθοδος ανάλυσης :	εξαρτώμενες πιέσεις
Σεισμική ανάλυση :	Mononobe-Okabe
Συντελεστής αντίδρασης υπεδάφους :	πρότυπο
Μείωση των εδαφικών πιέσεων λόγω της εκσκαφής τάφρου	
Μεθοδολογία επαλήθευσης :	Συντ ασφάλειας (ASD)
Μεθοδολογία επαλήθευσης :	Συντ ασφάλειας (ASD)

§ Στην συνέχεια, θα ορίσουμε το υψόμετρο του εδάφους στα 15m.

§ Έπειτα, θα καθορίσουμε την φύση του εδάφους. Θα επιλέξουμε καλά διαβαθμισμένο χαλίκι. Οι παράμετροι του εδάφους παρουσιάζονται στην παρακάτω φωτογραφία.

Επεξεργασία παραμέτρων εδάφους

Προσδιορισμός

Ονομασία : Καλά διαβαθμισμένο χαλίκι (GW), πυκνό
Καλά διαβαθμισμένο χαλίκι (GW), πυκνό

Βασικά δεδομένα

Ειδικό βάρος : $\gamma = 21,00$ [kN/m³] 21,0

Εντατική κατάσταση : ενεργές

Γωνία εσωτερικής τριβής : $\phi_{ef} = 41,50$ [°] 39 - 44

Συνοχή εδάφους : $c_{ef} = 0,00$ [kPa] 0

Γωνία τριβής κατασκευής-εδάφους $\delta = 0,00$ [°]

Καθιζήσεις - υπολογισμός ζώνης επιρροής

Συντελεστής αντοχής της κατασ $m = 0,20$ [-] 0,2 - 0,3

Πίεση σε ηρεμία

Εδαφος : μη συνεκτικό

Πίεση άνωσης

Υπολογισμός κατάστασης ανύψι Προκαθορισμένο

Μονάδα βάρους κορεσμένου : $\gamma_{sat} = 21,00$ [kN/m³]

Ανάλυση δείκτη αντίδρασης υπεδάφους

Λόγος Poisson : $\nu = 0,20$ [-] 0,20

Ανάλυση καθίζησης : εισαγωγή Eoed

Μέτρο συμπίεσόμετρου : $E_{oed} = 478,00$ [MPa] 400 - 556

Σχεδίαση

Χρώμα

Κατηγορία μοτίβου
GEO

Μοτίβο
Χαλίκι

Κατάταξη

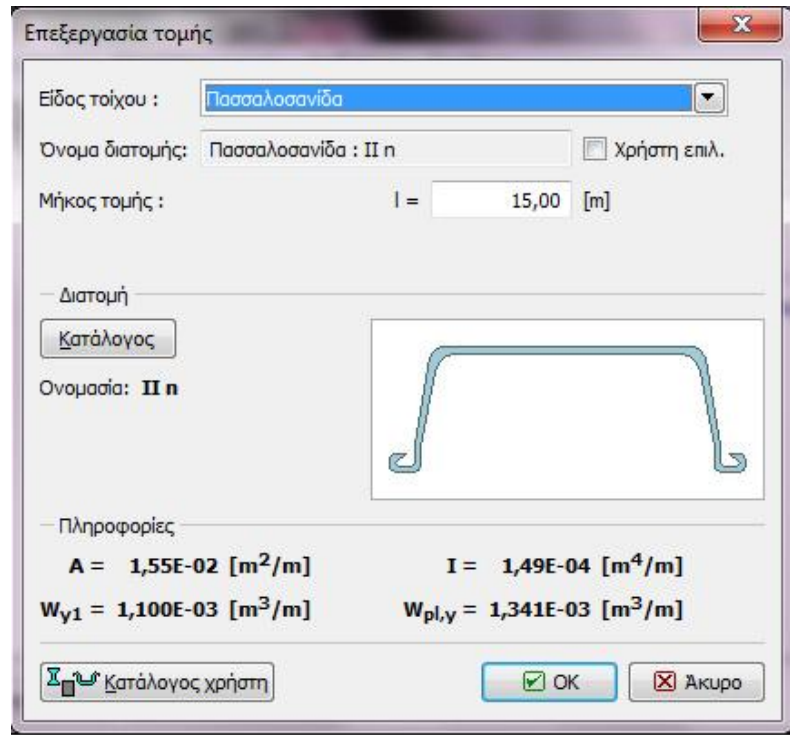
Ταξινομήστε

Καθαρισμός

OK

Ακύρωση

- § Θα επιλέξουμε επίσης, πασσαλοσανίδα μήκους τομής 15m και τύπου U με τις ακόλουθες ιδιότητες.



- § Το βάθος εκσκαφής θα το ορίσουμε στα 5m ενώ το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα στην κατάντι πλευρά της κατασκευής θα είναι στα 3m και στην ανάντι πλευρά στα 6,5m.
- § Όπως ήδη έχει αναφερθεί, ένα σημαντικό κομμάτι των κατασκευών αντιστήριξης εδάφους είναι η αγκύρωση. Σε αυτό το σημείο θα επιλέξουμε τον τύπο και τις ιδιότητες της αγκύρωσης που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή. Θα επιλεγεί μία σειρά αγκυρίων τα χαρακτηριστικά των οποίων φαίνονται στον πίνακα.

Επεξεργασία αγκύρωσης

Τύπος αγκυρίου : προεντεταμένη ράβδος

Σύνολο παραγωγής : VSL αγκύριο

Αγκύριο : VSL αγκύριο Y1030H26.5R-R

Παράμετροι αγκυρίου

Βάθος : $z = 3,50$ [m]

Ελεύθερο μήκος : $l = 21,00$ [m]

Μήκος πάκτωσης : $l_k = 2,00$ [m]

Κλίση : $\alpha = 10,00$ [°]

Διάστημα : $b = 1,00$ [m]

Δυσκαμψία

Τύπος εισαγωγής : Εισαγωγή περιοχής

Εμβαδόν διατομής : $A = 551,000$ [mm²]

Μέτρο Ελαστικότητας : $E = 200000,00$ [MPa]

Δύναμη προέντασης : $F = 100,00$ [kN]

Εφελκυστική αντοχή : υπολόγισε

Αντοχή σχεδιασμού του υλικού : $f_u = 1030,00$ [MPa]

Αντίσταση εξόλκευσης (έδαφος) : υπολόγισε απο ενεργή τάση

Διάμετρος ρίζας : $d = 300,0$ [mm]

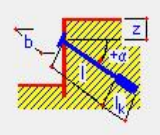
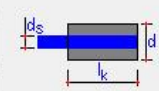
Αντίσταση εξόλκευσης (εμπόση) : υπολόγισε απο αντοχή σκυροδέματος

Πρότυπο για κατασκευές από σκυρόδεμα : EN 1992-1-1 (EC2)

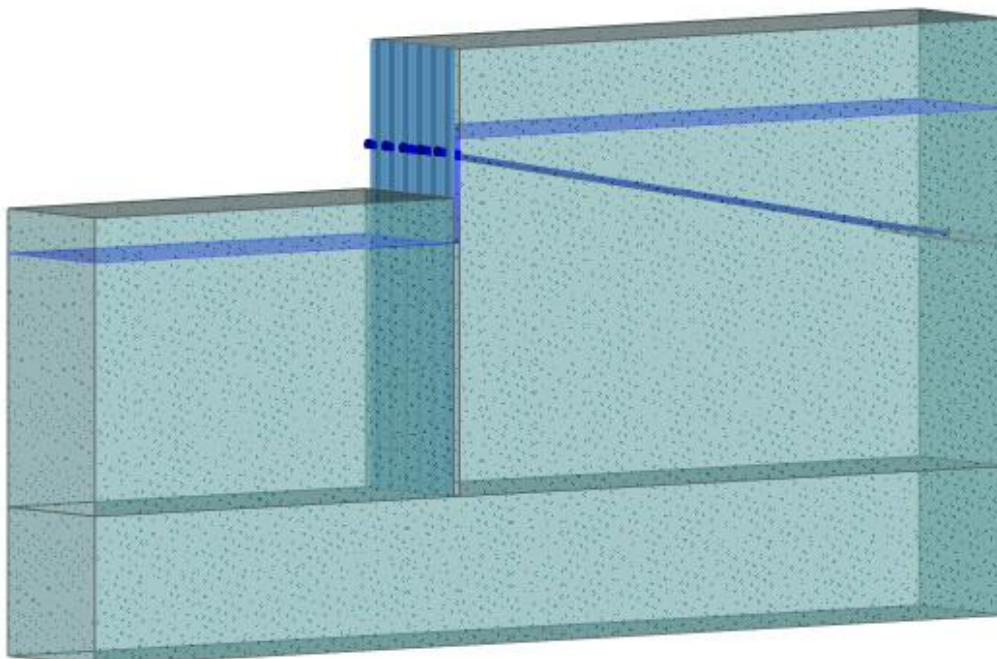
Αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη : $f_{ck} = 25,00$ [MPa]

