

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΛΑΡΙΣΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΡΓΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Αντιστηρίξεις σε ορύγματα αποχετεύσεων»**

**Ζωγράφος Χρήστος  
Πολιτικός Μηχανικός Τ.Ε.**

**ΛΑΡΙΣΑ, 2019**

**UNIVERSITY OF THESSALY  
DEPARTMENT OF APPLIED SCIENCES (LARISSA)**

**POSTGRADUATE STUDIES PROGRAM  
“ADVANCED ENVIRONMENTAL MANAGEMENT  
TECHNOLOGIES IN ENGINEERING WORKS”**

**POSTGRADUATE MASTER’S THESIS**

**«Shoring in sewerage trenches»**

**Zografos Christos  
Civil Engineer T.E.**

**LARISSA, 2019**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

- 1. Αλαμανής Νικόλαος,** Επίκουρος Καθηγητής, Προχωρημένη Γεωτεχνική-Προσομοιώσεις, Γενικό Τμήμα Λάρισας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων.***
- 2. Χουλιάρας Ιωάννης,** Καθηγητής, Περιβαλλοντική Γεωτεχνική, Γενικό Τμήμα Λάρισας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος.***
- 3. Παπαγεωργίου Γρηγόριος,** Επίκουρος Καθηγητής, Εναρμόνιση Οδικών Υποδομών στο Περιβάλλον, Γενικό Τμήμα Λάρισας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος.***

*Θα ήθελα να αφιερώσω την όλη μου προσπάθεια  
στο γιο μου Βασίλη*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Αλαμανή Νικόλαο για την πολύτιμη βοήθειά του, την εποικοδομητική καθοδήγηση και τη διαρκή υποστήριξή του.

Τον Καθηγητή κ. Ιωάννη Χουλιάρα, για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και για την άριστη συνεργασία μας.

Τον Καθηγητή κ. Γρηγόρη Παπαγεωργίου, για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και στην αξιολόγηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το σύνολο των καθηγητών και των συμφοιτητών του Π.Μ.Σ «Σύγχρονες Τεχνολογίες Έργων Διαχείρισης Περιβάλλοντος» για την άριστη συνεργασία μας, την ευχάριστη και εποικοδομητική χρονιά.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου και ιδιαίτερα στην συζυγό μου Κλειώ για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Αποχετευτικό δίκτυο κατά τον Μινωικό πολιτισμό, <a href="http://slideplayer.gr">slideplayer.gr</a> .....	14
Εικόνα 2: Υψομετρική διάταξη αγωγών, ομβρίων και ακαθάρτων, δικτύου αποχέτευσης, .....	16
Εικόνα 3: Σχηματική παράσταση κατάπτωσης πρανούς-εγκλωβισμός εργαζομένου.....	21
Εικόνα 4: Απουσία αντιστηρίξεων-θανάσιμοι τραυματισμοί .....	22
Εικόνα 5: Κατάπτωση πρανούς σε όρυγμα αποχέτευσης, .....	33
Εικόνα 6: Προστασία εργαζομένου εντός αντιστήριξης, .....	33
Εικόνα 7: Κινηματική απεικόνιση αλληλεπίδρασης και.....	36
Εικόνα 8: Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα διαφράγματα, <a href="http://krings.com/en">krings.com/en</a> .....	37
Εικόνα 9: Αντιστηρίξεις ξύλινων πασσαλοσανίδων .....	38
Εικόνα 10: Κατασκευή αγωγού αποχέτευσης με αντιστηρίξεις ξύλινων πασσαλοσανίδων, Λάρισα το 1968, (φωτ. Τάκης Γλούπας, αρχείο Δ.Ε.Υ.Α.Λ) .....	39
Εικόνα 11: Μηχάνημα έμπηξης πασσαλοσανίδων σε κατασκευή δικτύου αποχέτευσης.....	41
Εικόνα 12: Απεικόνιση έμπηξης πασσαλοσανίδων, εκσκαφής και απομάκρυνσης των πασσαλοσανίδων μετά το πέρας των εργασιών, <a href="http://krings.com/en">krings.com/en</a> .....	42
Εικόνα 13: Τύποι πασσαλοσανίδων διάφορων κατασκευαστικών εταιριών (FAD, 2003).....	43
Εικόνα 14: Τύποι συνδέσμων πασσαλοσανίδων, σχήματος Z.....	43
Εικόνα 15: Τύποι συνδέσμων μεταξύ πασσαλοσανίδων, σχήματος U (FAD, 2003).....	44
Εικόνα 16: Μεταλλικές πασσαλοσανίδες-πλαίσιο, <a href="http://krings.com/en">krings.com/en</a> .....	45
Εικόνα 17: Υδραυλική κρουστική σφύρα.....	46
Εικόνα 18: Τοποθέτηση προκατασκευασμένων διαφραγμάτων ( <a href="http://krings.com">krings.com</a> ).....	49
Εικόνα 19: Απομάκρυνση προκατασκευασμένων διαφραγμάτων ( <a href="http://krings.com">krings.com</a> ) .....	51
Εικόνα 20: Κακός υπολογισμός αφαίρεσης μονάδας αντιστήριξης-κατάπτωση πρανών,.....	51
Εικόνα 21: Μεταλλικές και ξύλινες αντηρίδες .....	53
Εικόνα 22: Τοποθέτηση αντηρίδων, (Τσόγκας, 1998).....	54
Εικόνα 23: Κατασκευή κεντρικού αποχετευτικού αγωγού με χρήση αντιστήριξης .....	55
Εικόνα 24: Τύπος αγκυρίου, <a href="http://elebor.com">elebor.com</a> .....	57
Εικόνα 25: Τομή αγκυρίου σε τοίχο αντιστήριξης (CFM, 1997).....	58
Εικόνα 26: Μορφές πακτωμένου τμήματος αγκυρίου (CTSM, 1996).....	59
Εικόνα 27: Πανέλα ελαφρού τύπου, <a href="http://sbh-shoring.com">sbh-shoring.com</a> .....	61
Εικόνα 28: Αντηρίδες ελαφρού τύπου .....	62
Εικόνα 29: Σύστημα Box, ελαφρού τύπου (αλουμινίου), <a href="http://sbh-shoring.com">sbh-shoring.com</a> .....	63
Εικόνα 30: Σύνδεση και ασφάλιση πανέλων αλουμινίου, <a href="http://sbh-shoring.com">sbh-shoring.com</a> .....	64
Εικόνα 31: Σύνδεση και ασφάλιση πανέλων αλουμινίου .....	65
Εικόνα 32: Γωνιακοί ορθοστάτες και αντηρίδες πανέλων αλουμινίου, <a href="http://sbh-shoring.com">sbh-shoring.com</a> .....	65

Εικόνα 33: Συναρμολόγηση πανέλων αλουμινίου .....	66
Εικόνα 34: Συναρμολόγηση πανέλων αλουμινίου .....	66
Εικόνα 35: Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box).....	67
Εικόνα 36: Αντηρίδα πανέλων (Box) ελαφρού / μέσου τύπου, sbh-shoring.com .....	69
Εικόνα 37: Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box),.....	70
Εικόνα 38: Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box) βαρέως τύπου, .....	73
Εικόνα 39: Αντηρίδες βαρέως τύπου, προφίλ αύξησης του ελεύθερου ύψους, sbh-shoring.com .....	75
Εικόνα 40: Λυόμενοι ατέρμονες αντηρίδων, sbh-shoring.com.....	76
Εικόνα 41: Πανέλα (Box) βαρέως τύπου II, sbh-shoring.com.....	76
Εικόνα 42: Πανέλα (Box) με ολισθαίνουσα αντηρίδα, sbh-shoring.com .....	78
Εικόνα 43: Κοχλίες, .....	79
Εικόνα 44: (Box) φρεατίων, sbh-shoring.com .....	80
Εικόνα 45: Αντηρίδα, sbh-shoring.com .....	82
Εικόνα 46: Μονοί οδηγοί, sbh-shoring.com .....	83
Εικόνα 47: Διπλοί οδηγοί, sbh-shoring.com .....	83
Εικόνα 48: Ολισθαίνουσες αντηρίδες, sbh-shoring.com.....	84
Εικόνα 49: Αστοχία-κατάρρευση αντιστήριξης.....	96
Εικόνα 50: Καταπτώσεις σε όρυγμα αποχέτευσης, Λάρισα 2013, .....	98
Εικόνα 51: Αστοχία - κατάρρευση αγκυρωμένων διαφραγμάτων και αντηρίδων, Κωνσταντινούπολη 2018, (hurrietarynews.com).....	98
Εικόνα 52: Αστοχία αντιστήριξης λόγω γενικότερης αστάθειας του συστήματος, απουσία έμπηξης, έλλειψη διπλού πρόσθετου πανέλου καθ' ύψος, με κατάπτωση πρανούς και εισροή νερού από βλάβη σε αγωγό ύδρευσης, Λάρισα 2014, αρχείο Δ.Ε.Υ.Α.Λ. ....	99
Εικόνα 53: Μηχανισμοί αστοχίας διαφράγματος (Κωστόπουλος, 1998) .....	100
Εικόνα 54: Αστοχία αντιστήριξης διαφράγματος, Κωνσταντινούπολη 2018, (hurrietarynews.com) .....	100
Εικόνα 55: Έλλειψη κατανόησης της χρονικής αλληλουχίας των κατασκευαστικών διαδικασιών, τοποθέτηση διπλού πάνελ, καθ' ύψος, χωρίς να προηγηθεί η έμπηξη οδηγού, webcafe.bg .....	101
Εικόνα 56: Δομική αστοχία διαφράγματος σε δίκτυο ομβρίων, nika-tc.com .....	102
Εικόνα 57: Αστοχία διαφράγματος, απεγκλωβισμός εργαζομένου, Η.Π.Α.....	102
Εικόνα 58: Αστοχία αντιστήριξης πασσαλοσανίδων,.....	103
Εικόνα 59: Αστοχία αντιστήριξης, λυγισμός πασσαλοσανίδων, .....	103

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Αναγκαιότητα αντιστηρίξεων.....	109
Σχήμα 2: Αποτελεσματικότητα αντιστηρίξεων σε ορύγματα αποχετεύσεων.....	110
Σχήμα 3: Εργασία χωρίς αντιστηρίξεις ή εκτός αντιστηρίξεων.....	111
Σχήμα 4: Απουσία αντιστηρίξεων σε σκάμματα αποχετεύσεων.....	111
Σχήμα 5: Επιλογή είδους αντιστηρίξεων.....	112

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων κατά WP/WLI, 1994 (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).....	31
Πίνακας 2: Ταχύτητες κίνησης κατολισθήσεων.....	32
Πίνακας 3: Τεχνολογίες διαφραγμάτων.....	37
Πίνακας 4: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αντιστήριξης με αγκύρια (Κωστόπουλος, 2008) .....	59
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά πανέλων 60mm.....	62
Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά πανέλων αλουμινίου.....	64
Πίνακας 7: Πανέλα (Box) ελαφρού / μέσου τύπου.....	68
Πίνακας 8: Αντηρίδα τύπου 1, πανέλων (Box) ελαφρού / μέσου τύπου.....	68
Πίνακας 9: Αντηρίδα τύπου 2, πανέλων (Box) ελαφρού / μέσου τύπου.....	69
Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά πανέλων (Box) μέσου τύπου 80mm.....	71
Πίνακας 11: Αντηρίδα τύπου 1.....	71
Πίνακας 12: Αντηρίδα τύπου 2.....	72
Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά (Box) βαρέως τύπου, με προφίλ αύξησης του ελεύθερου ύψους.....	74
Πίνακας 14: Χαρακτηριστικά αντηρίδων.....	74
Πίνακας 15: Χαρακτηριστικά πανέλων (Box) βαρέως τύπου II, 107mm.....	77
Πίνακας 16: Αντηρίδες πανέλων (Box) βαρέως τύπου II.....	77
Πίνακας 17: Χαρακτηριστικά πανέλων (Box) με ολισθαίνουσα αντηρίδα.....	79
Πίνακας 18: Αντηρίδες πανέλων (Box) με ολισθαίνουσα αντηρίδα.....	79
Πίνακας 19: Προεκτάσεις αντηρίδων, μήκος προέκτασης ( $L_z$ ) και βάρος (kg).....	79
Πίνακας 20: Χαρακτηριστικά πανέλων-φρεατίων 107mm.....	81
Πίνακας 21: Αντηρίδα τύπου 1.....	81
Πίνακας 22: Αντηρίδα τύπου 2.....	81
Πίνακας 23: Χαρακτηριστικά συστημάτων οδηγών με ολισθαίνοντα πανέλα και ολισθαίνουσα αντηρίδα.....	84



Πίνακας 24: Χαρακτηριστικά συστημάτων οδηγών με ολισθαίνοντα πανέλα και ολισθαίνουσα αντηρίδα .....	84
Πίνακας 25: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντηρίδων.....	85
Πίνακας 26: Προεκτάσεις αντηρίδων .....	85
Πίνακας 27: Τιμές των επιμέρους Συντελεστών Ασφαλείας .....	95
Πίνακας 28: Τιμές των επιμέρους Συντελεστών Ασφαλείας (πάσσαλοι) .....	95
Πίνακας 29: Τιμές των επιμέρους Συντελεστών Ασφαλείας (Αγκύρια).....	95
Πίνακας 30: Παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του Συντελεστή Ασφαλείας .....	105
Πίνακας 31: Νομοθεσία στις απαιτήσεις ασφάλειας και υγείας σε εργασίες εκσκαφών με αντιστηρίξεις.....	108

## **ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ**

Ε.Ε.: Ευρωπαϊκή Ένωση

Δ.Ε.Υ.Α.: Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης

Δ.Ε.Υ.Α.Λ.: Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Λάρισας

Ε.Δ.Ε.Υ.Α.: Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης

Ε.Υ.Α.Θ.: Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης

Ε.ΥΔ.Α.Π.: Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας

Η.Π.Α.: Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Ο.Κ.Ω.: Οργανισμοί Κοινής Ωφελείας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, εκπονήθηκε στο πλαίσιο των αντιστηρίξεων στα ορύγματα των αποχετεύσεων. Στόχος της είναι η παρουσίαση των αντιστηρίξεων και ο σχολιασμός της χρήσης τους σε ορύγματα αποχετεύσεων σε συνδυασμό με τον τρόπο εργασίας του εργατικού προσωπικού. Αρχικά γίνεται μια ιστορική και γενική αναφορά στα δίκτυα αποχέτευσης και στην αναγκαιότητα του βάθους κατασκευής τους, παρουσιάζεται ο τρόπος εκσκαφής, η προετοιμασία των ορυγμάτων αποχέτευσης και δίνεται μία γενική αναφορά στις κατολισθήσεις-καταπτώσεις. Εν συνεχεία, γίνεται λεπτομερής παρουσίαση μεθόδων και τύπων αντιστήριξης, κυρίως διαφραγμάτων, με βάση το υλικό κατασκευής και τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά και παράλληλα σχολιάζεται η αλληλεπίδραση εδάφους-διαφράγματος. Αναλύονται φαινόμενα αστοχιών στις αντιστηρίξεις γενικότερα, αλλά και ειδικότερα σε ορύγματα αποχετεύσεων. Παρουσιάζεται έρευνα, μέσα από ερωτηματολόγιο, σε εργαζομένους σε ορύγματα αποχέτευσης με την εξαγωγή των αντίστοιχων διαγραμμάτων και των επιμέρους συμπερασμάτων τα οποία συνδέουν την τεχνολογία των αντιστηρίξεων και την εφαρμογή τους στα ορύγματα, με το αντίστοιχο εργατικό δυναμικό. Συμπερασματικά, η βέλτιστη λύση για την αποφυγή αστοχιών στις αντιστηρίξεις με ταυτόχρονο μηδενισμό των θανάτων των εργαζομένων, είναι ο συνδυασμός και των τριών παραμέτρων, του υψηλού επιπέδου της τεχνολογίας των αντιστηρίξεων, της σωστής εφαρμογής τους αλλά και της μέγιστης προσοχής και υπεύθυνης στάσης του εργατικού δυναμικού κατά την εργασία του σε ορύγματα αποχετεύσεων.

**Λέξεις κλειδιά:** αντιστηρίξεις πρανών, ορύγματα αποχετεύσεων, καταπτώσεις, διαφράγματα.

## **ABSTRACT**

This postgraduate master's thesis has been written in the framework of the sewerage trenches. Its aim is to present shoring and the investigation of its use in sewerage trenches in conjunction with the working process of the workforce. Initially, a historical and general reference is made to the sewerage networks and the necessity of the depth of their construction. Moreover, the way of excavation and the preparation of the sewage trenches is presented, and a general reference is made to the landslides. Subsequently, a detailed presentation of the methods and types of retaining and particularly diaphragms is provided, based on the construction material and their geometrical characteristics and the soil-diaphragm interaction is also commented. We then analyze possible failures in shoring in general, and more particularly in the sewerage trenches. A survey is being carried out, through a questionnaire, on workers in sewage trenches with corresponding charts and the extrapolation of the individual conclusions that link shoring technology and its application to the trenches with the corresponding workforce. In conclusion, the optimal solution for avoiding failures in shoring which could minimize the chance of a worker's death is the combination of all the three parameters mentioned below, the high level of shoring technology, its correct application and the maximum attention and responsible attitude of the workforce work on sewerage trenches.

**Keywords:** shoring, slope protection, sewerage trenches, landslide, diaphragms.

*“Η ανθρώπινη ζωή είναι σύντομη, η επιστήμη ατέλειωτη, ο χρόνος λίγος, η πείρα  
λαθεμένη και η απόφαση γεμάτη ευθύνες”*

**Ιπποκράτης (460-370 π.Χ.)**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	14
1.1 Ιστορική εξέλιξη.....	14
1.2 Δίκτυα αποχέτευσης.....	15
1.3 Αναγκαιότητα του βάθους των αποχετεύσεων .....	15
1.4 Γενικά-Χρήση αντιστηρίξεων .....	16
<b>2. ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΑ-ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ-ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ</b> .....	18
2.1 Εκσκαφές και προετοιμασία του σκάμματος.....	18
2.2 Εισαγωγικές έννοιες αντιστηρίξεων.....	20
2.2.1 Ιστορικό αντιστηρίξεων .....	22
2.2.2 Είδη αντιστηρίξεων .....	24
2.3 Γεωτεχνική Έρευνα.....	26
<b>3. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ-ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ</b> .....	28
3.1 Κατολισθήσεις - Ορισμοί.....	28
3.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων - καταπτώσεων .....	28
3.2.1 Ταχύτητα κατολισθήσεων - καταπτώσεων .....	32
<b>4. ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ ΣΕ ΟΡΥΓΜΑΤΑ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΕΩΝ</b> .....	34
4.1 Εισαγωγή-Διαφράγματα.....	34
4.2 Τεχνολογία διαφραγμάτων.....	36
4.2.1 Πασσαλοσανίδες .....	38
4.2.2 Προκατασκευασμένα δίδυμα μεταλλικά αυτό-αντιστηριζόμενα διαφράγματα (pannels).....	47
4.3 Τεχνολογία πλευρικών αντιστηρίξεων.....	52
4.3.1 Αντηρίδες .....	53
4.3.2 Αγκυρώσεις .....	56
4.4 Τύποι προκατασκευασμένων αυτό-αντιστηριζόμενων πανέλων-αντηρίδες .....	60
4.4.1 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box) ελαφρού τύπου .....	60
4.4.2 Box, ελαφρού τύπου (αλουμινίου).....	63
4.4.3 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box) ελαφρού / μέσου τύπου .....	67
4.4.4 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box) μέσου τύπου .....	70
4.4.5 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box) βαρέως τύπου .....	72
4.4.6 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box) βαρέως τύπου, με προφίλ αύξησης του ελεύθερου ύψους.....	73
4.4.7 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box) βαρέως τύπου II .....	76

4.4.8 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box) με ολισθαίνουσα αντηρίδα.....	77
4.4.9 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box) φρεατίων .....	80
4.4.10 Συστήματα οδηγών με ολισθαίνοντα πανέλα και ολισθαίνουσα αντηρίδα.....	82
<b>5. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ-ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ .....</b>	<b>86</b>
5.1 Στατική αλληλεπίδραση εδάφους – διαφράγματος.....	86
5.2 Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας .....	89
5.2.1 Μέθοδοι υπολογισμού οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας .....	90
5.3 Αρχές Ευρωκώδικας 7.....	91
<b>6. ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ .....</b>	<b>96</b>
6.1 Τρόποι αστοχίας διαφράγματος .....	96
6.2 Συντελεστές ασφαλείας.....	104
6.3 Νομοθεσία.....	107
6.4 Έρευνα σε εργαζομένους σε ορύγματα αποχετεύσεων-Ερωτηματολόγιο .....	108
6.4.1 Διαγράμματα .....	109
6.5 Συμπεράσματα έρευνας σε εργαζομένους σε ορύγματα αποχετεύσεων .....	112
<b>7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>114</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>117</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>122</b>

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Ιστορική εξέλιξη

Στην αρχαιότητα σε αρκετούς πολιτισμούς είχε αναπτυχθεί η τεχνογνωσία της απομάκρυνσης των λυμάτων με υπόνομους. Έτσι στο Mohenjo-daro, μια πόλη της πρώτης άνθισης του ινδικού πολιτισμού, που ιστορικά τοποθετείται περί το 5000 π.Χ. βρέθηκαν στις ανασκαφές πλινθόκτιστοι υπόνομοι που απομάκρυναν τα λύματα από τα σπίτια. Στη Βαβυλώνα βρέθηκαν επίσης δίκτυα αποχέτευσης όπως επίσης και στο Μινωικό ανάκτορο της Κνωσού (1950-1500 π.Χ) ανακαλύφθηκαν χώροι υγιεινής (Εικ. 1) και δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων και ακαθάρτων (Angelakis et al., 2005, Kouytsogiannis et al., 2008).



**Εικόνα 1:** Αποχετευτικό δίκτυο κατά τον Μινωικό πολιτισμό, [slideplayer.gr](http://slideplayer.gr)

## 1.2 Δίκτυα αποχέτευσης

Οι αγωγοί του εκάστοτε δικτύου αποχέτευσης είναι στην συντριπτική πλειοψηφία τους υπόγειοι και κατασκευάζονται σε σκάμματα και σπανιότερα σε σήραγγα. Η διαδικασία κατασκευής είναι η παρακάτω:

- εκσκαφή - αντιστηρίξεις
- τοποθέτηση σωληνώσεων
- επίχωση σκαμμάτων - εξαγωγή αντιστηρίξεων
- αποκατάσταση οδοστρωμάτων, πεζοδρομίων κ.τ.λ.

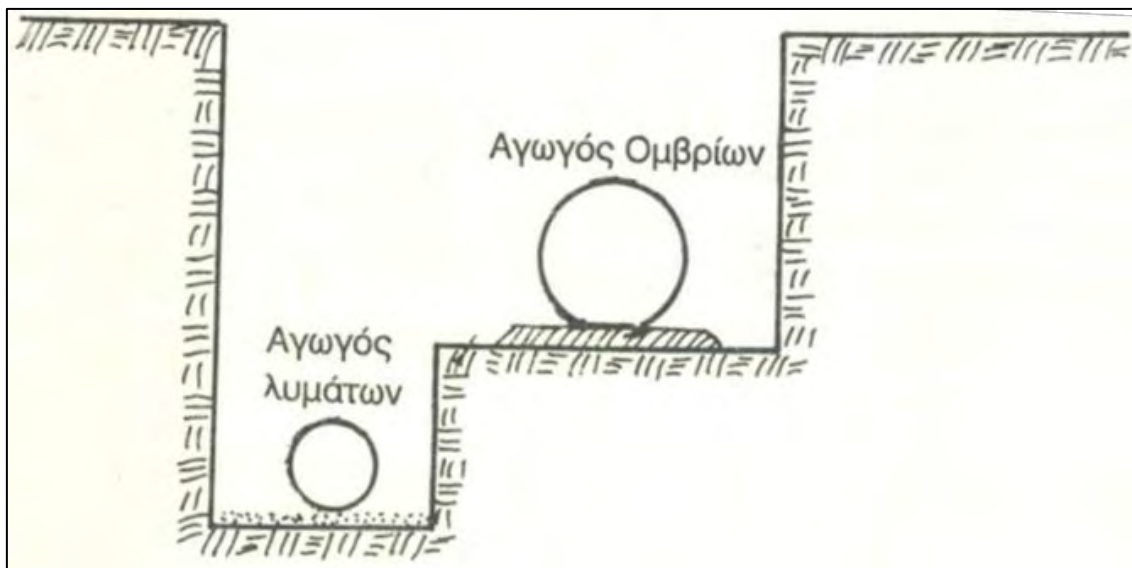
Κάποιες νέες τεχνολογίες για την κατασκευή έχουν εμφανιστεί τα τελευταία χρόνια, που, αποφεύγοντας την εκσκαφή, ελαχιστοποιούν την όχληση από την κατασκευή των αγωγών. Οι τεχνολογίες αυτές στηρίζονται στη σταδιακή προώθηση προκατασκευασμένων τμημάτων του αγωγού από μια θέση προς μια άλλη (pipe jacking), χωρίς εκσκαφή των χωμάτων που υπέρκεινται. Αν και σε πολλές χώρες η τεχνολογία εξελίσσεται γρήγορα προς αυτή την κατεύθυνση, η εφαρμογή τέτοιων μεθόδων δεν έχει γενικευτεί και περιορίζεται σε μικρά μήκη και κυρίως για διάβαση αγωγών κάτω από ποταμούς με συνεχή ροή και σε διασταύρωση με σιδηροδρομικές γραμμές ή με σημαντικές αρτηρίες μιας πόλης, όπου η όχληση από την εκσκαφή θα μπορούσε να έχει σοβαρές συνέπειες. Το κόστος τέτοιων μεθόδων είναι μεγάλο, κυρίως ως προς την απόκτηση του ειδικού τεχνολογικού εξοπλισμού, και η εφαρμογή τους απαιτεί σημαντική τεχνολογική πείρα (Washbourne, 1984, Downey, 1984).

## 1.3 Αναγκαιότητα του βάθους των αποχετεύσεων

Οι αγωγοί ακαθάρτων τοποθετούνται στον άξονα της οδού ή παραπλήσιά του, προκειμένου το μήκος των ιδιωτικών συνδέσεων και από τις δύο πλευρές της οδού να είναι ίδιο. Οι αγωγοί των ομβρίων τοποθετούνται ψηλότερα και παραπλεύρως των αγωγών ακαθάρτων, ώστε να είναι δυνατή η εκσκαφή ενιαίου σκάμματος (Εικ. 2). Θα πρέπει να αποφεύγεται η τοποθέτηση αγωγών ομβρίων πάνω ακριβώς από τους αγωγούς ακαθάρτων επειδή η κατασκευή αγωγών ομβρίων σε έδαφος που έχει



πρόσφατα επιχωματωθεί είναι επικίνδυνη, επίσης καθιστά δυσκολότερη και προβληματική την αποκατάσταση βλαβών στο δίκτυο ακαθάρτων γιατί δρα ως εμπόδιο.



**Εικόνα 2:** Υψομετρική διάταξη αγωγών, ομβρίων και ακαθάρτων, δικτύου αποχέτευσης, (Τσόγκας, 1998)

Ο αγωγός των δικτύων αποχέτευσης θα πρέπει να κατασκευάζεται πάντα προς την αντίθετη πλευρά στην οποία θα τοποθετηθεί το δίκτυο ύδρευσης, επειδή υφίσταται κίνδυνος, σε περίπτωση διαρροών, επικοινωνίας υδάτων των δύο δικτύων. Για το λόγο αυτό οι αγωγοί ακαθάρτων τοποθετούνται σε μεγαλύτερο βάθος από τους αγωγούς του δικτύου ύδρευσης. Το βάθος τοποθέτησης των δικτύων αποχέτευσης κυμαίνεται από 1,20 μέτρα και μπορεί να φτάσει τα 7-8 μέτρα ([www.deyal.gr](http://www.deyal.gr)).

#### 1.4 Γενικά-Χρήση αντιστηρίξεων

Όταν το βάθος εκσκαφής είναι μεγάλο και τα εδάφη χαλαρά, για να διασφαλίσουμε την ασφάλεια των εργαζομένων από πιθανές καταπτώσεις πρανών, γίνεται χρήση αντιστηρίξεων στο όρυγμα. Για την αντιστήριξη των εκάστοτε ορυγμάτων χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι αντιστηρίξεων, οι οποίες θα παρουσιαστούν λεπτομερέστερα στα παρακάτω κεφάλαια. Σημαντικά επίσης στοιχεία που θα αναλυθούν και θα αξιολογηθούν είναι η σωστή εφαρμογή των αντιστηρίξεων

αλλά και ο καθοριστικός ρόλος του ανθρώπινου δυναμικού όσον αφορά την εφαρμογή και τον τρόπο εργασίας.

## 2. ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΑ-ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ-ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ

### 2.1 Εκσκαφές και προετοιμασία του σκάμματος

Πριν αρχίσουν οι εργασίες εκσκαφής του ορύγματος, πρέπει πρώτα να γίνει η ασφαλτοκοπή. Αυτό γίνεται για να αποφευχθεί η περαιτέρω καταστροφή του ασφαλτοτάπητα και επιτυγχάνεται με την βοήθεια ειδικού κοπτικού μηχανήματος. Σε δρόμους τσιμεντοστρωμένους η διαδικασία αλλάζει, χρησιμοποιώντας κρουστικό μηχάνημα για την καθαίρεση της τσιμεντόστρωσης.

Σημαντικό ρόλο παίζει το πλάτος του δρόμου για την επιλογή του κατάλληλου μηχανήματος που θα πραγματοποιήσει την εκσκαφή της τάφρου. Σε πολλές περιπτώσεις οι αγωγοί ομβρίων και ακαθάρτων τοποθετούνται στο ίδιο σκάμμα αλλά σε διαφορετικά υψόμετρα, με βαθύτερη τοποθέτηση του αγωγού ακαθάρτων. Αν η υψομετρική διαφορά είναι μεγαλύτερη από 0,50-1,00 m, τότε δημιουργείται σκαλοπάτι για να μειωθεί ο όγκος των εκσκαφών και των επιχώσεων (Εικ. 2).

Το σκάμμα διαμορφώνεται σε χάραξη, μηκοτομή και διαστάσεις σύμφωνα με την μελέτη εκτός και αν η επιβλέπουσα υπηρεσία αποφασίσει τροποποιήσεις για λόγους οικονομίας ή για το συμφέρον του έργου. Αν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ψηλά και κατά την διάρκεια του έργου εμφανίζεται νερό μέσα στο σκάμμα, τοποθετούνται αντλίες που το απομακρύνουν. Σε περιπτώσεις έντονα διαπερατών υλικών, που η ποσότητα του υπόγειου νερού είναι μεγάλη, κατασκευάζονται φρεάτια συγκέντρωσης βαθύτερα από τον πυθμένα της τάφρου, απ' όπου αντλείται το νερό (Τσόγκας, 1998).

Αν το σκάμμα γίνεται σε αμμώδες έδαφος υπάρχει η πιθανότητα συνθηκών ρευστής άμμου. Το νερό κινούμενο με ταχύτητα μπορεί να διαχωρίσει τους κόκκους και να τους κρατήσει σε μερική αιώρηση. Στην περίπτωση αυτή, αν η αντιστήριξη δεν προεκτείνεται αρκετά πιο κάτω από το βάθος εκσκαφής, υπάρχει κίνδυνος υποσκαφής των τοιχωμάτων του σκάμματος. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την τοποθέτηση κατάλληλων υλικών στον πυθμένα και την σταθεροποίηση του εδαφικού υλικού χωρίς κίνδυνο καταστροφής του σκάμματος από την ανύψωση του υπόγειου νερού. (Τσόγκας, 1998).

Ο πυθμένας του σκάμματος πρέπει να είναι επίπεδος και όσο το δυνατόν στεγνός, έτσι που ο κάθε αγωγός ξεχωριστά και όλη η σωλήνωση συνολικά να εδράζεται ομοιόμορφα στον πυθμένα του σκάμματος. Οι μεγάλες πέτρες στα πρανή του σκάμματος πρέπει να καθαρίζονται, γιατί μπορεί να προκληθούν καταπτώσεις στην τάφρο με αποτέλεσμα τον τραυματισμό του προσωπικού ή και των σωλήνων. Αν κατά την εκσκαφή και τον καθαρισμό δημιουργούνται τρύπες, πρέπει να γεμίζονται και να συμπυκνώνονται με χώμα. Για την καλύτερη έδραση των σωλήνων στρώνεται στον πυθμένα άμμος σε πάχος περίπου 10 cm συμπιεσμένη. Σε περιπτώσεις συνεχούς παρουσίας νερού, γίνεται συνεχής άντληση στο χαμηλότερο σημείο της τάφρου, ώστε η τοποθέτηση και ο εγκιβωτισμός να γίνει σε ξηρό έδαφος (Τσόγκα, 1998).

Οι διαστάσεις του σκάμματος καθορίζονται έτσι που να εξασφαλίζουν άνετη εργασία. Το πλάτος που συνήθως συνίσταται για μικρά βάθη είναι:

$$D + 0,40 \text{ m}$$

για αγωγούς με διάμετρο μέχρι 500 mm, ενώ για μεγαλύτερης διαμέτρου αγωγούς συνίσταται:

$$D + 0,60 \text{ m}$$

με D την εξωτερική διάμετρο του αγωγού. Το βάθος εκσκαφής προκύπτει από τους υπολογισμούς και φαίνεται στην μηκοτομή στην εκάστοτε μελέτη.

Όταν στο ίδιο σκάμμα τοποθετούνται οι αγωγοί ομβρίων και ακαθάρτων, τότε μετά την επιχωμάτωση του αγωγού των ακαθάρτων, αρχίζει η διαμόρφωση του πυθμένα του αγωγού των ομβρίων. Η διαμόρφωση αυτή είναι συνήθως μια στρώση άοπλου σκυροδέματος πάχους περίπου 10 cm, όταν πρόκειται για τσιμεντοσωλήνες κάποιας διαμέτρου, ή άμμου για πλαστικούς. Στην περίπτωση των τσιμεντοσωλήνων, που το μήκος τους είναι μικρό, είναι εύκολη η τοποθέτησή τους στο σκάμμα, ακόμη και ανάμεσα από τις αντηρίδες της αντιστήριξης. Η εκσκαφή του σκάμματος μπορεί να διακριθεί από πλευράς τρόπου εκσκαφής σε χειρωνακτική και σε μηχανική, ενώ από πλευράς είδους εδάφους σε εκσκαφή σε έδαφος βραχώδες, ημιβραχώδες και γαιώδες. Η χειρωνακτική εκσκαφή, που παλιότερα αποτελούσε τον κανόνα, σήμερα χρησιμοποιείται πολύ λίγο και σε σημεία όπου δεν προσφέρεται η εκσκαφή με

μηχανικά μέσα. Όταν το βάθος εκσκαφής είναι μεγαλύτερο από 1,50 m και η εκσκαφή γίνεται χειρωνακτικά, τότε το υλικό εκσκαφής πρέπει να μεταφέρεται μακριά από τα άκρα του σκάμματος. Η εξέλιξη της τεχνολογίας των χωματουργικών μηχανημάτων διευκόλυνε πολύ την κατασκευή των αποχετευτικών δικτύων, με την μείωση του χρόνου και του κόστους κατασκευής. Η εκσκαφή γίνεται είτε με χρήση ειδικών μηχανημάτων που αποτελούνται από μια σειρά κοπτικών κάδων συνδεδεμένων σε κινούμενη ατέρμονα ταινία είτε με απλά εκσκαπτικά μηχανήματα.

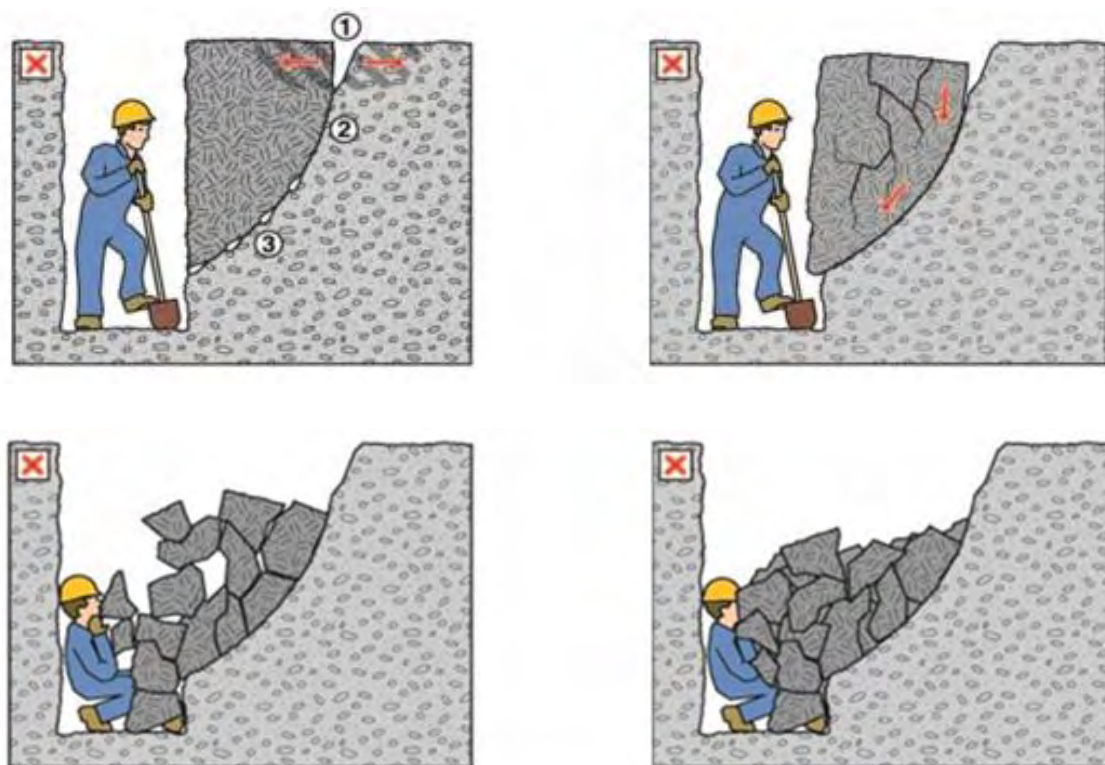
Η εκσκαφή σε βράχο γίνεται συνήθως με χρήση εκρηκτικών και ανατίναξη ενώ σε περιπτώσεις περιορισμένης έκτασης βραχώδους υλικού με την χρήση κομπρεσέρ. Το βάθος εκσκαφής σε βράχο είναι πάντα μεγαλύτερο από το βάθος τοποθέτησης του αγωγού, για να εξομαλύνεται η επιφάνεια του πυθμένα με στρώση άμμου ή άοπλου σκυροδέματος. Η χρήση των εκρηκτικών υλικών πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό και με μεγάλη προσοχή για να μην υπάρξει κίνδυνος ρηγματώσεων ή και καταστροφής των γειτονικών στην εκσκαφή κτιρίων (Τσόγκας, 1998).

