



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΟΙΤΗΣ, ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΙ
ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΩΦΕΛΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΕΣ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ**

ΜΟΥΣΑΛΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ

A.M. 3020041

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ – ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΛΑΡΙΣΑ, 2024



Ενυπόγραφη δήλωση μη λογοκλοπής

Ο/Η παρακάτω υπογράφων/-ουσα δηλώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και ότι στο πλαίσιο αυτό έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λπ., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Ημερομηνία: 09/09/2024

Ονοματεπώνυμο: Μουσάλης Σταύρος

Υπογραφή:



Μουσάλης Σταύρος
«Συρματοκιβώτια προστασίας κοίτης, πρανών και επιχωμάτων –
Περιβαλλοντικά οφέλη και μελέτες περίπτωσης



Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

.....
.....
.....



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αναλύει τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των εδαφών, τη ροή του νερού μέσα σε αυτά, και τις κατασκευές αντιστήριξης που χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση εδαφικών μαζών. Αρχικά, εξετάζονται η προέλευση και η φύση του εδάφους, η διαφορά μεταξύ αυτόχθονων και ιζηματογενών εδαφών, καθώς και τα χαρακτηριστικά των μη συνεκτικών και συνεκτικών εδαφών, τα οποία καθορίζουν τη μηχανική τους συμπεριφορά. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο νόμος του Darcy για τη διαπερατότητα των εδαφών και οι μέθοδοι μέτρησης της, ενώ αναλύεται η διαδικασία της διήθησης του νερού και οι επιπτώσεις της στις ενεργές τάσεις του εδάφους. Η εργασία προχωρά με την ανάλυση των ωθήσεων γαιών και των κατασκευών αντιστήριξης, τονίζοντας τους παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή του κατάλληλου τύπου αντιστήριξης για τη διασφάλιση της σταθερότητας των πρανών και άλλων εδαφικών μαζών. Επιπλέον, εξετάζεται η χρήση των συρματοκιβωτίων, τα είδη και οι εφαρμογές τους σε περιβαλλοντικά έργα, καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα περιβαλλοντικά οφέλη που απορρέουν από την εφαρμογή τους. Συνολικά, η εργασία παρέχει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στις σύγχρονες τεχνικές και μεθόδους για τη διαχείριση και σταθεροποίηση εδαφών σε τεχνικά έργα.

Λέξεις κλειδιά: Διαπερατότητα, Ωθήσεις γαιών, Κατασκευές αντιστήριξης, Ευστάθεια πρανών, Συνεκτικά εδάφη, Μη συνεκτικά εδάφη



SUMMARY

The paper analyzes the physical and mechanical properties of soils, water flow through them, and the retaining structures used to stabilize soil masses. Initially, it examines the origin and nature of soil, the differences between residual and sedimentary soils, and the characteristics of cohesive and non-cohesive soils that determine their mechanical behavior. Next, the Darcy's law for soil permeability and the methods for measuring it are presented, along with an analysis of the infiltration process and its impact on the effective stresses within the soil. The paper then discusses earth pressures and retaining structures, highlighting the factors that influence the selection of the appropriate type of retaining structure to ensure the stability of slopes and other soil masses. Additionally, the use of gabions, their types, and applications in environmental projects are examined, as well as the advantages and environmental benefits that result from their use. Overall, the paper provides a comprehensive approach to modern techniques and methods for soil management and stabilization in engineering projects.

Keywords Soil: Permeability, Earth pressures, Retaining structures, Slope stability, Cohesive soils, non-cohesive soils



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά από 4 χρόνια φοίτησης στο Τμήμα Περιβάλλοντος, της Σχολής Τεχνολογίας, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω και να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους ανθρώπους που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας πτυχιακής εργασίας, κ. Χριστοδούλου Δημήτριο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος, χωρίς τον οποίο δεν θα ήταν δυνατή η εκπόνηση της εργασίας καθώς η καθοδήγηση και η συμβολή του ήταν καθοριστικές.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και την οικογένεια μου που με υποστήριξαν και έκαναν αυτά τα χρόνια λίγο πιο υποφερτά.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7	
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	8	
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	10	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΩΝ		
1.1 Προέλευση και φύση του εδάφους.....	11	
1.2 Σχέσεις μεταξύ των φάσεων.....	12	
1.3 Φυσικά χαρακτηριστικά μη συνεκτικών εδαφών.....	14	
1.4 Φυσικά χαρακτηριστικά συνεκτικών εδαφών.....	15	
1.5 Ταξινόμηση εδαφών.....	19	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΥΔΑΤΙΚΗ ΡΟΗ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ		
2.1 Νόμος Darcy – Συντελεστής διαπερατότητας.....	22	
2.2 Μέθοδοι προσδιορισμού της διαπερατότητας.....	24	
2.3 Διήθηση.....	25	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΩΘΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ		
3.1 Οριζόντιες εδαφικές ωθήσεις.....	26	
3.2 Κατασκευές αντιστήριξης.....	29	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ		
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	34	
4.2 ΕΙΔΗ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ.....	34	
4.3 ΣΥΝΗΘΗ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ.....	35	
4.4 ΣΤΡΩΜΝΕΣ.....	36	
4.5 ΣΥΡΜΑΤΟΚΥΛΙΝΔΡΟΙ.....	37	
4.6 ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΜΕ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ ΣΥΡΜΑΤΟΠΛΕΓΜΑΤΟΣ.....	37	
4.7 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ.....	38	
4.8 ΟΔΗΓΙΕΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ.....	39	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΕ ΕΡΓΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....		41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ.....		57
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		60
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		61



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη των εδαφών και των ιδιοτήτων τους αποτελεί έναν από τους βασικούς πυλώνες της γεωτεχνικής μηχανικής, καθώς οι ιδιότητες των εδαφών καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά των τεχνικών έργων που στηρίζονται σε αυτά. Οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των εδαφών, η ροή του νερού μέσω αυτών, καθώς και οι κατασκευές αντιστήριξης για τη διασφάλιση της ευστάθειας των πρανών και των εδαφικών μαζών είναι κρίσιμα ζητήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή έργων πολιτικού μηχανικού. Στην παρούσα εργασία, γίνεται μια εκτενής ανάλυση των βασικών χαρακτηριστικών των συνεκτικών και μη συνεκτικών εδαφών, του νόμου του Darcy και της διαπερατότητας, καθώς και των μεθόδων υπολογισμού και εφαρμογής τους. Επιπλέον, εξετάζονται οι ωθήσεις γαιών και οι κατασκευές αντιστήριξης που χρησιμοποιούνται για την προστασία και σταθεροποίηση των εδαφικών μαζών, καθώς και η χρήση συρματοκιβωτίων σε περιβαλλοντικά έργα, τονίζοντας τα πλεονεκτήματα και τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση τους. Η εργασία αυτή αποσκοπεί να παρέχει μια ολοκληρωμένη θεώρηση των σύγχρονων τεχνικών και μεθόδων που εφαρμόζονται στη γεωτεχνική μηχανική, υπογραμμίζοντας τη σημασία τους για την επιτυχή υλοποίηση των τεχνικών έργων.