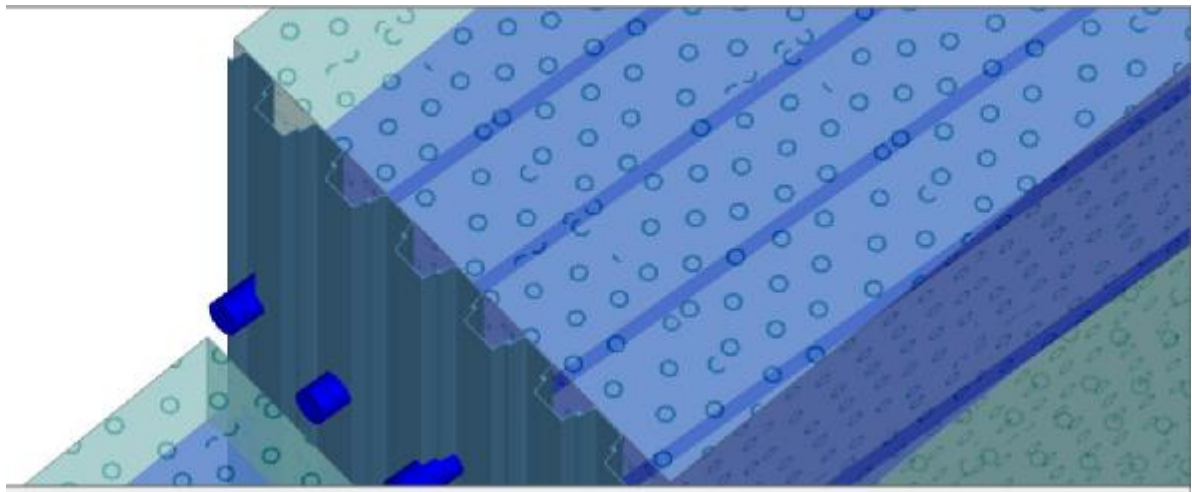
Συντελεστής συνεκτικότητας : $\eta_1 = 0,70$ [-]

OK+

§ Μετά τον καθορισμό όλων των παραμέτρων προκύπτει η εξής κατασκευή:





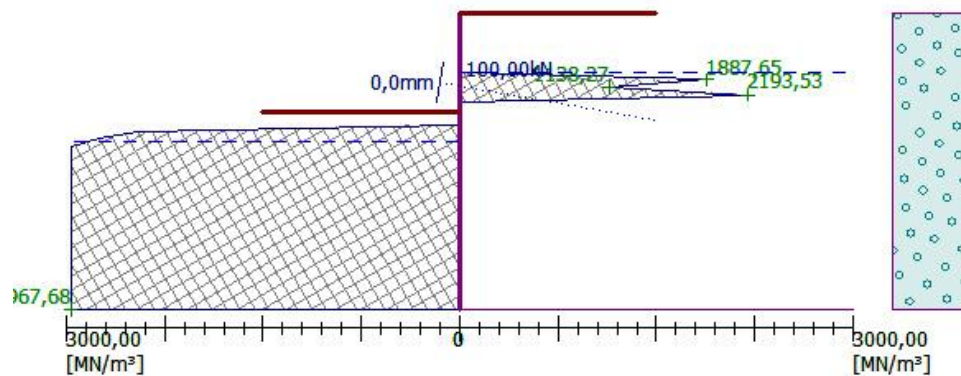
4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

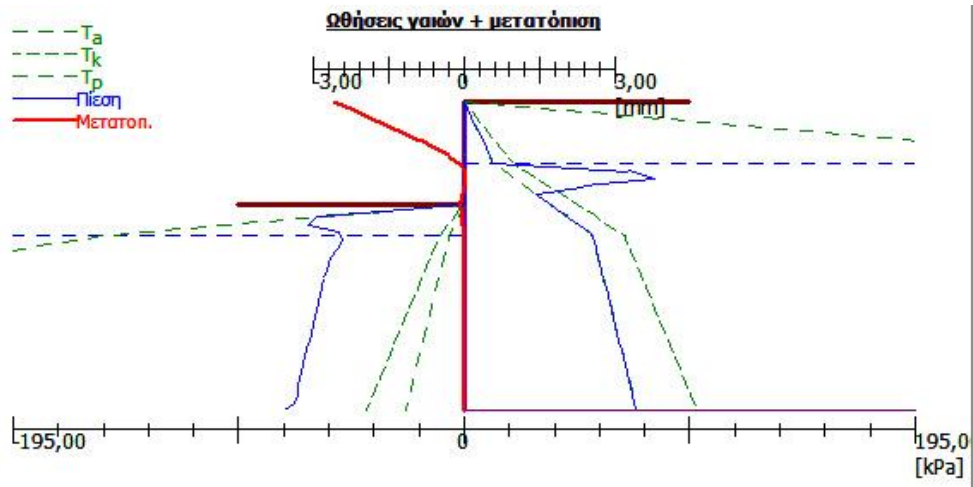
Τα αποτελέσματα του προγράμματος παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Αποτελέσματα			
Η ανάλυση έχει ολοκληρωθεί κανονικά			
Μέγιστες τιμές των εσωτερικών δυνάμεων που ενεργούν στην φέρουσα κατασκευή			
Μέγιστη διατμητική δύναμη = 71,41 kN/m			
Μέγιστη ροπή = 26,87 kNm/m			
Μέγιστη μετατόπιση = 2,6 mm			
Δυνάμεις αγκυρίων			
No.	Βάθος [m]	Μετατόπιση [mm]	Δύναμη αγκυρίου [kN]
1	3,50	0,0	100,00