## **2.2 Εισαγωγικές έννοιες αντιστήριξεων**

Η εκσκαφή τάφρων σε χαλαρά εδάφη απαιτεί αντιστήριξη των τοιχωμάτων, ώστε να αποφεύγεται η κατάρρευσή τους και ο κίνδυνος εργατικού ατυχήματος. Μερικά εδάφη διατηρούν τα πρανή τους κατακόρυφα χωρίς αντιστήριξη για ορισμένο χρονικό διάστημα, ενώ άλλα, χαλαρά και ευδιάβρωτα, απαιτούν άμεση αντιστήριξη.

Έτσι λοιπόν, σαν κατασκευή αντιστήριξης νοείται οποιοδήποτε έργο στο πεδίο του πολιτικού μηχανικού το οποίο επιτρέπει την υλοποίηση μίας απότομης αλλαγής στάθμης στην γήινη επιφάνεια της γης, με τρόπο τέτοιο ώστε το σύστημα έδαφος και κατασκευή να έχει περιορισμένες μετακινήσεις, ή οριακά να συγκρατείται.

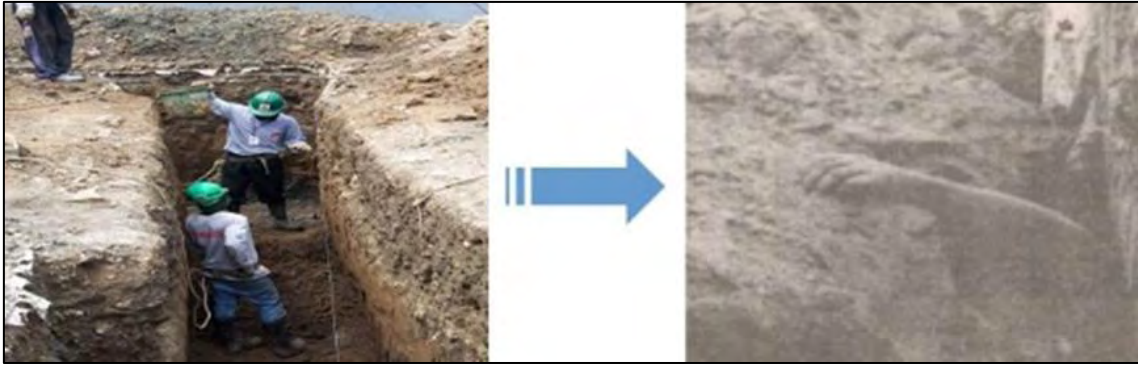
Οι κατασκευές αντιστήριξης χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε περιπτώσεις κατάλυσης της εδαφικής συνέχειας από μία εκσκαφή κάτω από την υπάρχουσα εδαφική επιφάνεια, όπως για παράδειγμα σε βαθιά ορύγματα δικτύων αποχέτευσης (Εικ. 3).



**Εικόνα 3:** Σχηματική παράσταση κατάπτωσης πρανούς-εγκλωβισμός εργαζομένου

Πολλές φορές λειτουργικές αιτίες επιβάλλουν την τοπική υπερύψωση της εδαφικής επιφάνειας με επίχωση στην περιοχή γύρω από την κατασκευή, όπως για παράδειγμα σε ακρόβαθρα γεφυρών. Οι κατασκευές αντιστήριξης γίνονται περίπου αναγκαίες, στην σταθεροποίηση και προστασία φυσικών πρανών που παρουσιάζουν κινηματική αστάθεια.

Σε κάθε περίπτωση αποτελεί νομική υποχρέωση η προσφορά προστασίας στις γειτονικές κατασκευές, και στο ευρύτερο περιβάλλον του έργου, η οποία προστασία νοείται κυρίως έναντι στους κινδύνους που επιφέρει η μείωση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους και η αύξηση των καθιζήσεων αυτού, με συνέπεια πολλές φορές τον θανάσιμο τραυματισμό των εργαζομένων (Εικ. 4).



**Εικόνα 4:** Απουσία αντιστηρίξεων-θανάσιμοι τραυματισμοί

Και αν στην επίχωση υπάρχει τρόπος επέμβασης στις εδαφικές ιδιότητες, ώστε αυτές να πληρούν ορισμένες προδιαγραφές αντοχής και παραμορφωσιμότητας, δεν είναι το ίδιο για τις εκσκαφές όπου οι γεωλογικοί σχηματισμοί είναι δεδομένοι. Η ανθρώπινη επέμβαση είναι εφικτή μόνο στην κατασκευή αντιστήριξης και σχεδόν καθόλου στα γεωϋλικά που την περιβάλλουν.

Όσο πιο ασταθή είναι τα τελευταία, είτε λόγω φύσεως (χαλαρά εδάφη) είτε λόγω ύπαρξης παραγόντων αποσταθεροποίησης, για παράδειγμα υδραυλικών πιέσεων, και όσο η εκσκαφή γίνεται σε μεγαλύτερα βάθη, τόσο το πρυνές είναι ηπιότερο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο όγκος των εκσκαφών είναι μεγάλος και το κόστος γίνεται απαγορευτικό. Κατά συνέπεια «ανοιχτές» εκσκαφές περιορίζονται συνήθως σε συνεκτικούς σχηματισμούς, ή σε σχετικά μικρά βάθη. Όταν λοιπόν δεν είναι δυνατόν, έννομο ή οικονομικό να υλοποιηθούν ανοιχτού τύπου εκσκαφές, με ελεύθερα πρυνή, επιβάλλεται η χρήση κατασκευών αντιστήριξης (Κωστόπουλος, 2008).

### **2.2.1 Ιστορικό αντιστηρίξεων**

Από τις παλαιότερες περιόδους της ιστορίας των κατασκευών των πολιτικών μηχανικών η πλέον διαδεδομένη μεθοδολογία αντιστήριξης ήταν εκείνη των κατακόρυφων πασσάλων, στην πλειοψηφία τους ήταν από ξύλο και κατασκευαζόταν συνήθως σε δύο σειρές. Για να αποτραπεί στις τότε ξύλινες αντιστηρίξεις η εισροή νερού μέσα στην εκσκαφή τοποθετούνταν αργιλικό υλικό ανάμεσα στις πασσαλοσανίδες. Είναι τεκμηριωμένο ότι οι κινέζοι μηχανικοί της δυναστείας των Χαν (206 π.Χ.-211 μ.Χ.) θεμελίωσαν με το συγκεκριμένο τρόπο τα βάθρα των ξύλινων γεφυρών τους μέσα σε εκσκαφές κυκλικής κάτοψης.

Τον 18<sup>ο</sup> αιώνα οι μηχανικοί χρησιμοποίησαν, για πρώτη φορά στην ιστορία, ασβεστοκονιάματα ως υλικό πλήρωσης στην θέση της αργίλου. Σε ιστορικά κείμενα αναφέρεται ότι την ίδια χρονικά περίοδο, οι ανθρακωρύχοι αντιστήριζαν τις παρειές βαθιών πηγαδιών με ξύλινη επένδυση από σανίδες και οριζόντιες πλαισιωτές αντηρίδες. Η μεθοδολογία αυτή συνεχίστηκε και αργότερα, και σχεδόν χωρίς κάποια παραλλαγή χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον το δεύτερο μισό του 19<sup>ο</sup> αιώνα, επ' ευκαιρία των μεγάλων κατασκευών στα λιμάνια και στα σιδηροδρομικά δίκτυα.

Αλλά και παλαιότερα Γάλλοι μηχανικοί όχι μόνο είχαν αναπτύξει μεθοδολογίες αντιστήριξης με λιθόκτιστους τοίχους βαρύτητας, αλλά είχαν οδηγηθεί ακόμη και στο να αναλύσουν την συμπεριφορά τους. Είναι αξιοσημείωτο ότι την Βικτωριανή εποχή οι τοίχοι αντιστήριξης αποτελούσαν λιθόκτιστα μνημεία τέχνης και το μικρό τους πάχος αποτελεί και σήμερα στοιχείο θαυμασμού και επιστημονικής έρευνας.

Στις αρχές του 20<sup>ο</sup> αιώνα έγινε επανάσταση στην τεχνική των αντιστηρίξεων με την χρησιμοποίηση του μετάλλου (πασσαλοσανίδες από χάλυβα) και του οπλισμένου σκυροδέματος (λεπτοί αυτοφερόμενοι τοίχοι), ενώ στις αρχές της δεκαετίας του '50 έγινε πραγματική τομή στις τεχνολογίες των αντιστηρίξεων, με την επιτόπου έγχυση των διαφραγμάτων και της τεχνολογίας των αγκυρώσεων.

Από την δεκαετία του '50 και μετά η τεχνολογία των αντιστηρίξεων εξελίχθηκε ραγδαία, με νεότερες επιτεύξεις την οπλισμένη γη (1966), την αγκυρωμένη γη, το τμηματικά με το βάθος κατασκευαζόμενο αγκυρωμένο τοίχιο (1969), το προκατασκευασμένο διάφραγμα (1970), το κατά τμήματα προεντεταμένο μέτωπο (1975), ενώ αντιστοίχως τα αγκύρια πολλαπλής ένεσης ή καμπανωτής μορφής (1970), ή ακόμη και οι ηλώσεις (1980), αποτελούν πλέον τρέχουσα εμπειρία.

Την τελευταία λέξη στη στην τεχνολογία των αντιστηρίξεων αποτελούν τα πολυμερικά εδάφη (1983), δηλαδή ανάμιξη εδάφους και πολυμερικών υλικών με μεγάλο συντελεστή θερμικής διόγκωσης, ώστε να δημιουργείται «προ ένταση» στην γεωμάζα, καθώς και η εκτοξευόμενη τσιμεντένεση, δηλαδή η ανάμιξη εδάφους και τσιμέντου, συνήθως με την πίεση νερού. Οι δύο αυτές τεχνικές στοχεύουν στην δημιουργία μιας αυτοφερόμενης *in situ* γεωμάζας, σαν διάφραγμα, ικανού στην



ανάληψη των ωθήσεων του όπισθεν εδάφους, το οποίο λειτουργεί πλέον ως φορτίζον στοιχείο.

### 2.2.2 Είδη αντιστηρίξεων

Οι κατασκευές αντιστήριξης μπορούν να κατασκευαστούν είτε από πάνω προς τα κάτω είτε από κάτω προς τα πάνω. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι τοίχοι αντιστήριξης (τοίχοι βαρύτητας), στους οποίους μορφώνεται μια ανοιχτή εκσκαφή, κατασκευάζεται εν συνεχεία ο τοίχος, στις περισσότερες φορές από οπλισμένο σκυρόδεμα, και ακολουθεί η επίχωση του πρίσματος τοίχου και πρανούς. Οι τοίχοι βαρύτητας είναι άκαμπτα δομικά στοιχεία, τα οποία ισορροπούν τις πιέσεις που ασκεί η αντιστηριζόμενη γεωμάζα με την ανάπτυξη ορθών και διατμητικών τάσεων στην βάση τους λόγω του μεγάλου ιδίου βάρους.

Στην δεύτερη κατηγορία αντιστηρίξεων ανήκουν τα κάθε είδους διαφράγματα, σημαντικό τμήμα των οποίων έχει ενταχθεί στην γεωμάζα κάτω από την στάθμη εκσκαφής. Τα διαφράγματα χρονικά κατασκευάζονται πριν από κάθε εκσκαφή κατά τρόπο συνεχή (επί τόπου εγχυόμενα) ή ασυνεχή (πασσαλότοιχοι) κυρίως κατά το μήκος του μελλοντικού μετώπου. Το διάφραγμα βρίσκεται σε επαφή με την *in situ* γεωμάζα και για να διατηρηθεί η ισορροπία κινητοποιείται η διατμητική αντοχή του εδάφους κάτω από την στάθμη της εκσκαφής.

Η ευκαμψία των διαφραγμάτων κυμαίνεται μέσα σε ευρύτατα όρια, γεγονός το οποίο επηρεάζει την κατανομή των εδαφικών πιέσεων. Ένα παράδειγμα είναι όταν εύκαμπτο διάφραγμα κατασκευάζεται με την έμπηξη μεταλλικών πασσαλοσανίδων, ενώ πολύ δυσκαμπτότερο θα είναι το διάφραγμα που θα κατασκευαστεί από μία σειρά έγχυτων πασσάλων από σκυρόδεμα.

Όσο πιο εύκαμπτη είναι η κατασκευή αντιστήριξης τόσο μικρότερες είναι οι καμπτικές ροπές, αλλά και τόσο μεγαλύτερες αναμένεται να είναι οι προκύπτουσες μετακινήσεις, κυρίως στα αυτοφερόμενα διαφράγματα, χωρίς δηλαδή πλευρικές αντιστηρίξεις (αντηρίδες ή αγκύρια). Βέβαια η πολυπλοκότητα της αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής αυξάνει με τον αριθμό των καθ' ύψος σειρών αντηρίδων ή είναι

σύνθετοί οι μηχανισμοί αλληλεπίδρασης οι οποίοι ελέγχουν την συμπεριφορά των πολλαπλώς αγκυρωμένων διαφραγμάτων.

Έτσι λοιπόν, η «μετακίνηση» στις κατασκευές αντιστήριξης κατηγοριοποιείται σύμφωνα με τα παρακάτω τρία κριτήρια (Κωστόπουλος, 2008):

1. Το νεότερο κριτήριο αναφέρεται στον βασικό μηχανισμό αντιστήριξης και θέλει τις αντιστηρίξεις να σταθεροποιούνται είτε εξωτερικώς, είτε εσωτερικώς και να σταθεροποιούν εκσκαφές ή επιχώσεις, δηλαδή γεωμάζες αυτόχθονες ή τεχνητές κατά τέτοιο τρόπο αναμφιβόλως πολύ διαφορετικό. Εξωτερικώς σταθεροποιούμενες είναι εκείνες στις οποίες οι εδαφικές πιέσεις αθροίζονται, παράγοντας μία συνολική δράση την οποία καλείται να παραλάβει η αντιστήριξη, πρόκειται για την συμβατική προσέγγιση του ζητήματος. Αντίθετη είναι η σύγχρονη αντίληψη των εσωτερικώς σταθεροποιούμενων συστημάτων αντιστήριξης στα οποία η εδαφική μάζα επιμερίζεται, έτσι ώστε κάθε τμήμα της να αντιστηρίζεται από ένα τοπικού χαρακτήρα στοιχείο ενίσχυσης (π.χ. οπλισμός).
2. Οι αντιστηρίξεις επίσης ταξινομούνται ανάλογα και με το γεωϋλικό που αντιστηρίζουν. Έτσι λοιπόν τα συστήματα αντιστήριξης σταθεροποιούν εκσκαφές ή επιχώσεις με επί τόπου διαφράγματα, τοίχους βαρύτητας ή οπλισμένη γη, όλα συνδεδεμένα με μικρές, μεγάλες ή έστω «κάποιες» μετακινήσεις.
3. Το τρίτο και παλαιότερο κριτήριο ταξινόμησης διαχωρίζει τις αντιστηρίξεις αναλόγως του μεγέθους των ασκούμενων πιέσεων, οι οποίες κυμαίνονται από την μηδενική τιμή, στα ελεύθερα πρηνή, έως τις πιέσεις συμπύκνωσης στα «τεχνητά» γαιώδη υλικά της επίχωσης. Οι μετακινήσεις εδώ εκλαμβάνονται a priori ως ανεξέλεγκτες. Το συγκεκριμένο θέμα έγινε κατανοητό από τον Terzaghi ήδη από το 1936, την εμβρυακή ηλικία της Εδαφομηχανικής, όταν έλεγε: *“...Οι βασικές παραδοχές της θεωρίας των εδαφικών πιέσεων του Rankine είναι ασυμβίβαστες με τις γνωστές σχέσεις μεταξύ τάσεων και παραμορφώσεων στα εδάφη, περιλαμβάνοντας και την άμμο. Κατά συνέπεια, η χρήση αυτής της θεωρίας πρέπει να σταματήσει...”*

### 2.3 Γεωτεχνική Έρευνα

Στις περισσότερες περιπτώσεις μία γεωτεχνική έρευνα ξεκινάει από το γραφείο με έρευνα του ιστορικού του χώρου μελέτης χρησιμοποιώντας τόσο γεωλογικούς, υδρογεωλογικούς χάρτες και ιστορικά στοιχεία από βιβλιογραφία όσο και γεωτεχνικά στοιχεία από παλαιότερες μελέτες που έχουν γίνει στην περιοχή του έργου.

Όταν έχει αποφασιστεί ο καλύτερος τρόπος για τη συλλογή των γεωλογικών και γεωτεχνικών πληροφοριών που χρειάζονται για τις ανάγκες του έργου, πραγματοποιείται επί τόπου επίσκεψη και καταγραφή των γεωτεχνικών ή γεωλογικών στοιχείων της περιοχής, εκτελούνται δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, στατικές ή δυναμικές πεντρομετρήσεις, ερευνητικά φρέατα, γεωφυσικές διασκοπήσεις, χημικές αναλύσεις ή οποιαδήποτε άλλη μέθοδος απαιτείται σε κάθε περίπτωση για την καλύτερη διερεύνηση των γεωτεχνικών συνθηκών του έργου.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις ανάγκες του έργου, πραγματοποιούνται επιτόπου δοκιμές ή εγκαθίστανται όργανα παρακολούθησης για την καταγραφή της συμπεριφοράς του εδάφους, των κατασκευών και του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με το χρόνο.

Κατά την εκτέλεση των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και φρεάτων συλλέγονται δείγματα εδάφους, βράχου, υπογείων υδάτων και οποιοδήποτε άλλο στοιχείο θεωρείται απαραίτητο για την καλύτερη διερεύνηση των γεωτεχνικών συνθηκών του έργου. Στη συνέχεια πραγματοποιείται μια προκαταρκτική επιτόπου εκτίμηση των γεωτεχνικών συνθηκών και της στρωματογραφίας του υπεδάφους, καταγράφονται λεπτομερώς τα ευρήματα, τα δείγματα εδάφους και οποιαδήποτε άλλη παρατήρηση ή πληροφορία μπορεί να είναι χρήσιμη για την καλύτερη αξιολόγηση του έργου.

Ύστερα από αυτή την επί τόπου λεπτομερή καταγραφή επιλέγεται ποιες εργαστηριακές δοκιμές πρέπει να πραγματοποιηθούν περαιτέρω. Τα δείγματα του εδάφους συσκευάζονται και μεταφέρονται στη συνέχεια στο εργαστήριο με τέτοιο τρόπο ώστε να μη διαταραχθεί στο ελάχιστο η φυσική τους σύσταση και δομή. Με βάση το πρόγραμμα των εργαστηριακών δοκιμών, τα δείγματα προετοιμάζονται και

εκτελούνται οι απαραίτητες εργαστηριακές δοκιμές σύμφωνα με τις ισχύουσες Ελληνικές και Ευρωπαϊκές προδιαγραφές.

Με την ολοκλήρωση των εργαστηριακών δοκιμών, συντάσσεται το τεύχος της γεωτεχνικής έρευνας, όπου αναλύονται και αξιολογούνται με λεπτομέρεια όλα τα δεδομένα, γίνονται οι απαιτούμενοι γεωτεχνικοί υπολογισμοί και παρατίθενται τα απαραίτητα γεωτεχνικά στοιχεία και κατασκευαστικές λεπτομέρειες για την ολοκλήρωση του έργου.

Εφόσον οι συνθήκες του έργου το απαιτούν (π.χ έργα δικτύων αποχέτευσης), συντάσσεται στη συνέχεια και ειδική μελέτη θεμελίωσης, αντιστήριξης, υποθεμελίωσης ή και αποκατάστασης, σύμφωνα με τα δεδομένα και τις γεωτεχνικές δυσκολίες του έργου. (<http://www.geoconsult.gr>)

### **3. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ-ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ**

#### **3.1 Κατολισθήσεις - Ορισμοί**

Ο πρώτος ορισμός του γενικευμένου όρου «κατολίσθηση» προτάθηκε από τον Terzaghi το 1950, σύμφωνα με τον οποίο είναι μια γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, υπολειμματικού εδάφους ή ιζήματος ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω.

Οι Zaruba & Mencl (1969) ορίζουν την κατολίσθηση σαν μια γρήγορη κίνηση πετρωμάτων που οφείλεται στην ολίσθηση ενός τμήματος πρανούς, το οποίο διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μία καλά καθορισμένη επιφάνεια, ενώ οι Skempton & Hutchinson (1969) ορίζουν ότι ο γενικευμένος όρος «κατολίσθηση» περιλαμβάνει όλες τις προς τα κάτω κινήσεις κατά μήκος ενός εδαφικού ή βραχώδους πρανούς, οι οποίες λαμβάνουν χώρα κυρίως ως αποτέλεσμα διατμητικής αστοχίας στα όρια της κατολισθαίνουσας μάζας.

Σύμφωνα με τον Varnes (1978), ο όρος «μετακίνηση στην πλαγιά» (Slope Movement) είναι πιο ευρύς και υποδηλώνει την προς τα κατόντη και προς τα έξω κίνηση των υλικών που συνθέτουν τα πρανή, υπό την επίδραση της βαρύτητας. Ο Brunsden (1984) προτείνει τον όρο «μετακίνηση μαζών» (Mass Movements) καθώς πρόκειται για διαδικασία που δεν απαιτείται η ύπαρξη μεταφορικού μέσου (νερού, αέρα ή πάγου). Τέλος ο Cruden (1991) χρησιμοποιεί τον όρο «κατολίσθηση» (Landslide) και τον ορίζει ως την προς τα έξω και κάτω κίνηση μιας μάζας βράχου, κορημάτων ή γαιών σε ένα πρανές, ορισμός που υιοθετείται από την Ομάδα Εργασίας για την Παγκόσμια Καταγραφή των Κατολισθήσεων (Working Party on the World Landslide Inventory – WP/WLI 1991).

#### **3.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων - καταπτώσεων**

Η ταξινόμηση των κατολισθήσεων, σε αντίθεση με άλλα φυσικά φαινόμενα, θεωρείται αρκετά δύσκολη εξαιτίας του γεγονότος ότι αυτές δεν αποτελούν τέλεια επαναλαμβανόμενα φαινόμενα και συνήθως χαρακτηρίζονται από διαφορετικές αιτίες,

μετακινήσεις, μορφολογία και γενικά συμμετοχή διαφορετικών υλικών. Έτσι κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες ταξινομήσεις για την περιγραφή των κατολισθήσεων, οι οποίες στηρίζονται σε διαφορετικά κριτήρια, με αποτέλεσμα την ύπαρξη πολλών διαφοροποιημένων συστημάτων ταξινόμησης.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία μορφών κατολίσθησης, οι οποίες συνήθως ταξινομούνται σε τρεις κύριες κατηγορίες (Χουλιάρας, 2018):

- **Καταπτώσεις**  
Χαρακτηρίζονται από μια κίνηση απομάκρυνσης από ασυνέχειες, σχισμές, ρωγμές, κ.λπ. και οι οποίες υποβοηθούνται από την δράση του νερού ή του παγετού.
- **Ολισθήσεις**  
Σε αυτή τη μορφή η κίνηση της μάζας του εδάφους παραμένει ουσιαστικά άθικτη ενώ ολισθαίνει κατά μήκος μιας ορισμένης επιφάνειας. Διακρίνονται σε:  
α) Περιστροφικές ολισθήσεις, συμβαίνουν σε ομογενείς μαλακούς βράχους ή σε συνεκτικά εδάφη και πραγματοποιούνται κατά μήκος μιας καμπύλης επιφάνειας διάτμησης, κατά τρόπο ώστε η ολισθαίνουσα μάζα να βυθίζεται στο φρύδι του πρανούς και να εξογκώνεται στο πόδι του.  
β) Επιμήκεις ολισθήσεις, περιλαμβάνουν γραμμική κίνηση βράχων κατά μήκος ασθενών ή ολισθηρών διεπιφανειών ή κίνηση μιας επιφανειακής στρώσης.
- **Ροές**  
Στην κατηγορία αυτή η μάζα διασπάται εσωτερικά και κινείται ως πυκνό ιξώδες ρευστό

Μερικά επίσης από τα κυριότερα κριτήρια ταξινόμησης είναι (Cruden & Varnes, 1996):

- Ο τύπος της μετακίνησης
- Το είδος του μετακινούμενου υλικού
- Η δραστηριότητα της κατολίσθησης
- Η ταχύτητα της κατολίσθησης
- Η ηλικία της κατολίσθησης
- Η γεωλογία

- Η μορφολογία
- Το κλίμα
- Η γεωγραφική θέση της κατολίσθησης

Η πιο αποδεκτή ταξινόμηση των κατολισθήσεων είναι αυτή του Varnes (1978), η οποία στηρίζεται στον τύπο της μετακίνησης και το είδος του υλικού που κατολισθαίνει, καθώς και αυτή των Zaruba & Mencl (1969,1976), που στηρίζεται στη σύσταση του υλικού που κινείται.

Για την ταξινόμηση των παραγόντων που συμβάλλουν στην εκδήλωση καταπτώσεων, ασχολήθηκε επίσης και η ομάδα της UNESCO (Working Party on World Landslide Inventory, WP/WLI, 1994), και πρότεινε μια γενικότερη ταξινόμηση των συνθηκών και διεργασιών (και όχι των αιτιών) που οδηγούν στην εκδήλωση κατολίσθησης (Λυκούδη, 2005).

Τέτοιοι παράγοντες είναι (Πίν. 1)

- Οι εδαφικές συνθήκες
- Οι γεωμορφολογικές διεργασίες
- Οι φυσικές διεργασίες και
- Οι ανθρωπογενείς εργασίες

**Πίνακας 1:** Παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων κατά WP/WLI, 1994 (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007)

<b>A</b>	<b>ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ</b>
1	Πλαστικό χαμηλής αντοχής υλικού.
2	Ευαίσθητο υλικό.
3	Υλικό επιρρεπές σε θραύση.
4	Αποσαθρωμένο υλικό.
5	Διατμημένο υλικό.
6	Ρωγματομένο ή διακλασμένο υλικό.
7	Βραχομάζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχιών (στρώση, σχιστότητα, διακλάσεις).
8	Βραχομάζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχιών (ρήγματα, επιφάνειες, ασυμφωνίες).
9	Διαφοροποιήσεις στην υδροπερατότητα.
10	Διαφοροποιήσεις στην δυσκαμψία (στιφρό ή πυκνό υλικό υπερκείμενο πλαστικού υλικού).
<b>B</b>	<b>ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ</b>
1	Τεκτονική ανύψωση.
2	Ανύψωση λόγω ηφαιστειών.
3	Επίδραση λόγω παγετώνων.
4	Ποτάμια διάβρωση της βάσης του πρानούς.
5	Θαλάσσια διάβρωση της βάσης του πρानούς.
6	Διάβρωση της βάσης του πρानούς από παγετόνα.
7	Διάβρωση των πλευρών του πρानούς.
8	Εσωτερική διάβρωση.
9	Φόρτιση και φυσική απόθεση υλικών στη στέψη των πρानών.
10	Απομάκρυνση φυτοκάλυψης (από πυρκαγιά, διάβρωση κ.α.)
<b>Γ</b>	<b>ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ</b>
1	Έντονη, μικρής διάρκειας βροχόπτωση.
2	Γρήγορο λιώσιμο χιονιού.
3	Παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση.
4	Γρήγορη πτώση στάθμης νερού μετά από πλημμύρες, διάρρηξη φυσικών φραγμάτων, κ.α.
5	Σεισμοί.
6	Εκρήξεις ηφαιστειών.
7	Διάρρηξη λιμνών σε κρατήρες ηφαιστειών.
8	Λιώσιμο παγωμένου εδάφους.
9	Αποσάθρωση λόγω παγετού.
10	Αποσάθρωση από διόγκωση και συρρίκνωση εδαφών.
<b>Δ</b>	<b>ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ</b>
1	Εκσκαφές στο πόδι του πρानούς.
2	Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω στην στέψη του πρानούς.
3	Υποβιβασμός της στάθμης σε ταμειυτήρες.
4	Άρδευση.
5	Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων.
6	Διαρροή νερών από τεχνικά έργα (δίκτυα, δεξαμενές, κ.α.).
7	Αποψύλωση.
8	Λατομεία και μεταλλεία.
9	Δημιουργία χωματερών.
10	Τεχνητές δονήσεις (κυκλοφορία οχημάτων, λειτουργία μηχανών, τοποθέτηση πασσάλων κ.α.).



### 3.2.1 Ταχύτητα κατολισθήσεων - καταπτώσεων

Η αποκόλληση τμήματος βραχομάζας ή και συνεκτικού εδάφους, σε απότομο πρανές ορύγματος (π.χ. σε όρυγμα αποχέτευσης) και κατά μήκος μιας επιφάνειας, ακολουθεί ελεύθερη πτώση με κύλιση ή αναπήδηση. Η μετακίνηση-κατάπτωση είναι από πολύ μέχρι εξαιρετικά γρήγορη, σύμφωνα και με την προτεινόμενη κλίμακα του παρακάτω Πίνακα 2, του Varnes (1978), και είναι δυνατόν να έχουν προηγηθεί αυτής μικρότερες μετακινήσεις που να οδήγησαν στον προοδευτικό αποχωρισμό της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό πέτρωμα.

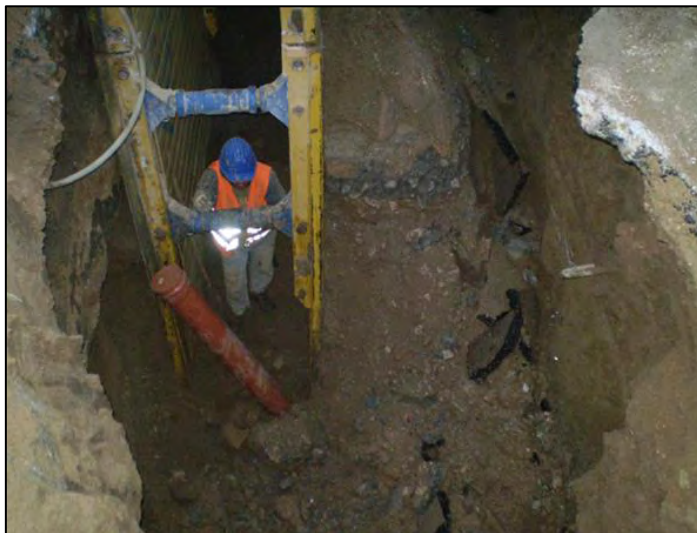
**Πίνακας 2:** Ταξινόμηση κατολισθήσεων ανάλογα με τις ταχύτητες κίνησης, (Varnes, 1978).

ΤΑΞΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (mm/sec)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ
7	Εξαιρετικά γρήγορη	$>50 \times 10^3$	$>5\text{m/sec}$
6	Πολύ γρήγορη	50	3m/min
5	Γρήγορη	$5 \times 10^{-1}$	1,8m/hr
4	Μέτρια	$5 \times 10^{-3}$	1,8m/hr
3	Αργή	$5 \times 10^{-5}$	1,8m/hr
2	Πολύ αργή	$5 \times 10^{-7}$	1,8m/hr
1	Εξαιρετικά αργή	$<5 \times 10^{-7}$	$>50 \times 10^{-3}$

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι οι καταπτώσεις που συμβαίνουν στα ορύγματα αποχέτευσης λόγω των μεγάλων ταχυτήτων κίνησης της γεωμάζας, καθιστούν εξαιρετικά επικίνδυνη την εργασία και απαιτούν, μαζί με τις απαραίτητες μεθόδους αντιστηρίξεων, και την μέγιστη προσοχή και υπευθυνότητα των εργαζομένων (Εικ. 5, 6).



**Εικόνα 5:** Κατάπτωση πρανούς σε όρυγμα αποχέτευσης, οδός Σαλαμίνας, Λάρισα 2010, αρχείο Δ.Ε.Υ.Α.Λ



**Εικόνα 6:** Προστασία εργαζομένου εντός αντιστήριξης, Αθήνα 2012, [www.eydap.gr](http://www.eydap.gr)

## 4. ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ ΣΕ ΟΡΥΓΜΑΤΑ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΕΩΝ

### 4.1 Εισαγωγή-Διαφράγματα

Τα διαφράγματα αποτελούν λεπτές κατασκευές με χαρακτήρα συνήθως, αλλά όχι πάντοτε, προσωρινό, αντιστηρίζουν κατά κύριο λόγο τα μέτωπα εκσκαφών και κατασκευάζονται από επάνω προς τα κάτω. Για την διατήρηση της ισορροπίας κινητοποιείται η διατμητική αντοχή του εδάφους κάτω από την στάθμη εκσκαφής, σε συνδυασμό με πλευρικές αντιστηρίξεις, οι οποίες εγκαθίστανται εντός (αγκύρια) ή εκτός (αντηρίδες) της αντιστηριζόμενης γεωμάζας. Στα έργα αυτού του είδους κινητοποιούνται σημαντικές τάσεις διάτμησης και εφελκυσμού, πιθανές αστοχίες έχουν συνήθως μεγάλες κοινωνικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις

Η παραπάνω συνοπτική περιγραφή των διαφραγμάτων αντιστήριξης αρκεί για να διαχωρίσει τα διαφράγματα από τους τοίχους βαρύτητας. Πράγματι λοιπόν, σε σχέση με τους μόνιμους τοίχους βαρύτητας τα προσωρινού χαρακτήρα διαφράγματα χαρακτηρίζονται από “ασάφεια” στην αναμενόμενη συμπεριφορά τους, ιδίως όταν αντιστηρίζουν γεωμάζες αργιλικής φύσεως. Η απόκριση αυτών των σχηματισμών συναρτάται με τον χρονικό παράγοντα και μπορεί να αποκωδικοποιηθεί με μικρότερη σαφήνεια μικροχρονίως παρά μακροχρονίως.

Κατά την κατασκευή ενός ορύγματος σε αργιλικό έδαφος, η πλευρική τάση στο μέτωπο μηδενίζεται, με συνέπεια η πίεση πόρων κατά μήκος του μετώπου να γίνεται αρνητική, ώστε τα εδαφικά σωματίδια να βρίσκονται σε εξαίτηση εφελκυσμού. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται διότι η αποτόνωση των τάσεων οδηγεί σε διόγκωση της αργίλου υπό αστράγγιστες συνθήκες, οι μεγαλύτερες τιμές των αρνητικών πιέσεων πόρων καταγράφονται στο σημείο όπου η αποτόνωση είναι μεγαλύτερη, δηλαδή στην βάση της εκσκαφής, βέβαια τείνουν να εκλείψουν χρονικά όταν εγκαθιδρυθεί υδραυλική ισορροπία υπό καθεστώς μόνιμης ροής.

Όπως γίνεται κατανοητό, η αύξηση των πιέσεων πόρων οδηγεί σε μείωση της μέσης ενεργούς τάσης, μια κατάσταση που μπορεί να οδηγήσει το μέτωπο σε αστοχία. Στις στιφρές προφορτισμένες αργίλους ειδικότερα, η αποτόνωση των οριζόντιων τάσεων λόγω εκσκαφής οδηγεί σε χρονικώς εξελισσόμενη αποδιοργάνωση του δομικού

ιστού της αντιστηριζόμενης γεωμάζας, με αποτέλεσμα την χαλάρωση και το άνοιγμα ρωγμών, ώστε με την συμπαρομαρτούσα αύξηση της διαπερατότητας σύντομα να εγκαθιδρυθούν στραγγιζόμενες συνθήκες εξαιτίας. Αντιθέτως, προς την πλευρά της εκσκαφής η άργιλος αποδιοργανώνεται πολύ πιο αργά λόγω αύξησης της οριζόντιας (παθητικού τύπου) τάσης, με αποτέλεσμα το κλείσιμο των όποιων κατακόρυφων ρωγμών και την επικράτηση αστράγγιστων συνθηκών εξαιτίας.

Είναι κοινά αποδεκτό ότι η εγγενής ανισοτροπεία των *in situ* γεωσχηματισμών (π.χ. στρωσιγενείς άργιλοι) διαφοροποιεί σημαντικά το καθεστώς των αναπτυσσόμενων υπερπίεσεων πόρων, ενώ στην περίπτωση όπου η κατασκευή του διαφράγματος προηγείται της εκσκαφής, οι πιέσεις πόρων αυξάνουν και ο βαθμός στερεοποίησης της γεωμάζας μειώνεται, ώστε η εξαιτία να υλοποιείται υπό καθεστώς αστράγγιστων συνθηκών.

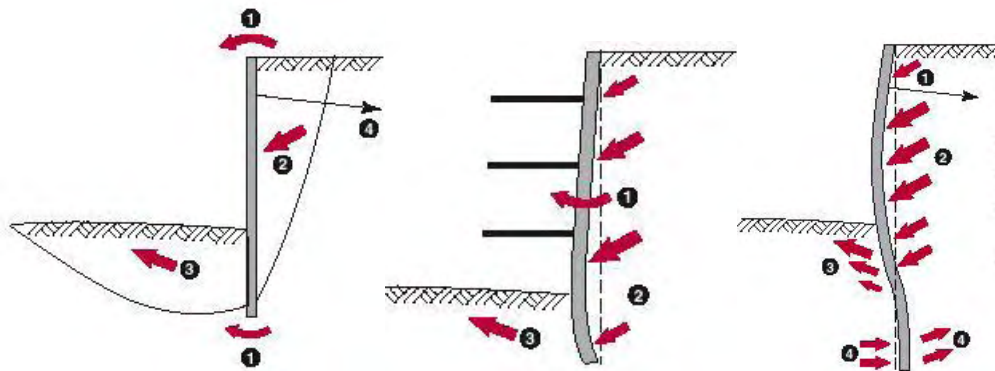
Συμπερασματικά λοιπόν, αναμένεται ότι η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής (Εικ. 7) θα είναι συνθετότερη στην εξεταζόμενη περίπτωση, και μάλιστα τόσο περισσότερο όσο η ακαμψία του συστήματος “διάφραγμα και πλευρικές στηρίξεις” αυξάνει συγκριτικά με την αντίστοιχη “απόκριση” του περιβάλλοντος εδάφους. Έτσι λοιπόν τα διαφράγματα υλοποιούνται από πάνω προς τα κάτω με σταδιακή εγκατάσταση των πλευρικών τους στηρίξεων, η ευκαμψία του συστήματος δεν είναι σταθερή, αλλά διαφοροποιείται συνεχώς κατά τις φάσεις υλοποίησης του έργου. Γι’ αυτό λοιπόν, η κατασκευαστική διαδικασία έχει βαρύνουσα σημασία στα φαινόμενα αλληλεπίδρασης μεταξύ των στοιχείων που συνθέτουν τις διαφραγματικές αντιστηρίξεις.