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

A/A	Τίτλος	Σελίδα
Εικόνα 1.1	Μεγέθη κόκκων εδαφικών υλικών	12
Εικόνα 1.2	Φάσεις των εδαφικών υλικών	13
Εικόνα 1.3	Μεταβολή της συνεκτικότητας των αργίλων	16
Εικόνα 1.4	Χάρτης πλαστιμότητας του Casagrande	20
Εικόνα 2.1	Μονοδιάστατη ροή διαμέσου του εδάφους	23
Εικόνα 2.2	Διαδρομή ροής διαμέσου του εδάφους	24
Εικόνα 3.1	Τάσεις σε στοιχεία εδάφους έμπροσθεν και όπισθεν του τοίχου	27
Εικόνα 3.2	Επίπεδα ολίσθησης εδαφικής μάζας δίπλα σε τοίχο αντιστήριξης	28
Εικόνα 3.3	Σφήνα αστοχίας coulomb	28
Εικόνα 3.4	4 α) Τοίχοι βαρύτητας, β) Τοίχοι μορφής προβόλου, γ) Αγκυρωμένοι τοίχοι, δ) Οπλισμένη γη, ε) Τοίχοι υπογείου, στ) Ακρόβαθρα γεφυρών, ζ) Αυτοσταθή πετάσματα, η) Αγκυρωμένοι πασσαλότοιχοι	30
Εικόνα 4.1	Συρματοκιβώτια με διαφράγματα	35
Εικόνα 4.2	Συρματοκιβώτια χωρίς διαφράγματα	36
Εικόνα 4.3	Στρώμνη τύπου RENO με διαφράγματα	36
Εικόνα 4.4	Συρματοκύλινδρος	37
Εικόνα 4.5	Συρματοκιβώτια με προέκταση συρματοπλέγματος τύπου TERRAMESH	38
Εικόνα 4.6	Διαδικασία συναρμολόγησης συρματοκιβωτίων	39
Εικόνα 5.1	Επένδυση πρανών χείμαρρου Κιμμερίων με συρματοκιβώτια	42
Εικόνα 5.2	Επένδυση πρανών χείμαρρου Κιμμερίων με συρματοκιβώτια	43
Εικόνα 5.3	Διαμόρφωση κοίτης ρέματος με χρήση συρματοκιβωτίων	44
Εικόνα 5.4	Αντιστήριξη πρανούς με χρήση συρματοκιβωτίων	45
Εικόνα 5.5	Χρήση συρματοκιβωτίων σε επίχωμα	46
Εικόνα 5.6	Επένδυση πρανών με συρματοπλέκτα κιβώτια στη γέφυρα Παλαιοκαρυάς	47
Εικόνα 5.7	Τοίχος αντιστήριξης με συρματοπλέκτα κιβώτια στη γέφυρα	47
Εικόνα 5.8	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	48
Εικόνα 5.9	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	49
Εικόνα 5.10	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	49



Εικόνα 5.11	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	50
Εικόνα 5.12	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	50
Εικόνα 5.13	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	51
Εικόνα 5.14	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	51
Εικόνα 5.15	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	52
Εικόνα 5.16	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	52
Εικόνα 5.17	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	53
Εικόνα 5.18	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	53
Εικόνα 5.19	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	54
Εικόνα 5.20	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	54
Εικόνα 5.21	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	55
Εικόνα 5.22	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	55
Εικόνα 5.23	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	56
Εικόνα 5.24	Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας	56
Εικόνα 6.1	Κάλυψη βλάστησης στα συρματοκιβώτια	59



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

A/A	Τίτλος	Σελίδα
Πίνακας 1.1	Κατάταξη των αμμωδών εδαφών με βάση τη σχετική τους πυκνότητα	15
Πίνακας 1.2	Ενιαίο σύστημα ταξινόμησης εδαφών	21
Πίνακας 2.1	Τυπικές τιμές του συντελεστή, διαπερατότητας για διάφορους εδαφικούς σχηματισμούς	23
Πίνακας 4.1	Απαιτούμενα χαρακτηριστικά των λίθων πλήρωσης	40



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΛΑΦΩΝ

1.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

Το έδαφος είναι ένα υλικό που αποτελείται από ασύνδετους ή ελαφρώς συνδεδεμένους στερεούς κόκκους, μεταξύ των οποίων υπάρχουν κενά που γεμίζουν με νερό ή αέρα και ονομάζονται πόροι, περιέχουν υγρά ή/και αέρια. Οι στερεοί αυτοί κόκκοι προέρχονται από τη μηχανική ή χημική αποσάθρωση πετρωμάτων. Η μηχανική αποσάθρωση συμβαίνει λόγω παραγόντων όπως οι θερμοκρασιακές μεταβολές, η δράση του παγετού, η διάβρωση από το νερό και τον αέρα, και η δραστηριότητα ζώων και φυτών, που οδηγούν στον θρυμματισμό των πετρωμάτων. Από την άλλη, η χημική αποσάθρωση διασπά τα πετρώματα μέσω αντιδράσεων όπως η οξείδωση και η ανθράκωση, και είναι κυρίως υπεύθυνη για τη δημιουργία λεπτόκοκκων εδαφών, όπως οι άργιλοι και οι ιλύες. (Καββαδάς, 2005).

Τα εδάφη μπορούν να ταξινομηθούν σε αυτόχθονα και ιζηματογενή, ανάλογα με τη διαδικασία μεταφοράς και τελικής τους απόθεσης. Τα αυτόχθονα εδάφη σχηματίζονται από υλικά αποσάθρωσης που παραμένουν στον τόπο όπου προήλθαν, χωρίς να έχουν μεταφερθεί σε μεγάλη απόσταση. Αντίθετα, τα ιζηματογενή εδάφη δημιουργούνται όταν τα προϊόντα αποσάθρωσης μεταφέρονται, κυρίως μέσω των υδάτων των ποταμών, σε απομακρυσμένες περιοχές, και καταλήγουν να αποτίθενται κοντά στις εκβολές τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η μεταφορά γίνεται από τον αέρα, και τότε οι αποθέσεις ονομάζονται αιολικές. Η μεταφορά και απόθεση των ιζηματογενών υλικών από το νερό προκαλεί το διαχωρισμό τους με βάση το μέγεθος των κόκκων. Τα χονδρόκοκκα ιζήματα, όπως τα χαλίκια και οι άμμοι, τείνουν να αποτίθενται στις κοίτες των ποταμών και κοντά στις εκβολές τους. Από την άλλη, τα λεπτόκοκκα ιζήματα, όπως οι άργιλοι και οι ιλύες, μπορούν να μεταφέρονται σε αιώρηση σε μεγαλύτερες αποστάσεις και να αποτίθενται αργά στον πυθμένα θαλασσών και λιμνών, μακριά από τις εκβολές, σχηματίζοντας οριζόντιες ή σχεδόν οριζόντιες στρώσεις. Επίσης, είναι συνηθισμένο να εναλλάσσονται στρώσεις χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων ιζημάτων στην ίδια περιοχή, λόγω τεκτονικών κινήσεων που μπορεί να μετατρέψουν ποτάμιες κοίτες σε θαλάσσιους πυθμένες ή το αντίστροφο, ή εξαιτίας της εναλλαγής περιόδων έντονων βροχοπτώσεων, που ευνοούν την απόθεση χονδρομερών ιζημάτων, με πιο ήπιες περιόδους, όπου κυριαρχεί η απόθεση λεπτόκοκκων εδαφών. (Καββαδάς, 2005).

Η διάταξη των κόκκων στο έδαφος δημιουργεί πόρους, ανεξάρτητα από τον τρόπο σχηματισμού, μεταφοράς και απόθεσης των υλικών. Κατά την ιζηματογένεση στους πυθμένες των θαλασσών, αυτοί οι πόροι γεμίζουν με νερό. Με την πάροδο του χρόνου, πολλοί εδαφικοί σχηματισμοί ανυψώθηκαν πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, και το νερό στους πόρους αντικαταστάθηκε εν μέρει ή πλήρως από αέρα. Σήμερα, τα περισσότερα εδάφη περιέχουν ένα μείγμα νερού και αέρα στους πόρους τους.

Οι διαφορές μεταξύ χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων ιζημάτων δεν περιορίζονται μόνο στον τρόπο σχηματισμού τους. Συγκεκριμένα, το μέγεθος των κόκκων τους διαφέρει σημαντικά: Εδάφη με κόκκους μεγαλύτερους από 2 mm ταξινομούνται ως χαλίκια, ενώ οι άμμοι έχουν κόκκους με διαστάσεις από 2 mm έως 0.06 mm, με το μικρότερο μέγεθος κόκκου να είναι περίπου ορατό με γυμνό μάτι. Οι ιλείς έχουν κόκκους που κυμαίνονται από 0.06 mm έως 0.002 mm, και τέλος, οι άργιλοι περιλαμβάνουν κόκκους μικρότερους από 0.002 mm. (Εικόνα 1.1).