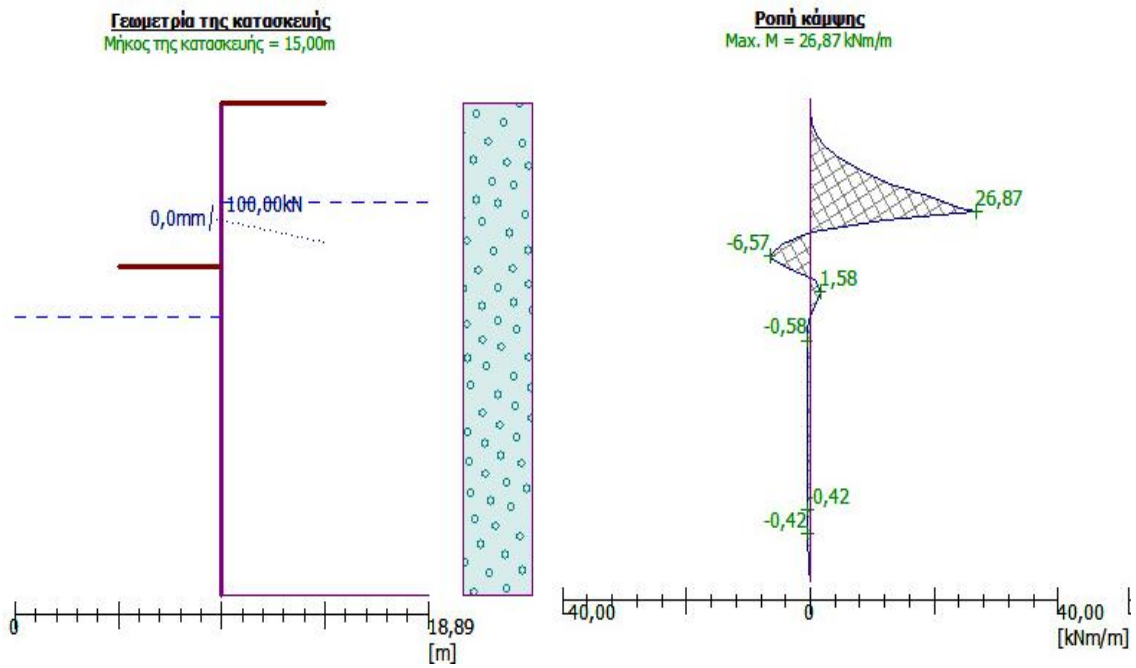
Μέτρο αντίδρασης υπεδάφους

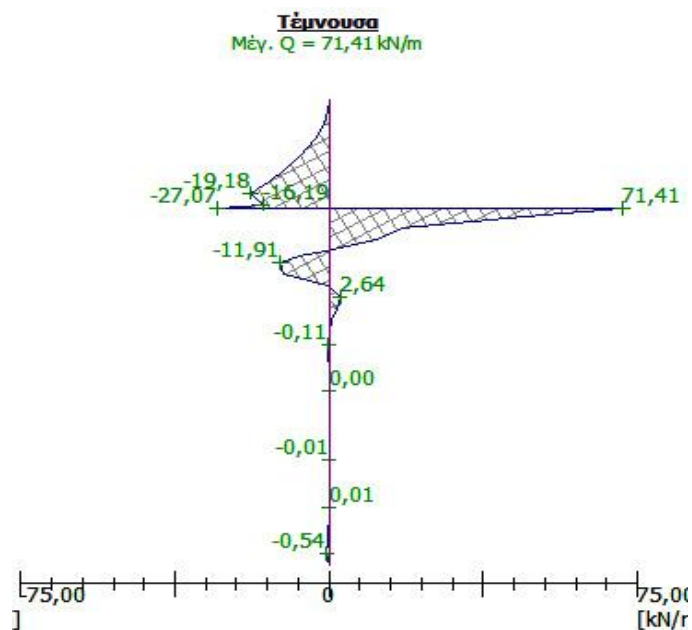
Μήκος της κατασκευής = 15,00m





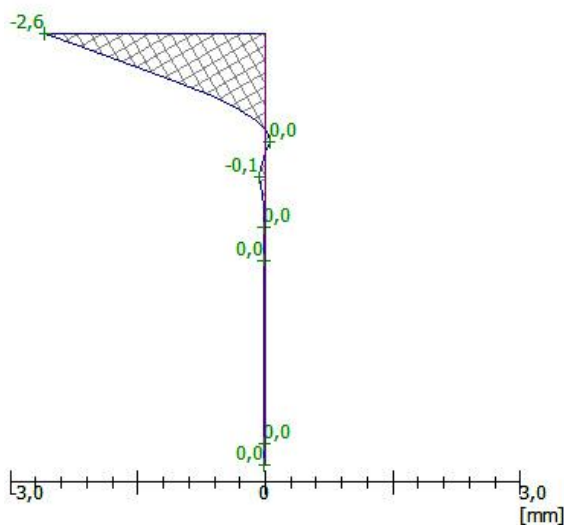
ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ



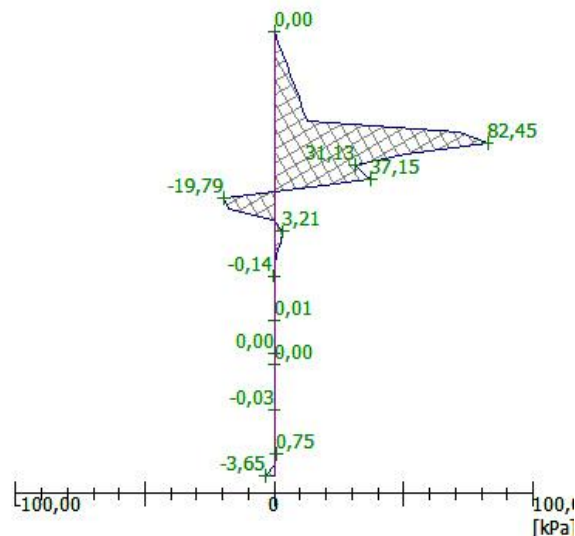


ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΑΣΚΟΥΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ

Μετατόπιση της κατασκευής
Μέγ. μετατοπ. = 2,6 mm



Πίεση ασκούμενη στην κατασκευή
Μέγ. πίεση = 82,45 kPa



ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ

Εσωτερική ευστάθεια συστήματος αγκυρίων - επιμέρους αποτελέσματα

$E_A = 83,87 \text{ kN/m}$

$\delta = 0,00^\circ$

Βάθος θεωρητικού πεδίου κάτω από τον πυθμένα του σκάματος $H_0 = 1,80 \text{ m}$

Σειρά από αγκύρια	E_{A1} [kN/m]	δ_1 [°]	G [kN/m]	C [kN/m]	θ [°]	Συμπεριλαμβανόμενο σειρές αγκυρίων	Q [kN/m]	F [kN/m]	F_{KMAX} [kN]
1	95,24	0,00	2332,57	0,00	-1,38		2737,51	1879,82	1879,82

Έλεγχος εσωτερικής ευστάθειας συστήματος αγκυρίων

No.	Δύναμη αγκυρίων [kN]	Μέγ. επιτρεπ. δύναμη στο αγκύριο [kN]	Συντελεστής ασφαλείας
1	100,00	1879,82	18,80

Αποφασιστική σειρά αγκυρίων : 1

Απαιτούμενος συντελεστής ασφαλ. $FS = 1,50 < 18,80 = FS_{ελάχισ}$.

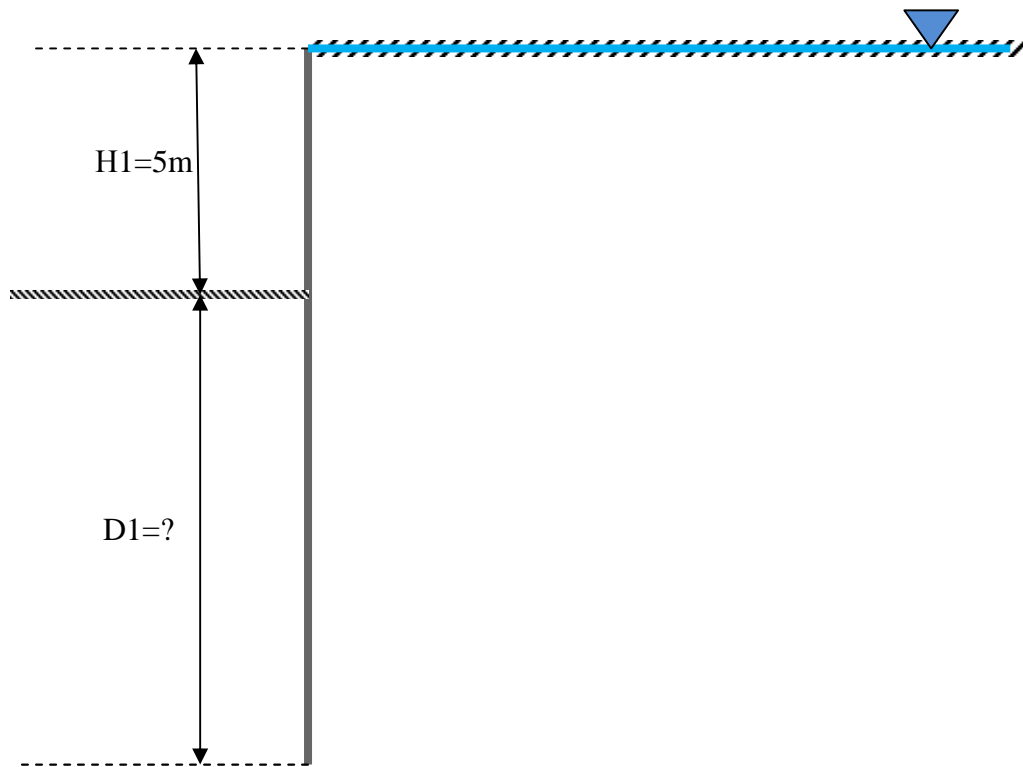
Συνολική επαλήθευση εσωτερικής ευστάθειας είναι ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΟ

5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ.