Τελικά, οι παράμετροι που επηρεάζουν την συμπεριφορά των διαφραγμάτων αντιστήριξης είναι οι παρακάτω (Κωτσόπουλος κ.α, 1985c):

- οι κινηματικές δυνατότητες του προβλεπόμενου συστήματος σε όλα τα στάδια πραγματοποίησης και σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του (επιφάνειες ολίσθησης, διαξονικότητα ή τριαξονικότητα των φαινομένων)
- το σύστημα και η μεθοδολογία κατασκευής και κυρίως οι λεπτομέρειές του
- η σημασία των συνεπειών αστοχίας (μέγεθος και βάθος εκσκαφής, έκταση επηρεαζόμενου χώρου, πιθανότητες ανθρώπινων ατυχημάτων, κοινωνική και

οικονομική έκταση των ζημιών, επιρροές στην εξυπηρέτηση συστημάτων γενικού ενδιαφέροντος)

- οι συνθήκες εξαιτίας (διαδρομές τάσεων από αποτόνωση και φόρτιση, άμεσες και μακροχρόνιες εξαιτίσεις, αστράγγιστες ή στραγγιζόμενες συνθήκες, παροδικές επιβαρύνσεις από στατικά ή δυναμικά γεγονότα, αστάθμητα ή απρόβλεπτα, αλλά τυχαία)
- η αλληλεπίδραση φυσικών και τεχνητών μαζών που εντείνονται (ακαμψία και χρονικό εισαγωγής των συστημάτων αντιστήριξης, χρονική εξέλιξη των εντάσεων και παραμορφώσεων, ερπυσμός και χαλάρωση)
- οι επιδράσεις στις μηχανικές ιδιότητες (συνέπειες από αποτόνωση, από εμφάνιση ή κυκλοφορία νερού, ενδεχόμενο χημικών προσβολών ή αιολικών διαβρώσεων)



**Εικόνα 7:** Κινηματική απεικόνιση αλληλεπίδρασης και διαφόρων διατάξεων αντιστήριξης και εδάφους (Dellatre, 2001)

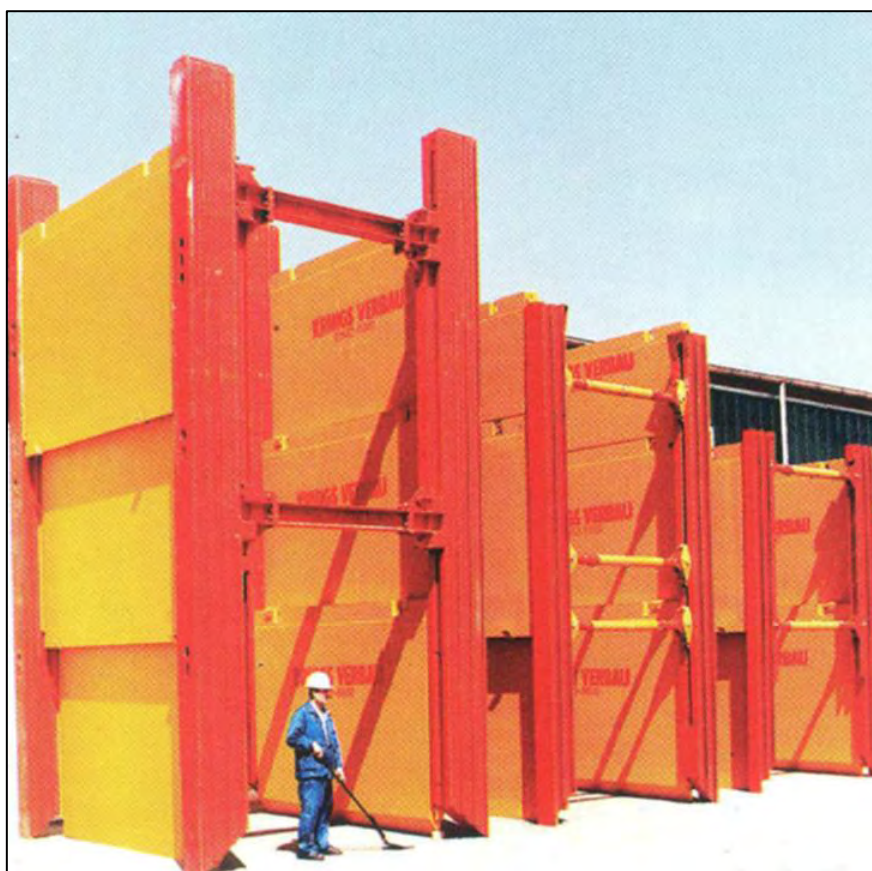
## 4.2 Τεχνολογία διαφραγμάτων

Όσον αφορά τις τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί στον τομέα των αντιστηρίξεων με διαφράγματα, ποικίλουν και αναφέρονται επιγραμματικά στον παρακάτω Πίνακα 3:

**Πίνακας 3:** Τεχνολογίες διαφραγμάτων

Τεχνολογία	Υλικό κατασκευής
Πασσαλοσανίδες / Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα διαφράγματα	κάθετα ή οριζόντια στοιχεία, από ξύλο, χάλυβα ή αλουμίνιο
Πασσαλότοιχοι	οπλισμένο σκυρόδεμα
Πέτασμα Βερολίνου	συνδυασμός χαλύβδινων πασσάλων και οπλισμένου σκυροδέματος
Επί τόπου εγχυόμενο διάφραγμα	οπλισμένο σκυρόδεμα
Αγκυρωμένο τοιχίο	οπλισμένο σκυρόδεμα

Ειδικότερα, στα ορύγματα των αποχετεύσεων που μελετάμε στην παρούσα εκπόνηση, χρησιμοποιείται η τεχνολογία των πασσαλοσανίδων και κυρίως των δίδυμων αυτό-αντιστηριζόμενων διαφραγμάτων (Εικ. 8), οι οποίες τεχνολογίες θα αναλυθούν εκτενώς στην συνέχεια της εργασίας.



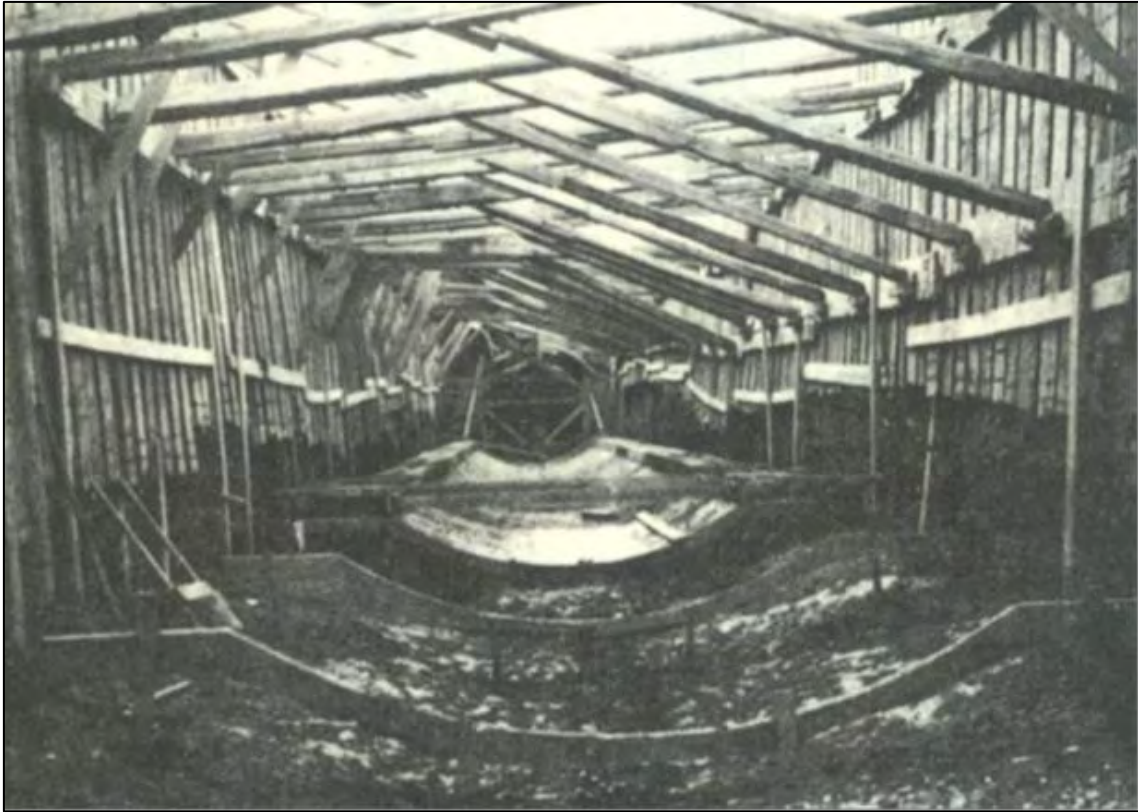
**Εικόνα 8:** Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα διαφράγματα, [krings.com/en](http://krings.com/en)

#### 4.2.1 Πασσαλοσανίδες

Οι πασσαλοσανίδες είναι διαδικαστικά στοιχεία, εν είδη πλατειών και λεπτών μη-επίπεδων στοιχείων (σανίδων ή πανέλων), κυρίως μεταλλικών (χάλυβας), και σπανιότερα, κυρίως παλαιότερα, από ξύλο (Εικ. 9, 10). Χρησιμοποιούνται κατά κανόνα σε ασταθή εδάφη όπως για παράδειγμα σε μαλακές αργίλους, προϋπόθεση για την χρησιμοποίησή τους είναι η μη ύπαρξη στο έδαφος εμποδίων, πέτρας ή κροκάλας. Η εγκατάστασή τους υλοποιείται με έμπηξη των στοιχείων στο έδαφος.



**Εικόνα 9:** Αντιστηρίξεις ξύλινων πασσαλοσανίδων



**Εικόνα 10:** Κατασκευή αγωγού αποχέτευσης με αντιστηρίξεις ξύλινων πασσαλοσανίδων, Λάρισα το 1968, (φωτ. Τάκης Τλούπας, αρχείο Δ.Ε.Υ.Α.Λ)

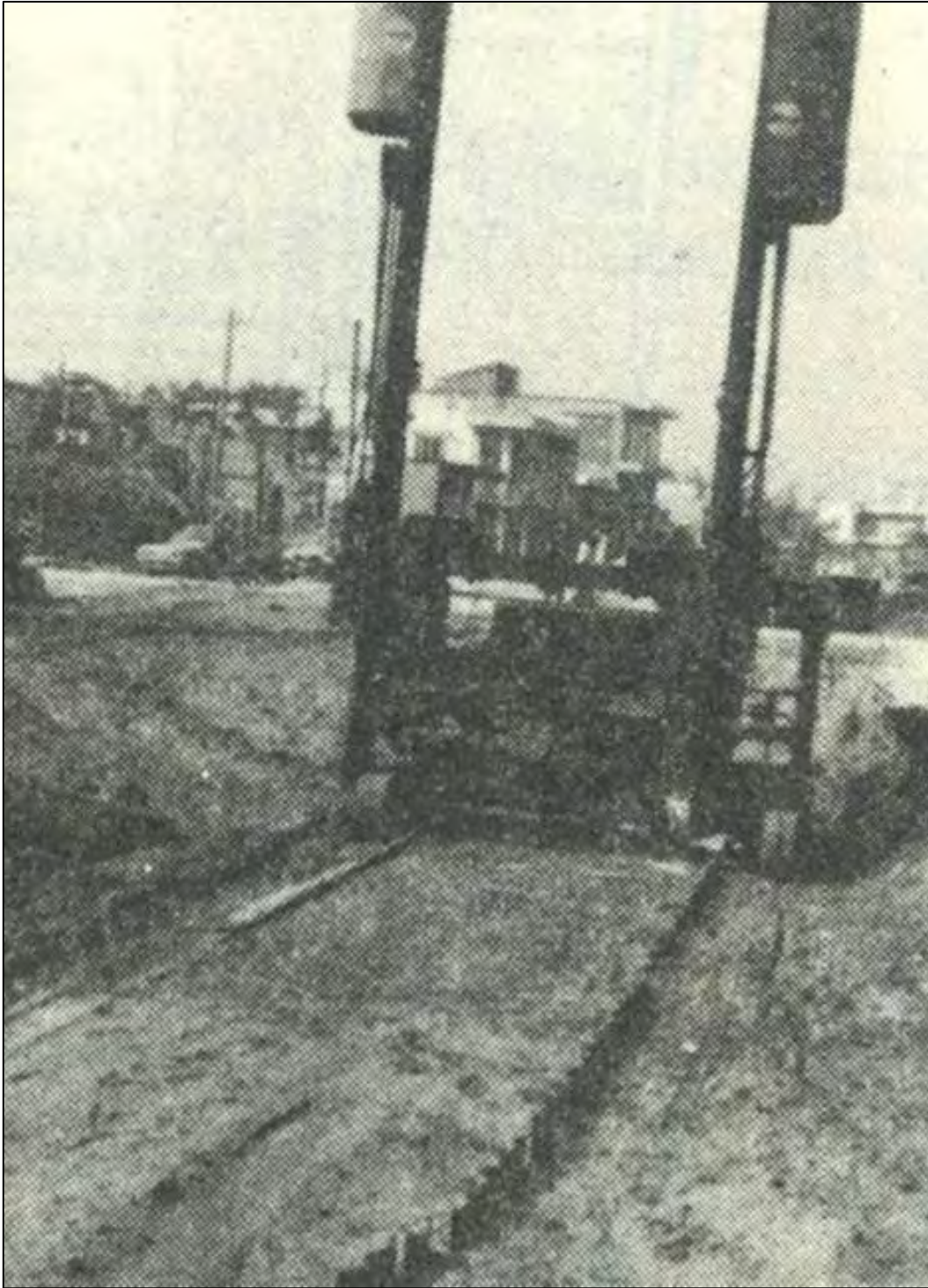
Στα πλεονεκτήματά τους είναι ο εύκολος χειρισμός και η μεταφορά τους, η δυνατότητα χρησιμοποίησής τους σε εδάφη που έχουν εμπόδια μικρής σημασίας, επίσης είναι μια ιδανική λύση για βαθιά ορύγματα εντός αστικού ιστού με παρεμβολή άλλων εγκάρσιων δικτύων (Ο.Κ.Ω). Επιπροσθέτως, ειδικά οι μεταλλικές πασσαλοσανίδες είναι υδατοστεγείς, προσφέροντας μεγάλη προστασία από εισροή υδάτων στα ορύγματα. Είναι εύκολη η επαναχρησιμοποίησή τους και υπάρχει ευχερής παραγωγή ειδικών τεμαχίων για την υλοποίηση ειδικής μορφής διαφραγμάτων.

Τα μειονεκτήματα των πασσαλοσανίδων είναι η πρόκληση θορύβου κατά την έμπηξη ή την εξαγωγή των πασσάλων. Είναι ο μικρός αριθμός επαναχρησιμοποίησής τους, 20 φορές για μεταλλικές και 6-8 φορές για ξύλινες πασσαλοσανίδες, ([www.shoring.de](http://www.shoring.de)). Επίσης οι δονήσεις της διαδικασίας έμπηξης είναι ικανές να προκαλέσουν καθιζήσεις στο περιβάλλον, όπως ακόμη και όταν οι πασσαλοσανίδες (κυρίως ξύλινες) δεν έχουν στεγανή σύνδεση των στοιχείων υπάρχει κίνδυνος εισροών νερού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιορισμένο μήκος και τυχόν συγκολλήσεις τεμαχίων αποτελούν ευαίσθητες ζώνες. Υπάρχει ακόμη η περίπτωση καταστροφής

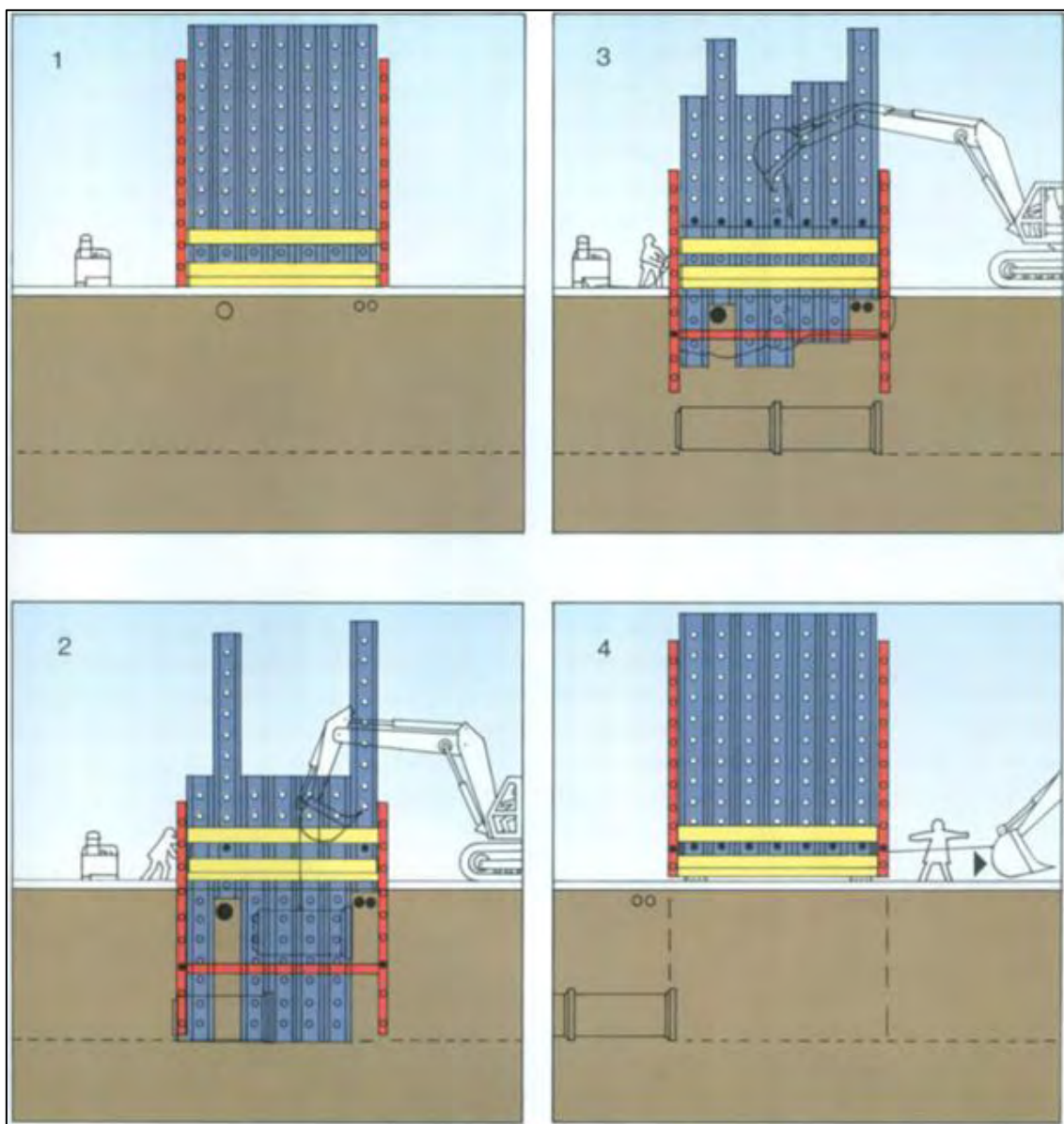


σημαντικών εμποδίων, ζητήματα λυγισμού κατά την έμψηξη, κυρίως όταν η ροπή αντίστασης είναι μικρότερη από  $460 \text{ cm}^3/\text{m}$ . Τέλος, παρουσιάζουν τρωτότητα στην διάβρωση και μειωμένη αισθητική.

Το μήκος των πασσαλοσανίδων εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τις απαιτήσεις ευστάθειας, την τεχνική έμψηξης, υπάρχει η δυνατότητα έμψηξης με εξειδικευμένα μηχανήματα (Εικ. 11), όσο και από τα χαρακτηριστικά της γεωμάζας. Η έμψηξη των πασσαλοσανίδων στο έδαφος ακολουθεί τις ίδιες γενικές αρχές που αναπτύχθηκαν παραπάνω, με την προϋπόθεση ότι κάθε σανίδα συνδέεται πριν την έμψηξη με την χρονικώς προηγούμενή της η οποία έχει ήδη έμψηθεί (Εικ. 12). Μετά το πέρας της εργασίας και κατά την εξαγωγή των πασσαλοσανίδων, συνήθως με την βοήθεια σφύρας με χαμηλή ταχύτητα (δονητική), υπάρχει ενδεχόμενο να παραμείνει σχισμή στο συνεκτικό έδαφος λόγω προσκόλλησης του τελευταίου στο σώμα της πασσαλοσανίδας, με αποτέλεσμα να προκύψουν μετακινήσεις στην γεωμάζα (Κωστόπουλος, 1998).



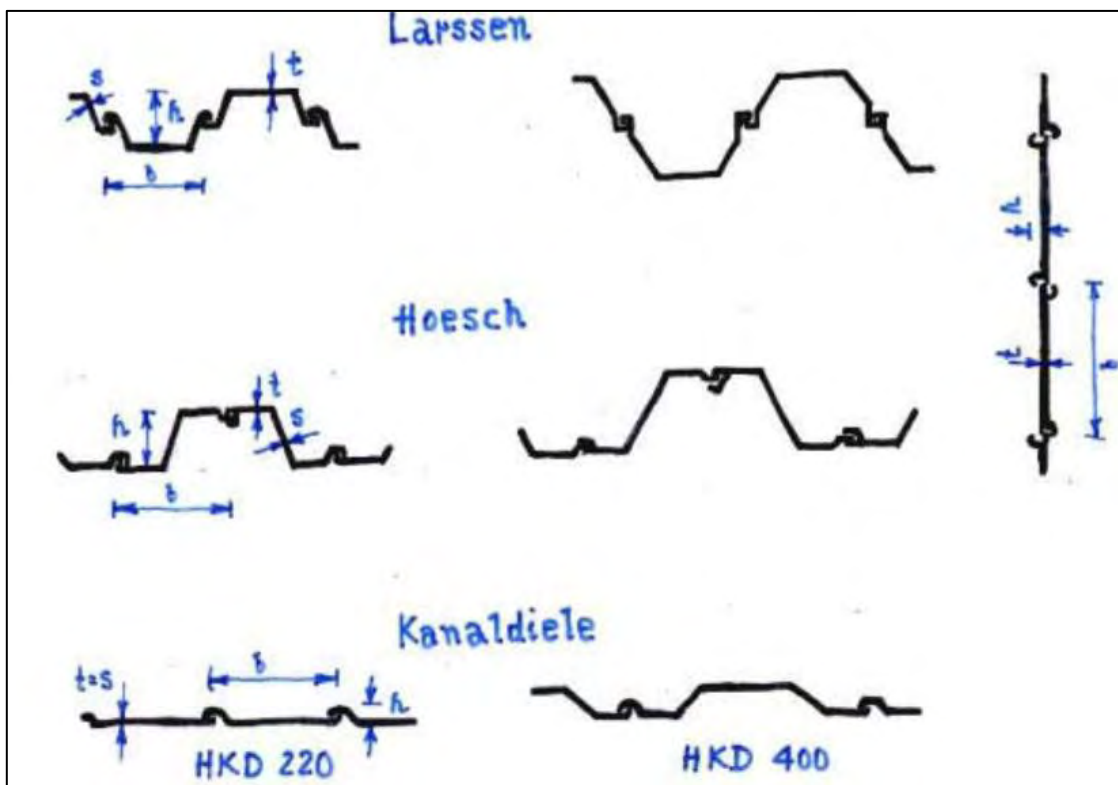
**Εικόνα 11:** Μηχάνημα έμπηξης πασσαλοσανίδων σε κατασκευή δικτύου αποχέτευσης  
Λεωφ. Ηρ. Πολυτεχνείου, Λάρισα 1968, (φωτ. Τάκης Γλούπας, αρχείο ΔΕΥΑΛ)



**Εικόνα 12:** Απεικόνιση έμπηξης πασσαλοσανίδων, εκσκαφής και απομάκρυνσης των πασσαλοσανίδων μετά το πέρας των εργασιών, [krings.com/en](http://krings.com/en)

Το προφίλ των μεταλλικών πασσαλοσανίδων (Εικ. 13, 14, 15) ορίζεται από την εκάστοτε βιομηχανία παραγωγής, οι συνηθέστεροι τύποι είναι οι εξής:

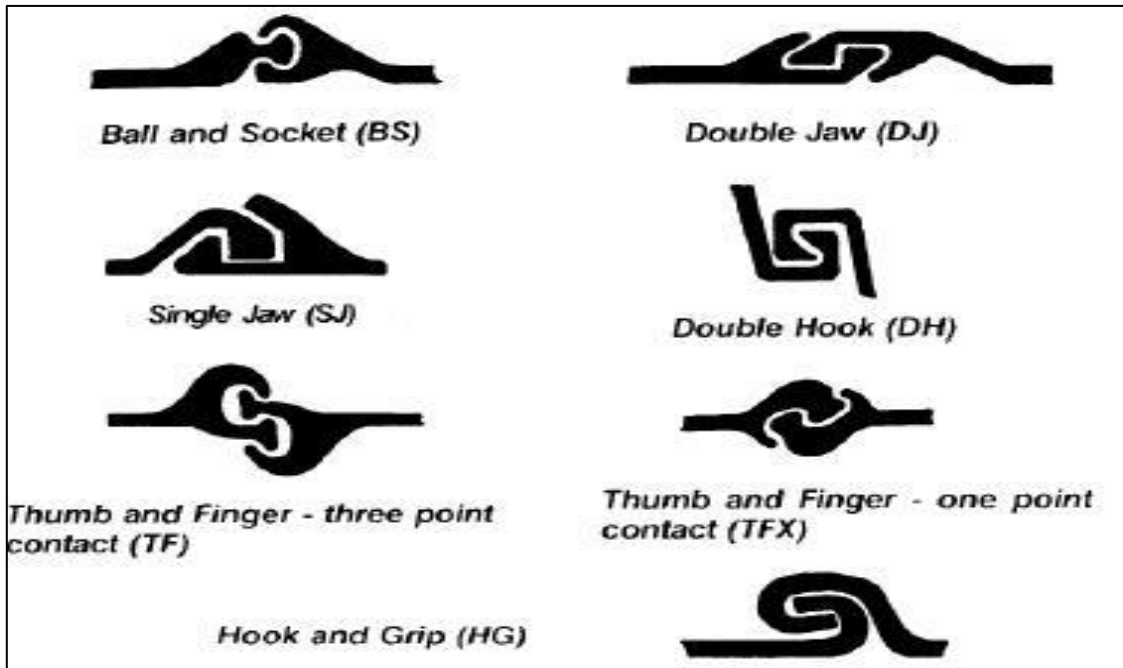
- Larsen
- Hoesch
- Kanaldiele
- Επίπεδο προφίλ



Εικόνα 13: Τύποι πασσαλοσανίδων διάφορων κατασκευαστικών εταιριών (FAD, 2003)



Εικόνα 14: Τύποι συνδέσεων πασσαλοσανίδων, σχήματος Z



**Εικόνα 15:** Τύποι συνδέσμων μεταξύ πασσαλοσανίδων, σχήματος U (FAD, 2003)

Επίσης στο εμπόριο διατίθενται και πλαίσια πασσαλοσανίδων (Εικ. 16). Τα πλαίσια πασσαλοσανίδων είναι ένας συνδυασμός πανέλων με πασσαλοσανίδες. Τα πανέλα του συστήματος (πλαίσια) λειτουργούν σαν εσωτερική υποστήριξη των πασσαλοσανίδων και ταυτόχρονα εξασφαλίζουν την θέση και την καθετότητά τους. Τα πλαίσια πασσαλοσανίδων είτε σαν αυτόνομο σύστημα είτε σε συνδυασμό με άλλα συστήματα αντιστήριξης, είναι ιδανικά για εργασίες εντός πόλεων με πυκνά υπάρχοντα εγκάρσια δίκτυα.



**Εικόνα 16:** Μεταλλικές πασσαλοσανίδες-πλαίσιο, [krings.com/en](http://krings.com/en)

Προορίζονται για μέσου/μεγάλου μεγέθους εργασίες αντιστήριξης ορυγμάτων με την μέθοδο της έμπηξης (αντιστήριξη ταυτόχρονα με την εκσκαφή). Η έμπηξη των πασσαλοσανίδων γίνεται με εναλλάξ εκσκαφή μέσα από την μονάδα και πίεση τους με τον κουβά του εκσκαφέα. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και δονητικός πασσαλοπήκτης. Για τα μεγαλύτερα βάθη διατίθεται τυποποιημένη επιπλέον εσωτερική υποστήριξη με δοκούς και αντηρίδες. Τα απλά πλαίσια (πάχος πανέλων 120 mm) διατίθενται σε μήκη από 2,00 έως 4,00 m (ανά μισό μέτρο) ενώ τα ενισχυμένα πλαίσια (πάχος πανέλων 170 mm) διατίθενται σε μήκη από 4,50 έως 6,00 m (ανά μισό μέτρο).

Το σύστημα φέρει τις κοινές αντηρίδες με ατέρμονα που φέρουν και τα άλλα συστήματα. Η αύξηση του πλάτους γίνεται με την προσθήκη προεκτάσεων στις αντηρίδες. Οι αντηρίδες είναι ενισχυμένου τύπου ώστε να μπορούν να φέρουν προεκτάσεις αντηρίδων προσθετικά. Η σύνδεση των πλαισίων με τις αντηρίδες γίνεται εύκολα και γρήγορα χρησιμοποιώντας πύρους και ασφάλειες. Το πλάτος ορύγματος

κυμαίνεται από 1,30 έως 4,58 m. Όλες οι εκδόσεις διατίθενται και με προφίλ για σύνδεση σε συστήματα οδηγών.

Όσον αφορά εναλλακτικό τρόπο έμπηξης των πασσαλοσανίδων αναφορικά θα αναφέρουμε τις υδραυλικές κρουστικές σφύρες (Εικ. 17). Οι υδραυλικές κρουστικές σφύρες είναι σχεδιασμένες για την έμπηξη πασσάλων από μπετόν, ξύλο και σίδηρο. Για να εξασφαλιστεί η μεγάλη διάρκεια ζωής της σφύρας, το περίβλημά (κέλυφος) της καθώς και η κεφαλή του εμβόλου είναι κατασκευασμένα από συμπαγή χάλυβα υψηλής ποιότητας. Το σχεδόν τελείως κλειστό περίβλημα, προστατεύει αποτελεσματικά όλα τα επί μέρους εξαρτήματα της σφύρας, ενώ μειώνει αισθητά το επίπεδο θορύβου.



**Εικόνα 17:** Υδραυλική κρουστική σφύρα έμπηξης μεταλλικών πασσαλοσανίδων, [sbh-shoring.com](http://sbh-shoring.com)

Για την κίνηση του εμβόλου, λειτουργεί ένας κεντρικός υδραυλικός κύλινδρος βαρέως τύπου, χρησιμοποιώντας υψηλής πίεσης παρεμβύσματα στεγανοποίησης, εκτονωτές πίεσης, ορειχάλκινα κουζινέτα, χιτώνια κλπ. Ο κεντρικός υδραυλικός κύλινδρος στηρίζεται στο περίβλημα της σφύρας με την βοήθεια βραχίονα επάνω σε μικρότερους υδραυλικούς κυλίνδρους και αποσβεστήρες κραδασμών, ώστε να είναι δυνατή η ελαφρά μετακίνηση του (κεντρικού υδραυλικού κυλίνδρου) προς όλες τις κατευθύνσεις, προκειμένου να μειώνονται οι δονήσεις και οι κραδασμοί.

Επιπρόσθετα, ο κεντρικός υδραυλικός κύλινδρος προσφέρει επιτάχυνση της τάξης του 15–20% κατά την πτώση του εμβόλου της σφύρας, με αποτέλεσμα να αντισταθμίζονται οι απώλειες (από την τριβή) στην ταχύτητα πτώσης. Έτσι οι υδραυλικές κρουστικές σφύρες, επιτυγχάνουν 100% ταχύτητα ελεύθερης πτώσης.

Το ύψος πτώσης είναι συνεχόμενα ρυθμιζόμενο από τα 20 έως τα 1200 mm. Για την έμπηξη σιδηρών πασσάλων ειδικότερα, διατίθεται ύψος πτώσης 1500 mm. Τελευταίας τεχνολογίας συσκευές σε συνδυασμό με αισθητήρες μέτρησης της ταχύτητας κρούσης, χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση της κινητικής ενέργειας κρούσης. Με την μέθοδο αυτή εξασφαλίζεται ότι κάθε πάσσαλος θα κρούεται με την απαιτούμενη (και πάντα την ίδια) ταχύτητα και ύψος πτώσης (δύναμη), ώστε να αποφεύγονται τα προβλήματα θραύσης των πασσάλων.

#### **4.2.2 Προκατασκευασμένα δίδυμα μεταλλικά αυτό-αντιστηριζόμενα διαφράγματα (pannels)**

Τα δίδυμα μεταλλικά αυτό-αντιστηριζόμενα διαφράγματα (pannels) είναι μία ειδική μεταλλική αντιστήριξη από προκατασκευασμένα μεταλλικά στοιχεία, για ορύγματα ή φρεάτια στην περίπτωση που οι επικρατούσες συνθήκες (νερό, χαλαρό έδαφος κλπ.) καθιστούν τη χρήση ξυλοζευγμάτων αδύνατη ή επικίνδυνη. Προσφέρουν μεγάλη ασφάλεια, υδατοστεγανότητα και μεγάλο αριθμό επαναχρησιμοποίησής τους, 500-600 φορές, σαν μειονέκτημα θεωρείται η δύσκολη μεταφορά τους ([www.shoring.de](http://www.shoring.de)).

Η ειδική μεταλλική αντιστήριξη αποτελείται από προκατασκευασμένα μεταλλικά στοιχεία βιομηχανικής κατασκευής (pannels) και όχι αυτοσχέδια, προσαρμοσμένη στις ειδικές συνθήκες του έργου, τις τυχόν πλευρικές επιφορτίσεις από μόνιμα φορτία ή



κινητά φορτία κυκλοφορίας αυτοκινήτου ή μηχανημάτων έργων και περιλαμβάνει όλα τα απαιτούμενα εξαρτήματα όπως μεταλλικοί κατακόρυφοι οδηγοί-ορθοστάτες (γλύστρες), σύνδεσμοι, αντηρίδες, σύστημα ελαφρών πασσαλοσανίδων ή ανάλογο για την αντιμετώπιση εμποδίων, όπως αγωγών, καλωδίων κλπ. τα οποία διέρχονται εγκαρσώς στο όρυγμα. Η τοποθέτηση των αντιστηρίξεων γίνεται ταυτόχρονα με την εκσκαφή και η αφαίρεσή τους ταυτόχρονα με την επίχωση του ορύγματος. Η εσωτερική πλευρά της αντιστήριξης πρέπει να είναι επίπεδη χωρίς δοκίδες ώστε να είναι δυνατή και εύκολη η αφαίρεσή της.

Αναφορικά με την εγκατάστασή τους και όσον αφορά την μείωση του ύψους των πρανών είναι δυνατόν να κατασκευαστούν "πατάρια". Στην περίπτωση αυτή ανάμεσα στον πόδα της επικλινούς πλευράς και της αντιστήριξης και από τις δυο πλευρές θα πρέπει να υπάρχει προστατευτική λωρίδα με ελάχιστο πλάτος 60 εκατοστών για ασφαλή εργασία. Τα κενά μεταξύ των πλακών των συστημάτων αντιστήριξης και των πρανών πρέπει να γεμίζονται αμέσως με χώμα.

Πέραν των παραπάνω πρέπει στο χρονικό διάστημα μεταξύ αρχής εκσκαφής και ολοκλήρωσης της τοποθέτησης των πανέλων, να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην δημιουργία καταπτώσεων. Τα πρανή δεν επιτρέπεται να καταπονούνται μέχρι την τοποθέτηση, από την κυκλοφορία μηχανημάτων και αυτοκινήτων, ούτε επιτρέπεται τα ορύγματα να επεκτείνονται πέρα από το μήκος των μονάδων αντιστήριξης.

Για βαθιά ορύγματα οπού απαιτείται η τοποθέτηση περισσότερων της μιας μονάδων αντιστήριξης καθ' ύψος τα κατακόρυφα μεταλλικά στοιχεία οδηγοί-ορθοστάτες (γλίστρες) πρέπει να συναρμολογούνται εκτός ορύγματος. Σε κάθε περίπτωση επιτρέπεται να τοποθετηθεί πρώτα η βασική μονάδα και στην συνέχεια η μονάδα επέκτασης.

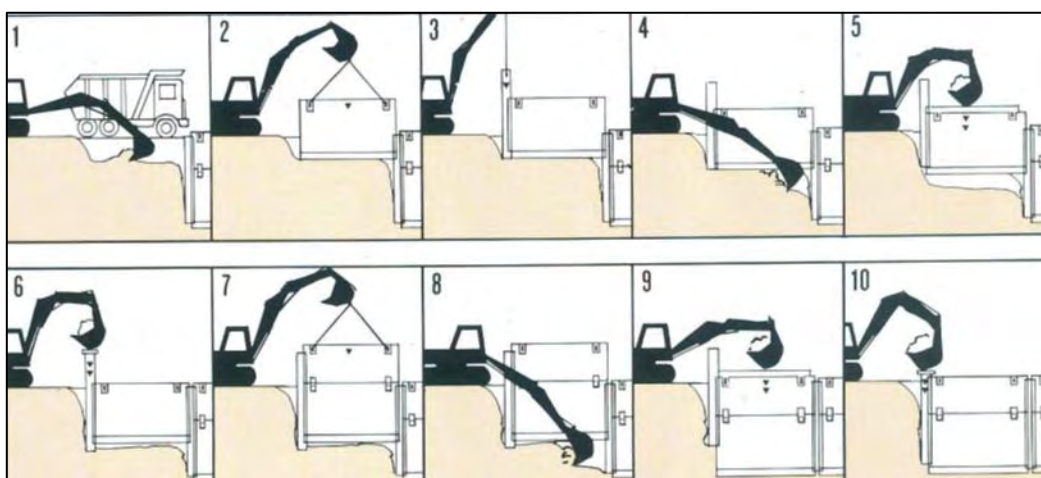
Στην διαδικασία της βύθισης, οι μονάδες αντιστήριξης, πιέζονται ταυτόχρονα με την εκσκαφή στο έδαφος. Πρώτα πιέζεται ο ορθοστάτης που καταλήγει σε αιχμή για ευκολότερη διείσδυση. Ο ορθοστάτης έχει ορθογωνική διατομή και οι δύο απέναντι έδρες του, σε όλο το μήκος είναι προσαρμοσμένες υποδοχές-οδηγοί μέσα στους οποίους εισέρχονται οι καθ' ύψος πλευρές των μεταλλικών διαφραγμάτων. Έτσι μετά την προσαρμοσμένη στις τοπικές συνθήκες επιφανειακή εκσκαφή, ακολουθεί η μερική

τοποθέτηση της μονάδας, που καθώς πιέζεται, γλιστρά στον ορθοστάτη-οδηγό και εισχωρεί κατά ένα μέρος στο έδαφος. Συνεχίζεται ένα μέρος της εκσκαφής και μετά βυθίζεται λίγο η μονάδα μέσα στο όρυγμα.

Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς έως ότου εισαχθεί τελικά όλη η μονάδα μέσα στο έδαφος. Πρέπει να προσεχθεί ότι δεν επιτρέπεται το βάθος της εκσκαφής να υπερβαίνει τα 0,50 μ. χωρίς να ακολουθεί η βύθιση. Το ίδιο συμβαίνει και στην απέναντι παρεία του ορύγματος που χρήζει αντιστήριξης, οπότε στην συνέχεια τοποθετούνται οι ατέρμονες που συνδέουν και στηρίζουν τα απέναντι πασσαλοφράγματα.

Η απόσταση των πλακών μίας μονάδας πρέπει να είναι μεγαλύτερη στα κάτω άκρα παρά στα πάνω. Εάν αυτό δεν εφαρμοστεί, τα ζευγάρια των πλακών τοποθετούνται με μορφή σφηνοειδή και εμποδίζεται η βύθισή τους ενώ στραβώνει και το ζεύγος των πλακών από την πίεση.

Η ταυτόχρονη βύθιση των μεταλλικών πλακών πρέπει να γίνει σε όσο το δυνατό μικρότερα βήματα. Έτσι μπορεί να αποφευχθεί η αλλαγή του πλάτους τους από τις διάφορες δυνάμεις που ασκούνται στο έδαφος. Για να κρατήσουμε όσο το δυνατόν χαμηλότερο το επίπεδο των πιέσεων, δεν είναι αποδεκτό η κλίση των ατερμόνων να υπερβαίνει το 1:20. Στη διαδικασία βύθισης (Εικ. 18) επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν μόνο οι μονάδες οι οποίες έχουν στα κάτω σημεία τους αιχμές για να βυθίζονται με ευκολία στο έδαφος.



**Εικόνα 18:** Τοποθέτηση προκατασκευασμένων διαφραγμάτων (krings.com)

Υπάρχουν κάποιες ιδιαίτερες απαιτήσεις όπως η αντιστήριξη και των μετωπικών (κάθετα στον άξονα του ορύγματος) πρανών. Το επάνω μέρος των μονάδων αντιστήριξης πρέπει να υπερβαίνει την επιφάνεια του εδάφους κατά 0,30 m τουλάχιστον. Οι μονάδες αντιστήριξης υποχρεωτικά τοποθετούνται χωρίς κανένα κενό διάστημα μεταξύ τους.

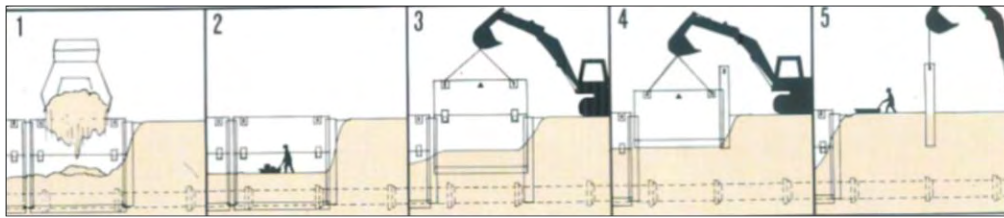
Μετά την εγκατάσταση των μονάδων αντιστήριξης, οι ατέρμονες πρέπει να στερεωθούν καλά, έτσι ώστε να αποφευχθεί μια πλήρη πτώση των πρανών. Στη τελική φάση εγκατάστασης, οι ατέρμονες επιβάλλεται να είναι οριζόντιοι έτσι ώστε να μην λυγίσουν. Ατέρμονες με στερεωμένη σύνδεση επιτρέπεται να προεκταθούν μόνο μέσω ενός τμήματος. Αυτή η απαίτηση είναι αναγκαία, διότι έχει παρατηρηθεί σε διαδικασίες δοκιμών, ότι οι ατέρμονες έχουν αντοχές μόνο με αυτό τον περιορισμό. Εάν αυτός δεν ισχύει για έναν τύπο ατερμόνων, τότε ο κατασκευαστής θα πρέπει να το αναφέρει στις οδηγίες χρήσεως.

Όπως στην εγκατάσταση, έτσι και στην αποσύνδεση δεν επιτρέπεται να πατηθούν τα ανακατασκευασμένα τμήματα των παρειών των ορυγμάτων. Εάν πρέπει τα πρανά να πατηθούν κατά την αποσύνδεση, (π.χ. για να συμπιεσθεί το έδαφος), τότε πρέπει οι μονάδες αντιστήριξης ή μέρος αυτών πρώτα να αποσυνδεθούν και μετά να επιχωθούν.

Για την ασφαλή έκβαση των εργασιών και τη συμπίεση, είναι απαραίτητο να ακολουθείται με τη σειρά τα παρακάτω βήματα:

- μερική επίχωση στο επιθυμητό ύψος.
- τράβηγμα της μονάδας αντιστήριξης στο ύψος της επίχωσης.
- συμπίεση εδάφους.
- συνέχιση με την ίδια σειρά.

Η αφαίρεση της μονάδας απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή (Εικ. 19). Για να αποφευχθούν επικίνδυνοι χειρισμοί και καθυστερήσεις, θα πρέπει το τράβηγμά τους να έχει υπολογισθεί σωστά αλλιώς είναι πολύ πιθανό να έχουμε κατάπτωση πρανών και επιπλέον καθυστερήσεις (Εικ. 20). Η απαιτούμενη δύναμη που είναι αναγκαίο να υπολογισθεί πέρα από το βάρος της μονάδας, είναι και η πλευρική ώθηση των γαιών, με τιμή τριβής  $\mu=0,5$ .



**Εικόνα 19:** Απομάκρυνση προκατασκευασμένων διαφραγμάτων (krings.com)



**Εικόνα 20:** Κακός υπολογισμός αφαίρεσης μονάδας αντιστήριξης-κατάπτωση πρανών, Λάρισα 2014, αρχείο ΔΕΥΑΛ

Οι μονάδες αντιστήριξης είναι απαραίτητο να στοιβάζονται και να φυλάσσονται με ασφάλεια. Για να αποφευχθούν τυχόν πτώσεις τους, είναι κατάλληλα κατασκευασμένες έτσι ώστε κατά την τοποθέτησή τους σε επίπεδο έδαφος, η επιφάνειά τους να μη δημιουργεί κλίση άνω των 5 μοιρών σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα. Σε καμία περίπτωση δεν επιτρέπεται να στερεωθούν, να μετακομισθούν, ή να βγουν από τις τάφρους με τη βοήθεια των ατερμόνων, γιατί αυτοί δεν είναι κατασκευασμένοι γι' αυτό το σκοπό.

Εάν η μεταφορά τους στη θέση εγκατάστασης γίνει χειρωνακτικά, τότε επιβάλλεται να χρησιμοποιηθούν απαραίτητα κάποια βοηθητικά μέσα όπως π.χ. σχοινί,

αλυσίδες και ράβδοι. Ο καλύτερος τρόπος μεταφοράς των μονάδων επιτυγχάνεται δίχως τη χρήση των χεριών, αλλά με τη χρήση του κάδου του εκσκαφέα ή κάποιου γερανού και με την βοήθεια συρματόσχοινου ([www.edeya.gr](http://www.edeya.gr)).

### 4.3 Τεχνολογία πλευρικών αντιστηρίξεων

Αν και τα περισσότερα συστήματα κατασκευής διαφραγμάτων έχουν αυτόνομα την δυνατότητα αντιμετώπισης σημαντικών εξαιτίσεων, τα βάθη εκσκαφής έχουν πλέον γίνει πολύ σημαντικά και απαιτούν τοποθέτηση πλευρικών αντιστηρίξεων. Οι λόγοι που συναινούν σε αυτή την προτροπή είναι οι παρακάτω:

- Η απουσία πλευρικών αντιστηρίξεων θα οδηγούσε σε μη-αποδεκτές μετακινήσεις της αντιστήριξης, άρα και της αντιστηριζόμενης γεωμάζας.
- Για την επίτευξη αποδεκτών μετακινήσεων σε μία αντιστήριξη χωρίς πλευρικές στηρίξεις το κόστος θα ήταν απαγορευτικό.
- Οι πλευρικές στηρίξεις μειώνουν τα εντατικά μεγέθη του διαφράγματος.

Η παρουσία πλευρικών αντιστηρίξεων παρουσιάζει υπό προϋποθέσεις και ορισμένα μειονεκτήματα:

- Παρεμποδίζονται οι φάσεις του κατασκευής του έργου, με ότι συνεπάγεται αυτό, όπως χρονικά ορθή εκτέλεση του χρονοδιαγράμματος με ταυτόχρονη αύξηση του κόστους του έργου.
- Καθίσταται προβληματική η διακίνηση βαρέων μηχανημάτων στον πυθμένα της εκσκαφής.
- Μειώνεται αισθητά ο χώρος των εγκαταστάσεων, λόγω του μεγάλου όγκου των τεμαχίων αντιστήριξης.

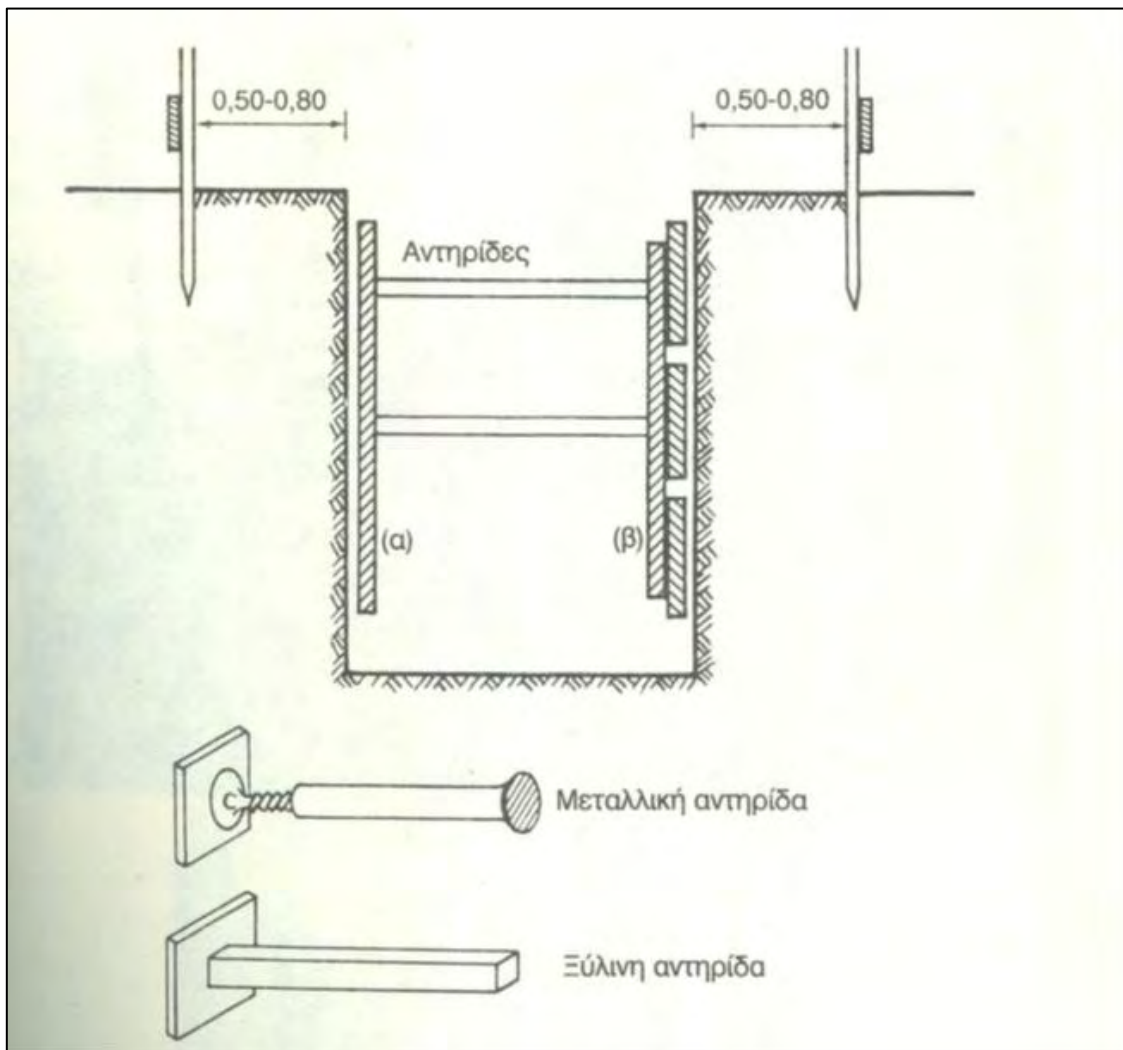
Για όλους λοιπόν τους παραπάνω λόγους, η ιστορικός προγενέστερη μέθοδος των αντηρίδων έχει σταθερά υποκατασταθεί από τις ηλικιακά νεότερες αγκυρώσεις. Στα ορύγματα των δικτύων αποχέτευσης όμως, σχεδόν καθολικά, χρησιμοποιείται η μέθοδος των αντηρίδων και σπανιότερα των αγκυρώσεων.

Βέβαια σε κάθε περίπτωση, η τοποθέτηση των πλευρικών αντιστηρίξεων γίνεται σταδιακά με την πρόοδο των εκσκαφών, κατά συνέπεια, το χρονικό της εισαγωγής τους

έχει σημαντική επίδραση τόσο στο συνολικό κόστος όσο και στην κατανομή των ασκούμενων πλευρικών πιέσεων στο διάφραγμα.

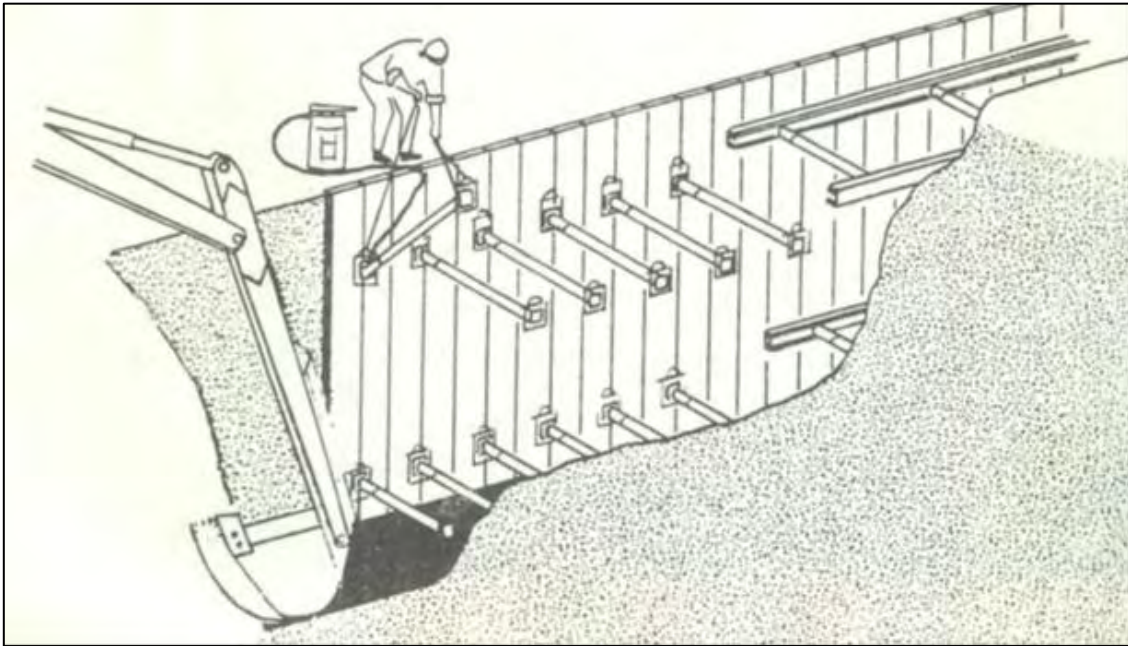
### 4.3.1 Αντηρίδες

Πρόκειται για γραμμικά στοιχεία, σχετικώς άκαμπτα, από χάλυβα, σκυρόδεμα ή σπανιότερα από ξύλο, με διατομή ορθογωνική ή κυκλική-σωλήνας, (Εικ. 21). Προκατασκευάζονται πριν από κάθε εργασία εκσκαφής και καταβιβάζονται σε διατεταγμένη θέση αντιστηρίζοντας κατ' αρχήν δύο απέναντι παρειές μιας στενής προσωρινής εκσκαφής, συνδέονται με αυτές μέσω διαμήκων δοκών και μικρών σφηνών από κατάλληλο δομικό υλικό.



**Εικόνα 21:** Μεταλλικές και ξύλινες αντηρίδες σε αντιστήριξη διαφράγματος, (Τσόγκας, 1998)

Τοποθετούνται μέσα στην εκσκαφή, σε ελάχιστες μεταξύ τους κατακόρυφες αποστάσεις περίπου 2,5 μέτρα, και σε οριζόντιες αποστάσεις τέτοιες ώστε να διευκολύνονται οι εργασίες στον πυθμένα του ορύγματος (Εικ. 22). Καταπονούνται κυρίως σε θλιπτική ένταση, παρέχουν επίσης και την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής τους.



**Εικόνα 22:** Τοποθέτηση αντηρίδων, (Τσόγκας, 1998)

Οι αντηρίδες χρησιμοποιούνται περισσότερο έναντι των αγκυρώσεων σε περιπτώσεις μη-ευνοϊκών εδαφικών συνθηκών, τοποθέτησης ή επιδιόρθωσης δικτύων Ο.Κ.Ω. (δίκτυα οργανισμών κοινής ωφελείας), (Εικ. 23), παρουσίας όμορων μικρών κατασκευών, στενών και αβαθών εκσκαφών μεγάλου μήκους καθώς και εκσκαφών περιορισμένης κάτοψης κλπ.



**Εικόνα 23:** Κατασκευή κεντρικού αποχετευτικού αγωγού με χρήση αντιστήριξης ξύλινων πασσαλοσανίδων, Λάρισα 1968, (φωτ. Τάκης Γλούπας, αρχείο Δ.Ε.Υ.Α.Λ)

Εάν οι εκσκαφή έχει σχετικά μικρό πλάτος, η τοποθέτηση των αντηρίδων δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα, σχετικό είναι το παράδειγμα των τάφρων για την τοποθέτηση αγωγών αποχέτευσης, όπου όλο το σύστημα «πέτασμα-αντηρίδες» τοποθετείται ταυτόχρονα με την κατά βάθος πρόοδο της διαμήκου εκσκαφής. Εάν η εκσκαφή έχει μεγάλο πλάτος, λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα για την αποφυγή των φαινομένων λυγισμού των αντηρίδων.

Επισημαίνεται ότι το μέγιστο φορτίο μιας αντηρίδας είναι ενδεχόμενο να προκύψει σε ενδιάμεση φάση εκσκαφής, ενώ εισάγεται καμπτική καταπόνηση, από το ίδιο μέρος της αντηρίδας, την αθέλητη εκκεντρότητα του επιβαλλόμενου φορτίου ή και από διαφορά θερμοκρασίας. Η αντοχή τους λοιπόν έναντι «δευτερευουσών» εντάσεων θα πρέπει να είναι τόσο σημαντική όσο και η ικανότητά τους να αναλαμβάνουν με ασφάλεια τα λεγόμενα «πρωτογενή» φορτία.

Ειδική περίπτωση αποτελούν οι πλάγιες αντηρίδες (rakers) και οι γήινοι αναβαθμοί (berms). Η πρώτη περίπτωση αφορά σε εκσκαφές μεγάλων διαστάσεων,



οπότε για λόγους πρακτικής και οικονομίας η κάθε αντηρίδα λειτουργεί ως πλευρική στήριξη μίας μόνο πλευράς και μεταφέρει την δράση στο δάπεδο της εκσκαφής με τη βοήθεια ενός πρίσματος αντίδρασης ή ενός κεφαλόδεσμου πασσάλων ενταφιασμένων σε συμπαγές έδαφος. Παραλαμβάνει λοιπόν την εδαφική ώθηση από το διάφραγμα μόνο με την οριζόντια συνιστώσα της αξονικής της δύναμης ενώ η κατακόρυφη συνιστώσα θα πρέπει να αναληφθεί από τις αναπτυσσόμενες τριβές στην διεπιφάνεια διαφράγματος-εδάφους.

Γίνεται αντιληπτό ότι μια τέτοια τεχνική αντιστήριξης προϋποθέτει εκσκαφή στην τελική προβλεπόμενη στάθμη τουλάχιστον στο κεντρικό τμήμα της κάτοψης του ορύγματος, ενδεχομένως με την αρωγή γήινων αναβαθμών οι οποίοι και αντιστηρίζουν προσωρινά το διάφραγμα αναπτύσσοντας μερικώς αντίσταση παθητικού τύπου. Πρόκειται για οικονομική, αλλά αμφιλεγόμενη πλευρική στήριξη, δεδομένης της ασάφειας που προκύπτει τόσο από τον βαθμό κινητοποίησης της διατμητικής αντοχής μέσα στον αναβαθμό, όσο και τους ελλοχεύοντες κινδύνους κατάργησής της από φαινόμενα ερπυσμού, μαλάκυνσης, διάβρωσης, αλλά και κατασκευαστικές διαδικασίες (κυρίως την έμπηξη γειτονικών πασσάλων).

#### 4.3.2 Αγκυρώσεις

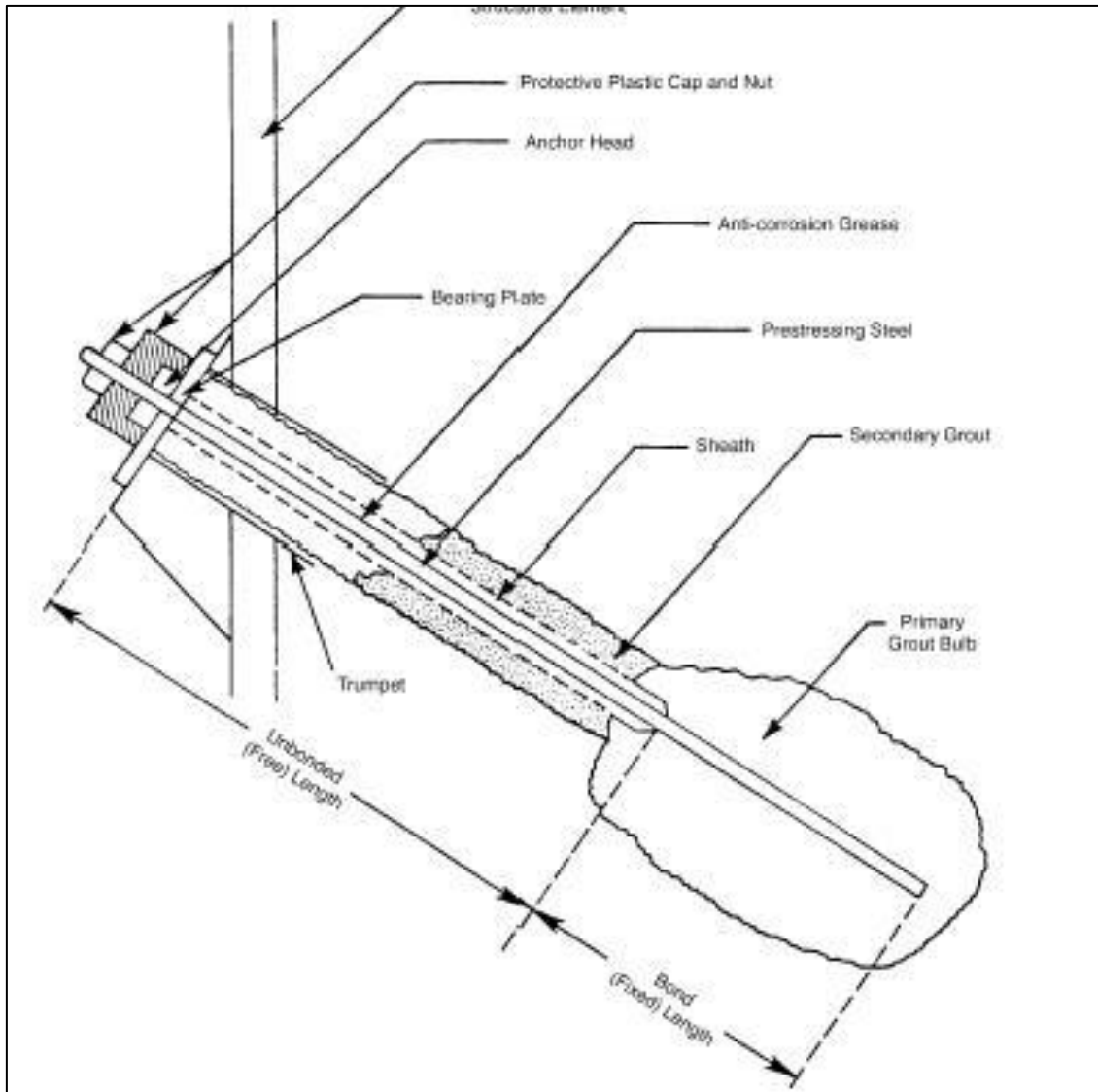
Πρόκειται για γραμμικά στοιχεία σχετικώς εύκαμπτα, από χάλυβα υψηλής αντοχής (καλώδια) ή συνήθους αντοχής (ράβδοι οπλισμού μεγάλης διαμέτρου), (Εικ. 24). Τοποθετούνται χειρωνακτικά σε μία συνήθως κεκλιμένη προδιατρηθείσα οπή στην γεωμάζα και ακολουθεί έγχυση υπό πίεση (ενεμάτωση) διαλύματος νερού και τσιμέντου στο κατώτερο τμήμα της οπής (πάκτωση). Αυτό επιτυγχάνεται με σταδιακή απόσυρση του σωληνίσκου ενεμάτωσης ή με διάχυση μέσω σταθερού και διάτρητου σωληνίσκου, ο οποίος και αποσύρεται κατά το πέρας της ενεμάτωσης, ενώ το μήκος πάκτωσης απομονώνεται του ελεύθερου μήκους του αγκυρίου (μεταξύ μετώπου και πάκτωσης) με ειδικά βύσματα (packers).

Αφού παρέλθει επαρκής χρόνος για την ανάπτυξη της αντοχής του ενέματος (συνήθως μια εβδομάδα) το εξέχον τμήμα των καλωδίων ή της ράβδου σφηνώνεται στο ορατό μέτωπο του διαφράγματος με τη βοήθεια ειδικής διάταξης. Σε ειδικές

περιπτώσεις, ως αγκύρωση μπορεί να λειτουργήσει ενταφιασμένη πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα (deadman), μεταλλικές πασσαλοσανίδες ή και κεκλιμένοι πάσσαλοι εφελκυσμού μέσα στην αντιστηριζόμενη γεωμάζα, στοιχεία τα οποία συνδέονται με το διάφραγμα μέσω σχετικώς εύκαμπτης μεταλλικής ράβδου (Εικ. 25, 26.).

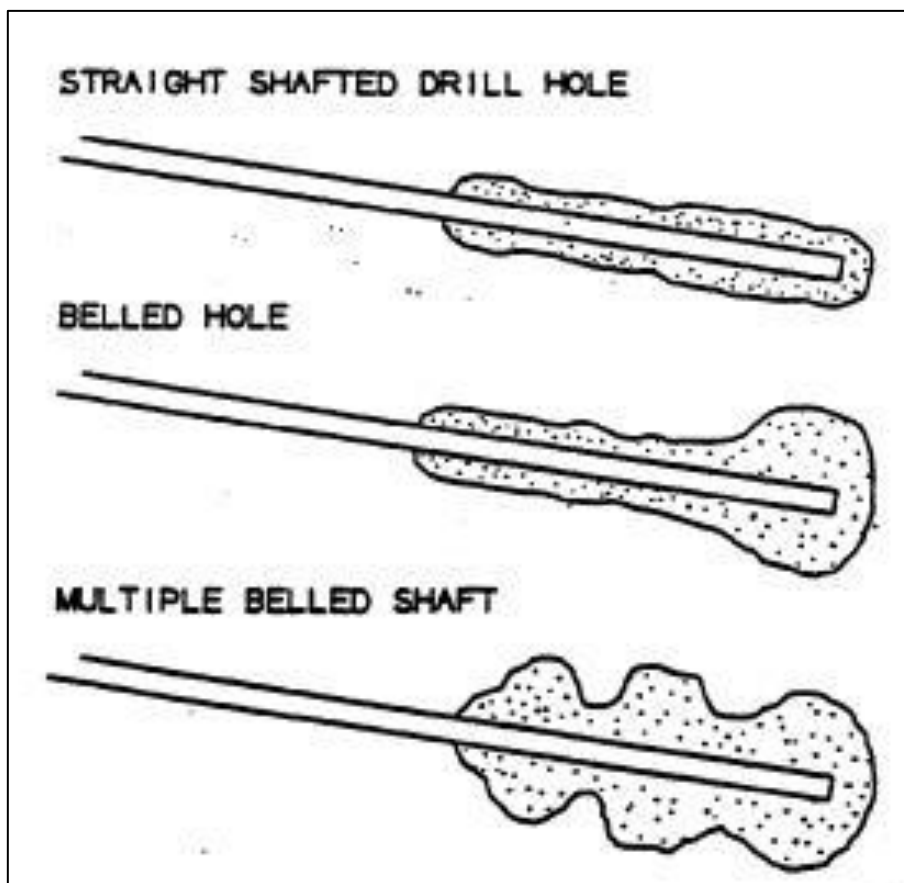


**Εικόνα 24:** Τύπος αγκυρίου, elebor.com



**Εικόνα 25:** Τομή αγκυρίου σε τείχος αντιστήριξης (CFM, 1997)

Ο τρόπος λειτουργίας των περισσότερων τύπων ενσωματωμένων αγκυρώσεων, συνίσταται στην δημιουργία μέσα στο έδαφος ενός πεδίου πλευρικής συμπίεσης, το οποίο συγκρατεί το μεταλλικό στοιχείο απορροφώντας τις εφελκυστικές τάσεις του ελεύθερου μήκους και εξαιτώντας το περιβάλλον έδαφος σε διάτμηση.



**Εικόνα 26:** Μορφές πακτωμένου τμήματος αγκυρίου (CTSM, 1996)

Στον παρακάτω Πίνακα 4 παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των αγκυρώσεων σαν μέθοδος αντιστήριξης σε σχέση με την μέθοδο των αντηρίδων:

**Πίνακας 4:** Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αντιστήριξης με αγκύρια (Κωστόπουλος, 2008)

ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΑΓΚΥΡΙΑ	
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Εύκολη τοποθέτηση	Μικρό μήκος πάκτωσης
Επηρεάζονται λιγότερο από τις αντηρίδες σε διάφορες θερμοκρασίες	Σημαντικός κίνδυνος απώλειας της δύναμης (λόγω χαλάρωσης και ερπυσμού)
Εύκολη προένταση	Μη χρησιμοποιήσιμοι σε μαλακούς βράχους
Όχι απαραίτητη αφαίρεσή τους	Δύσκολη επιβολή της προέντασης
Απομόνωση κατά φάσεις	
Μικρό κόστος	
Πάκτωση σε όλο το μήκος	
Καλή προστασία έναντι διάβρωσης	

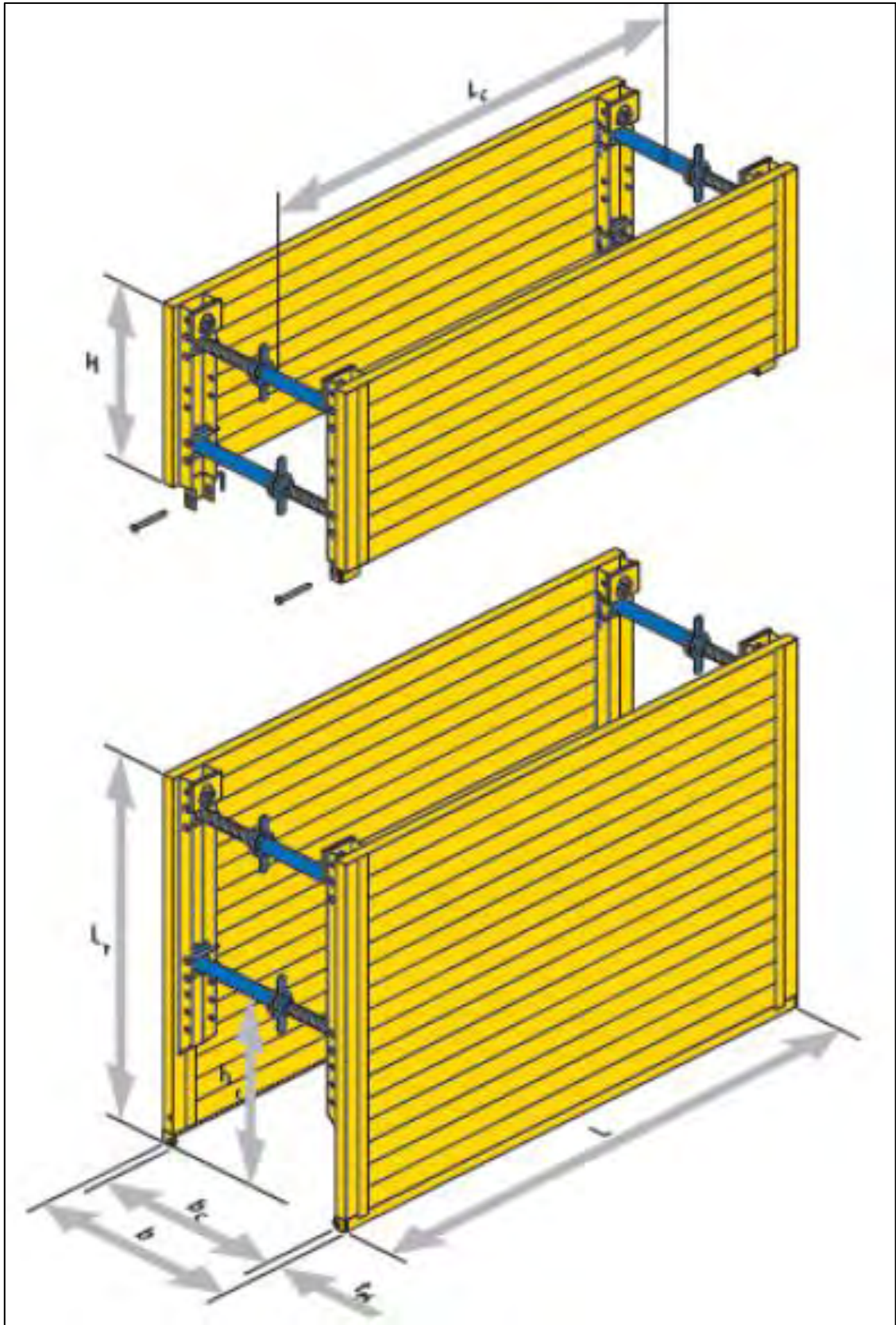
#### **4.4 Τύποι προκατασκευασμένων αυτό-αντιστηριζόμενων πανέλων-αντηρίδες**

##### **4.4.1 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box) ελαφρού τύπου**

Το σύστημα Box ελαφρού τύπου (Εικ. 27, 28), προορίζεται για μικρού μεγέθους εργασίες αντιστήριξης ορυγμάτων, με την μέθοδο της τοποθέτησης. Έχει σχεδιασθεί για χρήση από μικρούς εκσκαφείς σε σχετικά σταθερά εδάφη.

Οι αντοχές του συστήματος διαφέρουν ανάλογα με το μήκος πανέλων που φέρει κάθε μονάδα και κυμαίνονται από 15,3 έως 27,7 kN/m<sup>2</sup>. Ανάλογα διαφέρει και το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εγκατάστασης των μονάδων. Συνήθως το μέγιστο βάθος εγκατάστασης είναι 3,30 m (Πίν. 5).


Το πλάτος ορύγματος κυμαίνεται από 0,65 έως 2,23 m ανάλογα με τον τύπο αντηρίδας που χρησιμοποιούμε, ενώ το μέγιστο ελεύθερο ύψος υπό την κάτω αντηρίδα είναι 0,94 m. Υπάρχει δυνατότητα για μεγαλύτερα πλάτη ορύγματος με την βοήθεια αντηρίδων. Η σύνδεση των πανέλων με τις αντηρίδες καθώς και των βασικών με τις επικαθήμενες μονάδες, γίνεται εύκολα και γρήγορα χρησιμοποιώντας πύρους και ασφάλειες.