Άργιλοι	Ιλείς			Άμμοι			Χάλικες			Κροκάλες	
	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές		
0.001	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	6	20	60	200
Διαστάσεις κόκκων (mm)											

Εικόνα 1.1: Μεγέθη κόκκων εδαφικών υλικών (Καββαδάς, 2005)

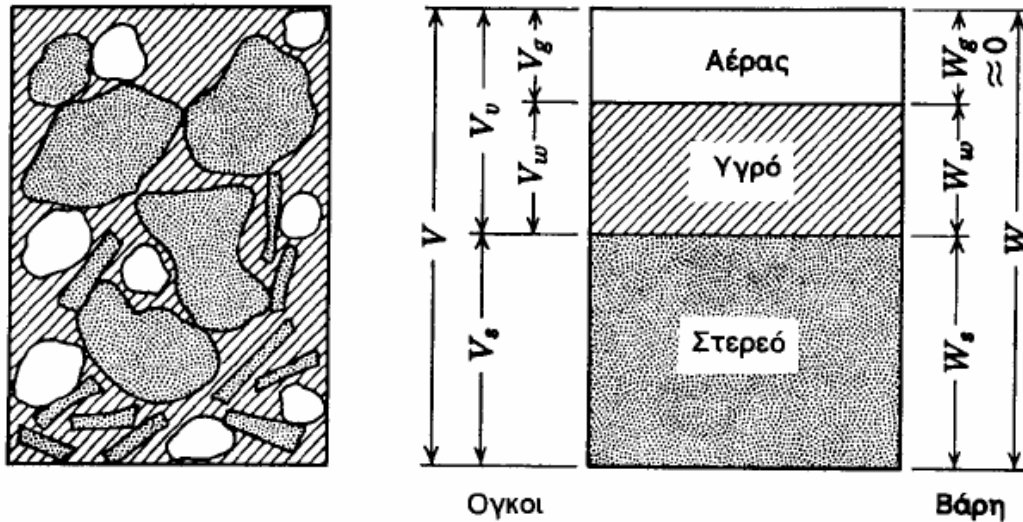
Οι κόκκοι των αμμών και των χαλίκων είναι συνήθως σφαιρικοί, με τη μέγιστη και την ελάχιστη διάστασή τους να μην παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές. Ακόμη και όταν οι κόκκοι είναι πιο πεπλατυσμένοι, η αναλογία μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης διάστασης σπάνια ξεπερνά το πέντε (5). Η επιφάνεια των κόκκων μπορεί να είναι είτε λεία, όπως συμβαίνει όταν έχουν λειανθεί μέσω διάβρωσης, είτε γωνιώδης, κάτι που παρατηρείται σε πρόσφατα σχηματισμένα κλαστικά ιζήματα. Η διάταξη των κόκκων σε χονδρόκοκκα εδάφη επηρεάζεται από το βάρος, τις διαστάσεις, τη μορφή της επιφάνειάς τους και τις μηχανικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους. Αυτή η διάταξη δημιουργεί έναν εδαφικό σκελετό με πυκνότητα που μπορεί να κυμαίνεται από πολύ χαλαρή έως πολύ πυκνή. Ωστόσο, η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης πυκνότητας δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη, καθώς οι κόκκοι παραμένουν πάντοτε σε επαφή μεταξύ τους.

Σε αντίθεση με τα χονδρόκοκκα εδάφη, οι κόκκοι στα λεπτόκοκκα εδάφη είναι έντονα πεπλατυσμένοι, μοιάζοντας με πλακίδια (γνωστά ως αργιλικά πλακίδια) που έχουν πολύ μικρό πάχος, συγκρίσιμο με το μέγεθος του μορίου τους. Αντίθετα, στις άλλες δύο διαστάσεις, οι κρύσταλλοι αυτών των αργιλικών πλακιδίων αναπτύσσονται με κανονική διάταξη, αποτελούμενη από μεγάλο αριθμό μορίων.

1.2 ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το έδαφος είναι ένα υλικό που αποτελείται από διάφορες φάσεις, περιλαμβάνοντας τόσο στερεούς κόκκους όσο και κενά (πόρους) που σχηματίζονται μεταξύ τους και μπορεί να περιέχουν νερό ή/και αέρα. Ο συνολικός όγκος του εδάφους, V , χωρίζεται στον όγκο των στερεών κόκκων, V_s , και στον όγκο των πόρων, V_v . Οι πόροι μπορεί να είναι γεμάτοι με νερό, με όγκο V_w , και αέρα, με όγκο V_g . Οι αντίστοιχες μάζες ή βάρη των συστατικών είναι: M , η συνολική μάζα του εδάφους, M_s , η μάζα των στερεών κόκκων, M_w , η μάζα του νερού στους πόρους, και M_g , η μάζα του αέρα στους πόρους. Ωστόσο, η μάζα

του αέρα θεωρείται αμελητέα, καθώς η πυκνότητα του αέρα είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με εκείνη των στερεών κόκκων και του νερού. (Καββαδάς, 2005).



Εικόνα 1.2 Φάσεις των εδαφικών υλικών

Με βάση τα παραπάνω μεγέθη, μπορούμε να ορίσουμε τις εξής σημαντικές ποσότητες:

- **Πορώδες:** Ο λόγος του όγκου των κενών χώρων προς τον συνολικό όγκο του εδάφους, δηλαδή

$$n = \frac{V_v}{V}$$

Συχνά εκφράζεται και ως ποσοστό επί τοις εκατό.

- **Δείκτης πόρων:** Ο λόγος του όγκου των κενών χώρων προς τον όγκο των στερεών κόκκων, δηλαδή

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

- **Βαθμός κορεσμού:** Ο λόγος του όγκου του νερού στους πόρους προς τον όγκο των κενών χώρων, δηλαδή

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

Αυτό εκφράζει το ποσοστό (συνήθως επί τοις εκατό) των πόρων που είναι γεμάτοι με νερό.

- **Ποσοστό υγρασίας:** Ο λόγος της μάζας του νερού στους πόρους προς τη μάζα των στερεών κόκκων, δηλαδή

$$w = \frac{M_w}{M_s}$$

Συχνά εκφράζεται επίσης σε ποσοστό. Για ένα ξηρό έδαφος, το ποσοστό υγρασίας είναι μηδέν.



- **Πυκνότητα του εδαφικού υλικού:** Καθορίζεται ως ο λόγος της συνολικής μάζας του εδαφικού δείγματος προς τον συνολικό όγκο του, δηλαδή

$$\rho = \frac{M}{V}$$

- **Πυκνότητα των στερεών κόκκων:** Ορίζεται ως ο λόγος της μάζας των στερεών κόκκων προς τον όγκο τους, δηλαδή

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s}$$

- **Πυκνότητα του νερού:** Ορίζεται, όπως συνήθως, ως ο λόγος της μάζας του νερού προς τον όγκο του, δηλαδή

$$\rho_w = \frac{M_w}{V_w}$$

1.3 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΩΝ ΕΛΑΦΩΝ

Τα κύρια φυσικά χαρακτηριστικά των μη συνεκτικών εδαφών (όπως οι άμμοι, τα χαλίκια και τα κοκκώδη υλικά) είναι η σχετική πυκνότητα και η κοκκομετρική τους διαβάθμιση. Ένα μη συνεκτικό έδαφος μπορεί να εμφανίζεται στη φύση με διάφορες τιμές του δείκτη πόρων (e), οι οποίες εξαρτώνται από τη διάταξη των κόκκων του. Όταν οι κόκκοι είναι χαλαρά τοποθετημένοι, με το μεγαλύτερο ποσοστό κενών, το έδαφος έχει την ελάχιστη πυκνότητά του. Αυτή η χαλαρή δομή μπορεί να προκύψει όταν μια άμμος αποτίθεται αργά μέσα στο νερό, σε συνθήκες που προσομοιάζουν την ιζηματογένεση. Έτσι, πρόσφατα αποτιθέμενες άμμους τείνουν να έχουν πυκνότητες κοντά στην ελάχιστη τιμή. Αντίθετα, όταν οι κόκκοι τοποθετούνται πιο πυκνά, με λιγότερα κενά, η άμμος αποκτά τη μέγιστη πυκνότητά της, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί μέσω παρατεταμένης και έντονης δόνησης, που αναδιατάσσει τους κόκκους σε πιο συμπαγή δομή. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ελάχιστες και μέγιστες πυκνότητες είναι συμβατικά μεγέθη, ορισμένα μέσω συγκεκριμένων εργαστηριακών δοκιμών, και δεν αποκλείεται να βρεθούν άμμοι στη φύση με πυκνότητες που υπερβαίνουν αυτές τις συμβατικές τιμές.