Για να μπορέσουμε να κατασκευάσουμε το πρόγραμμα θα χρησιμοποιήσουμε τη γλώσσα προγραμματισμού FORTAN Force 2.0. Είναι γλώσσα υψηλού επιπέδου και εύχρηστη σε επιστημονικές και εμπορικές εφαρμογές.

5.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑ ΧΩΡΙΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΥΔΡ. ΟΡΙΖΟΝΤΑ

Αρχικά , θα πρέπει να ορίσουμε τιμές ώστε να κατασκευαστεί η άσκηση την οποία θα προσαρμόσουμε στο πρόγραμμα. Θα θέσουμε $X=30^\circ$ (συνολή εδάφους) , $G=2 \text{ tn/m}^3$ και $GW= 1 \text{ tn/m}^3$ τα ειδικά βάρη του εδάφους και του νερού αντίστοιχα. $H1=5\text{m}$ $D1=0.1\text{m}$ και $DD=0.01\text{m}$ (βήμα) και $FMIN=1.5$ (συντελεστής ασφάλειας) όπως ορίζουν οι προδιαγραφές.



Τομή διάταξης πασσαλοσανίδας χωρίς αγκύρωση παρουσία νερού.

```

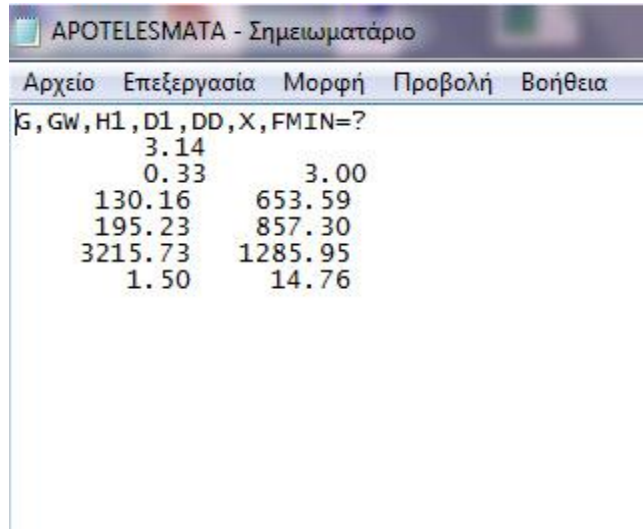
1      REAL PI,X,KA,KP,MA,MP,MW
2      OPEN (6,FILE='APOTELESMATA.TXT')
3      WRITE (*,5)
4 5    FORMAT ("G,GW,H1,D1,DD,X,FMIN=?")
5      READ (*,*) G,GW,H1,D1,DD,X,FMIN
6      PI=3.14159
7 6    WRITE (*,7) PI
8 7    FORMAT (2X,2F10.2)
9      X=X*PI/180
10     KA=(1-SIN(X))/(1+SIN(X))
11     KP=(1+SIN(X))/(1-SIN(X))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

```

Ανάλυση προγράμματος:

Στην 1η γραμμή του προγράμματος θεωρούμε σταθερές τις τιμές PI (π), X, KA, KP, MA, MP, MW. Ανοίγουμε ένα έγγραφο με το όνομα APOTELESMATA όπου θα καταχωρηθούν τα αποτελέσματα του προγράμματος. Στις δύο επόμενες γραμμές εκτυπώνεται η γραμμή που περιέχει τον αριθμό 5 μπροστά. Έπειτα καθορίζεται η τιμή του π και εμφανίζεται με όσα δεκαδικά ορίζει η γραμμή 8. Στην συνέχεια, μετατρέπονται τα ακτίνια σε μοίρες και με τις γνωστές εξισώσεις υπολογίζονται τα εξής: KA, KP, PA, PP, PW, MA, MP, MW καθώς και ο συντελεστής F (Δυνάμεις αδράνειας/Δυνάμεις ανατροπής). Σαν τελευταίο βήμα του προγράμματος έχουμε τον έλεγχο για τον συντελεστή ασφάλειας (γραμμή 21). Εάν ο συντελεστής είναι μεγαλύτερος από την ελάχιστη τιμή του (1,5) το πρόγραμμα τερματίζεται και εμφανίζονται τα αποτελέσματα (γραμμή 28), αλλιώς το D1 αυξάνεται κατά DD (γραμμή 25) έως ότου ο συντελεστής γίνει ίσος ή μεγαλύτερος από 1,5 όπου και πάλι θα εμφανιστούν τα αποτελέσματα στο αρχείο APOTELESMATA. Αφού ολοκληρωθεί η κατασκευή του προγράμματος 'τρέχουμε' το πρόγραμμα και αφού ολοκληρωθεί ο έλεγχος για τυχόν λάθη μας, εισάγουμε τα δεδομένα με την σειρά που τα έχουμε πληκτρολογήσει στην γραμμή 4 ή 5 δηλαδή 2,1,5,0.1,0.01,30 και 1.5.

5.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



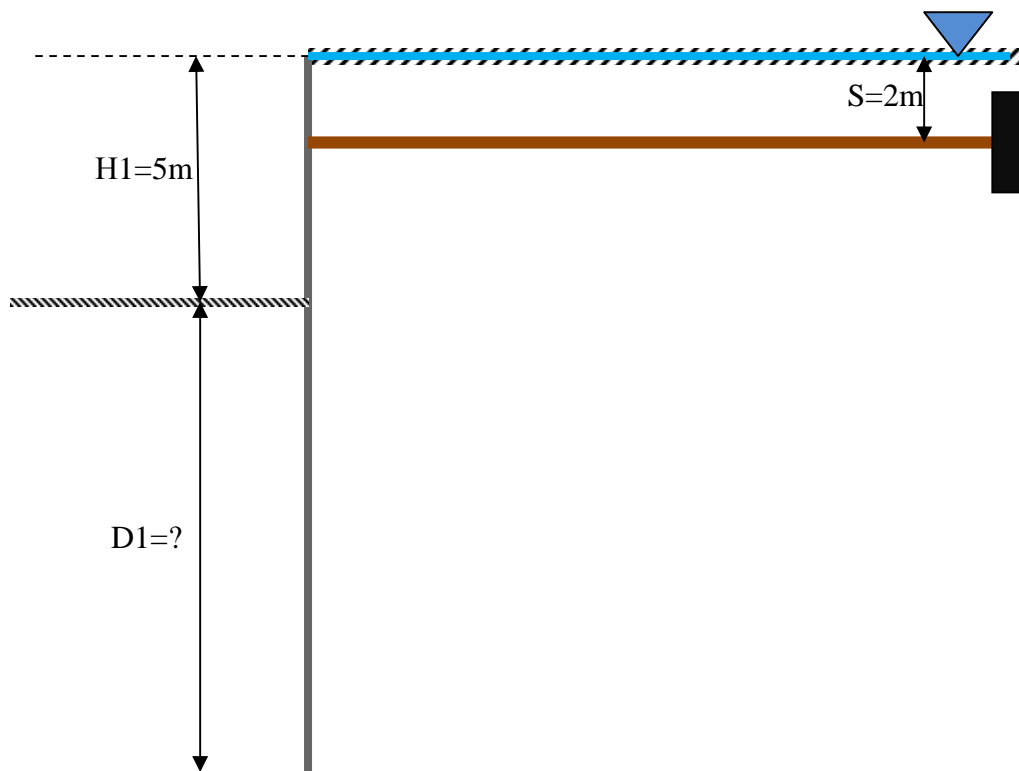
The screenshot shows a software window titled "ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - Σημειωματάριο" (RESULTS - Notepad). The window has a menu bar with "Αρχείο", "Επεξεργασία", "Μορφή", "Προβολή", and "Βοήθεια". Below the menu bar, the text "G, GW, H1, D1, DD, X, FMIN=?" is displayed. The main content area contains a table of numerical results:

G	GW	H1	D1	DD	X	FMIN
			3.14			
		0.33				3.00
	130.16					653.59
	195.23					857.30
	3215.73					1285.95
		1.50				14.76

Στα αποτελέσματα συμπεριλαμβάνονται η τιμή του π καθώς και των συντελεστών KA και KP. Επίσης, οι τιμές των δυνάμεων ώθησης και οι ροπές αυτών όπως έχουμε επιλέξει να εκτυπωθούν. Σύμφωνα με το πρόγραμμα το βάθος έμπηξης της πασσαλοσανίδας (D1) θα λάβει την τιμή 14,76m.