Εικόνα 27: Πανέλα ελαφρού τύπου, sbh-shoring.com

**Πίνακας 5:** Χαρακτηριστικά πανέλων 60mm

Μήκος πανέλων L (m)	Ύψος πανέλων H (m)	Ελεύθερο μήκος σωλήνα L <sub>c</sub> (m)	Ελεύθερο ύψος σωλήνα h <sub>c</sub> (m)	Μέγιστο επιτρ. φορτίο (kN/m <sup>2</sup> )	Βάρος Βox με αντηρίδα Β (kg)
2,00	1,60	1,60	0,94	27,7	570
	2,00				670
	2,40				770
	2,60				830
	0,60				275
	1,00				415
2,50	1,60	2,10	0,94	22,1	655
	2,00				770
	2,40				890
	2,60				965
	0,60				315
	1,00				470
3,00	1,60	2,60	0,94	18,5	745
	2,00				875
	2,40				1010
	2,60				1095
	0,60				355
	1,00				525
3,50	1,60	3,10	0,94	15,3	830
	2,00				980
	2,40				1130
	2,60				1230
	0,60				395
	1,00				585



**Αντηρίδα ελαφρού τύπου**

Τύπος	Πλάτος εργασίας b <sub>c</sub> (m)		Πλάτος ορύγματος b (m)		Επιτρεπόμενο φορτίο (kN)	Βάρος (kg)
	Ελαχ.	Μεγ.	Ελαχ.	Μεγ.		
A	0,53	0,73	0,66	0,86	180 - 155	14,2
B	0,71	1,07	0,84	1,2	180 - 150	16,9
C	1,05	1,65	1,18	1,78	180 - 140	20,9
D	1,50	2,10	1,63	2,23	170 - 125	23,6

**Εικόνα 28:** Αντηρίδες ελαφρού τύπου

#### 4.4.2 Box, ελαφρού τύπου (αλουμινίου)

Το σύστημα Box ελαφρού τύπου (αλουμινίου) (Εικ. 29), είναι ένα σύστημα ελαφρύ, ευέλικτο και στιβαρό, προορίζεται για μικρού μεγέθους εργασίες αντιστήριξης ορυγμάτων, με την μέθοδο της τοποθέτησης. Έχει σχεδιασθεί για πολυμορφική χρήση και προσφέρει οικονομία λόγω των πολλαπλών χρήσεων και της ιδιαίτερα εύκολης σύνδεσης και χρήσης του (Εικ. 30).



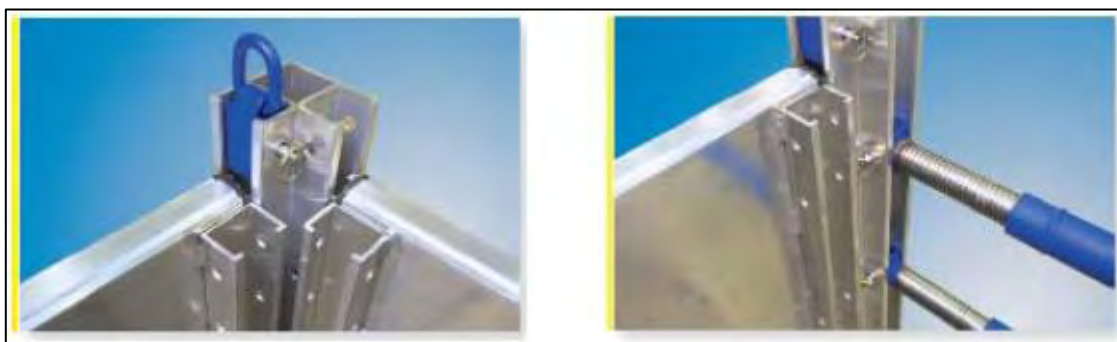
**Εικόνα 29:** Σύστημα Box, ελαφρού τύπου (αλουμινίου), sbh-shoring.com

Σε συνδυασμό με γωνιακούς ορθοστάτες και επιπλέον πανέλα μπορούμε να αυξήσουμε το βάθος εγκατάστασης του συστήματος, έως τα 2,70 μέτρα (Πιν. 6). Οι γωνιακοί ορθοστάτες μπορούν να φέρουν αντηρίδες ή πανέλα και από τις δύο πλευρές. Χρησιμοποιώντας αντηρίδες δημιουργούμε σύστημα δίδυμων αυτό-αντιστηριζόμενων πανέλων, αλλάζοντας τις αντηρίδες με πανέλα δημιουργούμε σύστημα τετράπλευρης αντιστήριξης για φρεάτια (Εικ. 32).



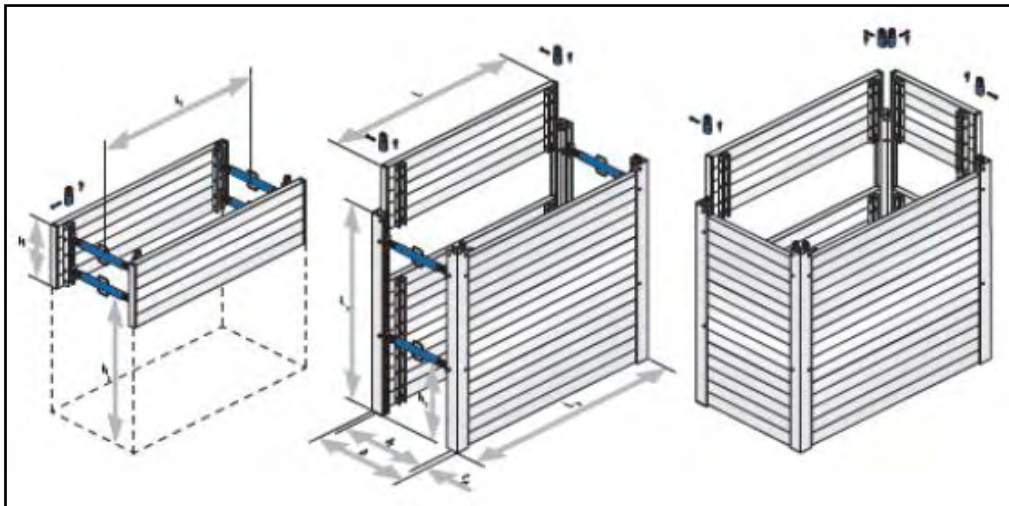
**Πίνακας 6:** Χαρακτηριστικά πανέλων αλουμινίου

Μήκος πανέλων L (m)	Μήκος μονάδας L <sub>v</sub> (m)	Ύψος μονάδας H (m)	Ελεύθερο μήκος L <sub>c</sub> (m)	Ελεύθερο ύψος h <sub>c</sub> (m)	Μέγιστο φορτίο (kN/m <sup>2</sup> )	Βάρος μονάδας * (kg)	Βάρος μονάδας ** (kg)
1.50	1.50	0.60	1.18	0.71	32.6	95	130
		1.20				185	250
	1.72	1.80	1.58			250	370
		2.40				320	485
2.00	2.00	0.60	1.68	0.71	26.5	110	160
		1.20				215	305
	2.22	1.80	2.08			295	450
		2.40				380	600
2.50	2.50	0.60	2.18	0.71	21.6	120	185
		1.20				240	360
	2.72	1.80	2.58			340	535
		2.40				435	710
3.00	3.00	0.60	2.68	0.71	17.5	135	215
		1.20				270	420
	3.22	1.80	3.08			380	620
		2.40				490	825



**Εικόνα 30:** Σύνδεση και ασφάλιση πανέλων αλουμινίου, sbh-shoring.com

Για την κατασκευή του συστήματος χρησιμοποιείται μόνο υψηλής αντοχής αλουμίνιο, τύπου F 25. Έτσι παρά το πολύ μικρό του βάρος, προσφέρει εξαιρετικά υψηλές αντοχές και ασφάλεια.



Εικόνα 31: Σύνδεση και ασφάλιση πανέλων αλουμινίου

**Γωνιακοί ορθοστάτες:**

Ύψος $L_{\gamma}$ (m)	Βάρος (kg)
0.70	5.4
1.30	10.0
1.90	14.6
2.50	19.2

**Αντηρίδες:**

Τύπος αντηρίδας	Πλάτος εργασίας $b_c$ (m)		Πλάτος ορύγματος $b$ (m)		Μέγιστο φορτίο (kN)	Βάρος (kg)
	Ελάχιστο	Μέγιστο	Ελάχιστο	Μέγιστο		
A	0.63	0.85	0.78	1.00	109	7.3
B	0.85	1.31	1.00	1.46	92	9.4
C	1.32	2.23	1.47	2.38	62	13.6

Εικόνα 32: Γωνιακοί ορθοστάτες και αντηρίδες πανέλων αλουμινίου, sbh-shoring.com

Η σύνδεση των τμημάτων του συστήματος γίνεται εύκολα και γρήγορα, χρησιμοποιώντας πύρους και ασφάλειες. Πολλές από τις εκδόσεις του μπορούν να συνδεθούν και με τα χέρια από δύο μόνο άτομα.

Για τα box μονού πανέλου ύψους 60 εκ., αρκεί η τοποθέτηση των αντηρίδων μέσα στα προφίλ σύνδεσης και η ασφάλισή τους με πύρους και ασφάλειες (Εικ. 30, 31). Οι συναρμολογημένες μονάδες μπορούν να τοποθετηθούν στο όρυγμα ακόμα και με τα χέρια (Εικ. 33). Για τα box πολλαπλών πανέλων, συρταρώνουμε τα πανέλα στους γωνιακούς ορθοστάτες, συνδέουμε τις αντηρίδες στους ορθοστάτες και ασφαλίζουμε με πύρους και ασφάλειες (Εικ. 31, 32, 33, 34).



**Εικόνα 33:** Συναρμολόγηση πανέλων αλουμινίου

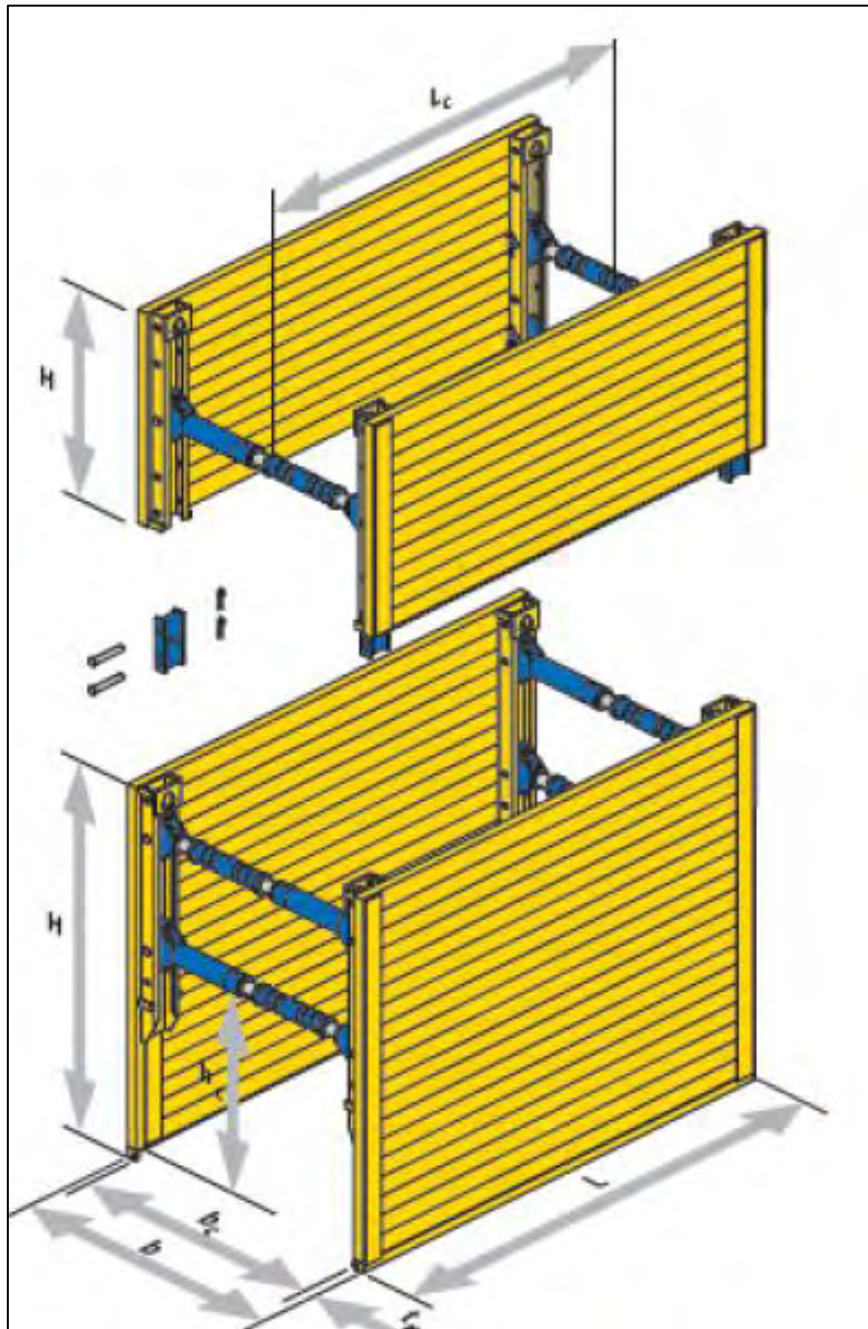
Για τις μονάδες φρεατίων, συρταρώνουμε πανέλα στους γωνιακούς ορθοστάτες σε τρεις ή τέσσερις πλευρές. Ασφαλίζουμε τα πανέλα και τυχόν αντηρίδες με πύρους και ασφάλειες. Έτσι λοιπόν η συναρμολογημένη μονάδα φρεατίων είναι έτοιμη να τοποθετηθεί στην εκσκαφή.



**Εικόνα 34:** Συναρμολόγηση πανέλων αλουμινίου

#### 4.4.3 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πάνελα (Box) ελαφρού / μέσου τύπου

Το σύστημα Box ελαφρού/μέσου τύπου (Εικ. 35), προορίζεται για μικρού/μέσου μεγέθους εργασίες αντιστήριξης ορυγμάτων, με την μέθοδο της τοποθέτησης ή και της έμπηξης (αντιστήριξη ταυτόχρονα με την εκσκαφή). Έχει σχεδιασθεί για χρήση από μέτριους εκσκαφείς σε σχετικά σταθερά ή ημι-χαλαρά εδάφη.



**Εικόνα 35:** Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πάνελα (Box) ελαφρού / μέσου τύπου, sbh-shoring.com

Οι αντοχές του συστήματος διαφέρουν ανάλογα με το μήκος πανέλων που φέρει κάθε μονάδα και κυμαίνονται από 22,1 έως 50,4 kN/m<sup>2</sup> (Πίν. 7). Ανάλογα διαφέρει και το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εγκατάστασης των μονάδων το οποίο συνήθως είναι 3,70 m.

**Πίνακας 7:** Πανέλα (Box) ελαφρού / μέσου τύπου

Μήκος πανέλων L (m)	Ύψος πανέλων H (m)	Ελεύθερο μήκος σωλήνα L <sub>c</sub> (m)	Ελεύθερο ύψος σωλήνα h <sub>c</sub> (m)	Μέγιστο επιτρ. φορτίο (kN/m <sup>2</sup> )	Βάρος Box (kg)
2,00	2,00	1,60	1,12	50,4	920
	2,40		1,27	38,5	1030
	2,60		1,27	38,2	1105
	1,40		50,4	640	
2,50	2,00	2,10	1,12	32,7	1025
	2,40		1,27	30,8	1150
	2,60		1,27	30,6	1240
	1,40		32,7	720	
3,00	2,00	2,60	1,12	31,8	1385
	2,40		1,27	26,0	1575
	2,60		1,27	25,8	1700
	1,40		31,8	960	
3,50	2,00	3,10	1,12	22,7	1535
	2,40		1,27	22,3	1750
	2,60		1,27	22,1	1890
	1,40		22,7	1070	

Το πλάτος ορύγματος κυμαίνεται από 0,94 έως 4,39 m ανάλογα με τον τύπο αντηρίδας που χρησιμοποιούμε, ενώ το μέγιστο ελεύθερο ύψος υπό την κάτω αντηρίδα είναι 1,35 m, όπως παρουσιάζεται και στους Πίνακες 8 και 9:

**Πίνακας 8:** Αντηρίδα τύπου 1, πανέλων (Box) ελαφρού / μέσου τύπου

Αριθμός προεκτάσεων 0,50 m	Πλάτος εργασίας b <sub>c</sub> (m) ± 10 mm		Πλάτος ορύγματος b (m) ± 10 mm		Μεγ. επιτρ/ενο φορτίο (kN)	Βάρος (kg)
	Ελαχ.	Μεγ.	Ελαχ.	Μεγ.		
0	0,98	1,26	1,11	1,39	468	65,0
1	1,48	1,76	1,61	1,89	403	84,8
2	1,98	2,26	2,11	2,39	348	104,6
3	2,48	2,76	2,61	2,89	299	124,4
4	2,98	3,26	3,11	3,39	254	144,2
5	3,48	3,76	3,61	3,89	210	164,0
6	3,98	4,26	4,11	4,39	165	183,8

**Πίνακας 9:** Αντηρίδα τύπου 2, πανέλων (Box) ελαφρού / μέσου τύπου

Αριθμός προεκτάσεων 0,50 m	Πλάτος εργασίας $b_c$ (m) $\pm$ 10 mm		Πλάτος ορύγματος $b$ (m) $\pm$ 10 mm		Μεγ. επιτρίενο φορτίο (kN)	Βάρος (kg)
	Ελαχ.	Μεγ.	Ελαχ.	Μεγ.		
0	0,81	0,96	0,94	1,10	361	59,0
1	1,31	1,46	1,44	1,60	311	78,8
2	1,81	1,96	1,94	2,10	268	98,6
3	2,31	2,46	2,44	2,60	230	118,4
4	2,81	2,96	2,94	3,10	195	138,2
5	2,31	3,46	3,44	3,60	162	158,0
6	3,81	3,96	3,94	4,10	127	177,8

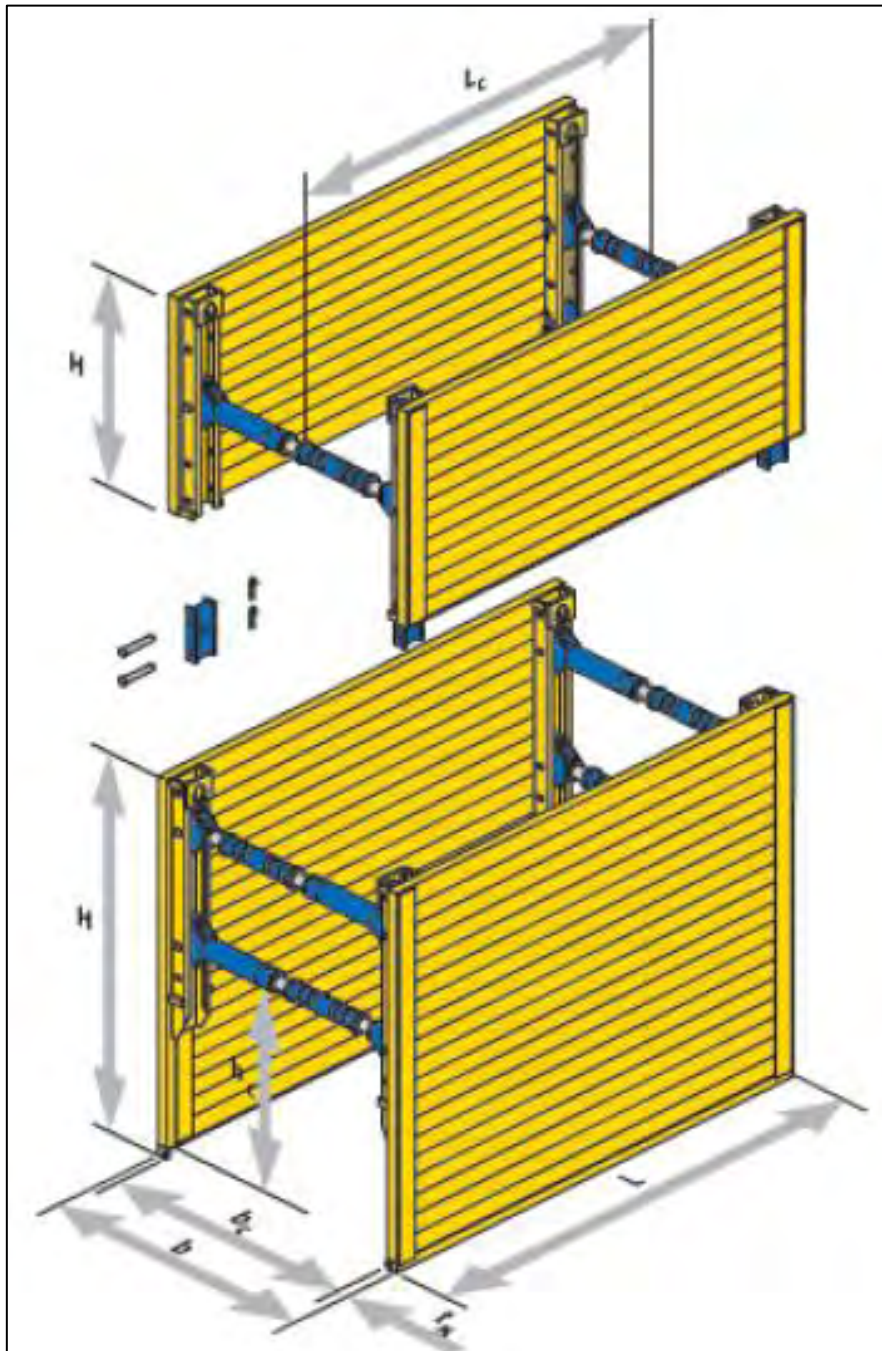
Η σύνδεση των πανέλων με τις αντηρίδες καθώς και των βασικών με τις επικαθήμενες μονάδες, γίνεται εύκολα και γρήγορα χρησιμοποιώντας πύρους και ασφάλειες (Εικ. 36).



**Εικόνα 36:** Αντηρίδα πανέλων (Box) ελαφρού / μέσου τύπου, sbh-shoring.com

#### 4.4.4 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πάνελα (Box) μέσου τύπου

Το σύστημα Box μέσου τύπου (Εικ. 37), προορίζεται για μικρού/μέσου μεγέθους εργασίες αντιστήριξης ορυγμάτων, με την μέθοδο της τοποθέτησης ή και της έμπηξης (αντιστήριξη ταυτόχρονα με την εκσκαφή). Έχει σχεδιασθεί για χρήση από μέτριους εκσκαφείς σε σχετικά σταθερά ή ημι-χαλαρά εδάφη.



Εικόνα 37: Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πάνελα (Box), μέσου τύπου, sbh-shoring.com

Οι αντοχές του συστήματος διαφέρουν ανάλογα με το μήκος πανέλων που φέρει κάθε μονάδα και κυμαίνονται από 32,7 έως 92,7 kN/m<sup>2</sup> (Πίν. 10). Ανάλογα διαφέρει και το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εγκατάστασης των μονάδων το οποίο συνήθως είναι 3,70 m.

**Πίνακας 10:** Χαρακτηριστικά πανέλων (Box) μέσου τύπου 80mm

Μήκος πανέλων L (m)	Ύψος πανέλων H (m)	Ελεύθερο μήκος σωλήνα L <sub>c</sub> (m)	Ελεύθερο ύψος σωλήνα h <sub>c</sub> (m)	Μέγιστο επιπρ. φορτίο (kN/m <sup>2</sup> )	Βάρος Box (kg)
2,00	2,00	1,60	1,14	92,7	1220
	2,40		1,39	61,8	1385
	2,60		1,39	61,0	1495
	1,40			92,7	870
2,50	2,00	2,10	1,14	68,7	1395
	2,40		1,39	49,5	1585
	2,60		1,39	48,8	1710
	1,40			68,7	1000
3,00	2,00	2,60	1,14	45,8	1595
	2,40		1,39	41,2	1810
	2,60		1,39	40,6	1960
	1,40			45,8	1125
3,50	2,00	3,10	1,14	32,7	1775
	2,40		1,39	32,7	2015
	2,60		1,39	32,7	2180
	1,40			32,7	1255

Το πλάτος ορύγματος κυμαίνεται από 0,98 έως 4,43 m ανάλογα με τον τύπο αντηρίδας που χρησιμοποιούμε, ενώ το μέγιστο ελεύθερο ύψος υπό την κάτω αντηρίδα είναι 1,39 m (Πίν. 11, 12).

**Πίνακας 11:** Αντηρίδα τύπου 1

Αριθμός προεκτάσεων 0,50 m	Πλάτος εργασίας b <sub>c</sub> (m) ± 10 mm		Πλάτος ορύγματος b (m) ± 10 mm		Μεγ. επιπρ/ενο φορτίο (kN)	Βάρος (kg)
	Ελαχ.	Μεγ.	Ελαχ.	Μεγ.		
0	0,98	1,26	1,15	1,43	468	65,0
1	1,48	1,76	1,65	1,93	403	84,8
2	1,98	2,26	2,15	2,43	348	104,6
3	2,48	2,76	2,65	2,93	299	124,4
4	2,98	3,26	3,15	3,43	254	144,2
5	3,48	3,76	3,65	3,93	210	164,0
6	3,98	4,26	4,15	4,43	165	183,8



**Πίνακας 12:** Αντηρίδα τύπου 2

Αριθμός προεκτάσεων 0,50 m	Πλάτος εργασίας $b_c$ (m) $\pm$ 10 mm		Πλάτος ορύγματος $b$ (m) $\pm$ 10 mm		Μεγ. επιτ/ενο φορτίο (kN)	Βάρος (kg)
	Ελαχ.	Μεγ.	Ελαχ.	Μεγ.		
0	0,81	0,96	0,98	1,13	361	59,0
1	1,31	1,46	1,48	1,63	311	78,8
2	1,81	1,96	1,98	2,13	268	98,6
3	2,31	2,46	2,48	2,63	230	118,4
4	2,81	2,96	2,98	3,13	195	138,2
5	2,31	3,46	3,48	3,63	162	158,0
6	3,81	3,96	3,98	4,13	127	177,8

Η σύνδεση των πανέλων με τις αντηρίδες καθώς και των βασικών με τις επικαθήμενες μονάδες, γίνεται εύκολα και γρήγορα χρησιμοποιώντας πύρους και ασφάλειες.

#### 4.4.5 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box) βαρέως τύπου

Το Box βαρέως τύπου, προορίζεται για μέσου/μεγάλου μεγέθους εργασίες αντιστήριξης ορυγμάτων με την μέθοδο της τοποθέτησης ή και της έμπηξης (αντιστήριξη ταυτόχρονα με την εκσκαφή). Έχει σχεδιαστεί για χρήση από μέτριους/μεγάλους εκσκαφείς σε σχετικά σταθερά ή χαλαρά εδάφη.

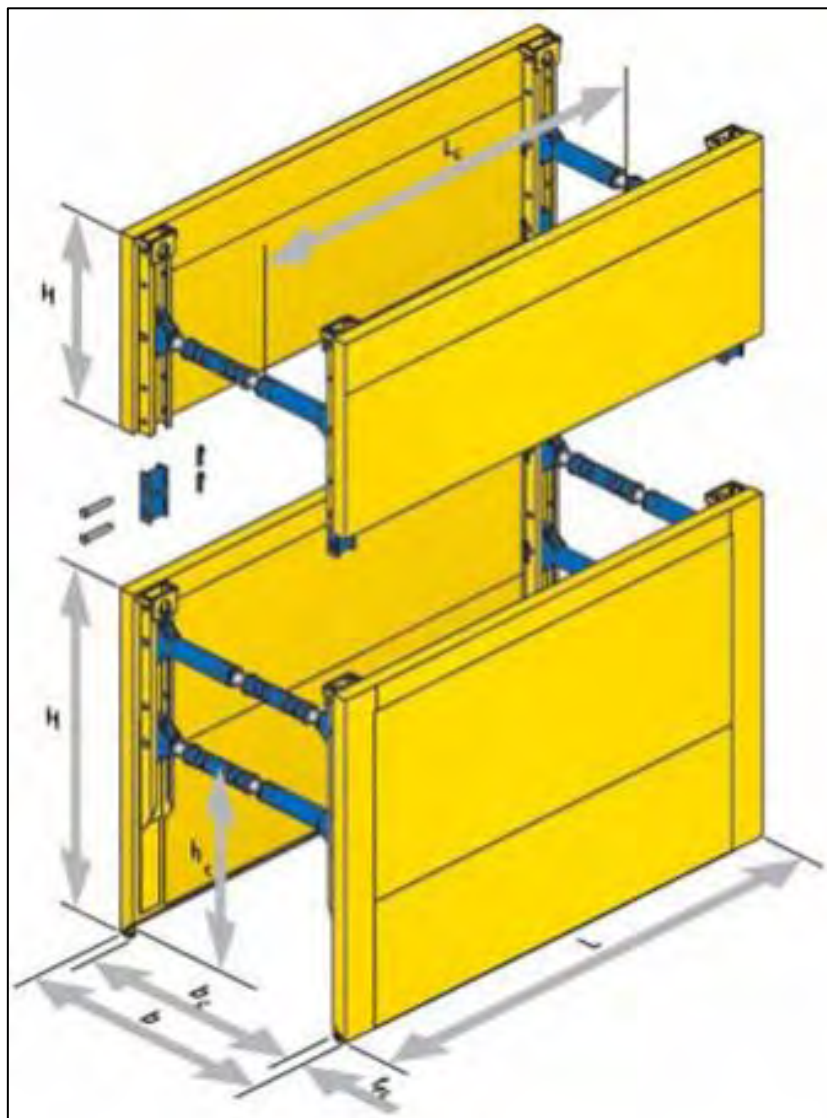
Οι αντοχές του συστήματος διαφέρουν ανάλογα με το μήκος πανέλων που φέρει κάθε μονάδα και κυμαίνονται από 24,5 έως 47,5 kN/m<sup>2</sup>. Τα Box βαρέως τύπου μπορούν να φέρουν μία ή δύο επικαθήμενες μονάδες και το βάθος εγκατάστασης τους φθάνει τα 5,30 m. Τα μεταλλικά πανέλα βαρέως τύπου διαθέτουν κατασκευή τύπου σάντουιτς, με επιπλέον εγκάρσιες ενισχύσεις στα μαχαίρια και στην στέψη τους. Αυτού του τύπου η κατασκευή μειώνει τις φθορές από την χρήση και αυξάνει την διάρκεια ζωής τους

Το πλάτος ορύγματος κυμαίνεται από 1,01 έως 4,48 m ανάλογα με τον τύπο αντηρίδας που χρησιμοποιούμε, ενώ το μέγιστο ελεύθερο ύψος υπό την κάτω αντηρίδα είναι 1,50 m. Οι αντηρίδες είναι ενισχυμένου τύπου ώστε να μπορούν να φέρουν προεκτάσεις αντηρίδων προσθετικά. Η σύνδεση των πανέλων με τις αντηρίδες καθώς

και των βασικών με τις επικαθήμενες μονάδες, γίνεται εύκολα και γρήγορα χρησιμοποιώντας πίσους και ασφάλειες.

#### 4.4.6 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πάνελα (Box) βαρέως τύπου, με προφίλ αύξησης του ελεύθερου ύψους

Πρόκειται για παραλλαγή του κοινού box βαρέως τύπου. Στις περιπτώσεις που απαιτείται αυξημένο ελεύθερο ύψος, (π.χ. για την εγκατάσταση σωλήνων μεγάλης διαμέτρου), αφαιρούμε τις κοινές αντηρίδες και προσθέτουμε τα προφίλ και τις σταθερού μήκους αντηρίδες, (Εικ. 38).



**Εικόνα 38:** Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πάνελα (Box) βαρέως τύπου, με προφίλ αύξησης του ελεύθερου ύψους, sbh-shoring.com

Τα κοινά πάνελα βαρέως τύπου παράγονται σε μήκη από 3,00 έως 6,00 m (ανά 0,50 m), ύψος 2,40 & 2,60 m τα βασικά και 1,40 m τα επικαθήμενα. Το μέγιστο ύψος του κουτιού είναι 4,00 m (2,60 + 1,40), (Πίν. 13).

**Πίνακας 13:** Χαρακτηριστικά (Box) βαρέως τύπου, με προφίλ αύξησης του ελεύθερου ύψους

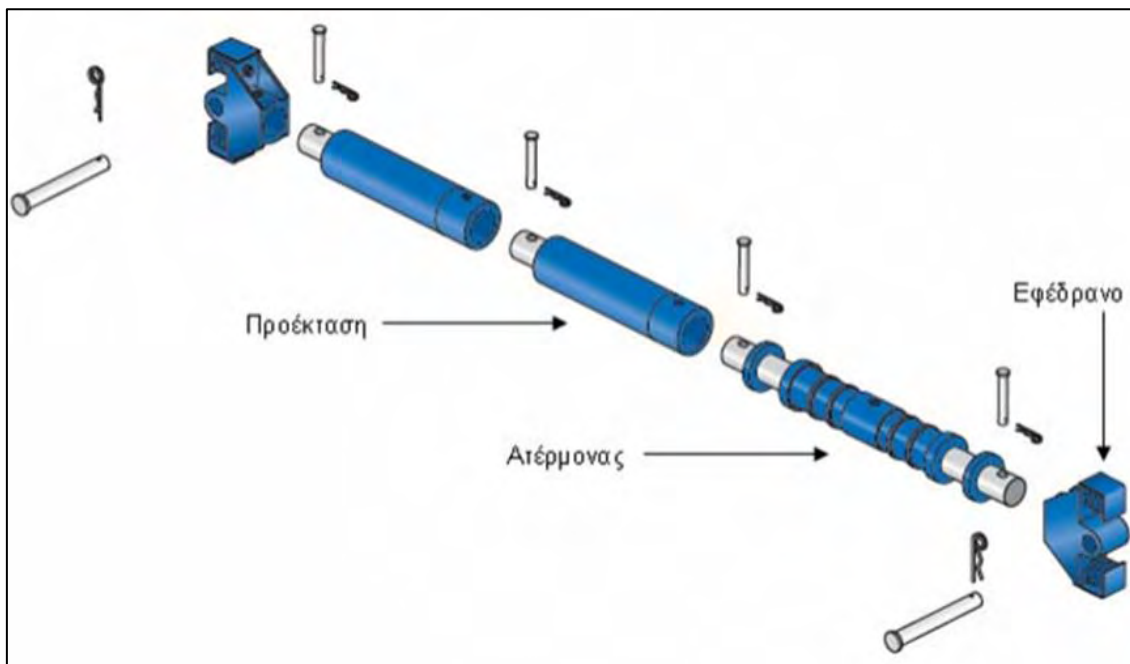
Μήκος πανελων L (m)	Ύψος μονάδας H (m)	Πάχος πανελων t <sub>pl</sub> (mm)	Ελεύθερο μήκος L <sub>c</sub> (m)	Ελεύθερο ύψος h <sub>c</sub> (m)	Μέγιστο φορτίο (kN/m <sup>2</sup> )	Βάρος μονάδας (kg)
3.00	2.40	107	2.60	1.50	47.5	1950
	2.60					2075
	1.40					1205
3.50	2.40		3.10	1.50	40.7	2180
	2.60					2320
	1.40					1350
3.70	2.40		3.30	1.50	38.5	2270
	2.60					2445
	1.40					1410
4.00	2.40		3.60	1.50	35.6	2400
	2.60					2560
	1.40					1495
4.50	2.40	127	4.10	1.50	33.7	2910
	2.60					3090
	1.40					1880
5.00	2.40		4.60	1.50	30.3	3160
	2.60					3360
	1.40					2050
5.50	2.40		5.10	1.50	27.6	3415
	2.60					3635
	1.40					2220
6.00	2.40		5.60	1.50	24.5	3670
	2.60					3910
	1.40					2390

Οι σταθερού μήκους αντηρίδες παράγονται σε μήκη από 2,00 έως 6,00 m (ανά 0,50 m) και το μέγιστο πλάτος εργασίας ανάμεσα στα προφίλ διαμορφώνεται στα 5,72 m (αντηρίδες 6,00 m), (Πίν. 14).

**Πίνακας 14:** Χαρακτηριστικά αντηρίδων

Αριθμός προεκτάσεων 0.50 m	Πλάτος εργασίας b <sub>c</sub> (m)	Πλάτος ορύγματος b (m)	Μέγιστο φορτίο (kN)	Βάρος (kg)
χωρίς	0.98 - 1.26	1.20 - 1.48	468	65.0
1	1.48 - 1.76	1.70 - 1.98	403	84.8
2	1.98 - 2.26	2.20 - 2.48	348	104.6
3	2.48 - 2.76	2.70 - 2.98	299	124.4
4	2.98 - 3.26	3.20 - 3.48	254	144.2
5	3.48 - 3.76	3.70 - 3.98	210	164.0
6	3.94 - 4.26	4.20 - 4.48	165	183.8

Το μέγιστο ελεύθερο ύψος υπό την κάτω αντηρίδα είναι 2,30 m για μονάδες με βασικά πανέλα ύψους 2,40 m και 2,51 m για μονάδες με βασικά πανέλα ύψους 2,60 m. Οι συγκεκριμένες αντηρίδες είναι αρκετά πιο ενισχυμένες. Αποτελούνται από τον ατέρμονα και τα αρθρωτά εφέδρανα. Η αύξηση του μήκους τους γίνεται με την προσθήκη προεκτάσεων. Η συναρμολόγηση όλων των τμημάτων τους γίνεται εύκολα και απλά χρησιμοποιώντας πύρους και ασφάλειες. Οι ατέρμονες φέρουν ελαστικούς δακτύλιους στα σημεία εισόδου των αξόνων στο κέλυφος για την προστασία του εσωτερικού τους, ενώ είναι και λυόμενοι για εύκολη συντήρηση και επισκευή (Εικ. 39).



**Εικόνα 39:** Αντηρίδες βαρέως τύπου, προφίλ αύξησης του ελεύθερου ύψους, sbh-shoring.com

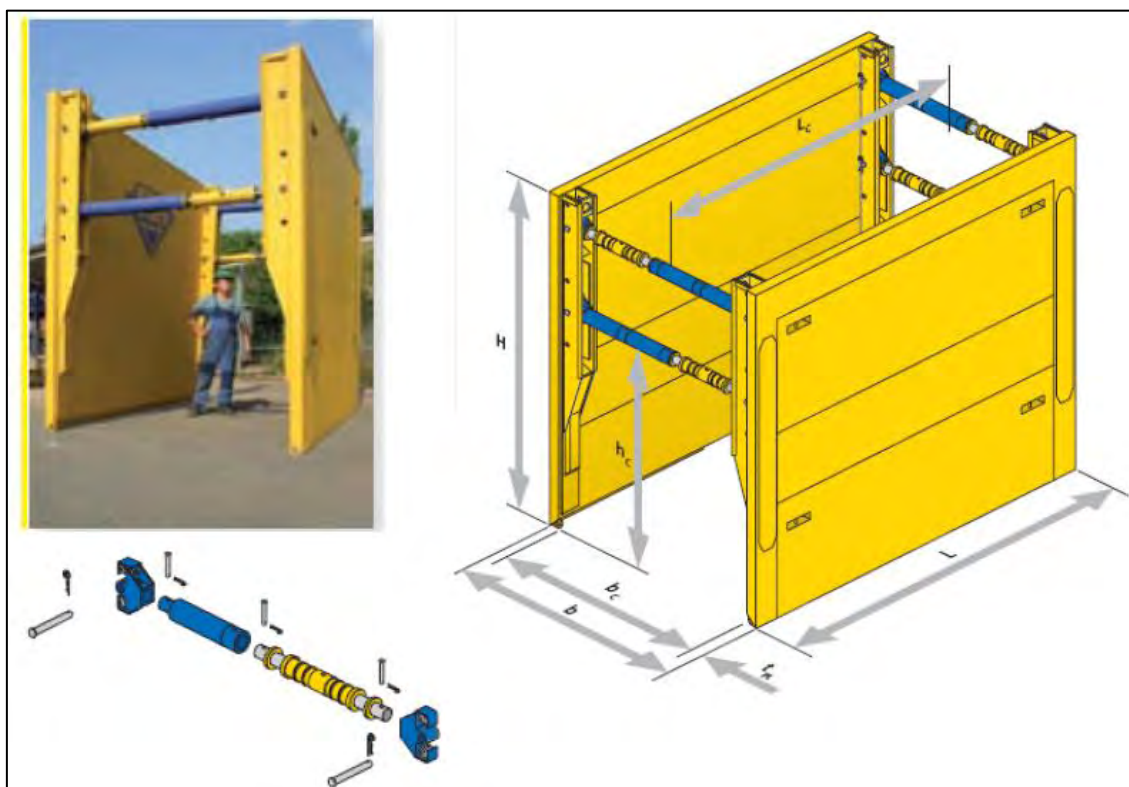
Οι ατέρμονες των αντηρίδων συντηρούνται πολύ απλά. Μ' ένα εύκολο τρόπο ανασύρουμε τον ελαστικό δακτύλιο προστασίας, χαλαρώνουμε τον κοχλία ασφαλείας και αφαιρούμε τους άξονες από το κέλυφος. Μετά τον καθαρισμό και την λίπανση η αντηρίδα μας λειτουργεί πάλι σαν καινούργια ακόμα και μετά από πάρα πολλές χρήσεις (Εικ. 40).