Η σχετική πυκνότητα (Dr) μιας άμμου, η οποία εκφράζει τη θέση της πυκνότητας της άμμου μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης συμβατικής πυκνότητας, υπολογίζεται ως εξής:

$$Dr = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100 (\%)$$

όπου:

- e είναι ο πραγματικός δείκτης πόρων της άμμου,



- e_{max} είναι ο δείκτης πόρων που αντιστοιχεί στην ελάχιστη πυκνότητα (δηλαδή τη μέγιστη τιμή του δείκτη πόρων),
- e_{min} είναι ο δείκτης πόρων που αντιστοιχεί στη μέγιστη πυκνότητα (δηλαδή την ελάχιστη τιμή του δείκτη πόρων).

Οι μέγιστες και ελάχιστες πυκνότητες μιας άμμου εξαρτώνται από το σχήμα και την ποικιλία των μεγεθών των κόκκων της. Όσο μεγαλύτερη είναι η ποικιλία των μεγεθών και όσο πιο σφαιρικοί είναι οι κόκκοι, τόσο αυξάνονται οι τιμές της ελάχιστης και μέγιστης πυκνότητας.

Πίνακας 1.1 Κατάταξη των αμμοδών εδαφών με βάση τη σχετική τους πυκνότητα

Σχετική πυκνότητα (%)	Περιγραφή μη-συνεκτικού εδάφους
0-15	Πολύ χαλαρό
15-35	Χαλαρό
35-65	Μέσης πυκνότητας
65-85	Πυκνό
85-100	Πολύ πυκνό

Το μέγεθος των κόκκων και η κατανομή τους σε ένα δείγμα εδάφους παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μηχανική συμπεριφορά των μη συνεκτικών εδαφών. Γι' αυτό το λόγο, αυτά τα χαρακτηριστικά εξετάζονται στο πλαίσιο των φυσικών τους ιδιοτήτων. Οι κόκκοι στα εδαφικά υλικά ποικίλλουν σημαντικά σε μέγεθος. Για παράδειγμα, οι χάλικες αποτελούνται από κόκκους που μπορεί να φτάνουν αρκετά εκατοστά σε διάμετρο, ενώ οι άργιλοι περιλαμβάνουν σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από ένα μικρόμετρο (μm), δηλαδή είναι πάνω από 10.000 φορές μικρότερα σε σύγκριση με τους κόκκους του χαλικιού. (Καββαδάς, 2005).

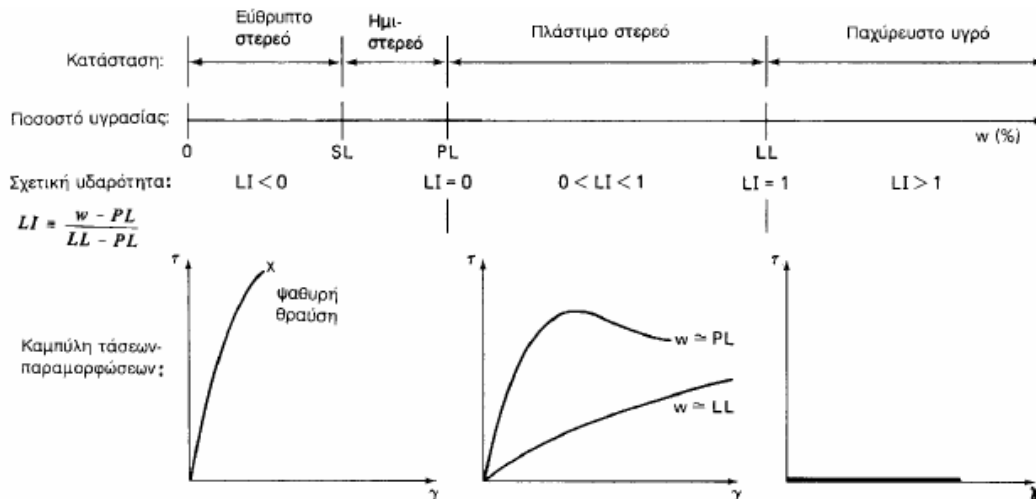
Η ποικιλία στα μεγέθη των κόκκων εδαφικών υλικών μπορεί να γίνει πιο κατανοητή μέσα από το εξής παράδειγμα: εάν συγκρίνουμε έναν κόκκο μεσαίου μεγέθους χαλίκου με μια εξάωροφη πολυκατοικία (ύψος περίπου 20 μέτρων), τότε ένας κόκκος άμμου θα μπορούσε να παρομοιαστεί με ένα καρπούζι, ένας κόκκος ιλύος με ένα κεράσι και ένας κόκκος αργίλου με κάτι μικρότερο από την κεφαλή μιας καρφίτσας. Η κοκκομετρική διαβάθμιση, δηλαδή η κατανομή των μεγεθών των κόκκων, προσδιορίζεται με διαφορετικές μεθόδους ανάλογα με το υλικό: για τους χάλικες και τις άμμους χρησιμοποιείται η κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα, ενώ για τις ιλείς και τους αργίλους χρησιμοποιείται η μέθοδος του αραιομέτρου.

1.4 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΝΕΚΤΙΚΩΝ ΕΛΑΦΩΝ

Τα βασικά φυσικά χαρακτηριστικά των μη συνεκτικών εδαφών, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η σχετική πυκνότητα και η κοκκομετρική διαβάθμιση, επιτρέπουν μια αρχική

εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων τους. Αντίθετα, στα συνεκτικά εδάφη, όπως οι άργιλοι και τα λεπτόκοκκα υλικά, η μικρή διάσταση των κόκκων καθιστά δύσκολη την εκτίμηση αυτών των χαρακτηριστικών, τα οποία άλλωστε δεν συνδέονται άμεσα με τις μηχανικές τους ιδιότητες. Έτσι, στα συνεκτικά εδάφη, το ποσοστό υγρασίας και τα όρια Atterberg θεωρούνται πιο σημαντικά για την αξιολόγηση των φυσικών τους χαρακτηριστικών. (Καββαδάς, 2005).

Έχει ήδη αναφερθεί ότι η παρουσία νερού στους πόρους ενός εδαφικού υλικού επηρεάζει τη μηχανική του συμπεριφορά. Η επιρροή αυτή είναι ιδιαίτερα καθοριστική στα συνεκτικά εδάφη. Η εικόνα 1.4 απεικονίζει τη βαθμιαία μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών (τη μορφή της καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων σε δοκιμή διάτμησης) ενός συνεκτικού εδάφους με την αύξηση του ποσοστού της υγρασίας. Από την παρατήρηση της εικόνας φαίνεται πως όσο αυξάνει το ποσοστό της υγρασίας, τόσο μειώνεται η αλληλεπίδραση μεταξύ των κόκκων του εδαφικού υλικού και η συμπεριφορά του προσομοιάζει τη συμπεριφορά των ρευστών.



Εικόνα 1.3 Μεταβολή της συνεκτικότητας των αργίλων (Καββαδάς, 2005)

Διακρίνονται τέσσερις καταστάσεις κατά τις οποίες ένα συνεκτικό εδαφικό υλικό μεταβάλλεται διαδοχικά λόγω της αύξησης του ποσοστού υγρασίας:

- **Εύθρυπτο στερεό:** Το έδαφος είναι πολύ άκαμπτο, παρουσιάζει μικρές παραμορφώσεις και η θραύση του είναι ξαφνική και ψαθυρή, παρόμοια με άλλα εύθραυστα υλικά όπως το σκυρόδεμα.
- **Ημιστερεό:** Μια μεταβατική κατάσταση μεταξύ του εύθρυπτου και του πλαστικού στερεού, με χαρακτηριστικά και των δύο.
- **Πλάστιμο στερεό:** Το έδαφος μπορεί να παραμορφώνεται χωρίς να ραγίζει ή να θρυμματίζεται. Η ακαμψία του μειώνεται καθώς αυξάνεται η υγρασία.
- **Παχύρευστο υγρό:** Το έδαφος δεν μπορεί να αντέξει διατμητικές τάσεις χωρίς να συνεχίσει να παραμορφώνεται, παρουσιάζοντας χαρακτηριστικά ροής.