5.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΑ ΜΕ ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΥΔΡ. ΟΡΙΖΟΝΤΑ

Για την κατασκευή του προγράμματος για αγκυρωμένη πασσαλοσανίδα θα θεωρήσουμε τα ίδια δεδομένα με το προηγούμενο πρόγραμμα. Δηλαδή, $X=30^\circ$, $G=2\text{tn/m}^3$, $GW=1\text{tn/m}^3$, $H1=5\text{m}$, $D1=0.1\text{m}$, $DD=0.01$ (βήμα), $FMIN=1.5$. Εφόσον, θα αναφερθούμε σε αγκυρωμένη πασσαλοσανίδα θα πρέπει να ορίσουμε και την απόσταση της αγκύρωσης από την γραμμή του εδάφους δηλαδή $S=2\text{m}$.



Τομή διάταξης αγκυρωμένης πασσαλοσανίδας παρουσία νερού.

```

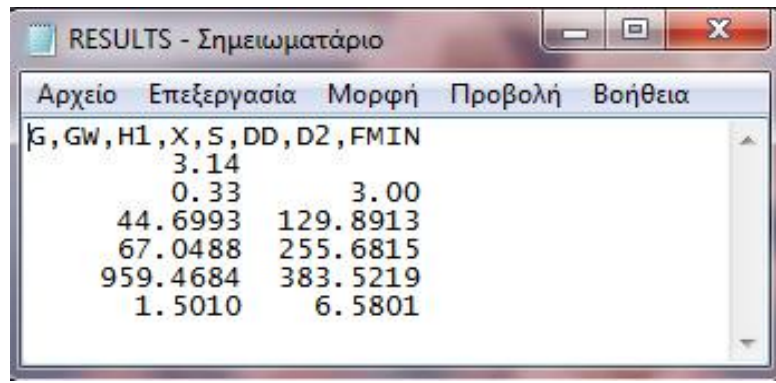
1      REAL PI, X, KA, KP, MA, MP, MW
2      OPEN (6, FILE='RESULTS.TXT')
3      WRITE (*, 5)
4 5     FORMAT ("G, GW, H1, X, S, DD, D2, FMIN")
5      READ (*, *) G, GW, H1, X, S, DD, D2, FMIN
6      PI=3.14159
7 6     WRITE (*, 7) PI
8 7     FORMAT (2X, 2F10.2)
9      X=X*PI/180
10     KA=(1-SIN(X))/(1+SIN(X))
11     KP=(1+SIN(X))/(1-SIN(X))
12 8     WRITE (*, 9) KA, KP
13 9     FORMAT (2X, 2F10.2)
14 15    PA=1./2.*G*KA*(H1+D2)**2
15     PP=1./2.*G*KP*D2**2
16     PW=1./2.*GW*(H1+D2)**2
17     MA=PA*((2./3.)*(H1+D2)-S)
18     MP=PP*((H1+(2./3.)*D2)-S)
19     MW=PW*((2./3.)*(H1+D2)-S)
20     F=MP/(MA+MW)
21     IF (F.GT.FMIN) THEN
22         GOTO 30
23     END IF
24     IF (F.LT.FMIN) THEN
25         D2=D2+DD
26         GOTO 15
27     END IF
28 30    WRITE (*, 20) PA, PP, PW, MA, MP, MW, F, D2
29 20    FORMAT (2X, 2F10.4)
30     STOP
31     END |
32

```

Ανάλυση προγράμματος:

Στην 1η γραμμή του προγράμματος θεωρούμε σταθερές τις τιμές PI (π), X, KA, KP, MA, MP, MW. Ανοίγουμε ένα έγγραφο με το όνομα RESULTS όπου θα καταχωρηθούν τα αποτελέσματα του προγράμματος. Στις δύο επόμενες γραμμές εκτυπώνεται η γραμμή που περιέχει τον αριθμό 5 μπροστά. Έπειτα καθορίζεται η τιμή του π και εμφανίζεται με όσα δεκαδικά ορίζει η γραμμή 8. Στην συνέχεια, μετατρέπονται τα ακτίνια σε μοίρες και με τις γνωστές εξισώσεις υπολογίζονται τα εξής: KA, KP, PA, PP, PW, MA, MP, MW καθώς και ο συντελεστής F (Δυνάμεις αδράνειας/Δυνάμεις ανατροπής). Σαν τελευταίο βήμα του προγράμματος έχουμε τον έλεγχο για τον συντελεστή ασφάλειας (γραμμή 21). Εάν ο συντελεστής είναι μεγαλύτερος από την ελάχιστη τιμή του (1,5) το πρόγραμμα τερματίζεται και εμφανίζονται τα αποτελέσματα (γραμμή 28) με όσα δεκαδικά ορίζει η γραμμή 29, αλλιώς το D2 αυξάνεται κατά DD (γραμμή 25) έως ότου ο συντελεστής γίνει ίσος ή μεγαλύτερος από 1,5 όπου και πάλι θα εμφανιστούν τα αποτελέσματα στο αρχείο RESULTS. Αφού ολοκληρωθεί η κατασκευή του προγράμματος, 'τρέχουμε' το πρόγραμμα και αφού ολοκληρωθεί ο έλεγχος για τυχόν λάθη, γίνεται εισαγωγή των δεδομένων με τη σειρά που τα έχουμε πληκτρολογήσει στην γραμμή 4 και 5, δηλαδή 2,1,5,30,2,0.01,0.1 και 1.5.

5.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



The screenshot shows a window titled "RESULTS - Σημειωματάριο" with a menu bar containing "Αρχείο", "Επεξεργασία", "Μορφή", "Προβολή", and "Βοήθεια". The main area displays a table of results with the following data:

Γ	GW	H1	X	S	DD	D2	FMIN
							3.14
							0.33
							3.00
							44.6993
							129.8913
							67.0488
							255.6815
							959.4684
							383.5219
							1.5010
							6.5801

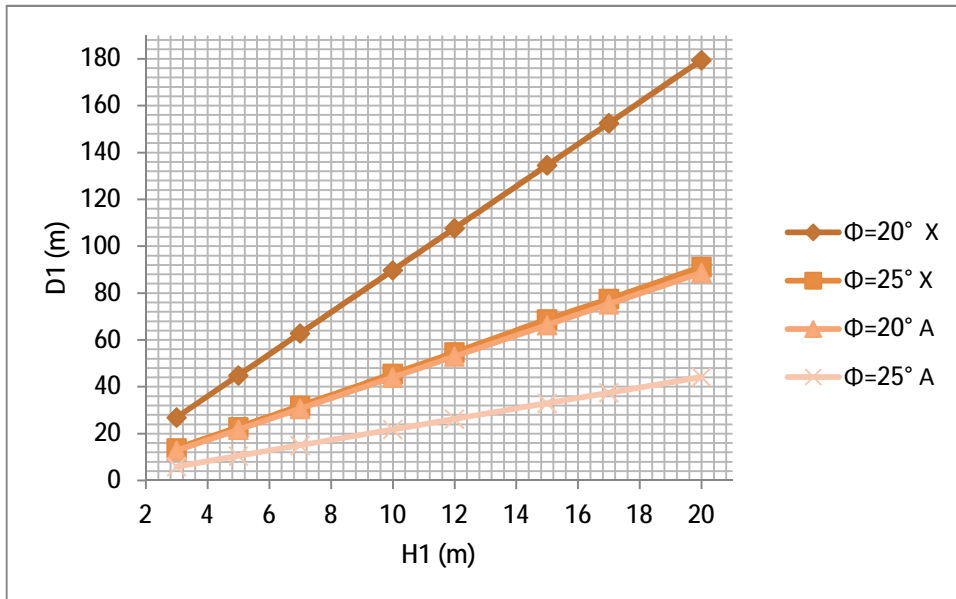
Στα αποτελέσματα συμπεριλαμβάνονται η τιμή του π καθώς και των συντελεστών KA και KP. Επίσης, οι τιμές των δυνάμεων ώθησης και οι ροπές αυτών όπως έχουμε επιλέξει να εκτυπωθούν. Σύμφωνα με το πρόγραμμα το βάθος έμπηξης της πασσαλοσανίδας (D2) θα λάβει την τιμή 6,58m.