Εικόνα 40: Λυόμενοι ατέρμονες αντηρίδων, sbh-shoring.com

#### 4.4.7 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box) βαρέως τύπου II

Πρόκειται για πανέλα (box) βαρέως τύπου (Εικ. 41). Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι οι μεγάλες διαστάσεις των πανέλων του και το αυξημένο ελεύθερο ύψος που προσφέρει για την εγκατάσταση σωλήνων μεγάλης διαμέτρου.



Εικόνα 41: Πανέλα (Box) βαρέως τύπου II, sbh-shoring.com

Τα πανέλα παράγονται σε δύο διαστάσεις:  $M * Y = 3,15 * 3,93$  m και  $4,00 * 3,15$  m. Χρησιμοποιεί τις βαρέως τύπου αντηρίδες οι οποίες παρέχουν την δυνατότητα προσθήκης προεκτάσεων προσθετικά (έως 6 τεμάχια ή 3,00 m).

Το μέγιστο πλάτος εργασίας ανάμεσα στα πανέλα είναι 4,16 m ενώ το μέγιστο πλάτος ορύγματος 4,38 m, (Πίν. 15).

**Πίνακας 15:** Χαρακτηριστικά πανέλων (Box) βαρέως τύπου II, 107mm

Μήκος πανέλων L (m)	Ύψος πανέλων H (m)	Ελεύθερο μήκος σωλήνα L <sub>c</sub> (m)	Ελεύθερο ύψος σωλήνα h <sub>c</sub> (m)	Μέγιστο επιτρ. φορτίο (kN/m <sup>2</sup> )	Βάρος box b <sub>c</sub> = 2,33 m (kg)
3,15	3,93	2,75	1,69	76,5	3700
			1,99	76,5	
			2,29	63,2	
4,00	3,15	3,60	1,69	45,6	3595
			1,99	45,6	
			2,29	21,8	

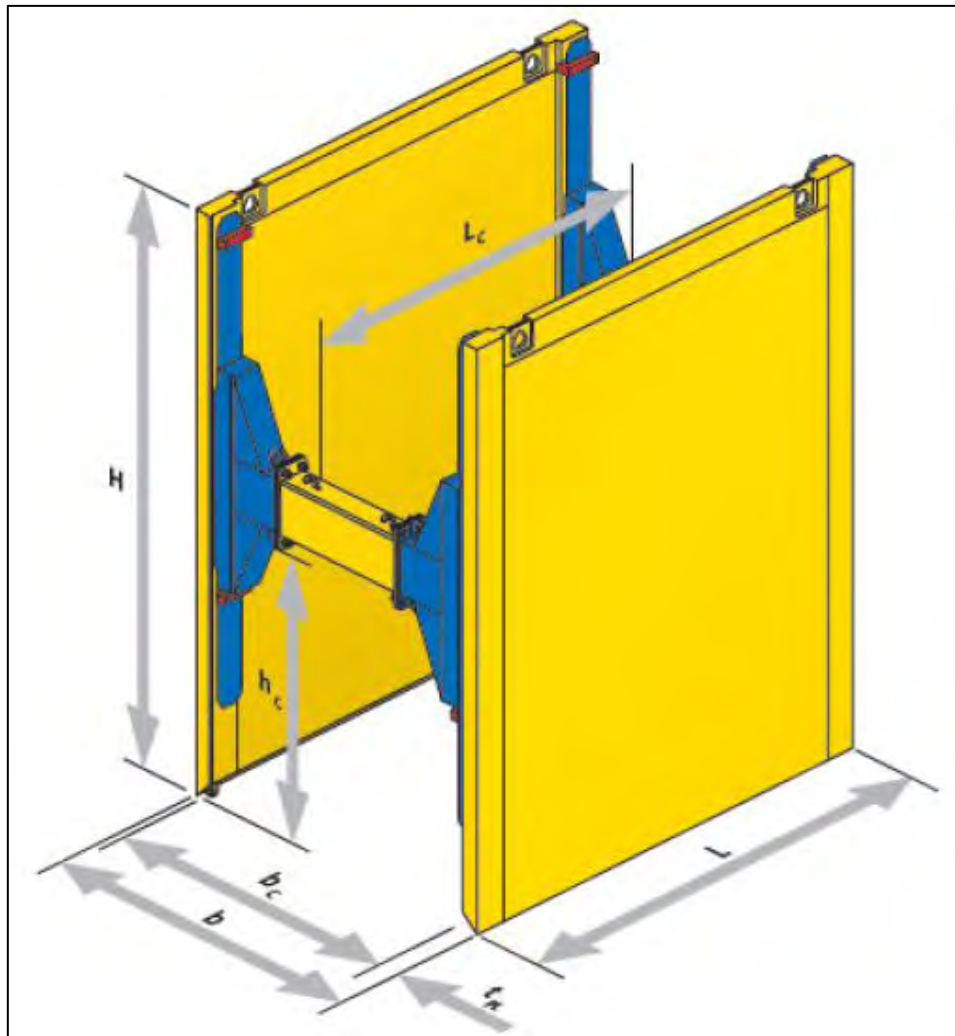
Προσφέρει 3 θέσεις για την τοποθέτηση της κάτω αντηρίδας (Πίν. 16). Ανάλογα με την θέση το ελεύθερο ύψος υπό την κάτω αντηρίδα διαμορφώνεται στα 1,69 ή 1,99 ή 2,29 m. Απαιτεί την χρήση μεγάλου εκσκαφέα.

**Πίνακας 16:** Αντηρίδες πανέλων (Box) βαρέως τύπου II

Αριθμός προεκτάσεων 0,50 m	Πλάτος εργασίας b <sub>c</sub> (m) ± 10 mm		Πλάτος ορύγματος b (m) ± 10 mm		Μέγιστο επιπρεπόμενο φορτίο (kN)	Βάρος (kg)
	Ελαχ.	Μεγ.	Ελαχ.	Μεγ.		
0	0,98	1,16	1,20	1,38	510	65,0
1	1,48	1,66	1,70	1,88	445	84,8
2	1,98	2,16	2,20	2,38	394	104,6
3	2,48	2,66	2,70	2,88	354	124,4
4	2,98	3,16	3,20	3,38	321	144,2
5	3,48	3,66	3,70	3,88	292	164,0
6	3,94	4,16	4,20	4,38	263	183,8

#### 4.4.8 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box) με ολισθαίνουσα αντηρίδα

Πρόκειται για το κουτί (box) αντιστήριξης με ολισθαίνουσα αντηρίδα (Εικ. 42). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την μέθοδο της τοποθέτησης ή και της έμπηξης (αντιστήριξη ταυτόχρονα με την εκσκαφή).



**Εικόνα 42:** Πανέλα (Box) με ολισθαίνουσα αντηρίδα, sbh-shoring.com

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συστήματος είναι η μονής διάταξης ολισθαίνουσα αντηρίδα, η οποία επιτρέπει την έμπηξη του χωρίς να εμποδίζει το μαστούνι του εκσκαφέα και προσφέρει αυξημένο ελεύθερο ύψος για την τοποθέτηση σωλήνων μεγάλης διαμέτρου και μήκους.

Το σύστημα box συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της ολισθαίνουσας αντηρίδας με την ευκολία χρήσης ενός απλού box αντιστήριξης. Κατασκευάζεται με δύο διαστάσεις πανέλων  $M * Y = 3,15 * 4,00 \text{ m}$  ( $33,9 \text{ kN/m}^2$ ) και  $M * Y = 4,00 * 3,15 \text{ m}$  ( $33,1 \text{ kN/m}^2$ ) και προσφέρει μέγιστο ελεύθερο ύψος υπό την αντηρίδα  $2,78 \text{ m}$  (πανέλα ύψους  $4,00 \text{ m}$ ) (Πίν. 17).

Τα μεταλλικά πανέλα διαθέτουν ενισχύσεις στα μαχαίρια και στην στέψη τους οι οποίες μειώνουν τις φθορές από την χρήση και αυξάνουν την διάρκεια ζωής τους.

**Πίνακας 17:** Χαρακτηριστικά πανέλων (Box) με ολισθαίνουσα αντηρίδα

Μήκος πανέλων L (m)	Ύψος πανέλων H (m)	Πάχος πανέλων $t_{PL}$ (mm)	Ελεύθερο μήκος σωλήνα $L_C$ (m)	Ελεύθερο ύψος σωλήνα $h_C$ (m)	Μέγιστο επιτρ. φορτίο ( $kN/m^2$ )	Βάρος box (kg)
3,15	4,00	86	2,70	2,78	33,9	3735
4,00	3,15	86	3,55	1,93	33,1	3535

Η ολισθαίνουσα αντηρίδα είναι σταθερού πλάτους και δίνει στο σύστημα πλάτος εργασίας 1,00 m και πλάτος ορύγματος 1,37 m ( Πίν. 18).

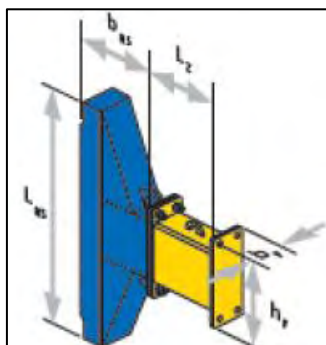
**Πίνακας 18:** Αντηρίδες πανέλων (Box) με ολισθαίνουσα αντηρίδα

Ύψος φορείου $L_{RS}$ (m)	Πλάτος φορείου $b_{RS}$ (m)	Πλάτος εργασίας $b_C$ (m)	Πλάτος ορύγματος b (m)	Διαστάσεις σύνδεσης $b_F \times h_F$ (mm)	Επιτρεπόμενα φορτία (kN)	Βάρος ζεύγους (kg)
1,50	0,50	1,00	1,37	220 x 560	-112 έως 242	360

Η αύξηση πλάτους εργασίας και ορύγματος επιτυγχάνεται με την προσθήκη προεκτάσεων στις αντηρίδες (Πίν. 19). Η προσθήκη προεκτάσεων μπορεί να γίνει και προσθετικά ενώ η συναρμολόγησή τους γίνεται εύκολα και γρήγορα χρησιμοποιώντας κοχλίες και περικόχλια (Εικ. 43).

**Πίνακας 19:** Προεκτάσεις αντηρίδων, μήκος προέκτασης ( $L_z$ ) και βάρος (kg)

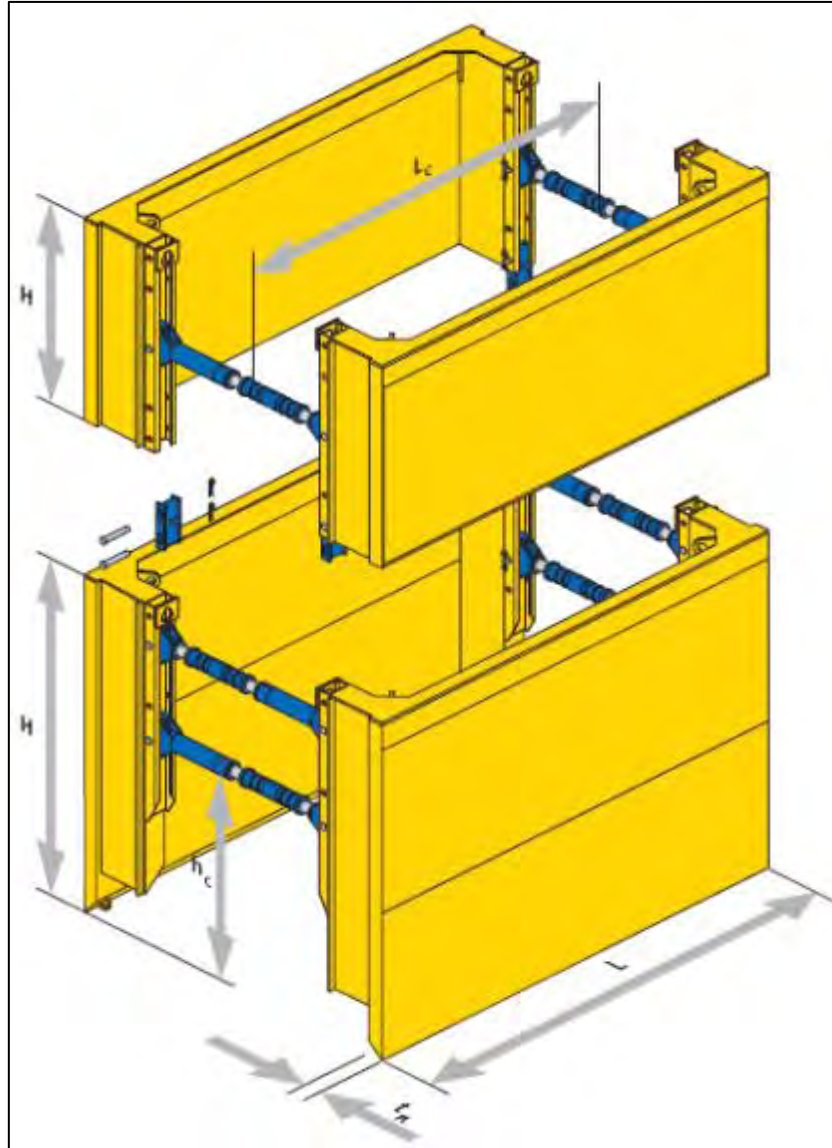
Μήκος προέκτασης $L_z$ (m)	Βάρος (kg)
0,25	62
0,50	84
0,75	105
1,00	126
1,50	168
2,00	211

**Εικόνα 43:** Κοχλίες, περικόχλια αντηρίδας



#### 4.4.9 Δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα πανέλα (Box) φρεατίων

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συστήματος είναι ότι τα πανέλα του έχουν σχήμα "Π" (Εικ. 44). Οι πόδες των πανέλων αντιμετωπίζουν το κενό που απομένει μεταξύ των μονάδων που αντιστηρίζουν το όρυγμα για την τοποθέτηση σωλήνας και της εκσκαφής (αυξημένο πλάτος) για την τοποθέτηση του φρεατίου.



Εικόνα 44: (Box) φρεατίων, sbh-shoring.com

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την μέθοδο της τοποθέτησης ή και της έμπηξης (αντιστήριξη ταυτόχρονα με την εκσκαφή). Έχει σχεδιασθεί για χρήση από μέτριους / μεγάλους εκσκαφείς σε σχετικά σταθερά ή ημι-χαλαρά εδάφη. Οι αντοχές του συστήματος διαφέρουν ανάλογα με το μήκος πανέλων που φέρει κάθε μονάδα και κυμαίνονται από 31,3 έως 50,1 kN/m<sup>2</sup> (Πίν. 20).

**Πίνακας 20:** Χαρακτηριστικά πανέλων-φρεατίων 107mm

Μήκος πανέλων L (m)	Ύψος πανέλων H (m)	Ελεύθερο μήκος σωλήνα L <sub>c</sub> (m)	Ελεύθερο ύψος σωλήνα h <sub>c</sub> (m)	Μέγιστο επιπρ. φορτίο (kN/m <sup>2</sup> )	Βάρος Βοξ (kg)
2,50	2,50	2,10	1,69	50,1	2350
	1,50				1620
3,00	2,50	2,60	1,69	41,8	2590
	1,50				1780
3,50	2,50	3,10	1,69	35,8	2825
	1,50				1940
4,00	2,50	3,60	1,69	31,3	3060
	1,50				2095

Το πλάτος ορύγματος κυμαίνεται από 1,01-4,48m ανάλογα με τον τύπο αντηρίδας που χρησιμοποιούμε, ενώ το μέγιστο ελεύθερο ύψος υπό την κάτω αντηρίδα είναι 1,69 m. Οι αντηρίδες είναι ενισχυμένου τύπου και μπορούν να φέρουν προεκτάσεις (Πίν. 21 και 22).

**Πίνακας 21:** Αντηρίδα τύπου 1

Αριθμός προεκτάσεων 0,50 m	Πλάτος εργασίας στην αντηρίδα (m) ± 10 mm	Πλάτος εργασίας στα πανέλα (m) ± 10 mm	Πλάτος ορύγματος (m) ± 10 mm	Μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο (kN)	Βάρος (kg)
0	0,98 - 1,26	1,78 - 2,06	1,98 - 2,26	468	65,0
1	1,48 - 1,76	2,28 - 2,56	2,48 - 2,76	403	84,8
2	1,98 - 2,26	2,78 - 3,06	2,98 - 3,26	348	104,6
3	2,48 - 2,76	3,28 - 3,56	3,48 - 3,76	299	124,4
4	2,98 - 3,26	3,78 - 4,06	3,98 - 4,26	254	144,2
5	3,48 - 3,76	4,28 - 4,56	4,48 - 4,76	210	164,0
6	3,98 - 4,26	4,78 - 5,06	4,98 - 5,26	165	183,8

**Πίνακας 22:** Αντηρίδα τύπου 2

Αριθμός προεκτάσεων 0,50 m	Πλάτος εργασίας στην αντηρίδα (m) ± 10 mm	Πλάτος εργασίας στα πανέλα (m) ± 10 mm	Πλάτος ορύγματος (m) ± 10 mm	Μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο (kN)	Βάρος (kg)
0	0,81 - 0,96	1,61 - 1,76	1,81 - 1,96	361	59,0
1	1,31 - 1,46	2,11 - 2,26	2,31 - 2,46	311	78,8
2	1,81 - 1,96	2,61 - 2,76	2,81 - 2,96	268	98,6
3	2,31 - 2,46	3,11 - 3,26	3,31 - 3,46	230	118,4
4	2,81 - 2,96	3,61 - 3,76	3,81 - 3,96	195	138,2
5	3,31 - 3,46	4,11 - 4,26	4,31 - 4,46	162	158,0
6	3,81 - 3,96	4,61 - 4,76	4,81 - 4,96	127	177,8

Η σύνδεση των πανέλων με τις αντηρίδες (Εικ. 45) καθώς και των βασικών με τις επικαθήμενες μονάδες, γίνεται εύκολα και γρήγορα χρησιμοποιώντας πύρους και ασφάλειες.



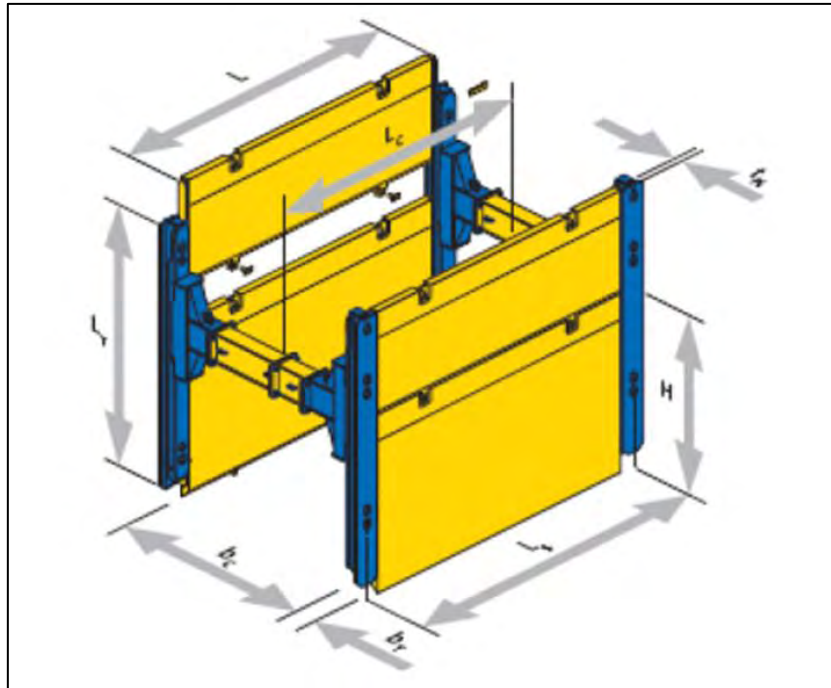
**Εικόνα 45:** Αντηρίδα, sbh-shoring.com

#### **4.4.10 Συστήματα οδηγών με ολισθαίνοντα πανέλα και ολισθαίνουσα αντηρίδα**

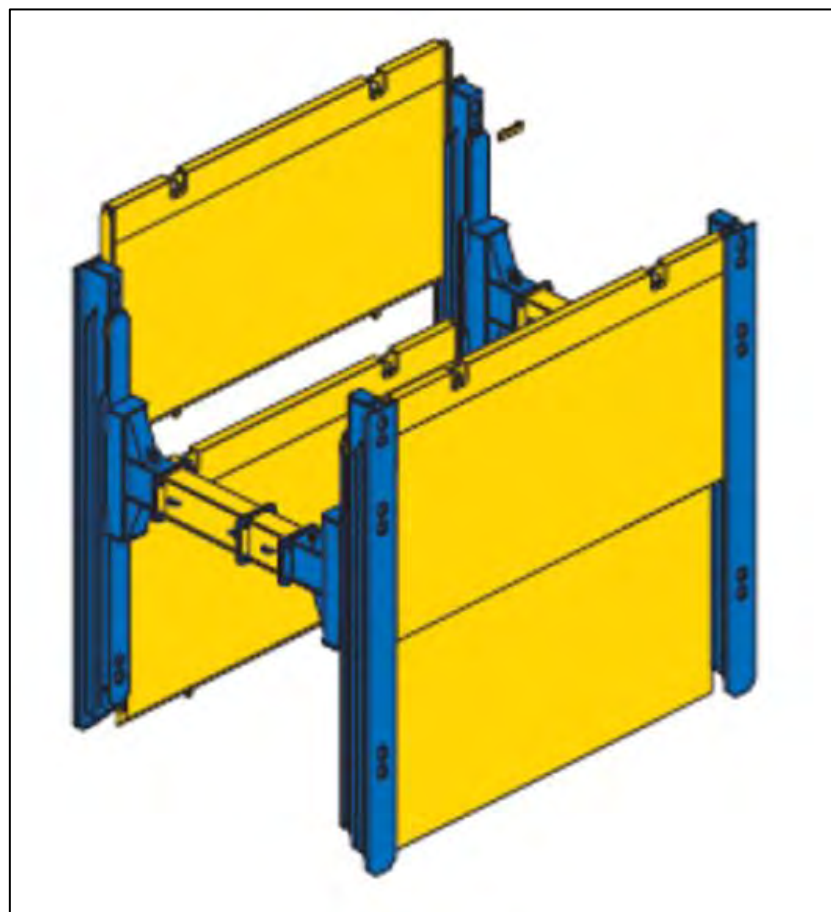
Πρόκειται για σύστημα οδηγών με ολισθαίνοντα πανέλα (Εικ. 46, 47) το οποίο εγκαθίσταται ταυτόχρονα με την εκσκαφή (μέθοδος έμπηξης) και μέγιστο βάθος εγκατάστασης 7,50 μέτρα. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συστήματος είναι ότι φέρει και ολισθαίνουσα αντηρίδα (Εικ. 48). Μάλιστα η ολισθαίνουσα αντηρίδα είναι μονής διάταξης.

Τα βασικά συστατικά στοιχεία του συστήματος είναι:

- οι οδηγοί: μονοί σειράς 790, διπλοί απλοί σειράς 750, διπλοί ενισχυμένοι (Mega) και διπλοί επικαθήμενοι σε απλή έκδοση και Mega. Επίσης γωνιακοί οδηγοί (μονοί, διπλοί, Mega και επικαθήμενοι) για την κατασκευή κιβωτίων αντιστήριξης (τετράπλευρη αντιστήριξη) (Πίν. 23).
- οι αντηρίδες: Mini RS για μονούς και επικαθήμενους οδηγούς, Standard RS για απλούς διπλούς οδηγούς και Mega RS για ενισχυμένους διπλούς οδηγούς τύπου Mega. Διατίθενται και προεκτάσεις πλάτους για όλες τις εκδόσεις και σε διάφορα μήκη (Πίν. 25 και 26).
- τα πανέλα: βασικά (ύψος 2,35 m) και επικαθήμενα (ύψος 1,35 m) σε μήκη από 2,00 έως 6,00 m, σε απλή έκδοση (πάχος 107 mm) και ενισχυμένα (πάχος 130 mm). Διατίθενται και σε έκδοση cast in situ για χρήση του συστήματος ως εξωτερικού ξυλότυπου για σκυροδέτηση (Πίν. 24).



**Εικόνα 46:** Μονοί οδηγοί, sbh-shoring.com



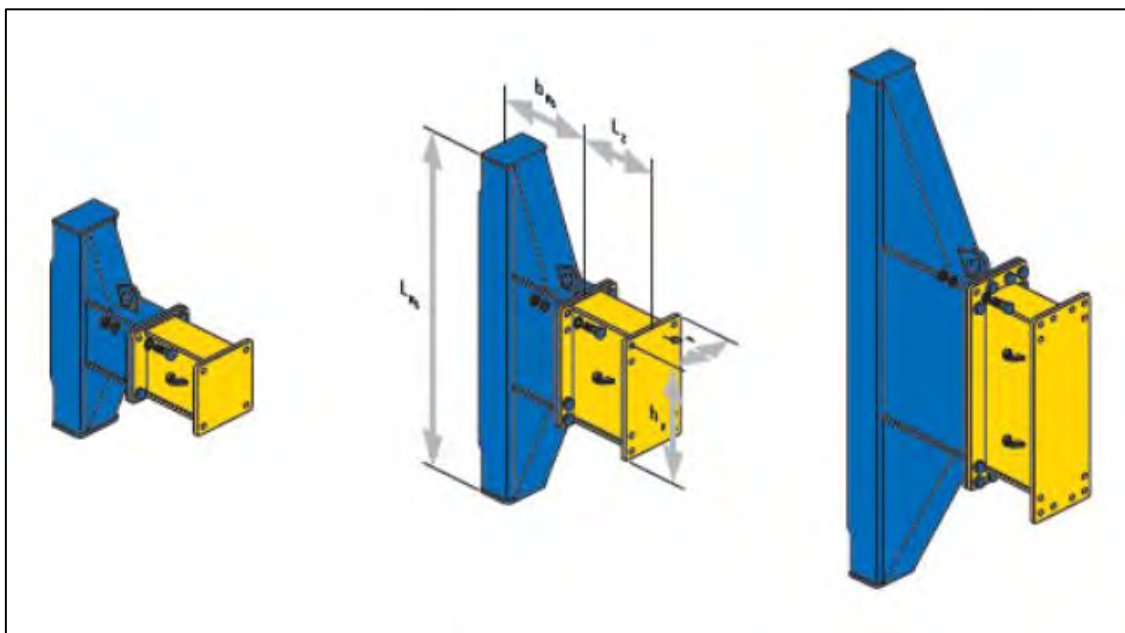
**Εικόνα 47:** Διπλοί οδηγοί, sbh-shoring.com

**Πίνακας 23:** Χαρακτηριστικά συστημάτων οδηγών με ολισθαίνοντα πανέλα και ολισθαίνουσα αντηρίδα

Ύψος οδηγών $L_T$ (m)	Βάρος οδηγών ανά τεμάχιο (kg)	Πλάτος οδηγών $b_T$ ανά τύπο (mm)	Μέγιστη επιτρ. ροπή κάμψης (kNm)
3,50	540	220	307
4,50 5,50 3,00	960 1170 650	375	672
6,50 7,50 3,00	1710 2000 760	405	927

**Πίνακας 24:** Χαρακτηριστικά συστημάτων οδηγών με ολισθαίνοντα πανέλα και ολισθαίνουσα αντηρίδα

Μήκος πανέλων $L$ (m)	Ύψος πανέλων $H$ (m)	Πάχος πανέλων $t_{PL}$ (mm)	Ελεύθερο μήκος σωλήνα $L_C$ (m)	Μήκος μονάδας $L_S$ (m)	Μέγιστο επιτρ. φορτίο (kNm <sup>2</sup> )	Βάρος (kg)
2,00	2,35 / 1,35	107	1,80	2,27	158,2	550 / 335
2,50	2,35 / 1,35		2,30	2,77	101,2	650 / 420
3,00	2,35 / 1,35		2,80	3,27	70,3	770 / 495
3,50	2,35 / 1,35		3,30	3,77	51,6	900 / 580
4,00	2,35 / 1,35		3,80	4,27	39,5	1010 / 650
4,00	2,35 / 1,35	130	3,80	4,27	82,1	1370 / 880
4,50	2,35 / 1,35		4,30	4,77	64,9	1530 / 980
5,00	2,35 / 1,35		4,80	5,27	52,6	1690 / 1070
5,50	2,35 / 1,35		5,30	5,77	43,4	1850 / 1170
6,00	2,35 / 1,35		5,80	6,27	36,5	2210 / 1370



**Εικόνα 48:** Ολισθαίνουσες αντηρίδες, sbh-shoring.com

**Πίνακας 25:** Τεχνικά χαρακτηριστικά αντηρίδων

Ύψος αντηρίδων $L_{RS}$ (m)	Πλάτος αντηρίδων $b_{RS}$ (m)	Ελαχ. Πλάτος εργασίας $b_c$ (m)	Διαστάσεις σύνδεσης $b_f \times h_f$ (mm)	Μέγιστα φορτία kN	Βάρος ζεύγους (kg)
1,24	0,62	1,24	405x420	-100 έως 639	620
2,04	0,62	1,24	405x720	-200 έως 780	980
3,04	0,92	1,84	405x1220	-374 έως 973	1700
1,24	0,62	1,24	405x420	-100 έως 639	620

**Πίνακας 26:** Προεκτάσεις αντηρίδων

$L_z$ (m)	σύνδεση (mm)	βάρος (kg)	σύνδεση (mm)	βάρος (kg)	σύνδεση (mm)	βάρος (kg)
0,25	405x420	99	405x720	163	405x1220	306
0,50		128		201		363
0,75		157		239		418
1,00	405x420	185	405x720	277	405x1220	474
2,00		303		437		714
3,00		421		597		960

Βασικά πλεονεκτήματα είναι η μεγαλύτερη ασφάλεια λόγω της εγκατάστασης του συστήματος ταυτόχρονα με την εκσκαφή (έμπηξη). Συνεχόμενη αντιστήριξη χωρίς κενά μεταξύ των μονάδων. Κάθετη έμπηξη των πανέλων και των οδηγών η οποία περιορίζει τις οριζόντιες οχλήσεις του εδάφους εξωτερικά της αντιστήριξης, που εμφανίζονται κατά την χρήση άλλου τύπου συστημάτων αντιστήριξης. Σχετικά μικρά βάρη για τον εκσκαφέα λόγω της συναρμολόγησης των μονάδων εντός προ-εκσκαφής στην θέση της εκσκαφής.

Οι μεγαλύτεροι συνδυασμοί βάθους και πλάτους εκσκαφής που μπορεί να προσφέρει οποιοδήποτε σύστημα αντιστήριξης. Δυνατότητα τοποθέτησης σωλήνων μεγάλου μήκους διαμέσου των αντηρίδων ολισθαίνοντας αυτές σε αντίθετες θέσεις. Στιβαρή κατασκευή των οδηγών που επιτρέπει την έμπηξη τους χωρίς καπάκια προστασίας για μεγαλύτερη απόδοση και ταχύτητα στην κατασκευή. Περισσότερος χώρος εργασίας για το μαστούνι του εκσκαφέα και τα μεγαλύτερα στην αγορά ελεύθερα ύψη για την τοποθέτηση σωλήνων μεγάλης διαμέτρου, λόγω του μοναδικού σχεδιασμού της ολισθαίνουσας αντηρίδας μονής διάταξης.

Στιβαρή κατασκευή της ολισθαίνουσας αντηρίδας που επιτρέπει την πίεσή της από τον εκσκαφέα σε οποιοδήποτε σημείο της χωρίς στρεβλώσεις καθώς και την ανάρτηση του ζεύγους οδηγών από την αντηρίδα, για την εξοικονόμηση ύψους σε περιπτώσεις εμποδίων ή εναέριων δικτύων πάνω από την εκσκαφή, (sbh-shoring.com).

## 5. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ-ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

### 5.1 Στατική αλληλεπίδραση εδάφους – διαφράγματος

Η στατική αλληλεπίδραση εδάφους-διαφράγματος είναι μια σύνθετη αμοιβαία δράση των δύο στοιχείων λόγω των ακόλουθων ιδιοτήτων του συστήματος:

- Της σχετικής ευκαμψίας του διαφράγματος
- Της εκ των άνω προς τα κάτω μεθόδου κατασκευής του
- Του προσωρινού του χαρακτήρα
- Της αντιστήριξης μετώπων εκσκαφών

Για διάφορους τύπους τέτοιων κατασκευών, η κινητικότητα του διαφράγματος δεν είναι εύκολο να τεκμηριωθεί πάρα μόνο προσεγγιστικά, από πληροφορίες που προέρχονται από δοκιμές σε φυσικά προσομοιώματα, επί τόπου μετρήσεις πραγματικών έργων, και φυσικά μέσω παραμετρικών αναλύσεων με χρήση επαναληπτικών αριθμητικών μεθόδων.

Στα διαφράγματα καθολικού βάθους η σταδιακή αύξηση του βάθους εκσκαφής διαφοροποιεί τις τιμές των δυνάμεων αλληλεπίδρασης και την κατανομή τους επάνω στα στοιχεία στα οποία αυτές επιδρούν. Έτσι σε κάθε φάση κατασκευής του συστήματος οι μετατοπίσεις υπαγορεύονται από την τιμή και την θέση των δυνάμεων αυτών σε σχέση με το στιγμιαίο κέντρο περιστροφής.

Επάνω από την στάθμη εκσκαφής η πλευρική μετακίνηση ελέγχεται από την ακαμψία αυτού-τούτου του διαφράγματος και από την ενδοτικότητα των πλευρικών του στηρίξεων. Κάτω από την στάθμη εκσκαφής η πλευρική μετακίνηση εξαρτάται κυρίως από το βάθος έμπηξης του διαφράγματος και την ακαμψία του περιβάλλοντος (Κωστόπουλος, 1998).

Υπάρχουν πάρα πολλά συμπεράσματα θεωρητικών διερευνήσεων (Hanna & Matallana 1970, Schindler 1970, Egger 1972, Hanna & Kurdi 1974, Clough & Tsui 1974, Pitilakis 1978, Osaimi & Clough 1979, Miligan 1983) και πάμπολες οργανομετρήσεις για την αλληλεπίδραση εδάφους-διαφράγματος (Goldberg et al 1976, Peck 1969).

### Συμπεράσματα θεωρητικών διερευνήσεων

- Στην αντιστηριζόμενη γεωμάζα το διαμορφούμενο πεδίο μετακινήσεων δεν είναι βεβαίως ομοιόμορφο, διαπιστώνεται ότι δεν πληρούνται καταρχήν οι ιδεατές συνθήκες ισορροπίας κατά Rankine, Coulomb. Όπως υποστηρίχθηκε και κατά τον «πατέρα της εδαφομηχανικής» Terzaghi, η εικόνα αυτή είναι τόσο εντονότερη, όσο η πλεοναστικότητα των πλευρικών αντιστηρίξεων είναι μεγαλύτερη.
- Η καταγραφόμενη μείωση των καμπτικών ροπών εύκαμπτων διαφραγμάτων (π.χ. πασσαλοσανίδων) ως προς τις θεωρητικές τιμές κατά την συμβατική στατική ανάλυση είναι αποτέλεσμα της ευκαμψίας τους και προκύπτει από την ιδιάζουσα κατανομή των ασκούμενων εδαφικών πιέσεων σε σχέση με την κλασική τριγωνική κατανομή προκύπτει διαφοροποίηση λόγω εμφάνισης φαινομένων θόλου μεταξύ των πλέον αμετάθετων σημείων του διαφράγματος (άρα και του εν επαφή εδάφους) και των σημείων τα οποία παρουσιάζουν ενδοτικότητα. Ως αποτέλεσμα, εμφανίζεται συγκέντρωση τάσεων γύρω από τα σημεία στήριξης (π.χ. αγκύρια ή αντηρίδες), και μείωση στο μεταξύ τους διάστημα.
- Στα αγκυρωμένα διαφράγματα, το πεδίο μετατοπίσεων στην αντιστηριζόμενη γεωμάζα πιθανότατα συντίθεται από τα πεδία που αντιστοιχούν σ' ένα αυτοφερόμενο διάφραγμα και σε μία αγκύρωση η οποία τανύεται πίσω από ένα αμετάθετο διάφραγμα. Οι εδαφικές πιέσεις στο διάφραγμα διανέμονται κατά τρόπο εξαρτώμενο από την ευκαμψία αυτού-τούτου του διαφράγματος, από το ελεύθερο μήκος του αγκυρίου και από την επιβαλλόμενη σε αυτό δύναμη προέντασης. Όταν το ελεύθερο μήκος αυξάνει και το αγκύριο είναι «παθητικό» (μη προεντεταμένο) το διάφραγμα έχει ενδοτικότητα λόγω ελαστικής παραμόρφωσης του ελεύθερου μήκους του αγκυρίου (μακρές αγκυρώσεις) ή λόγω διατμητικής αστοχίας του μήκους πάκτωσης (κοντές αγκυρώσεις). Όπου οι σειρές των αγκυρίων είναι περισσότερες της μίας, η αλληλουχία των διαδοχικών φάσεων εκσκαφής και αγκύρωσης οδηγούν σε μετακινήσεις του διαφράγματος και της «ελεύθερης» επιφάνειας της εκσκαφής, σε διαφοροποίηση της δύναμης στα αγκύρια, καθώς και σε μεταβολές των πιέσεων στο διάφραγμα. Πάντως, στις περισσότερες των περιπτώσεων, η δύναμη στα



αγκύρια δεν διαφοροποιείται πέραν του 10%, κυρίως στις υψομετρικούς ανώτερες στάθμες, ενώ η ελεύθερη επιφάνεια της αντιστηριζόμενης γεωμάζας επηρεάζεται σε απόσταση από την στέψη της τάξεως του 50% έως 60% του βάθους εκσκαφής. Τέλος οι εδαφικές πιέσεις διανέμονται μάλλον τραπεζοειδώς στην διεπιφάνεια διαφράγματος αντιστηριζόμενης γεωμάζας, εφ' όσον τούτο είναι άκαμπτο και αντιστηρίζεται σε περισσότερες της μίας στάθμες από αντηρίδες ή αγκύρια.