Σύμφωνα με τις προδιαγραφές για τα όρια Atterberg, τα ποσοστά υγρασίας που ορίζουν τις διαφορετικές καταστάσεις του εδαφικού υλικού είναι τα εξής:

1. **Όριο Συρρίκνωσης (W_s ή SL):** Είναι το ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος, όταν στεγνώσει, δεν παρουσιάζει πλέον μείωση του όγκου του. Ειδικότερα, αυτό το όριο υποδηλώνει το σημείο στο οποίο η περαιτέρω μείωση της υγρασίας δεν έχει ως αποτέλεσμα την επιπλέον συρρίκνωση του υλικού.
2. **Όριο Πλαστιμότητας (W_p ή PL):** Ορίζεται ως το ποσοστό υγρασίας στο οποίο το υλικό αρχίζει να χάνει τις πλαστικές του ιδιότητες και να θρυμματίζεται όταν το πλάτος των επιμήκων στοιχείων του μειώνεται σε 3 mm. Αυτό το όριο κατατάσσει το έδαφος μεταξύ ημιστερεών και πλάστιμων καταστάσεων.
3. **Όριο Υδαρότητας (WL ή LL):** Το ποσοστό υγρασίας στο οποίο το υλικό μετατρέπεται από πλάστιμο σε υδαρό και εμφανίζει σημαντική μείωση της συνοχής του. Είναι το σημείο στο οποίο το έδαφος έχει αποκτήσει την υψηλότερη υγρασία πριν γίνει υδαρές και μη πλαστικό.

Τα όρια αυτά, γνωστά και ως όρια Atterberg, είναι κρίσιμα για την κατανόηση των χαρακτηριστικών συνεκτικών εδαφών και προσδιορίζονται με τη βοήθεια πρότυπων δοκιμών.

Δύο ακραίες καταστάσεις που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά των αργιλικών εδαφών ανάλογα με την υγρασία τους είναι:

1. **Αφαίρεση του Νερού μέσω Θέρμανσης:** Όταν όλο το νερό των πόρων μιας αργιλικής μάζας αφαιρεθεί, π.χ. με θέρμανση σε υψηλές θερμοκρασίες σε κλίβανο, η άργιλος μετατρέπεται σε ένα σκληρό και ανθεκτικό στερεό, όπως συμβαίνει με τα κεραμικά προϊόντα (τούβλα, κεραμίδια κ.ά.). Στην κατάσταση αυτή, η πλήρης αφαίρεση του νερού προκαλεί την έντονη προσέγγιση των πλακιδίων της αργίλου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ισχυρών ηλεκτροχημικών δυνάμεων τύπου Van der Waals μεταξύ τους. Αυτές οι δυνάμεις είναι τόσο ισχυρές ώστε να εμποδίζουν την προσρόφηση νερού και τη διόγκωση του υλικού, καθιστώντας τα κεραμικά προϊόντα ανθεκτικά στην επαφή με το νερό και αποτρέποντας τη θραύση τους.
2. **Υδαρή Κατάσταση και Ιζηματογένεση:** Σε περιβάλλοντα όπου το μίγμα νερού και αργιλικού υλικού βρίσκεται σε κατάσταση υδαρούς ιζηματογένεσης, όπως στους πυθμένες των θαλασσών κοντά στις εκβολές μεγάλων ποταμών, τα πλακίδια της αργίλου καθιζάνουν αργά, σύμφωνα με το νόμο του Stokes. Επειδή τα πλακίδια είναι πολύ μικρά, η οριακή ταχύτητα καθίζησης είναι χαμηλή, και η διαδικασία αυτή μπορεί να διαρκέσει εκατοντάδες χρόνια προτού τα υλικά συσσωρευτούν και σχηματίσουν ιζηματογενείς στρώσεις.

Η φυσική σημασία των ορίων Atterberg συνίσταται στο γεγονός ότι τα συνεκτικά εδάφη έχουν την ικανότητα να προσροφούν νερό στην επιφάνεια των αργιλικών τους πλακιδίων. Το νερό αυτό συνδέεται ισχυρά με τα πλακίδια, χωρίς να επηρεάζει σημαντικά τις ηλεκτροχημικές δυνάμεις μεταξύ τους, γεγονός που διατηρεί τη μηχανική αντοχή του



υλικού σχεδόν αμετάβλητη. Ωστόσο, αυτή η ικανότητα προσρόφησης νερού δεν είναι απεριορίστη.

Το μέγιστο ποσοστό υγρασίας που μπορεί να προσροφηθεί χωρίς να αλλάξει η κατάσταση του εδαφικού υλικού (στερεή, ημιστερεά, πλάστιμη ή υδαρή) καθορίζει τα όρια Atterberg. Ειδικότερα, εάν ένα εδαφικό υλικό Α προσροφά νερό πιο εύκολα στην επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων του σε σύγκριση με ένα εδαφικό υλικό Β, τότε το ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος Α γίνεται υδαρές θα είναι υψηλότερο από αυτό του εδάφους Β. Συνεπώς, το έδαφος Α έχει υψηλότερο όριο υδαρότητας σε σχέση με το Β. Το ίδιο σκεπτικό εφαρμόζεται και στα άλλα όρια Atterberg (όριο συρρίκνωσης και όριο πλαστιμότητας).

Με βάση τα όρια Atterberg, καθορίζονται οι εξής δείκτες συνεκτικότητας:

Δείκτης Πλαστιμότητας:

$$PI \equiv I_p = W_L - W_p$$

Ο δείκτης πλαστιμότητας εκφράζει το εύρος της περιοχής όπου το εδαφικό υλικό συμπεριφέρεται ως πλάστιμο στερεό, δηλαδή την περιοχή υγρασίας μεταξύ του ορίου πλαστιμότητας (W_p) και του ορίου υδαρότητας (W_L). Όσο περισσότερο νερό μπορεί να προσροφηθεί από τα αργιλικά πλακίδια χωρίς να μειωθεί σημαντικά η μηχανική αντοχή τους, τόσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης πλαστιμότητας. Έτσι, η αξία του δείκτη πλαστιμότητας σχετίζεται με την ενεργότητα των αργιλικών πλακιδίων του υλικού.

Δείκτης Σχετικής Υδαρότητας:

$$LI \equiv I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p}$$

Ο δείκτης σχετικής υδαρότητας εκφράζει τη θέση του πραγματικού ποσοστού υγρασίας (w) σε σχέση με τα όρια Atterberg. Ειδικότερα:

- Εάν το ποσοστό υγρασίας είναι ίσο με το όριο υδαρότητας (W_L), τότε $IL=1$ $IL_L = 1$ $IL=1$.
- Εάν το ποσοστό υγρασίας είναι ίσο με το όριο πλαστιμότητας (W_p), τότε $IL=0$ $IL_L = 0$ $IL=0$.
- Τιμές του IL_L μεταξύ 0 και 1 αντιστοιχούν στην πλάστιμη περιοχή.
- Τιμές του $IL < 0$ $IL_L < 0$ αντιστοιχούν στις ημιστερεές και στερεές καταστάσεις.
- Τιμές του $IL > 1$ $IL_L > 1$ αντιστοιχούν στην υδαρή κατάσταση.

Παρόλο που τα όρια Atterberg και οι δείκτες συνεκτικότητας που προκύπτουν από αυτά έχουν προσδιοριστεί εμπειρικά και δεν έχουν θεμελιώδη ποσοτική έννοια (δεν μπορούν δηλαδή να συσχετισθούν άμεσα με το πάχος της στρώσης του προσροφημένου νερού), παραμένουν χρήσιμοι για την ποιοτική περιγραφή των συνεκτικών εδαφών και για την κατηγοριοποίησή τους. Ωστόσο, επειδή τα όρια Atterberg καθορίζονται σε διαταραγμένα δείγματα, δεν μπορούν να περιγράψουν ιδιότητες που εξαρτώνται από τη δομή του εδάφους, καθώς η δομή αυτή καταστρέφεται κατά την αναμόχλευση που προηγείται των δοκιμών.