5.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

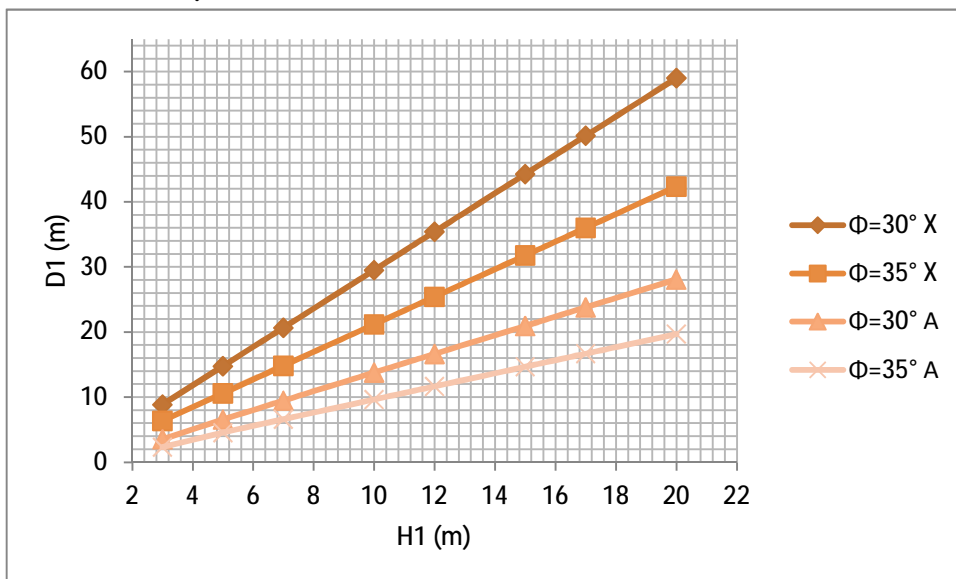
▼ Διαγράμματα H1-D1 για πασσαλοσανίδα ΜΕ και ΧΩΡΙΣ αγκύρωση για γωνία εσωτερικής τριβής (Φ) 20°, 25°, 30°, 35°, 40° και 45°.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η μεταβολή του βάθους έμπηξης (D1) σε συνάρτηση του βάθους εκσκαφής (H1) για διάφορες γωνίες εσωτερικής τριβής και γίνεται σύγκριση για πασσαλοσανίδα με αγκύρωση (A) και χωρίς αγκύρωση (X).

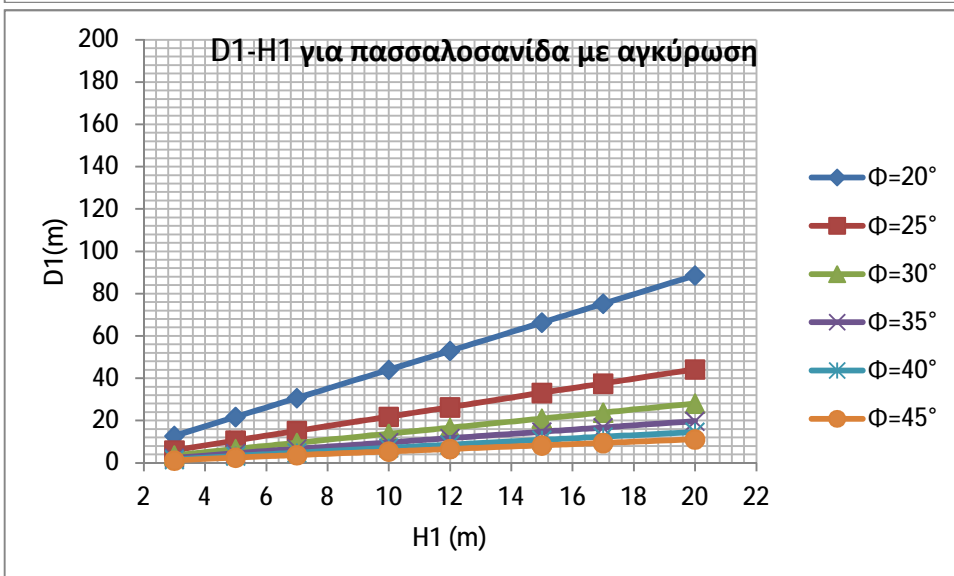
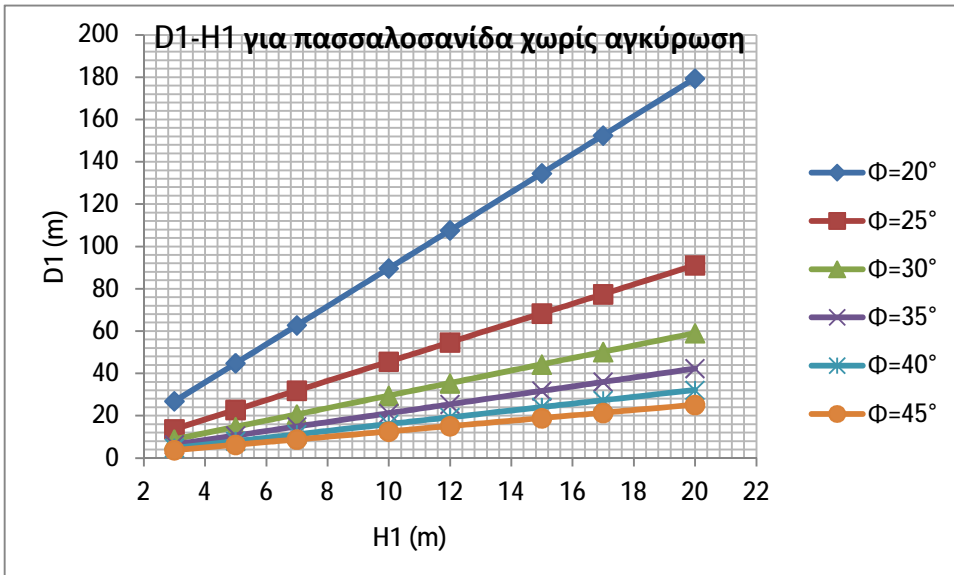
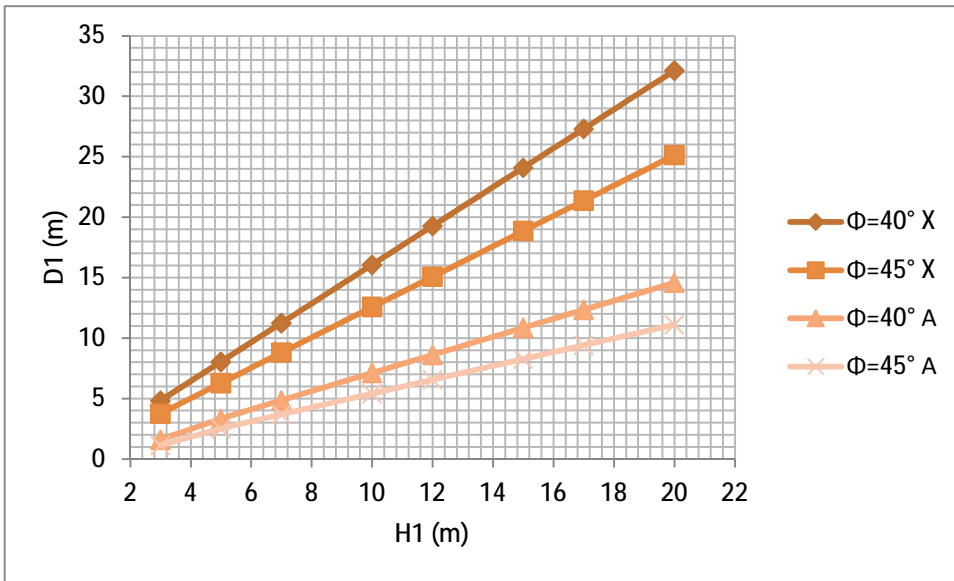
• **H1-D1 για $\Phi=20^\circ$ και $\Phi=25^\circ$**



• **H1-D1 για $\Phi=30^\circ$ και $\Phi=35^\circ$**



H1-D1 για $\Phi=40^\circ$ και $\Phi=45^\circ$



✓ Τιμές για πασσαλοσανίδα χωρίς αγκύρωση.