- Οι υψομετρικούς ανώτερες πλευρικές στηρίξεις εξαιτούνται περισσότερο απ' ότι εκείνες στο κατώτερο τμήμα της εκσκαφής. Για τον λόγο αυτό στην περιοχή της στέψης του διαφράγματος οι αντηρίδες τοποθετούνται σε μικρότερες μεταξύ τους αποστάσεις σε σχέση με το υπόλοιπο βάθος εκσκαφής, μάλιστα, όσο υψηλότερα τοποθετείται η πρώτη (χρονικώς) στήριξη, τόσο μικρότερες οι μετακινήσεις.
- Στα πολλαπλώς αγκυρωμένα διαφράγματα η υπόθεση επίπεδης παραμόρφωσης δεν πληρούται επακριβώς, εφ' όσον τα αγκύρια εισάγουν μεμονωμένα φορτία σε τακτές αποστάσεις επάνω στην ορατή επιφάνεια του διαφράγματος.
- Κεκλιμένα αγκύρια οδηγούν το διάφραγμα σε περίπου παράλληλη μετάθεση προς την εκσκαφή, ενώ οριζόντια αγκύρια το οδηγούν σε στροφή.
- Στα αντηριδωτά διαφράγματα, η πρώτη φάση εκσκαφής για την τοποθέτηση της αντίστοιχης αντηρίδας οδηγεί την γεωμάζα σε διόγκωση (προς την εκσκαφή) στο κατώτερο τμήμα της και ταυτόχρονη καθίζηση στο ανώτερο, με αποτέλεσμα την γένεση εφελκυστικού πεδίου τάσεων κοντά στην επιφάνεια, ενδεχομένως δε την εμφάνιση εφελκυστικών ρωγμών σε απόσταση από την στέψη ίση προς 40% έως 70% του βάθους εκσκαφής. Η τοποθέτηση της αντηρίδας περιορίζει την διόγκωση και τείνει να κλείσει την ρωγμή, ενώ οι ακόλουθες φάσεις αντιστήριξης αναπαράγουν το φαινόμενο κατά βάθος, με αποτέλεσμα την μετάθεση του διαφράγματος προς την γεωμάζα στις ανώτερες στάθμες με συμπαρομαρτούσα την αύξηση των ωθήσεων. Τελικώς η γεωμάζα παρουσιάζει μεγαλύτερες μετακινήσεις στους βαθύτερους ορίζοντες και πολύ μικρές περί την στέψη, ώστε το κέντρο περιστροφής να τοποθετείται στην στάθμη της πρώτης αντηρίδας και οι εδαφικές πιέσεις να διανέμονται περίπου παραβολικά κατά το βάθος.

- Στα αντηριδωτά διαφράγματα οι εδαφικές μετακινήσεις, και ειδικότερα οι καθιζήσεις της επιφάνειας της αντιστηριζόμενης γεωμάζας, είναι γενικώς μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες μετακινήσεις στα αγκυρωμένα διαφράγματα.

#### Συμπεράσματα οργανομετρήσεων

- Οι μεταλλικές πασσαλοσανίδες μπορεί να είναι από παντελώς υδατοστεγείς ως διαπερατές και αυτό εξαρτάται από το κατά πόσο «σφιχτές» είναι οι ενώσεις των στοιχείων στους αρμούς. Στην πρώτη περίπτωση αποτρέπεται η γένεση φαινομένων διασωλήνωσης κάτω από την στάθμη εκσκαφής, ενώ στην δεύτερη περίπτωση η μικρή έστω διαρροή υπόγειου νερού διά μέσου των αρμών ( της τάξεως του 1.5 lt/m<sup>2</sup> διαφράγματος) οδηγούν σε στερεοποίηση της γεωμάζας, με αναπόφευκτη την εμφάνιση καθιζήσεων οι οποίες συμπαρασύρουν και τις ενδεχόμενες αγκυρώσεις.
- Μετακινήσεις μπορούν να προκύψουν και από άλλες αιτίες, κατασκευαστικού κυρίως χαρακτήρα: ατελείς συνδέσεις των δομικών στοιχείων του συστήματος, υπερεκσκαφή, καθυστερήσεις στην χρονική αλληλουχία των εργασιών, πρόωρη απόσυρση των αντηρίδων ή καταστροφή των γήινων αναβαθμών, ανεπαρκή πλήρωση των οπών που έχουν προδιατρηθεί για την εγκατάσταση σιδηροπασσάλων, αναποτελεσματικός έλεγχος των υπόγειων νερών, διασωλήνωση, υδραυλική αστάθεια, υποβιβασμός του υπόγειου ορίζοντα, διαβρωτική δράση, έμπηξη παρακείμενων πασσάλων, εκρήξεις, δονήσεις κ.λ.π. Μάλιστα, όταν δεν επιτευχθεί πλήρης έλεγχος των νερών στην ζώνη της εκσκαφής, δημιουργούνται καθιζήσεις τυχαίου χαρακτήρα, ακόμη και λόγω απόπλυσης μέρους της λεπτόκοκκης εδαφικής φάσης.

## **5.2 Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας**

Κατά τον σχεδιασμό πλευρικά φορτιζόμενων πασσάλων, το βασικό κριτήριο πολλές φορές, δεν αποτελεί η οριακή αντοχή του αλλά η μέγιστη παραμόρφωση. Κατά τους ελέγχους οριακής κατάστασης λειτουργικότητας, υπολογίζεται η μετακίνηση και η στροφή που θα παρουσιάσει το έργο αντιστήριξης υπό τα φορτία λειτουργίας και

γίνεται έλεγχος για το αν οι συγκεκριμένες παραμορφώσεις είναι ανεκτές, δηλαδή αν δεν επηρεάζουν την λειτουργία της ίδιας της κατασκευής ή άλλων παρακείμενων.

### 5.2.1 Μέθοδοι υπολογισμού οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας

Η αξία των συγκεκριμένων μεθόδων υπολογισμού έγκειται στη δυνατότητά τους να χρησιμοποιούνται ως ένα ενιαίο εργαλείο για την στατική και δυναμική γραμμική και μη-γραμμική ανάλυση κάθε είδους κατασκευής για τυχαία γεωμετρία, φόρτιση και συνοριακές συνθήκες.

Πιο συγκεκριμένα η κάθε μεθοδολογία παρουσιάζεται συνοπτικά παρακάτω:

#### I. Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων

Η βασική αρχή της μεθόδου είναι η διακριτοποίηση της περιοχής σε έναν πεπερασμένο αριθμό στοιχείων, τα οποία μπορεί να είναι τετράπλευρα ή τριγωνικά. Οι κορυφές των σημείων αυτών ονομάζονται κόμβοι και η συμπεριφορά τους όσον αφορά την μετακίνηση, τις αναπτυσσόμενες τάσεις, τις παραμορφώσεις κ.α., περιγράφεται από γνωστές συναρτήσεις. Ακολουθώντας, με την χρήση αριθμητικών μεθόδων, γίνεται επίλυση όλων των εξισώσεων και με αυτόν τον τρόπο εξάγονται συμπεράσματα για την συμπεριφορά όλης της περιοχής.

Η περιγραφή της συμπεριφοράς μεταξύ των στοιχείων, γίνεται με υψηλού επιπέδου μαθηματικά προσομοιώματα που ονομάζονται καταστατικά μοντέλα, μερικά από τα πιο γνωστά, στο πεδίο της γεωτεχνικής μηχανικής είναι τα Mohr Coulomb, CamClay, hardening soil model κ.α.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων, αν και έχει γνωρίσει ιδιαίτερη ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες έχοντας την δυνατότητα να αναπαριστά ρεαλιστικά το φυσικό χώρο, δεν παύει να είναι προσεγγιστική και να επιδέχεται αρκετές βελτιώσεις ακόμα, κυρίως στο κομμάτι των καταστατικών μοντέλων.

#### II. Μέθοδος πεπερασμένων διαφορών

Κατά την συγκεκριμένη μεθοδολογία, ο υπό ανάλυση πάσσαλος αντιστήριξης προσομοιώνεται ως ελαστική δοκός επί οριζόντιων κατανεμημένων ελατηρίων τύπου Winkler τα οποία προσομοιάζουν την συμπεριφορά του εδάφους και είναι είτε

γραμμικά είτε μη-γραμμικά. Τα συγκεκριμένα ελατήρια ονομάζονται «p-y» από την σχέση φορτίου-μετακίνησης.

Οι καμπύλες «p-y» περιγράφουν την απόκριση του εδάφους για μικρές οριζόντιες μετακινήσεις. Οι πρώτες καμπύλες προέκυψαν κυρίως από δοκιμαστικές φορτίσεις πασσάλων σε φυσική κλίμακα από τους McLeland & Focht (1958), Matloc (1970) κ.α.

Τα τελευταία χρόνια, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη μέθοδος έχει παρουσιάσει μεγάλη πρόοδο και στο κομμάτι της συμπεριφοράς των ελατηρίων και γενικότερα της προσομοίωσης της συμπεριφοράς του εδάφους, αλλά και του ίδιου του πασσάλου του οποίου η πλέον ελαστική συμπεριφορά έχει αντικατασταθεί από πολύπλοκα μοντέλα τα οποία λαμβάνουν υπόψη φαινόμενα όπως η κράτυνση και η ρηγμάτωση.

Θα πρέπει τέλος να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι από τις πλέον διαδεδομένες για την ανάλυση που υπόκεινται σε πλευρικά φορτία λόγω της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων που παρέχει, της προσαρμοστικότητας και της οικονομίας σε χρόνο (Κωμοδρόμος, 2009).

### 5.3 Αρχές Ευρωκώδικας 7

Ο Ευρωκώδικας 7 (EC-7) περιέχει τις απαραίτητες οδηγίες για τον σχεδιασμό, την μελέτη και την κατασκευή γεωτεχνικών κατασκευών σε αβαθείς και βαθιές θεμελιώσεις (κατά τεκμήριο οι πάσσαλοι), σε κατασκευές αντιστήριξης, σε εκσκαφές, σε επιχώματα και στη διαμόρφωση πρανών. Ο EC-7 ετέθη σε προκαταρκτική εφαρμογή το 1994 και αποτελεί υποχρέωση σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.).

Η είσοδος του Ευρωκώδικα 7 προέκυψε ως ανάγκη προκειμένου να ενοποιηθεί η διαδικασία υλοποίησης των έργων μέσα σ' ένα σύστημα Ευρωκωδίκων που αφορούν τόσο στα δομικά συστήματα από διάφορα τεχνητά υλικά, όσο και στις γεωτεχνικές κατασκευές ειδικότερα. Ο Ευρωκώδικας 7 αποτελεί την βάση για την ενιαία ασφάλεια των έργων στην Ε.Ε., την προστασία των πολιτών της και την οριοθέτηση της επαγγελματικής ευθύνης των μηχανικών που εργάζονται σε αυτήν.

Οι Ευρωκώδικες ορθολογιστικά διαχειρίζονται την έννοια «ασφάλεια» κατά σχεδιασμό και διαχείριση, η οποία εισάγει σημαντικές τροποποιήσεις σε όρους και έννοιες, εστιάζεται στους ακόλουθους έξι κύριους άξονες:

1. Την διάκριση των γεωτεχνικών κατασκευών σε τρεις κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται:
  - Οι μικρού μεγέθους και σχετικώς απλές κατασκευές υπό συνήθεις γεωτεχνικές συνθήκες
  - Οι συμβατικές κατασκευές, χωρίς ασυνήθεις κινδύνους και σπάνιες ή ιδιάζουσες εδαφικές συνθήκες
  - Οι μη-συνήθεις κατασκευές οι οποίες εμπεριέχουν ασυνήθεις κινδύνους ή ιδιαίτερες γεωτεχνικές συνθήκες ή και υψηλή σεισμικότητα
2. Τον ορισμό δύο οριακών καταστάσεων ελέγχου: Λειτουργίας (Serviceability-S) με κριτήριο την μετακίνηση και Αστοχίας (Ultimate-U) με κριτήριο την αντοχή.
3. Την εισαγωγή των Επιμέρους Συντελεστών Ασφάλειας (Partial Safety Factors) στις δράσεις και αντιστάσεις στην θέση του Ενιαίου Συντελεστή Ασφάλειας, ο οποίος και εγκαταλείπεται.
4. Την χρήση των Χαρακτηριστικών Τιμών (Characteristic Values) των δράσεων και αντιστάσεων των υλικών έναντι των γνωστών ως Ονομαστικών Τιμών (Nominal Values).
5. Την υιοθέτηση της Πιθανοτικής Προσέγγισης στον ορισμό της ασφάλειας στην οριακή κατάσταση αστοχίας, ενώ παραμένει σε ισχύ η προσδιορισμική (εμπειρική) μεθοδολογία στον έλεγχο της οριακής κατάστασης λειτουργίας.
6. Την διατήρηση των συμβατικών προσομοιωμάτων ανάλυσης.

Η μαθηματική διατύπωση της ασφάλειας κατά τον EC-7 εκφράζεται από τις ακόλουθες δύο αναλυτικές σχέσεις:

Οριακή κατάσταση Λειτουργίας :  $s < s_{max}$

Οριακή κατάσταση Αστοχίας :  $R_d (\gamma_F F_k, x_k / \gamma_M) > \dot{\eta} = E_d (\gamma_F F_k, x_k / \gamma_M)$

Όπου:

$s$  : η προκύπτουσα μετακίνηση

$s_{max}$  : η αποδεκτή μέση μετακίνηση

R : αντοχή

E : δράση

d : δείκτης που αφορά στην αστοχία

$F_k$  : δράση

$\chi_k$  : εδαφική παράμετρος αντοχής

$\gamma_F$  : επιμέρους συντελεστής ασφάλειας στην δράση

$\gamma_M$  : επιμέρους συντελεστής ασφάλειας στην εδαφική παράμετρο αντοχής

Στα όσα ακολουθούν παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές επιμέρους αρχές του Ευρωκώδικα 7. Οι οριακές καταστάσεις αστοχίας χωρίζονται σε τρεις περιπτώσεις:

- Περίπτωση A: Απώλεια στατικής ισορροπίας της γεωτεχνικής κατασκευής ως στερεού σώματος (EQU), ανεξαρτήτως της αστοχίας της κατασκευής ή της περιβάλλουσας γεωμάζας.
- Περίπτωση B: Δομική αστοχία επιμέρους στοιχείου του στατικού συστήματος της κατασκευής (STR), αστοχία η οποία προκύπτει από εξαίτιση (φόρτιση, παραμόρφωση) της περιβάλλουσας την κατασκευή γεωμάζας, η οποία όμως ενδεχομένως δεν αστοχεί.
- Περίπτωση Γ: Αστοχία της γεωμάζας (GEO) λόγω εσωτερικών μηχανισμών εξαίτισης (διατμητική αστοχία, ολίσθηση, ανατροπή, υδραυλική κλίση-HYD) με ενδεχόμενη αστοχία επιμέρους δομικών στοιχείων, η περίπτωση αυτή έχει την πλέον βαρύνουσα σημασία στις γεωτεχνικές κατασκευές, αν και συχνά η περίπτωση B τυγχάνει δυσμενέστερη.

Ως παραδείγματα των άνω περιπτώσεων μπορούν να αναφερθούν τα εξής:

(A) η επίπλευση ενός δομήματος λόγω υδροστατικής άνωσης

(B) η υπέρβαση της οριακής αντοχής της κρίσιμης διατομής ενός διαφράγματος αντιστήριξης

(Γ) η υπέρβαση της φέρουσας ικανότητας αβαθούς θεμελίου λόγω γενικής διάτμησης

Πέραν όμως των προαναφερόμενων οριακών καταστάσεων αστοχίας ο Ευρωκώδικας 7 αποδέχεται και συνδυασμούς οριακών καταστάσεων, όπως π.χ. η αστοχία πασσάλου και περιβάλλουσας γεωμάζας υπό την επενέργεια οριζόντιου φορτίου (περιπτώσεις Β και Γ). Σε κάθε όμως γεωτεχνικό έλεγχο έναντι αστοχίας θα πρέπει να εξετάζονται και οι τρεις παραπάνω περιπτώσεις Α, Β και Γ, όπου βεβαίως αυτές εφαρμόζονται, και η διαστασιολόγηση των επιμέρους στοιχείων του έργου να βασίζεται στην δυσμενέστερη εξ' αυτών.

Περαιτέρω και αναλόγως του χαρακτήρα των δράσεων, οι καταστάσεις σχεδιασμού διακρίνονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

1. Μόνιμες (persistent), όπου ο όρος υποδηλώνει (π.χ ίδια βάρη, ώθηση γαιών)
2. Πρόσκαιρες (transient), όπου περιλαμβάνονται οι μόνιμες και ένας ενδεχόμενος συνδυασμός πρόσκαιρων (μεταβλητών) δράσεων (π.χ άνεμος, κινητά φορτία)
3. Ατυχηματικές (accidental), όπου περιλαμβάνονται οι μόνιμες, οι συνήθεις πρόσκαιρες και μία από τις ενδεχόμενες ατυχηματικές δράσεις (π.χ πρόσκρουση, σεισμός κατά ΕΑΚ 2000).

Ως χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων και των εδαφικών παραμέτρων νοούνται οι συντηρητικώς εκτιμώμενες τιμές (cautious estimates) κατά την συνήθη τακτική ή οι στατιστικώς προσδιοριζόμενες τιμές με πιθανότητα υπέρβασης 5% επί το δυσμενέστερο. Τέλος, οι επιμέρους Συντελεστές Ασφαλείας είναι ίσοι με την μονάδα εφόσον αναφέρονται στην οριακή κατάσταση λειτουργίας, εν γένει είναι μεγαλύτεροι της μονάδας εφόσον αναφέρονται στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (δράσεις, αντιστάσεις), ώστε να προκύπτουν αυξημένες δράσεις και μειωμένες εδαφικές ιδιότητες (Κωστόπουλος, 1998).

Οι επιμέρους Συντελεστές Ασφαλείας δίνονται στους παρακάτω Πίνακες 27, 28 και 29:

**Πίνακας 27:** Τιμές των επιμέρους Συντελεστών Ασφαλείας

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΔΡΑΣΗ			ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ			
	ΜΟΝΙΜΗ		ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	tgΦ	c'	Su	qu
	ΔΥΣΜΕΝΗΣ	ΕΥΝΟΪΚΗ	ΔΥΣΜΕΝΗΣ				
<b>A</b>	1,00	0,95	1,50	1,10	1,30	1,20	1,20
<b>B</b>	1,35	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Γ</b>	1,00	1,00	1,30	1,25	1,60	1,40	1,40

$q_u$  : αντοχή εδάφους ή βράχου σε ανεμπόδιστη θλίψη

$s_u$  : αστράγγιστη διατμητική αντοχή

Ως μεταβλητή δράση νοείται η πρόσκαιρου χαρακτήρα, δεδομένου ότι η ατυχηματική χαρακτηρίζεται πάντοτε ως δυσμενής και συνοδεύεται από επιμέρους συντελεστή ίσο με 1,0. Ειδικότερα για τους πασσάλους ισχύουν τα ακόλουθα του Πίνακα 28:

**Πίνακας 28:** Τιμές των επιμέρους Συντελεστών Ασφαλείας (πάσσαλοι)

ΕΙΔΟΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥ	ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Γ		
	Πλευρική Τριβή	Αντοχή Αιχμής	Ολική Αντοχή
<b>ΕΓΧΥΤΟΙ ΔΓ' ΕΚΣΚΑΦΗΣ</b>	1,30	1,60	1,50
<b>ΕΜΠΗΓΓΝΥΟΜΕΝΟΙ</b>	1,30	1,30	1,30
<b>ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΛΙΚΟΕΙΔΟΥΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ (Continuous Flight Auger)</b>	1,30	1,45	1,40

Τέλος για τα αγκύρια, όπως παρουσιάζονται και στον παρακάτω Πίνακα 29, ισχύουν οι ακόλουθες τιμές των επιμέρους Συντελεστών Ασφαλείας:

**Πίνακας 29:** Τιμές των επιμέρους Συντελεστών Ασφαλείας (Αγκύρια)

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΠΡΟΣΩΡΙΝΑ	ΜΟΝΙΜΑ
<b>A</b>	1,25	1,50
<b>B</b>	1,00	1,00
<b>Γ</b>	1,25	1,50



## 6. ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

### 6.1 Τρόποι αστοχίας διαφράγματος

Οι αστοχίες των κατασκευών αντιστήριξης οδηγούν κατά κανόνα σε καθίζηση της περιβάλλουσας γεωμάζας, σε μετακινήσεις όμορων θεμελιώσεων, σε μη-παραδεκτή σύγκληση του ή των μετώπων, οριακά δε σε κατάρρευση της αντιστήριξης (Εικ. 49) και σε ανύψωση του πυθμένα εκσκαφής.



**Εικόνα 49:** Αστοχία-κατάρρευση αντιστήριξης σε όρυγμα αποχέτευσης, [www.shoring.de](http://www.shoring.de)

Αστοχίες τέτοιου τύπου μπορούν να αποδοθούν στις παρακάτω βασικές αιτίες (Sowers 1975, Verdeyen et al 1971, Clough & Davidson 1977):

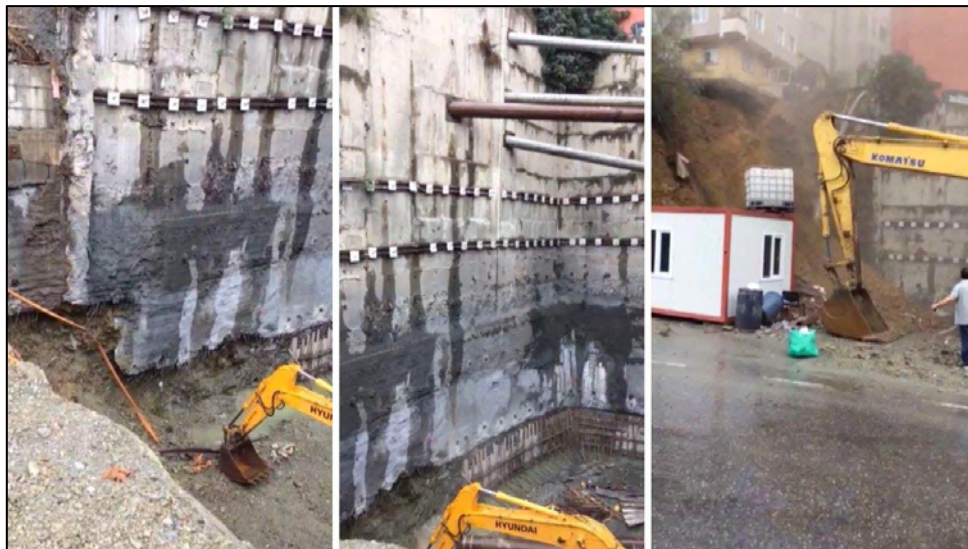
- Επιρροή του υγρού στοιχείου (Εικ. 6.3, 6.4), όπως απρόβλεπτη υδραυλική πίεση, επιφόρτιση της γεωμάζας από βροχόπτωση, δυνάμεις διήθησης προς τα κάτω, ροή του νερού προς την εκσκαφή διαμέσου των αρμών πετάσματος, διασωλήνωση, μείωση της εδαφικής αντοχής λόγω κορεσμού, διάβρωση της γεωμάζας, διόγκωση των αργίλων και των πυριτικών ή μοντμοριλονιτικών σχιστόλιθων κλπ.
- Κακή δομική ποιότητα της αντιστήριξης
- Απουσία υπολογισμών ή κακή χρήση των αναλυτικών μεθόδων σχεδιασμού, κυρίως ατυχής αναλυτική προσομοίωση της κατασκευαστικής διαδικασίας
- Διαφοροποίηση των επιμέρους συντελεστών του προβλήματος, π.χ. πρόσθετες επιφορτίσεις επιφάνειας, αλλαγή γεωμετρίας του φορέα, υπερφόρτιση πλευρικών στηρίξεων από καταστροφή των φαινόμενων θόλου μεταξύ των πασσάλων κλπ.
- Σφάλματα κατά την κατασκευαστική διαδικασία, όπως κατάρρευση των παρειών της τάφρου επί τόπου εγχυόμενου διαφράγματος λόγω ανεπαρκούς πιεζομετρικού ύψους στο αιώρημα μπετονίτη ή λόγω διαρροής του αιωρήματος δια μέσου ένστρωσης χαλίκων ή λόγω κροκίδωσης του αιωρήματος, απώλεια παθητικής εδαφικής αντίστασης από υπερεκσκαφή, κατάρρευση των παρειών της οπής αγκυρίων με αποτέλεσμα την μείωση της φέρουσας ικανότητάς των κλπ.
- Διάβρωση και σταδιακή καταστροφή των μεταλλικών στοιχείων της αντιστήριξης, π.χ. αγκυρίων σε εδαφικό περιβάλλον που περιέχει τέφρα ή θειικά

Συγκεκριμένα στα διαφράγματα αντιστήριξης, ιδίως αν είναι πλευρικός στηριζόμενα, οι αστοχίες που έχουν καταγραφεί παγκοσμίως είναι γενικώς ολιγάριθμες και αποδίδονται κατά κύριο λόγο στην έλλειψη κατανόησης της χρονικής αλληλουχίας των κατασκευαστικών διαδικασιών, οι οποίες και επηρεάζουν έντονα την τελική επιτελεστικότητα του συστήματος (Εικ. 50, 52, 55, 56, 57, 58, 59).



**Εικόνα 50:** Καταπτώσεις σε όρυγμα αποχέτευσης, Λάρισα 2013, αστοχία αντιστήριξης λόγω υπερεκσκαφής (αρχείο Δ.Ε.Υ.Α.Λ)

Τα αγκυρωμένα διαφράγματα αστοχούν εξωτερικός λόγω μετακινήσεως της γεωμάζας πίσω από τα αγκύρια (Εικ. 51 και 54), ενώ τα αντηριδωτά διαφράγματα αστοχούν εσωτερικός λόγω ανύψωσης του πυθμένα της εκσκαφής. Και στις δύο περιπτώσεις υπό καθεστώς φόρτισης-αποφόρτισης, παρουσιάζεται κατά την εκσκαφή συγκέντρωση πιέσεων πόρων στην ζώνη αστοχίας, όπως επιβεβαιώθηκε από ανάστροφους υπολογισμούς μετώπων που έχουν αστοχήσει.



**Εικόνα 51:** Αστοχία - κατάρρευση αγκυρωμένων διαφραγμάτων και αντηρίδων, Κωνσταντινούπολη 2018, (hurrietdailynews.com)

Ο χρόνος για την πλήρη αποτόνωση των πιέσεων πόρων είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με εκείνον που μεσολαβεί από την φάση εκσκαφής στην φάση αστοχίας. Κατά συνέπεια, πολλές αστοχίες μπορεί να έχουν προκληθεί από παραμένονσα διαδικασία εξισορρόπησης των πιέσεων πόρων. Εξάλλου, η αποστράγγιση των εκσκαφών (που συνήθως στην πράξη υλοποιείται με αντλήσεις) είναι ένα ενδεχόμενο που μπορεί να οδηγήσει σε θραύση των μετώπων λόγω αύξησης των πιέσεων πόρων και παρουσίας δυνάμεων ροής, ώστε να καθίσταται αναγκαία η συνεχής τροφοδοσία της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα έξω από την εκσκαφή (Κωστόπουλος, 2008).

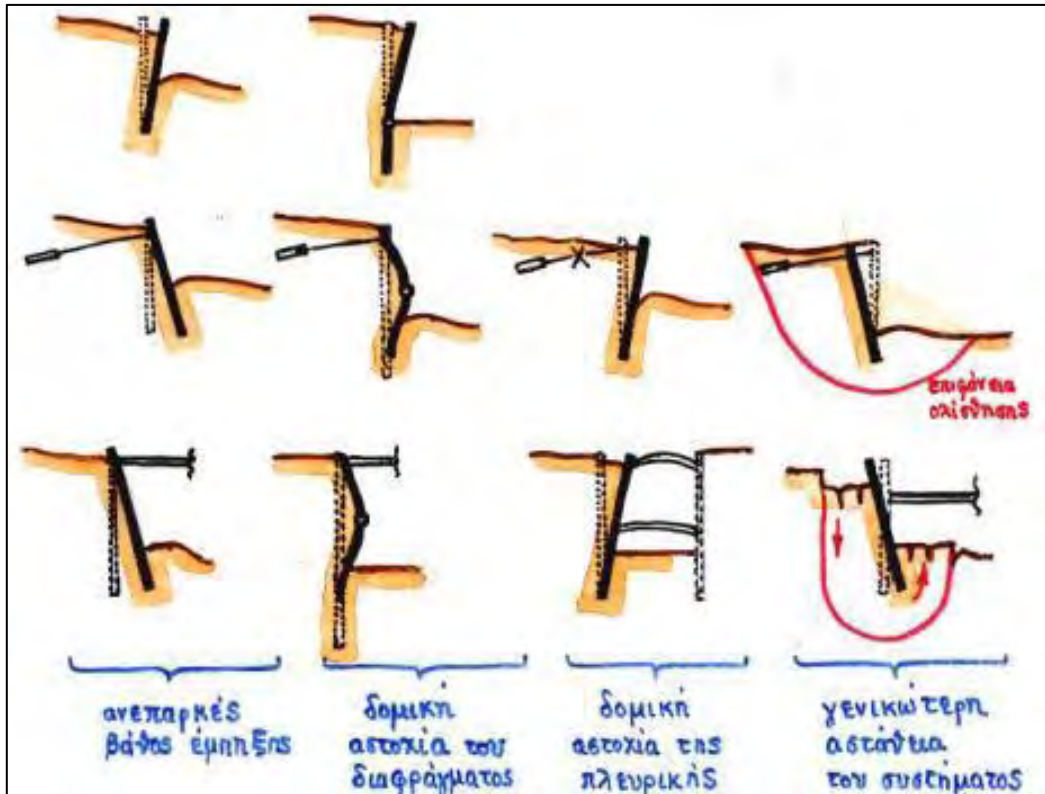


**Εικόνα 52:** Αστοχία αντιστήριξης λόγω γενικότερης αστάθειας του συστήματος, απουσία έμπηξης, έλλειψη διπλού πρόσθετου πανέλου καθ' ύψος, με κατάπτωση πρανούς και εισροή νερού από βλάβη σε αγωγό ύδρευσης, Λάρισα 2014, αρχείο Δ.Ε.Υ.Α.Λ.

Για να πραγματοποιηθεί η αναλυτική εκτίμηση του βάθους έμπηξης του διαφράγματος κατά την στιγμή της αστοχίας, είναι απαραίτητο να οριστεί ένας

μηχανισμός αστοχίας σύμφωνα με τον οποίο θα καθοριστούν οι εδαφικές ωθήσεις στο διάφραγμα, τόσο κατά μέγεθος όσο και κατά θέση (Κωστόπουλος, 1998).

Στην παρακάτω Εικόνα 53, παρουσιάζονται οι πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας:



Εικόνα 53: Μηχανισμοί αστοχίας διαφράγματος (Κωστόπουλος, 1998)



Εικόνα 54: Αστοχία αντιστήριξης διαφράγματος, Κωνσταντινούπολη 2018, (hurrietarydailynews.com)



**Εικόνα 55:** Έλλειψη κατανόησης της χρονικής αλληλουχίας των κατασκευαστικών διαδικασιών, τοποθέτηση διπλού πάνελ, καθ' ύψος, χωρίς να προηγηθεί η έμπηξη οδηγού, [webcafe.bg](http://webcafe.bg)



**Εικόνα 56:** Δομική αστοχία διαφράγματος σε δίκτυο ομβρίων, nika-tc.com



**Εικόνα 57:** Αστοχία διαφράγματος, απεγκλωβισμός εργαζομένου, Η.Π.Α



**Εικόνα 58:** Αστοχία αντιστήριξης πασσαλοσανίδων, ανεπαρκής βάθος έμψηξης, δομική αστοχία, Θεσσαλονίκη, αρχείο Ε.Υ.Α.Θ



**Εικόνα 59:** Αστοχία αντιστήριξης, λυγισμός πασσαλοσανίδων, ανεπαρκής βάθος έμψηξης, Θεσσαλονίκη, αρχείο Ε.Υ.Α.Θ

Ανάλογη περίπτωση αστοχίας μας παρουσιάζει και ο Γκαζέτας (1988) σε μια αντηριδωτή αντιστήριξη εγκατεστημένη σε μαλακή άργιλο. Επρόκειτο για προσωρινή



αντιστήριξη αποτελούμενη από κατακόρυφες πασσαλοσανίδες συνολικού ύψους 9 μέτρων και ένα ζεύγος κεκλιμένων αντηρίδων ανά 10 μέτρα μήκους, οι οποίες στο άλλο άκρο τους στερεώνονταν στην κεφαλή πασσάλου που λειτουργούσε ως σώμα αντίδρασης. Το πλήθος των μετρημένων τιμών της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής που προέκυψε από την γεωτεχνική διασκόπηση κατέδειξε ότι ο λόγος  $\gamma H/S_u$  κυμαινόταν μεταξύ 2,5 και 6,7.

Από την εκ των υστέρων ανάλυση της χρονικής αλληλουχίας των επιμέρους φάσεων υλοποίησης της αντιστήριξης προέκυψε ότι η πρώτη σειρά αντηρίδων, στην στέψη του διαφράγματος, τοποθετήθηκε 5 μέρες μετά την εγκατάσταση των πασσαλοσανίδων, αλλά λόγω καθυστερήσεων οι εκσκαφές ολοκληρώθηκαν πέντε μήνες αργότερα, αφού μόλις πριν 10 μέρες είχε τοποθετηθεί η δεύτερη σειρά αντηρίδων. Την επαύριον της ολοκλήρωσης των εκσκαφών η αντιστήριξη αστόχησε σε μήκος 2 φατνωμάτων, με σαφείς ενδείξεις λυγισμού των δύο αντηρίδων στο μέσον της ζώνης αστοχίας. Το συμβάν αποδόθηκε στην τοξωτή λειτουργία της γεωμάζας η οποία, λόγω ασυνήθιστης κατασκευαστικής διαδικασίας, οδήγησε σε μεγάλη αξονική καταπόνηση της μιας αντηρίδας και κατά συνέπεια σε λυγισμό και αλυσωτή κατάρρευση.

## 6.2 Συντελεστές ασφαλείας

Ο συντελεστής ασφαλείας είναι μια νοητική κατασκευή η οποία χρησιμεύει στον (εμπειρικό) προσδιορισμό των μετακινήσεων σε ανεκτά όρια. Καλύπτει την (αντικειμενική) ασάφεια η οποία χαρακτηρίζει την ενδεχόμενη παρουσία της γεωλογικής λεπτομέρειας και την εκτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων, την αβεβαιότητα προσδιορισμού των εξαιτίσεων, τις (υποκειμενικές) απλοποιήσεις των αναλυτικών μεθόδων πρόγνωσης αλλά και τις συχνά άτοπες πολυπλοκότητες των συμβασικών σχέσεων με τρόπο ώστε το γεωτεχνικό σύστημα “διασκόπηση-ανάλυση-δόμηση” να οδηγεί σε τεχνικά φερέγγυα κατασκευή.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του συντελεστή ασφαλείας είναι 5 (Πίν. 30), και όπως μας αναφέρει και ο Meyerhof (1970), οι δύο πρώτοι παράγοντες, οι

ιδιότητες των γεωϋλικών και η μεταβλητότητα των εξωτερικών αιτιών αποτελούν τις κύριες αιτίες αβεβαιότητας.

**Πίνακας 30:** Παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του Συντελεστή Ασφαλείας

<u>ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ</u>	<u>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ</u> Μικρός >>>>>> Μεγάλος	
<b>Ιδιότητες των υλικών</b>	Έδαφος ομογενές / Διασκόπηση εκτενής	Έδαφος ανομοιογενές / Διασκόπηση περιορισμένη
<b>Εξωτερικές αιτίες (άνεμος, νερό, σεισμός κλπ)</b>	Μεγάλος αριθμός πληροφοριών, μετρήσεων και παρατηρήσεων	Λίγες διαθέσιμες πληροφορίες
<b>Ακρίβεια του αναλυτικού προσομοιώματος</b>	Προσομοίωμα αντιπροσωπευτικό της πραγματικότητας	Η μέθοδος ανάλυσης δεν επιτρέπει παρά χονδροειδή προσέγγιση της πραγματικότητας
<b>Συνέπειες σε περίπτωση ατυχήματος</b>	"Υπολογισμένος κίνδυνος" (Calculated Risk) κατά Casagrande (1965): περιορισμένος, σημαντικός, καταστροφικός	
<b>Χρονικός χαρακτήρας του έργου</b>	Προσωρινό	Μόνιμο

Οι συντελεστές ασφαλείας, ειδικότερα στα διαφράγματα, μπορούν να εφαρμοστούν με τους παρακάτω τρόπους (RT-CPH, 2001):

- Με την εφαρμογή ενός συντελεστή πολλαπλασιασμού, ώστε να αυξηθεί το υπολογιζόμενο αναγκαίο βάθος έμπηξης για την επίτευξη της οριακής ισορροπίας
- Με την χρήση κατάλληλου συντελεστή για την μείωση της αντοχής του εδάφους
- Αυξάνοντας τις “καθαρές” ή μέγιστες πιέσεις που δρουν στο σύστημα με την εφαρμογή κατάλληλου συντελεστή

Οι κυριότερες μέθοδοι που ορίζουν αντίστοιχους συντελεστές ασφαλείας στα διαφράγματα είναι οι κάτωθι:

- Μέθοδος της μέγιστης πίεσης (gross pressure method) η οποία ορίζει τον συντελεστή  $F_p$ . Είναι γνωστή και σαν  $CP_2$  μέθοδος, ο συντελεστής ασφαλείας

εφαρμόζεται μόνο στο διάγραμμα της μέγιστης παθητικής πίεσης και μειώνει την τιμή αυτής. Η προσέγγιση με αυτή την μέθοδο, μπορεί να οδηγήσει σε μη αποδεκτά αποτελέσματα στην περίπτωση αστράγγιστου εδάφους όπου  $K_a=K_p=1$ , (RT-CPH, 2001). Ο συντελεστής  $F_p$  ορίζεται ως ο λόγος των ροπών σταθεροποίησης προς τις ροπές ανατροπής (με σημείο αναφοράς το κέντρο περιστροφής του αγκυρίου). Οι ενεργές και παθητικές ωθήσεις λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές τους και κατά Rankine (Κωστόπουλος, 1998).