1.5 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Η ταξινόμηση των εδαφών σε κατηγορίες με παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες είναι πολύ χρήσιμη για διάφορους λόγους. Η χρησιμότητα αυτών των ταξινομήσεων είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς οι απαιτούμενες δοκιμές είναι απλές, γρήγορες και οικονομικές. Αυτό καθιστά την ταξινόμηση εδαφών μια πρακτική προσέγγιση για την προκαταρκτική εκτίμηση των μηχανικών τους ιδιοτήτων, ιδιαίτερα σε απλά έργα Πολιτικού Μηχανικού.

Αν ένα εδαφικό υλικό ταξινομηθεί σε μια κατηγορία με βάση απλές δοκιμές, όπως η κοκκομέτρηση και οι δοκιμές προσδιορισμού των ορίων Atterberg, τότε τα εδάφη της ίδιας κατηγορίας έχουν κοινές μηχανικές ιδιότητες. Επομένως, το συγκεκριμένο έδαφος που ανήκει στην κατηγορία αυτή αναμένεται να έχει τις γνωστές ιδιότητες της κατηγορίας του.

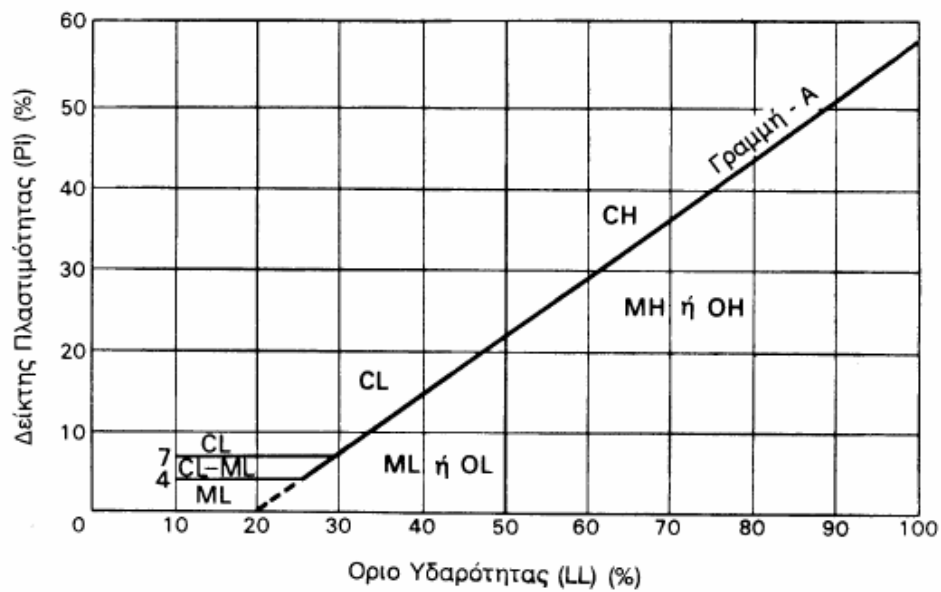
Ωστόσο, το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η απλότητά της: η ανάγκη χρήσης μόνο βασικών δοκιμών περιορίζει την ομοιότητα των μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφών που κατατάσσονται στην ίδια κατηγορία. Οι περισσότερες μέθοδοι ταξινόμησης βασίζονται στην κοκκομέτρηση με κόσκινα και στις δοκιμές των ορίων Atterberg, οι οποίες πληρούν τις απαιτήσεις για απλότητα, ταχύτητα και χαμηλό κόστος.

Στην Ελλάδα, το επικρατέστερο σύστημα ταξινόμησης εδαφών είναι το **Ενοποιημένο Σύστημα Κατάταξης Εδαφών** (Unified Soil Classification System). Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί τα ποσοστά του εδάφους που διέρχονται από το κόσκινο No 200 (λεπτόκοκκο κλάσμα) και το No 4 (αμμώδες κλάσμα), καθώς και τα όρια του Atterberg, αναπαριστώντας τα με τη μορφή του **Χάρτη Πλαστιμότητας του Casagrande**.

Στον Χάρτη Πλαστιμότητας, το διάγραμμα χωρίζεται σε τέσσερις περιοχές με τη βοήθεια της γραμμής-Α και της γραμμής που αντιστοιχεί στο όριο υδαρότητας 50%. Συγκεκριμένα:

- **Αργίλοι (C):** Εδάφη που βρίσκονται πάνω από τη γραμμή-Α.
- **Ιλείς (M):** Εδάφη που βρίσκονται κάτω από τη γραμμή-Α.
- **Εδάφη Υψηλής Πλαστιμότητας (H):** Εδάφη με σημεία δεξιά από τη γραμμή με $LL = 50\%$.
- **Εδάφη Χαμηλής Πλαστιμότητας (L):** Εδάφη με σημεία αριστερά από τη γραμμή με $LL = 50\%$.

Αυτή η μέθοδος επιτρέπει τη γρήγορη και οικονομική ταξινόμηση εδαφών, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για τις μηχανικές τους ιδιότητες. (Καββαδάς, 2005).



Εικόνα 1.4 Χάρτης πλαστιμότητας του Casagrande (Καββαδάς, 2005)

Ο Πίνακας 1.2 παρουσιάζει συνοπτικά το Ενοποιημένο Σύστημα Κατάταξης Εδαφών.



Πίνακας 1.2 Ενιαίο σύστημα κατάταξης εδαφών.

ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ εδάφη: <50% διέρχεται από το No.200	ΧΑΛΙΚΕΣ: <50% του χονδρόκοκκου κλάσματος διέρχεται από το No.4	ΚΑΘΑΡΟΙ ΧΑΛΙΚΕΣ <5% διέρχεται από το No.200	ΚΑΛΩΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΟΙ ΧΑΛΙΚΕΣ: Cu>4	GW
			ΚΑΚΩΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΟΙ ΧΑΛΙΚΕΣ: Cu<4	GP
		ΧΑΛΙΚΕΣ ΜΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ υλικό: >12% διέρχεται από το No.200	ΙΛΥΩΔΕΙΣ ΧΑΛΙΚΕΣ: κάτω από τη γραμμή A, ή Ip<4	GM
			ΑΡΓΙΛΩΔΕΙΣ ΧΑΛΙΚΕΣ: πάνω από τη γραμμή A, ή Ip>7	GC
	ΑΜΜΟΙ: >50% του χονδρόκοκκου κλάσματος διέρχεται το No.4	ΚΑΘΑΡΕΣ ΑΜΜΟΙ <5% διέρχεται από το No.200	ΚΑΛΩΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΕΣ ΑΜΜΟΙ: Cu>6	SW
			ΚΑΚΩΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΕΣ ΑΜΜΟΙ: Cu<6	SP
		ΑΜΜΟΙ ΜΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ υλικό <12% διέρχεται από το No.200	ΙΛΥΩΔΕΙΣ ΑΜΜΟΙ: κάτω από τη γραμμή A, ή Ip<5	SM
			ΑΡΓΙΛΩΔΕΙΣ ΑΜΜΟΙ: πάνω από τη γραμμή A, ή Ip>7	SC
ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ εδάφη: >50% διέρχεται από το No.200	Εδάφη ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ Wl<50%	ΑΡΓΙΛΟΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ: πάνω από τη γραμμή A		CL
		ΙΛΕΙΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ: κάτω από τη γραμμή A		ML
		ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΙΛΕΙΣ ή ΑΡΓΙΛΟΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ		OL
	Εδάφη ΥΨΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ Wl>50%	ΑΡΓΙΛΟΙ ΥΨΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ: πάνω από τη γραμμή A		CH
		ΙΛΕΙΣ ΥΨΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ: κάτω από τη γραμμή A		MH
		ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΙΛΕΙΣ ή ΑΡΓΙΛΟΙ ΥΨΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ		OH
Κυρίως ΟΡΓΑΝΙΚΑ υλικά				Pi



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΝΟΜΟΣ DARCY - ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλα τα εδαφικά υλικά επιτρέπουν τη διέλευση νερού μέσω των πόρων τους, καθώς οι πόροι αυτοί είναι συνδεδεμένοι και σχηματίζουν συνεχή δίκτυα. Ωστόσο, η διαπερατότητα διαφέρει μεταξύ των εδαφών: ορισμένα, όπως τα χαλίκια και οι χονδρόκοκκες άμμοι, επιτρέπουν τη ροή του νερού πιο εύκολα, ενώ άλλα, όπως οι άργιλοι, έχουν πολύ χαμηλή διαπερατότητα.