H1	D1(20°)	D1(25°)	D1(30°)	D1(35°)	D1(40°)	D1(45°)
3	26.92	13.68	8.86	6.36	4.82	3.76
5	44.86	22.79	14.76	10.59	8.03	6.29
7	62.81	31.9	20.66	14.83	11.24	8.81
10	89.72	45.58	29.51	21.18	16.06	12.58
12	107.65	54.69	35.42	25.42	19.27	15.09
15	134.58	68.37	44.27	31.77	24.09	18.87
17	152.52	77.48	50.17	36.01	27.3	21.38
20	179.43	91.15	59.03	42.36	32.12	25.15

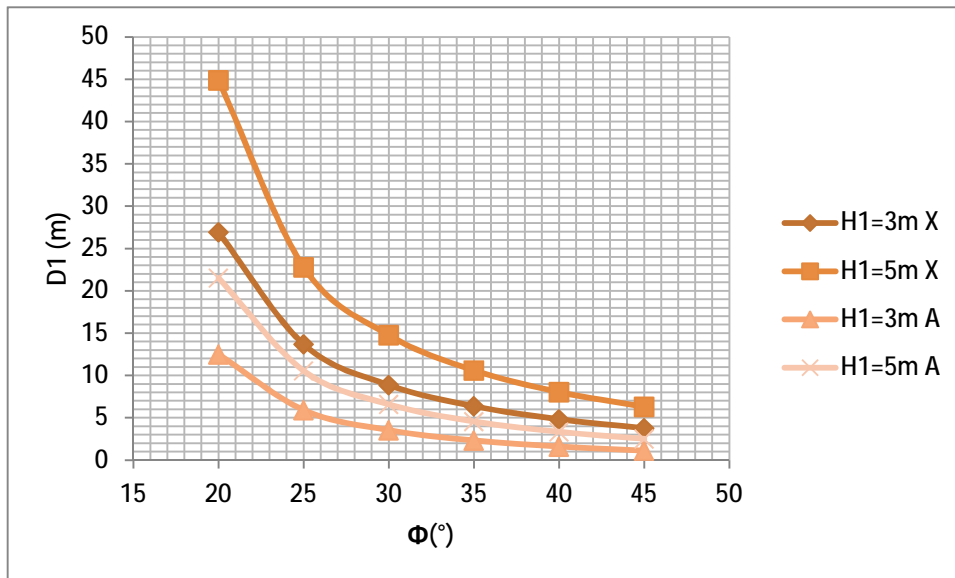
✓ Τιμές για πασσαλοσανίδα με αγκύρωση.

H1	D1(20°)	D1(25°)	D1(30°)	D1(35°)	D1(40°)	D1(45°)
3	12.76	5.91	3.54	2.33	1.6	1.12
5	21.73	10.54	6.58	4.55	3.32	2.5
7	30.66	15.06	9.48	6.61	4.86	3.69
10	44.04	21.80	13.79	9.65	7.12	5.41
12	52.97	26.29	16.65	11.66	8.62	6.56
15	66.35	33.01	20.94	14.68	10.86	8.27
17	75.27	37.48	23.79	16.69	12.35	9.41
20	88.65	44.20	28.08	19.71	14.58	11.11

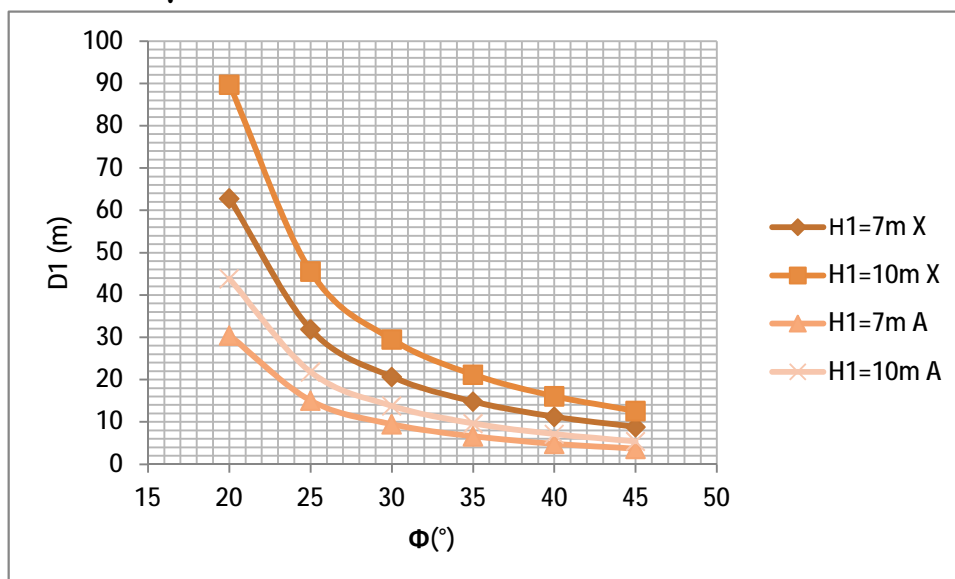
▼ Διαγράμματα D1-Φ για πασσαλοσανίδα ΜΕ και ΧΩΡΙΣ αγκύρωση για βάθος εκσκαφής (H1) 3m , 5m , 7m , 10m , 12m , 15m , 17m και 20m.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η μεταβολή του βάθους έμπηξης (D1) σε συνάρτηση με τη γωνία εσωτερικής τριβής (Φ) για συγκεκριμένα βάθη εκσκαφής της πασσαλοσανίδας με και χωρίς αγκύρωση (Α και Χ αντίστοιχα).