- Μέθοδος «καθαρής» πίεσης (net pressure method) ή British Steel Piling Handbook Method, ορίζει τον αντίστοιχο συντελεστή  $F_{np}$ . Ο συντελεστής εφαρμόζεται στο τελικό διάγραμμα της παθητικής ώθησης και του διαγράμματος της ώθησης λόγω νερού. Η μέθοδος τείνει να δίνει μεγαλύτερους συντελεστές ασφαλείας σε σχέση με τις άλλες μεθόδους για δεδομένη γεωμετρία, αλλά αν δοθεί προσοχή στους σχεδιαστικούς παράγοντες θα δώσει αποδεκτά αποτελέσματα (RT-CPH, 2001).
- Αναθεωρημένη μέθοδος (revised method) ή μέθοδος των Burland and Potts. Ορίζεται ο συντελεστής ασφάλειας  $F_r$  ομοίως με τον συντελεστή  $F_p$  της πρώτης μεθόδου, με τη διαφορά ότι οι ωθήσεις λαμβάνονται με την «καθαρή» του τιμή (RT-CPH, 2001 και Κωστόπουλος, 1998).
- Συντελεστής σε μέθοδο διατμητικής αντοχής ορίζεται ο  $F_s$ . Οι παράμετροι αντοχής ( $c'$ ,  $\phi'$ ) διαιρούνται με το συντελεστή ασφάλειας πριν εκτιμηθούν οι ωθήσεις σε πλήρη κινητοποίηση και στη συνέχεια εφαρμόζεται η ισορροπία ροπών και δυνάμεων (Κωστόπουλος, 1998).

Ο συντελεστής ασφάλειας των πρανών όπως αναφέρεται και παραπάνω επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες και διαμορφώνεται σε συνάρτηση με τον προορισμό του. Αριθμητικά σε κάθε περίπτωση μόνιμου πρανούς θα πρέπει να εξασφαλίζεται ελάχιστος συντελεστής ασφάλειας:

$$n > \text{ή ίσο με } 1,5(n_{\min})$$

Στην περίπτωση π.χ. πρανών οριστικού επιχώματος οδοποιίας πρέπει  $n > \text{ή ίσο με } 1,5$ , αν όμως πρόκειται για προσωρινό επίχωμα, τότε μπορούμε να δεχθούμε,  $n > \text{ή ίσο με } 1,2$ . Σε κατακόρυφα ή σχεδόν κατακόρυφα πρανή, ο συντελεστής ασφαλείας

λαμβάνεται αυξημένος και φτάνει πολλές φορές σε τιμές  $n=3-4$  ανάλογα με τον προορισμό του πρανούς.

Όταν η μέθοδος υπολογισμού της ευστάθειας των πρανών επιτρέπει την διάκριση του συντελεστή ασφαλείας  $n$  σε επιμέρους συντελεστές  $n_{\phi}$ ,  $n_c$  (μέθοδος διατμητικής αντοχής), που αναφέρονται αντίστοιχα στην εσωτερική τριβή και στη συνοχή, τότε οι απαιτήσεις ως προς τις αριθμητικές τιμές των  $n$  είναι δυνατόν να διαφοροποιούνται. Σ' αυτή την περίπτωση ο  $n_c$  λαμβάνεται κατά κανόνα μεγαλύτερος του  $n_{\phi}$  (π.χ.  $n_c=2,0$ ,  $n_{\phi}=1,25$ ), επειδή η συνοχή του εδάφους επηρεάζεται από παράγοντες που δεν ελέγχονται επαρκώς (Αλαμανής, 2019).

### **6.3 Νομοθεσία**

Όσον αφορά την ισχύουσα νομοθεσία των απαιτήσεων της ασφάλειας και της υγείας στις εργασίες εκσκαφής (θεμελίων, τάφρων, φρεατίων κ.λπ.) και στις αντίστοιχες αντιστηρίξεις παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα 31:

**Πίνακας 31:** Νομοθεσία στις απαιτήσεις ασφάλειας και υγείας σε εργασίες εκσκαφών με αντιστηρίξεις

ΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ & ΥΓΕΙΑΣ	ΙΣΧΥΟΥΣΑ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ
<b>Εκσκαφές ( θεμελίων, τάφρων, φρεάτων, κλπ.) Αντιστηρίξεις</b>	<p>Εργασίες με ειδικούς κινδύνους</p> <p>Προσδιορισμός υπογείων καλωδίων και απομόνωσης ή μεταφορά αυτών-αντιστηρίξεις πρανών, όμορων κτιρίων κλπ.- προφυλάξεις από πτώση ανθρώπων, εξοπλισμού, αντικειμένων-εισροή υδάτων-επάρκεια εξαερισμού-ασφαλής τοποθέτηση προϊόντων εκσκαφής- διαβάσεις (γεφυρώματα) διαβατών και οχημάτων κλπ.</p> <p>Προφυλάξεις για εκσκαφές εντός ύδατος-προφυλάξεις για εκσκαφές θεμελίων, τάφρων, φρεάτων ή ορυγμάτων σε μεγάλα βάθη.</p> <p>Προστασία σε ανοίγματα οριζόντιων και κατακόρυφων επιφανειών (φρεάτια, εκσκαφές, δεξαμενές, φωταγωγοί κ.λπ.)</p> <p>Χρήση Ατομικών μέσων Προστασίας (ΜΑΠ)</p> <p>Πρόσθετες απαιτήσεις ασφάλειας κατά τη διάρκεια των εκσκαφών και της θεμελίωσης κτιρίων και δομικών έργων.</p>	<p><b>ΠΔ 305/96 (αρ.12, παρ. II)</b></p> <p><b>ΠΔ 305/96 (αρ.12, παρ. IV, μέρος Β, τμήμα II, §10 και ΠΔ 1073/81 (αρ. 2 - 16)</b></p> <p><b>Π.Δ 1073/81 (αρ. 6,17)</b></p> <p><b>ΠΔ 1073/81 (αρ. 40,41,42)</b></p> <p><b>ΠΔ 1073/81 (αρ. 102-108) ΠΔ 396/94 (αρ. 9, § 4, παρ. III ) και N 1430/84 (αρ. 26,28)</b></p> <p><b>ΥΑ αρ. 3046/304/30-1-89 (αρ.5, § 4) (Κτιριοδομικός κανονισμός)</b></p>

#### 6.4 Έρευνα σε εργαζομένους σε ορύγματα αποχετεύσεων-Ερωτηματολόγιο

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζεται έρευνα, μέσα από το ερωτηματολόγιο του Παραρτήματος, το οποίο μοιράστηκε σε εργαζομένους με εργασία σε ορύγματα αποχετεύσεων. Η εμπειρία των εργαζομένων είναι στον Ελλαδικό χώρο και κυμαίνεται χρονικά από το 1984 μέχρι σήμερα, με εργασία στον ιδιωτικό τομέα αλλά και σε φορείς του δημοσίου και επιχειρήσεων αυτού (π.χ. στην Δ.Ε.Υ.Α.Λάρισας και γενικά σε διάφορες Δ.Ε.Υ.Α, Ε.Υ.Α.Θ και Ε.ΥΔ.Α.Π). Το πλήθος των ερωτηθέντων ανέρχεται στα 52 άτομα με εμπειρία στα σκάμματα αποχέτευσης από 1 χρόνο μέχρι 35 χρόνια εργασίας.

Εν συνεχεία ακολουθεί η ανάλυση των αποτελεσμάτων του παραπάνω ερωτηματολογίου με την μορφή των παρακάτω διαγραμμάτων.

#### 6.4.1 Διαγράμματα

Οι εργαζόμενοι στην συντριπτική τους πλειοψηφία (92,3%), θεωρούν αναγκαίες τις αντιστηρίξεις (Σχ. 1) αλλά δυστυχώς υπάρχουν και εργαζόμενοι (7,7%), που δεν αντιλαμβάνονται αυτή την αναγκαιότητα.



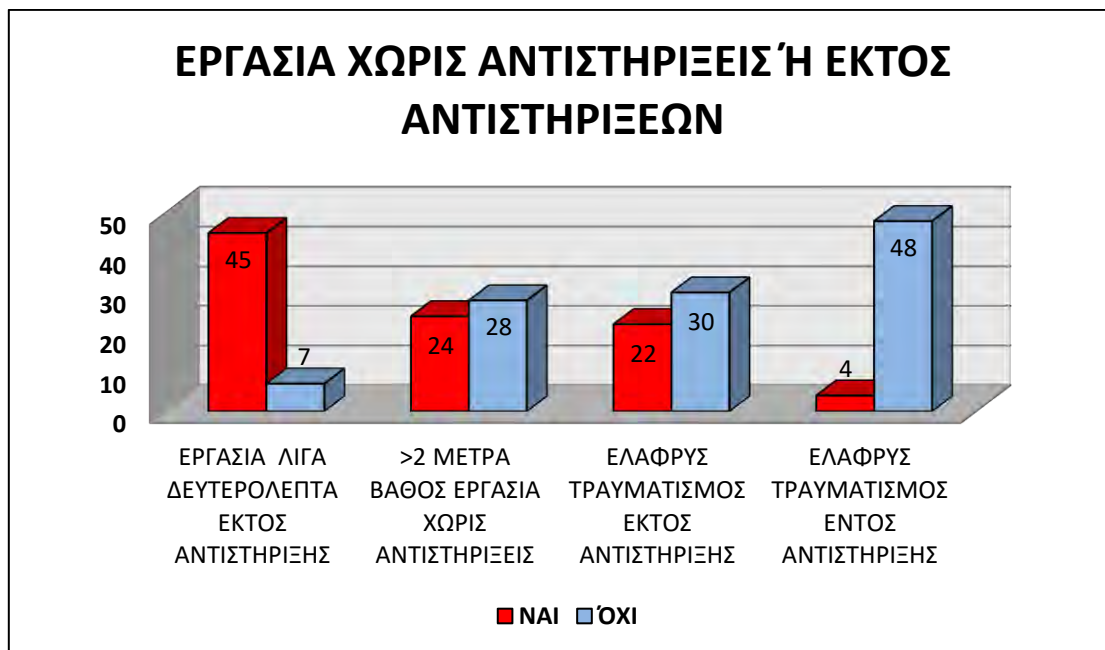
Σχήμα 1: Αναγκαιότητα αντιστηρίξεων

Όσον αφορά στην αποτελεσματικότητα των αντιστηρίξεων σε ορύγματα αποχέτευσης οι εργαζόμενοι είναι ικανοποιημένοι από την ποιότητά τους κατά 78,8% και πιστεύουν ότι οι αντιστηρίξεις του εμπορίου δεν χρειάζονται περαιτέρω βελτίωση, παρότι το 15,4% ήταν παρόντες σε αστοχίες αντιστηρίξεων. Μάλιστα υπάρχει και ένα 3,8% που ήταν παρόντες σε θάνατο συναδέλφου λόγω αστοχίας αντιστήριξης. Επίσης με το ίδιο ποσοστό 3,8% εργαζόμενοι απάντησαν θετικά αν γνώριζαν συνάδελφό τους που σκοτώθηκε σε σκάμμα με αντιστηρίξεις αλλά δεν ήταν παρόντες στο συμβάν (Σχ. 2).



**Σχήμα 2:** Αποτελεσματικότητα αντιστηρίξεων σε ορύγματα αποχετεύσεων

Ένα άλλο στοιχείο της έρευνας που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3, είναι ότι οι εργαζόμενοι παρόλο που θεωρούν αναγκαία την χρήση αντιστηρίξεων, δυστυχώς το 86,5% των εργαζομένων έχουν εργαστεί εκτός αντιστήριξης για λίγα δευτερόλεπτα ή και καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας το 46%, με αποτέλεσμα το 42,3% των ερωτηθέντων να έχουν απαντήσει θετικά σε ελαφρύ τραυματισμό τους εκτός αντιστήριξης. Πολύ χαμηλότερο είναι το ποσοστό (7,7%) των ελαφρών τραυματισμών εντός αντιστηρίξεων.



**Σχήμα 3:** Εργασία χωρίς αντιστηρίξεις ή εκτός αντιστηρίξεων

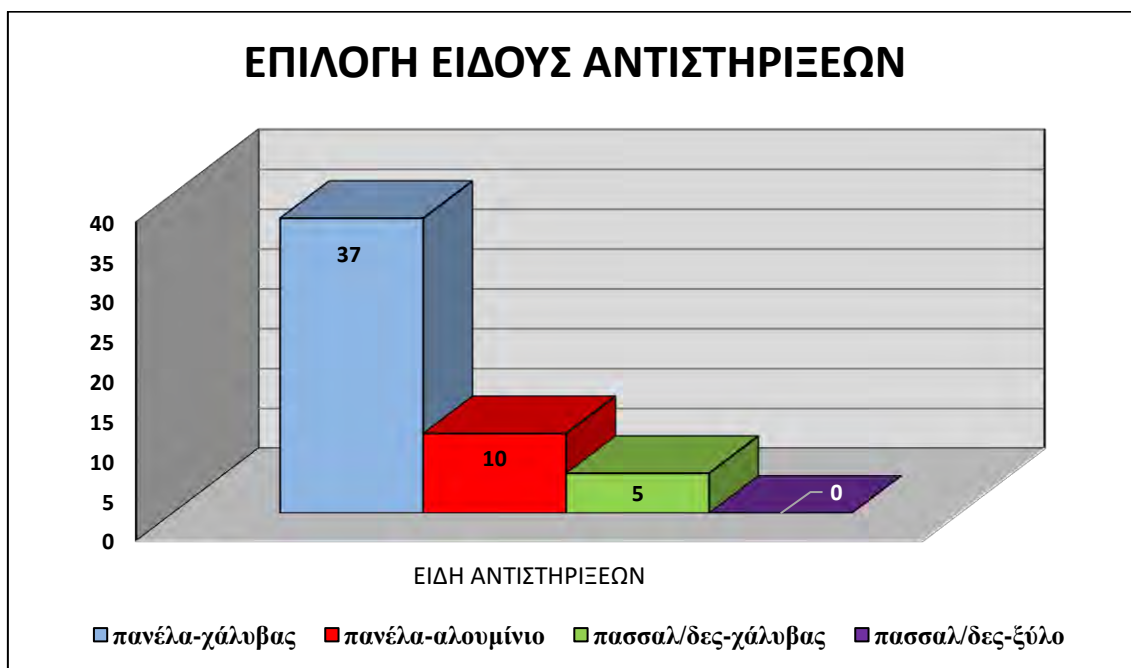
Εν συνεχεία, όσον αφορά στην απουσία των αντιστηρίξεων στα ορύγματα των αποχετεύσεων (Σχ. 4), παρατηρούμε αυξημένα ποσοστά εργαζομένων που ήταν παρόντες σε θάνατο (7,7%) ή γνώριζαν συνάδελφο που έχασε την ζωή του (17,3%) αλλά δεν ήταν παρόντες οι ίδιοι ερωτηθέντες.



**Σχήμα 4:** Απουσία αντιστηρίξεων σε σκάμματα αποχετεύσεων



Όσον αφορά την επιλογή τους είδους της αντιστήριξης (Σχ. 5), οι εργαζόμενοι στο μεγαλύτερο ποσοστό 71,1% επιλέγουν τα χαλύβδινα πανέλα, κατόπιν το 19,2% επιλέγει τα πανέλα αλουμινίου, το 9,6% τις χαλύβδινες πασσαλοσανίδες ενώ έχει απορριφθεί πλήρως 0% ως ξεπερασμένη και μη ασφαλή η αντιστήριξη με ξύλινες πασσαλοσανίδες.



Σχήμα 5: Επιλογή είδους αντιστηρίξεων

### 6.5 Συμπεράσματα έρευνας σε εργαζόμενους σε ορύγματα αποχετεύσεων

Κατόπιν ολοκλήρωσης της έρευνας σε εργατικό δυναμικό με εργασία σε ορύγματα αποχετεύσεων θα μπορούσαμε να εξάγουμε τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Το 78,8% των εργαζομένων είναι ικανοποιημένοι από την ποιότητα των αντιστηρίξεων του εμπορίου, οι οποίες εδώ και πολλά χρόνια είναι σε υψηλό επίπεδο, δυστυχώς όμως δεν έχουν μηδενιστεί τα σοβαρά ατυχήματα στον κλάδο αυτό. Αν και αριθμητικά είναι πολύ λίγα θα μπορούσαν να ελαττωθούν ακόμη περισσότερο, με τελικό στόχο να μηδενιστούν.
- Το 92,3% των εργαζομένων θεωρεί αναγκαίες τις αντιστηρίξεις στα ορύγματα αποχετεύσεων.

- Παρόντες σε αστοχία αντιστήριξης ήταν το 15,4% των ερωτηθέντων.
- Το 7,7% των εργαζομένων ήταν παρόντες σε θάνατο συναδέλφου από κατάπτωση πρανών σε όρυγμα αποχέτευσης χωρίς αντιστηρίξεις.
- Παρόντες σε θάνατο λόγω αστοχίας αντιστηρίξεων ήταν το 3,8% των εργαζομένων.
- Το 3,8% γνώριζε συνάδελφό του που τραυματίστηκε θανάσιμα σε σκάμμα αποχέτευσης με αντιστηρίξεις αλλά δεν ήταν παρόντες στο συμβάν.
- Το 86,5% έχει δουλέψει λίγα δευτερόλεπτα εκτός αντιστήριξης.
- Περίπου 1 στους 2 εργαζόμενους (46,1%) έχει δουλέψει σε όρυγμα αποχέτευσης με βάθος μεγαλύτερο των 2 μέτρων απουσία αντιστηρίξεων.
- Περίπου 2 στους 5, δηλ. το (42,3%) των ερωτηθέντων είχε ελαφρύ τραυματισμό εκτός αντιστήριξης.
- Το 17,3% γνώριζε, χωρίς να είναι παρών, συνάδελφό του που σκοτώθηκε σε σκάμμα αποχέτευσης απουσία αντιστηρίξεων.
- Οι εργαζόμενοι επιλέγουν σαν καλύτερη λύση στα είδη των αντιστηρίξεων τα χαλύβδινα πανέλα σε ποσοστό 71,2%, κατόπιν τα πανέλα αλουμίνιου το 19,2%, και τις χαλύβδινες πασσαλοσανίδες το 9,6% ενώ απορρίπτουν ως ξεπερασμένες και λιγότερο ασφαλείς τις ξύλινες πασσαλοσανίδες με ποσοστό 0%.
- Προτείνεται η τακτικότερη ενημέρωση όλων των εμπλεκομένων, για τους κινδύνους σε ορύγματα αποχετεύσεων, με συνεχή επιμόρφωση μέσα από σεμινάρια φορέων (π.χ. Δ.Ε.Υ.Α.), αυξάνοντας έτσι το αίσθημα ευθύνης στα εργοτάξια.
- Θα πρέπει οι εργαζόμενοι στο σύνολό τους να δείχνουν μεγαλύτερη προσοχή και υπευθυνότητα κατά την εργασία τους, γιατί φαίνεται πως γνωρίζουν τους κινδύνους που εγκυμονούν τα ορύγματα των αποχετεύσεων αλλά παρολαυτά σε ορισμένες περιπτώσεις ρισκάρουν την ζωή τους, επιπόλαια, έστω και για λίγα δευτερόλεπτα. Η ζωή είναι πολύτιμη, αναντικατάστατη και απαιτεί τον μέγιστο σεβασμό.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εν κατακλείδι της διπλωματικής εκπόνησης, μετά την παρουσίαση, ανάλυση της τεχνολογίας και ολοκλήρωσης της γενικότερης έρευνας στο πλαίσιο των αντιστηρίξεων σε ορύγματα αποχετεύσεων θα μπορούσαμε να εξάγουμε τα παρακάτω συγκεντρωτικά συμπεράσματα:

- Επιβάλλεται η χρήση κατασκευών αντιστήριξης σε ορύγματα αποχέτευσης, για λόγους ασφαλείας των εργαζομένων, εξαιτίας της αναγκαιότητας του βάθους των σκαμμάτων.
- Η γεωτεχνική έρευνα είναι βασικός παράγοντας επιλογής του είδους της αντιστήριξης.
- Οι κατολισθήσεις-καταπτώσεις που συμβαίνουν στα ορύγματα αποχετεύσεων είναι εξαιρετικά γρήγορες.
- Η αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας των κατασκευών αντιστήριξης είναι σε πολύ υψηλό επίπεδο.
- Τα προκατασκευασμένα δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα μεταλλικά διαφράγματα είναι η πιο διαδεδομένη και αποδεκτή λύση στην αντιστήριξη των ορυγμάτων αποχέτευσης.
- Τα προκατασκευασμένα δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα μεταλλικά διαφράγματα, σε σχέση με τα συστήματα πασσαλοσανίδων έχουν μεγαλύτερη ασφάλεια, υδατοστεγανότητα και αριθμό επαναχρησιμοποίησης.
- Τα συστήματα πασσαλοσανίδων είναι η καταλληλότερη λύση αντιστήριξης σε ορύγματα αποχετεύσεων στα οποία παρεμβάλλονται άλλα εγκάρσια δίκτυα (Ο.Κ.Ω).
- Εντός αστικού ιστού τα προκατασκευασμένα δίδυμα αυτό-αντιστηριζόμενα μεταλλικά διαφράγματα σε συνδυασμό με τα συστήματα πασσαλοσανίδων δίνουν την βέλτιστη αντιστήριξη.

- Πολύ σημαντικό ρόλο στην αποφυγή της αστοχίας μιας αντιστήριξης έχει η κατανόηση της χρονικής αλληλουχίας των κατασκευαστικών διαδικασιών.
- Το 92,3% των εργαζομένων θεωρεί αναγκαίες τις αντιστηρίξεις στα ορύγματα αποχετεύσεων.
- Το 78,8% των εργαζομένων είναι ικανοποιημένοι από την τεχνολογία των αντιστηρίξεων.
- Παρόντες σε αστοχία αντιστήριξης ήταν το 15,4% των ερωτηθέντων.
- Το 7,7% των εργαζομένων ήταν παρόντες σε θάνατο συναδέλφου από κατάπτωση πρανών σε όρυγμα αποχέτευσης χωρίς αντιστηρίξεις.
- Παρόντες σε θάνατο λόγω αστοχίας αντιστηρίξεων ήταν το 3,8% των εργαζομένων.
- Το 3,8% γνώριζε συνάδελφό του που τραυματίστηκε θανάσιμα σε σκάμμα αποχέτευσης με αντιστηρίξεις αλλά δεν ήταν παρόντες στο συμβάν.
- Το 86,5% έχει δουλέψει λίγα δευτερόλεπτα εκτός αντιστήριξης.
- Περίπου 1 στους 2 εργαζόμενους (46,1%) έχει δουλέψει σε όρυγμα αποχέτευσης με βάθος μεγαλύτερο των 2 μέτρων απουσία αντιστηρίξεων.
- Περίπου 2 στους 5, δηλ. το (42,3%) των ερωτηθέντων είχε ελαφρύ τραυματισμό εκτός αντιστήριξης.
- Το 17,3% γνώριζε, χωρίς να είναι παρών, συνάδελφό του που σκοτώθηκε σε σκάμμα αποχέτευσης απουσία αντιστηρίξεων.
- Οι εργαζόμενοι επιλέγουν σαν καλύτερη λύση στα είδη των αντιστηρίξεων τα χαλύβδινα πανέλα σε ποσοστό 71,2%, κατόπιν τα πανέλα αλουμίνιου το 19,2%, και τις χαλύβδινες πασσαλοσανίδες το 9,6% ενώ απορρίπτουν ως ξεπερασμένες και λιγότερο ασφαλείς τις ξύλινες πασσαλοσανίδες με ποσοστό 0%.
- Απαιτείται η μέγιστη προσοχή και υπευθυνότητα των εργαζομένων η οποία σε συνδυασμό με το υψηλό επίπεδο της τεχνολογίας των αντιστηρίξεων θα μπορούσε να μηδενίσει τα δυστυχήματα στα ορύγματα των αποχετεύσεων.

- Απαιτείται αυστηρότερος έλεγχος στην χρήση αντιστηρίξεων από τις αρμόδιες επιβλέπουσες υπηρεσίες.
- Προτείνεται η τακτικότερη ενημέρωση όλων των εμπλεκομένων, για τους κινδύνους σε ορύγματα αποχετεύσεων, με συνεχή επιμόρφωση μέσα από σεμινάρια φορέων (π.χ. Δ.Ε.Υ.Α.), αυξάνοντας έτσι το αίσθημα ευθύνης στα εργοτάξια.
- Η ζωή είναι πολύτιμη, αναντικατάστατη και απαιτεί τον μέγιστο σεβασμό.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ➤ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Αλαμανής Ν. (2019), Προχωρημένη Γεωτεχνική-Προσομοιώσεις, Σημειώσεις και ασκήσεις στην εδαφομηχανική ΙΙ (Θεμελιώσεις Τεχνικών Έργων), *Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: Σύγχρονες Τεχνολογίες Έργων Διαχείρισης Περιβάλλοντος*, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Γενικό Τμήμα Λάρισας
- Γκαζέτας Γ. (1988), Η τοξωτή λειτουργία του εδάφους αιτία αστοχίας αντιστηρίξεως. *Πρακτικά 1<sup>ο</sup> Ελλ. Συν. Γεωτ. Μηχ/κης 3<sup>η</sup> Συνεδρία*, Αθήνα, 201-205.
- ΕΛΕΒΟΡ Α.Ε.Β.Ε., (2015), Ελληνικός Γεωτεχνικός Εξοπλισμός, Αθήνα-Θεσσαλονίκη
- ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 7. (EC7), Γεωτεχνικός Σχεδιασμός, Μέρος1: Γενικοί κανόνες ENV 1997-1: 1994, ΤΕΕ, Αθήνα, σ.137.
- Κούκης, Γ., Σαμπατακάκης, Ν. (2007), *Γεωλογία Τεχνικών Έργων*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Κωμοδρόμος Α., (2009), *Ανάλυση Κατασκευών, Σύγχρονες μέθοδοι με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- Κωστόπουλος, Σ. (1998), Γεωτεχνικές κατασκευές, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος
- Κωστόπουλος, Σ. (2008), *Γεωτεχνικές κατασκευές Ι, Ανάλυση των αρχών σχεδιασμού & κατασκευής*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα
- Λυκούδη, Ε. (2005), Κατολισθήσεις – Ταξινόμηση κατολισθήσεων, Αθήνα
- Τσόγκας Χ. (1998), *Δίκτυα αποχέτευσης και επεξεργασία λυμάτων*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
- Χουλιάρης Ι., (2018), Περιβαλλοντική Γεωτεχνική, Σημειώσεις μαθήματος, *Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: Σύγχρονες Τεχνολογίες Έργων Διαχείρισης Περιβάλλοντος*, ΤΕΙ Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ, Λάρισα.

## ➤ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Angelakis, A. N., D. Koutsogiannis, & Tchobanoglous (2005), *Urban wastewater and stormwater technologies in ancient Greece*, Water Research, 2005.
- ASCE, (1994), *Retaining and Flood Walls, Technical Engineering and Design Guides*, USCE no4, p.313.
- Brunsden, D. (1984), *Slope Instability*, John Wiley and Sons, New York.
- Casagrande A., (1965), Role of the Calculated Risk in Earthwork and Foundation Engineering, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 1965, Vol. 91, Issue 4, Pg. 1-40
- CFM, (1997). *Caltans Foundation Manual, Tiebacks, Tiedowns and SoilNails*, Chapter 11, Office Engineer, California.
- Clough, G. W. & Davidson, R. R. (1977), *Effects of construction on geotechnical performance in «Relationship between design and construction in Soil Engeneering»*, Specialty Session 3, IX Inf. Conf. SMFE, Tokyo, 15-33.
- Clough, G. W. & Tsui, Y., (1974), Performance of tied – back retaining walls in clay, *Journal GED*, Proc ASCE, Vol 100, GT12, 1259 – 1267.
- Cruden, D. M. (1991), *A Simple Definition of a Landslide. Bulletin of the International Assosiation of Engineering Geology*, 43, 27-29.
- Cruden, D. M. Varnes D. (1996), *Landslides types and processes*. In: Turner, A. K., & Shuster, R. L., (ed.) *Landslides: Investigation and Mitigation*, Transp. Res. Board. Spec. Rep. 247, pp. 36-75.
- CTSM, (1996). *California Trenching and Shoring Manual, Tieback Systems*, Chapter 9.
- CTSM, (1996). *California Trenching and Shoring Manual, Earth Pressure Theory and Application*, Chapter 4.
- Dellatre, L., (2001), *A century of design methods for retaining walls – The French point of view*, I. Calculation-based approaches conventional and subgrade reaction methods, *Bulletin de laboratoires des Ponts et Chaussees*, Issue 234, pp. 33-52.
- Downey, D. B. (1984), *Pipe jacking in Japan, planning, construction, Maintenance and Operation of Sewerage Systems*, BHRA, UK.

- Egger, P., (1972), Influence of wall stiffness and anchor prestressing on earth pressure distribution, *Proc. 5<sup>th</sup> Eur. Conf. on SM. Madrid*, Vol. II, 259 – 264.
- FAD, (2003), Foundations Analysis Design, ENCE 461.
- Goldberg, D. T., Jawonski, W. E. & Gordon, M.D., (1976), *Lateral Support Systems and Underpinning*, Construction Method, Final Report No FHWA –RD- 75 p.130.
- Hanna, T.H. & Kurdi, I.I., (1974), Studies on anchored flexible retaining walls in sand, *Journal GED*, Proc. ASCE, Vol.100, 10, 1107-1122.
- Hanna, T.H. & Matallana, G.A. (1970), The behavior of tie-back retaining walls, *Can. Geot. Journal*, 7, 372-396.
- Koutsogiannis, D. (2008), A power-law approximation of the turbulent flow friction factor useful for the design and simulation of urban water networks, *Urban Water Journal*.
- Matlock, H. (1970), Correlations for design of laterally loaded piles in soft clay, *Proc. 2<sup>nd</sup> Off-shore Techn. Conf.*, Houston, Vol I, 577-594.
- McClelland, B. and Focht, J. A. Jr., (1958), *Soil Modulus for laterally Loaded Piles*, Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol.123, pp.1049-1063, New York.
- Meyerhof, G. G., (1970), Safety in Soil Mechanics, *Can. Geot. Journal*, vol. 7, no. 4, Nov, 349-355
- Milligan, G.W.E. (1983), *Soil deformations near anchored sheet pile wal Is. Geotechnique*, 33 (1), 41-55.
- Osaimi, A.E. & Clough, G.W. (1979), Pore pressure dissipation during excavation, *Journal GEP*, Proc. ASCE, GT4, 481-498.
- Peck, R.B., (1969), Deep excavations and tunneling in soft ground, State-of-the-Art Report, *Proc. 7<sup>th</sup> Int. Conf. SMFE*, Mexico, 225-290.
- Pitolakis, K., (1978), *Etude Generale des Ecrans de Soutenement Ancres. Application de la Methode des Elements Finis*. These de Docteur Ingenieur. Ecole Centrale des Arts et Manufactures, p.337.
- RT-CPH, (2001), *Retaining Walls – Corus Piling Handbook*, Corus Construction Center, UK.
- Schindler, J. (1970), Untersuchung dre Wirkungsweise einer Mehrfach Verankerten Wand in Kohasionlosern Erdmaterial, *Dissertation*, Mitteilungender



versuchsanstalt für Wa serbau und erbau an der Eidgenossischen Technischen Hochschule im Zurich, Schweiz, No 83.

- Skempton A. W. & Hutchinson J. (1969), *Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations*, London, U.K
- Sowers, G. F. (1975), *Evaluation of bulkhead and excavation bracing failures*, Ground Engineering, 19-26.
- Sowers, G. F. (1975), Failures in limestones in humid subtropics, *Journal GED*, Proc. ASCE, 101 (GT8), 771-787.
- Terzaghi, K. (1950), Mechanism of Landslides, In *Application of Geology To Engineering Practice* (S. Paige, ed.), Geological Society Of America, New York, 566.
- Varnes, D. J. (1978), *Landslide Classification*, Charles University in Prague, Faculty of Science, Czech Republic
- Verdeyen, J. Roisin, V. & Nuyens, J. (1971), *Applications de la Mécanique des Sols*, Vol.2, Vander ed, Bruxelles, p. 255.
- Washbourne, J. (1984), *Mechanised pipe jacking as a method of sewer construction*, *Planning, Construction, Maintenance and Operation of Sewerage Systems*, BHRA, UK.
- WP-WLI (International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory), (1994), *A suggested method for reporting landslides causes*, *Bulletin of International Association of Engineering Geology*, 50, 71-74.
- Zaruba, Q. and Mencl, V. (1969), *Landslides and their control*, 1<sup>st</sup> ed, Elsevier.
- Zaruba, Q. and Mencl, V. (1978), *Engineering Geology*, Elsevier, Amsterdam, 504.

#### ➤ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- <http://www.corusconstruction.com> [05 Μαΐου 2019]
- <http://www.deyal.gr> [11 Μαΐου 2019]
- <http://www.exter.gr/contact.php> [06 Ιούνιος 2019]
- <http://www.eyath.gr/> [07 Μαΐου 2019]
- <http://www.geoconsult.gr> [12 Απρίλιος 2019]
- [http://www.ktisissol.gr/trench\\_shoring\\_systems\\_krings.html](http://www.ktisissol.gr/trench_shoring_systems_krings.html) [14 Ιούνιος 2019 ]

- <https://www.edeya.gr> [07 Μαΐου 2019]
- <https://www.elebor.gr> [02 Ιούνιος 2019]
- <https://www.eydap.gr/> [03 Μαΐου 2019]
- <https://www.ggde.gr> [03 Μαΐου 2019]
- <https://www.hurrietarynews.com> [15 Απρίλιος 2019]
- <https://www.krings.com/en> [05 Μαΐου 2019]
- <https://www.krings.com/en/Our-products/Trench-boxes/Light-box-KVL> [07 Ιούνιος 2019]
- [https://www.metal.ntua.gr/uploads/3123/8a\\_KATOLISTHISEIS.pdf](https://www.metal.ntua.gr/uploads/3123/8a_KATOLISTHISEIS.pdf) [09 Απρίλιος 2019]
- <https://www.nika-tc.com> [04 Μαΐου 2019]
- <https://www.sbh-shoring.com/trench-shoring-sheets-profiles.html> [11 Ιούνιος 2019]
- <https://www.shoring.de> [12 Μαΐου 2019]
- <https://www.slideplayer.gr> [03 Μαΐου 2019]
- <https://www.takis.tloypas.gr> [17 Απριλίου 2019]
- <https://www.webcafe.bg> [15 Μαΐου 2019]

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΠΡΟΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΥΣ

### Αντιστηρίξεις σε ορύγματα αποχέτευσης

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
1. Κατά την εργασία σας σε σκάμμα αποχέτευσης έχει συμβεί <b>κατάπτωση πρηνούς που ν' απαιτεί χρήση αντιστηρίξεων</b> .	48	4
2. Κατά την εργασία σας σε σκάμμα αποχέτευσης έχετε εξέλθει για λίγα δευτερόλεπτα <b>εκτός αντιστήριξης</b> για οποιαδήποτε εργασία εντός του σκάμματος.	45	7
3. Έχετε δουλέψει εντός σκάμματος αποχέτευσης μεγαλύτερο των 2 (δύο) μέτρων <b>χωρίς αντιστήριξη</b> .	24	28
4. Έχετε τραυματιστεί ελαφρά από κατάπτωση πρηνούς εντός σκάμματος αποχέτευσης <b>εντός αντιστήριξης</b> .	4	48
5. Έχετε τραυματιστεί ελαφρά από κατάπτωση πρηνούς εντός σκάμματος αποχέτευσης <b>εκτός αντιστήριξης</b> .	22	30
6. Ήσασταν παρόντες όταν συνάδελφός σας έχασε την ζωή του μέσα σε σκάμμα αποχέτευσης από κατάπτωση πρηνών, <b>χωρίς να υπάρχουν αντιστηρίξεις</b> .	4	48
7. Ήσασταν παρόντες όταν συνάδελφός σας έχασε την ζωή του μέσα σε σκάμμα αποχέτευσης από κατάπτωση πρηνών <b>λόγω αστοχίας των αντιστηρίξεων</b> .	2	50
8. Ήσασταν <b>παρόντες σε αστοχία</b> αντιστήριξης σε σκάμμα αποχέτευσης.	8	44
9. Γνωρίζατε συνάδελφό σας που <b>τραυματίστηκε θανάσιμα</b> μέσα σε σκάμμα αποχέτευσης ( <b>χωρίς αντιστήριξη</b> ) λόγω κατάπτωσης πρηνών.	9	43
10. Γνωρίζατε συνάδελφό σας που <b>τραυματίστηκε θανάσιμα</b> μέσα σε σκάμμα αποχέτευσης ( <b>με αντιστήριξη</b> ) λόγω κατάπτωσης πρηνών.	2	50
11. Κατά την γνώμη σας οι συνήθεις αντιστηρίξεις που χρησιμοποιούνται στα έργα για την αντιστήριξη των πρηνών στα σκάμματα αποχέτευσης <b>χρησιμοποιούν ή όχι βελτίωσης</b> .	11	41
12. Ποιο είδος αντιστήριξης από τα παρακάτω θα προτιμούσατε στα ορύγματα αποχέτευσεων Α. αυτο-αντιστηριζόμενα <b>πανέλα από χάλυβα</b> Β. αυτο-αντιστηριζόμενα <b>πανέλα από αλουμίνιο</b> Γ. <b>πασσαλοσανίδες από χάλυβα</b> Δ. <b>πασσαλοσανίδες από ξύλο</b>		Α - 37 Β - 10 Γ - 5 Δ - 0