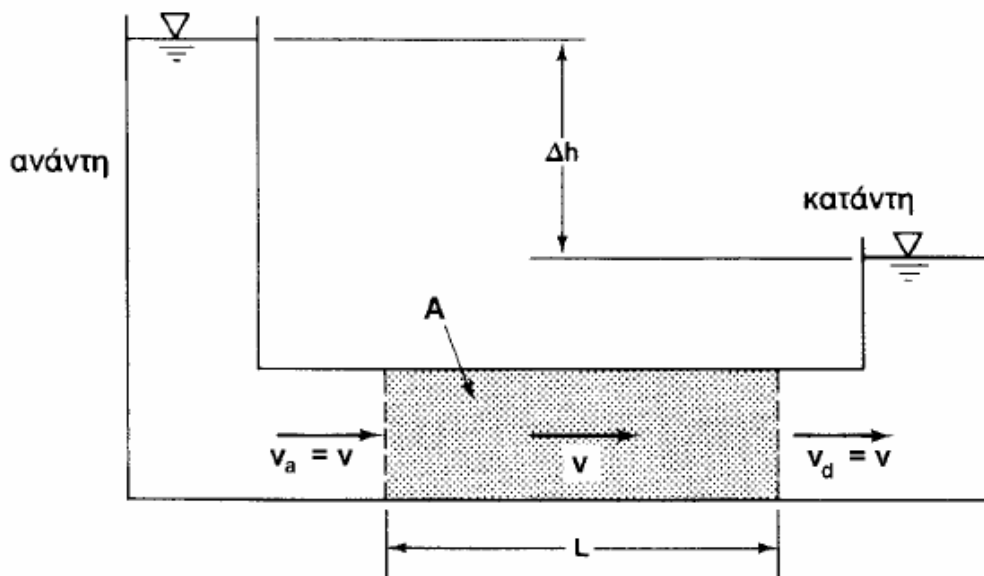
Υπάρχουν αρκετές πρακτικές εφαρμογές που απαιτούν την κατανόηση της ροής του νερού μέσα από το έδαφος. Παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- Τη ροή του νερού γύρω από ταμιευτήρες και φράγματα.
- Την αξιολόγηση της στεγανότητας των ταμιευτήρων, ιδιαίτερα εκείνων που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση τοξικών αποβλήτων, όπου τυχόν διαρροές μπορεί να έχουν σοβαρές περιβαλλοντικές συνέπειες.
- Τον υπολογισμό της ποσότητας νερού που μπορεί να διεισδύσει σε εκσκαφές κάτω από το επίπεδο του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, το οποίο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα όπως η χαλάρωση του εδάφους και οι καταπτώσεις.
- Το σχεδιασμό συστημάτων άντλησης για την άντληση νερού από υπόγειους υδροφορείς, την αποστράγγιση ελών ή τη μείωση της στάθμης των υπόγειων υδάτων σε περιοχές εκσκαφών.
- Τη βελτίωση της ευστάθειας πρανών μέσω της μείωσης της στάθμης του υπόγειου νερού.
- Την εκτίμηση της υποχώρησης των κατασκευών σε κορεσμένα εδάφη, όπου η ροή του νερού από τα κενά είναι απαραίτητη για τη μείωση του όγκου τους και την επίτευξη σταθερότητας.

Για να αντιμετωπιστεί η πολυπλοκότητα της υδατικής ροής μέσα από το έδαφος, συνήθως γίνονται απλοποιήσεις στην ανάλυση. Μια βασική παραδοχή είναι ότι η ροή είναι μόνιμη, δηλαδή η ταχύτητα του νερού σε κάθε σημείο του εδάφους παραμένει σταθερή με το χρόνο. Αυτό το σενάριο είναι συχνό στη φύση, καθώς η ροή τείνει να σταθεροποιηθεί σε συνθήκες μόνιμης ροής εάν οι εξωτερικές συνθήκες παραμείνουν σταθερές για αρκετό διάστημα. (Καββαδάς, 2005).

Η υδατική ροή μπορεί να περιγραφεί από τον νόμο του Darcy, ο οποίος αναφέρει ότι η παροχή νερού (Q) που διηθείται διαμέσου ενός εδαφικού στρώματος είναι ανάλογη με τη διαφορά στάθμης του νερού (Δh) στις δύο πλευρές του στρώματος, το μήκος του στρώματος (L) και το εμβαδόν της διατομής του (A). Ο τύπος είναι:

$$Q = kA \frac{\Delta h}{L}, \text{ όπου } k \text{ είναι η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους.}$$



Εικόνα 2.1 Μονοδιάστατη ροή διαμέσου του εδάφους

Η υδραυλική κλίση, που συμβολίζεται ως $i \equiv \Delta h / L$ εκφράζει την αλλαγή της πίεσης του νερού ανά μονάδα μήκους του εδαφικού στρώματος. Ο συντελεστής kkk , με μονάδες όπως m/sec , ονομάζεται συντελεστής διαπερατότητας και καθορίζει πόσο εύκολα διέρχεται το νερό μέσω του εδαφικού υλικού. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του kkk , τόσο μεγαλύτερη είναι η δυνατότητα του εδάφους να επιτρέπει τη ροή νερού, υπό την προϋπόθεση ότι οι υπόλοιποι παράγοντες παραμένουν σταθεροί.

Ο συντελεστής διαπερατότητας εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων μέσα στο υλικό του εδάφους και μεταβάλλεται όταν αλλάζει ο βαθμός συμπύκνωσης του υλικού. Για παράδειγμα, η διαπερατότητα μιας άμμου θα είναι μεγαλύτερη όταν είναι σε χαλαρή κατάσταση, σε σύγκριση με όταν έχει συμπυκνωθεί και αποκτήσει πιο πυκνή δομή. Έτσι, η διαπερατότητα δεν είναι μία αμετάβλητη ιδιότητα του υλικού, αλλά μπορεί να διαφοροποιηθεί ανάλογα με τις φυσικές μεταβολές στη δομή του εδάφους.

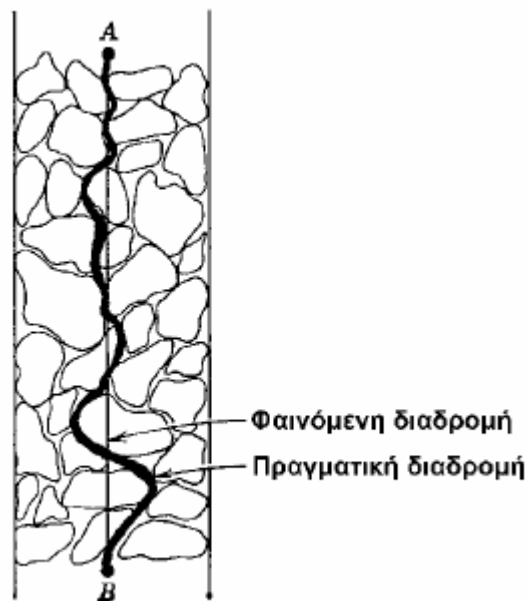
Πίνακας 2.1: Τυπικές τιμές του συντελεστή διαπερατότητας για διάφορους εδαφικούς σχηματισμούς

ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	k (m/sec)
Χάλικες	$1 \cdot 10^{-2}$
Καθαρές άμμοι	$10^{-2} \cdot 10^{-5}$
Λεπτόκοκκες άμμοι, ιλυώδεις άμμοι	$10^{-5} \cdot 10^{-8}$
Ιλεις, αργιλώδεις Ιλεις	$10^{-6} \cdot 10^{-9}$
Άργιλοι	$10^{-8} \cdot 10^{-11}$

Η ποσότητα:

$$v \equiv Q/A$$

(με μονάδες ταχύτητας, όπως m/sec) αναφέρεται ως φαινόμενη ταχύτητα ροής και περιγράφει την απόσταση που καλύπτεται ευθύγραμμα από τη ροή του νερού. Ωστόσο, η πραγματική ταχύτητα της ροής μέσα στο έδαφος είναι υψηλότερη από τη φαινόμενη ταχύτητα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαδρομή που ακολουθεί το νερό δεν είναι ευθύγραμμη, αλλά περιλαμβάνει ελιγμούς γύρω από τα σωματίδια του εδάφους, αυξάνοντας έτσι το συνολικό μήκος της διαδρομής, όπως φαίνεται και στην εικόνα.