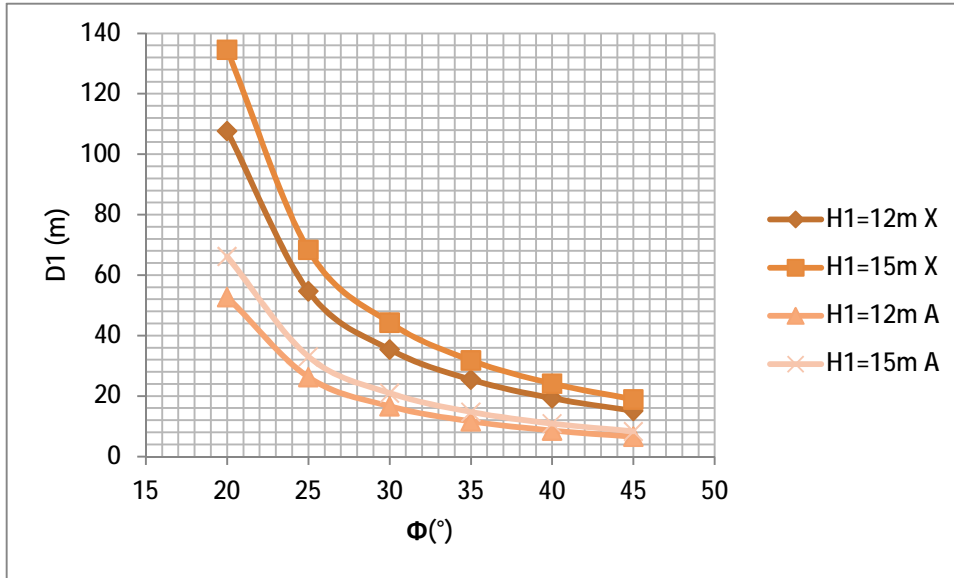
• **D1-Φ για H1=3m και H1=5m**



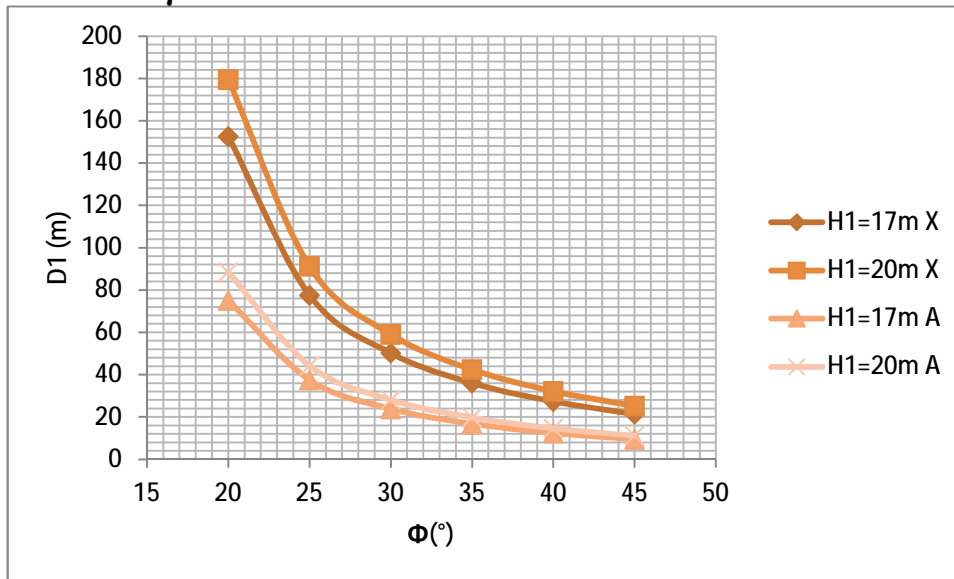
• **D1-Φ για H1=7m και H1=10m**



• **D1-Φ για H1=12m και H1=15m**



• **D1-Φ για H1=17m και H1=20m**



▼ Τιμές για πασσαλοσανίδα χωρίς αγκύρωση

Φ°	D1(3m)	D1(5 m)	D1(7 m)	D1(10 m)	D1(12m)	D1(15 m)	D1(17 m)	D1(20 m)
20	26.92	44.86	62.81	89.72	107.65	134.58	152.52	179.43
25	13.68	22.79	31.9	45.58	54.69	68.37	77.48	91.15
30	8.86	14.76	20.66	29.51	35.42	44.27	50.17	59.03
35	6.36	10.59	14.83	21.18	25.42	31.77	36.01	42.36
40	4.82	8.03	11.24	16.06	19.27	24.09	27.3	32.12
45	3.76	6.29	8.81	12.58	15.09	18.87	21.38	25.15

▼ Τιμές για πασσαλοσανίδα με αγκύρωση

Φ°	D1(3m)	D1(5 m)	D1(7 m)	D1(10 m)	D1(12 m)	D1(15 m)	D1(17 m)	D1(20 m)
20	12.5	21.51	30.46	43.85	52.78	66.16	75.08	88.47
25	5.91	10.54	15.06	21.80	26.29	33.01	37.48	44.20
30	3.54	6.58	9.48	13.79	16.65	20.94	23.79	28.08
35	2.33	4.55	6.61	9.65	11.66	14.68	16.69	19.71
40	1.6	3.32	4.86	7.12	8.62	10.86	12.35	14.58
45	1.12	2.5	3.69	5.41	6.56	8.27	9.41	11.11

5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ü Στα πρώτα διαγράμματα παρουσιάζεται τη μεταβολή του βάθους έμπτυξης σε συνάρτηση με το βάθος εκσκαφής για διάφορες τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής για πασσαλοσανίδα με και χωρίς αγκύρωση. Ως εκ τούτου, στο διάγραμμα φαίνεται ότι όσο αυξάνεται το βάθος εκσκαφής τόσο αυξάνεται και το βάθος έμπτυξης, δηλαδή τα μεγέθη είναι ανάλογα. Για την ίδια γωνία εσωτερικής τριβής και για το ίδιο βάθος εκσκαφής, το βάθος έμπτυξης στην περίπτωση της αγκυρωμένης πασσαλοσανίδας, είναι περίπου 45% μικρότερο σε σχέση με αυτό που προκύπτει για την πασσαλοσανίδα χωρίς αγκύρωση. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί σε μια οικονομικότερη κατασκευή που όπως είδαμε παραπάνω αποτελεί σημαντικό παράγοντα σε οποιοδήποτε έργο πολιτικού μηχανικού. Επίσης, όσο μεγαλώνει το βάθος εκσκαφής αυξάνεται με γρηγορότερο ρυθμό το βάθος έμπτυξης. Δηλαδή, η ευνοϊκή επίδραση της αγκύρωσης είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται το βάθος εκσκαφής.

Ü Κάτι ανάλογο παρατηρούμε και στα διαγράμματα μεταβολής του βάθους έμπτυξης σε συνάρτηση με τη γωνία εσωτερικής τριβής. Σε αυτή την περίπτωση, το βάθος έμπτυξης μειώνεται όσο η γωνία εσωτερικής τριβής αυξάνεται, κάτι που ήταν αναμενόμενο αφού όσο αυξάνεται η γωνία εσωτερικής τριβής τόσο αυξάνεται και η αντοχή του εδάφους επομένως έχουμε λιγότερες απαιτήσεις έμπτυξης της πασσαλοσανίδας. Για το ίδιο βάθος εκσκαφής και ίδια γωνία εσωτερικής τριβής, το βάθος στον αγκυρωμένο πασσαλότοιχο είναι 45% μικρότερο σε σχέση με το αντίστοιχο βάθος στην περίπτωση του μη-αγκυρωμένου τοίχου. Επίσης, παρατηρείται ότι για κάθε βάθος εκσκαφής και για γωνίες Φ μικρότερες των 25° τα βάθη έμπτυξης, ιδίως χωρίς αγκύρωση, αυξάνονται δραστικά. Παρατηρείται επίσης ότι για κάθε βάθος εκσκαφής και όταν η γωνία Φ αυξάνεται, η διαφορά του μήκους έμπτυξης μειώνεται.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Σημειώσεις Εδαφομηχανικής Δρ. Ειρήνη Βγενοπούλου
- Εδαφομηχανική, ασκήσεις και προβλήματα, Γ. Γραμματικόπουλος, Ν. Μάνου, Θ. Χατζηγώγος, Εκδ. οίκος Αδερφών Κυριακίδη α.ε.
- Ελληνική Δημοκρατία ΥΠΕΧΩΔΕ, ΠΕΤΕΠ 11-02-01-00, «Τοίχοι αντιστηρίξεως τύπου Βερολίνου».
- Ελληνική Δημοκρατία ΥΠΕΧΩΔΕ, ΠΕΤΕΠ 11-02-02-00, «Τοίχοι αντιστηρίξεως από μεταλλικές πασσαλοσανίδες».
- Χαράλαμπος Ζερβογιάννης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, «Έργα Αντιστήριξης».
- Κίρτας Εμμανουήλ, «Φέρουσα ικανότητα επιφανειακών θεμελιώσεων», Σέρρες, Σεπτέμβριος, 2010
- Κίρτας Εμμανουήλ, Θεμελιώσεις-Αντιστηρίξεις, Τ.Ε.Ι. Σερρών, Σεπτέμβριος 2010
- Μ. Καββαδάς, Καθηγητής ΕΜΠ, Σεπτέμβριος 2006, «Στοιχεία Εδαφομηχανικής».
- Ελληνική Δημοκρατία ΥΠΕΧΩΔΕ, ΠΕΤΕΠ 12-03-03-00, «Αγκύρια- Γενικές διατάξεις».
- Ελληνική Δημοκρατία ΥΠΕΧΩΔΕ, ΠΕΤΕΠ 15-03-02-00, Εξογκύσεις πασσάλων και πασσαλοσανίδων».
- Ιωάννα Δακανάλη, «Αριθμητική προσομοίωση συστήματος αντιστήριξης σε βαθιά εκσκαφή », Ιούνιος 2013.
- ΕΞ.Τ.ΕΡ. Αφοί ΠΕΠΟΝΑ Ο.Ε. Εξοπλισμοί τεχνικών έργων.
- Ηλιοπούλου-Μπαμπίλη «Παραμετρική μελέτη πασσαλοσανίδων με ή χωρίς αγκύρωση», Πάτρα 2016.
- Νικολέτα Κωνσταντινίδου, «Ανάλυση συστήματος αντιστήριξη ορύγματος εκσκαφής κατά τη θεμελίωση της επέκτασης της κλινικής Γαβριλάκη στην πόλη των Χανίων», Χανιά, Ιούνιος 2004.
- Εδαφομηχανική, Αρχές και εφαρμογές, Φ. Καραντώνη, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Δεύτερη Αγγλική έκδοση.
- <https://www.facebook.com/CivilEngDis/>.