Εικόνα 2.2 Διαδρομή ροής διαμέσου του εδάφους

Όταν το νερό μέσα στους πόρους του εδάφους είναι σε κατάσταση ηρεμίας, δηλαδή όταν η ταχύτητα ροής είναι μηδενική, οι πιέσεις που αναπτύσσονται είναι υδροστατικές. Αυτό σημαίνει ότι η πιεζομετρική γραμμή παραμένει σταθερή και αντιστοιχεί στη στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας, με αποτέλεσμα η υδραυλική κλίση να είναι μηδενική, όπως προβλέπεται από τον νόμο του Darcy. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι ο νόμος του Darcy δεν είναι ένας φυσικός νόμος με καθολική ισχύ, αλλά μια προσέγγιση που περιγράφει την υδραυλική συμπεριφορά σε συγκεκριμένες συνθήκες. Λόγω της απλότητας και της γραμμικής μορφής του, θεωρείται η βασική σχέση που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της ροής μέσα από εδαφικά υλικά.

2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

Η μέτρηση του συντελεστή διαπερατότητας σε εργαστηριακές συνθήκες γίνεται με τη χρήση διαπερατόμετρων, τα οποία διακρίνονται σε δύο βασικούς τύπους: το διαπερατόμετρο σταθερού φορτίου και το διαπερατόμετρο μειούμενου φορτίου. Στη διαδικασία μέτρησης, οι ελεύθερες στάθμες στις δύο δεξαμενές με υψομετρική διαφορά ΔΗ διατηρούνται



σταθερές, και καταγράφεται η σταθερή παροχή διήθησης (Q). Σύμφωνα με τον νόμο του Darcy, ο συντελεστής διαπερατότητας υπολογίζεται με τη χρήση της σχέσης

$$k = \frac{QxL}{Ax\Delta H}$$

όπου A είναι η διατομή του εδαφικού δείγματος και L το μήκος του. Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για εδάφη με υψηλή διαπερατότητα, όπως χαλίκια και άμμους, καθώς η παροχή QQQ μπορεί να μετρηθεί εύκολα. Σε εδάφη με χαμηλή διαπερατότητα, χρησιμοποιείται το διαπερατόμετρο μειούμενου φορτίου. Στην περίπτωση αυτή, η χαμηλή ελεύθερη στάθμη παραμένει σταθερή, ενώ η υψηλή στάθμη μειώνεται με ρυθμό που εξαρτάται από την παροχή διήθησης. Η συνθήκη αυτή καθορίζει και τη μαθηματική έκφραση της λειτουργίας του διαπερατόμετρου:

$$-dhxa = Q(t)xdt = kxA \frac{h}{L} xdt$$

Η ολοκλήρωση της διαφορικής εξίσωσης ως προς το χρόνο δίνει τη σχέση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του συντελεστή διαπερατότητας:

$$k = \frac{axL}{txA} \ln \left(\frac{h_0}{h} \right)$$

όπου h_0 είναι η αρχική τιμή της διαφοράς στάθμης των δύο δεξαμενών και h η αντίστοιχη διαφορά μετά από την πάροδο χρόνου t .

2.3 ΔΙΗΘΗΣΗ

Κατά τη διάρκεια της υδατικής ροής μέσω του εδάφους, το νερό, καθώς περνάει από τους πόρους του εδάφους, χάνει ενέργεια λόγω τριβών. Αυτή η απώλεια ενέργειας εκφράζεται με τη μείωση της πιεζομετρικής συνάρτησης (hhh). Επιπλέον, οι τριβές μεταξύ του νερού και των κόκκων του εδάφους προκαλούν δυνάμεις γνωστές ως δυνάμεις διήθησης, οι οποίες επηρεάζουν τις ενεργές τάσεις (δηλαδή τις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των κόκκων).

Η ανάλυση της ισορροπίας σε ένα εδαφικό υλικό με μόνιμη υδατική ροή μπορεί να γίνει είτε με βάση τις ολικές τάσεις είτε με βάση τις ενεργές τάσεις. Στην ανάλυση με τις ολικές τάσεις, χρησιμοποιούνται οι μαζικές δυνάμεις που προκύπτουν από την ολική πυκνότητα του εδάφους. Στην ανάλυση με τις ενεργές τάσεις, χρησιμοποιούνται δυνάμεις που ισούνται με το άθροισμα της άνωσης και της δύναμης διήθησης.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΩΘΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

3.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΩΘΗΣΕΙΣ

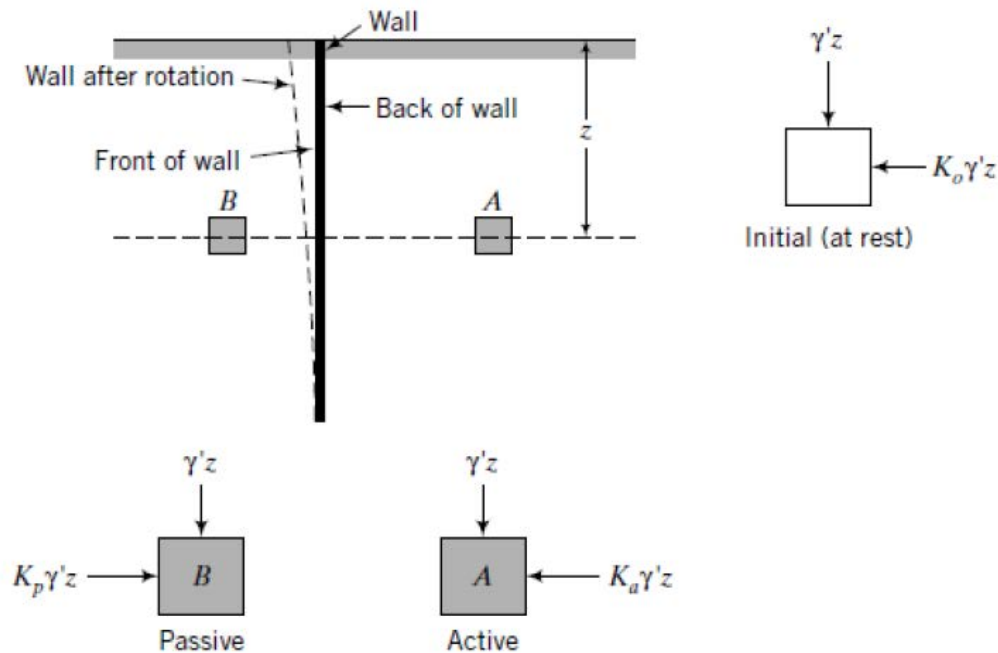
Οι ωθήσεις είναι οι πιέσεις που ασκεί το έδαφος σε μια επιφάνεια ενός τεχνικού έργου, όπως σε τοίχους αντιστήριξης (Dunn et al., 1980, Budhu, 1999), λόγω του βάρους του εδάφους και τυχόν εξωτερικής φόρτισης. Οι ωθήσεις χωρίζονται σε ενεργητικές και παθητικές. Η ενεργητική ώθηση (p_a) αναφέρεται σε κατάσταση όπου το έδαφος επεκτείνεται ή διογκώνεται, ενώ η παθητική ώθηση (p_p) σχετίζεται με τη συμπίεση του εδάφους.

Οι ωθήσεις γαιών καθορίζουν τις οριζόντιες πιέσεις που ασκούνται από τα εδαφικά υλικά σε κατασκευές όπως οι τοίχοι αντιστήριξης. Συνήθως, οι υπολογισμοί των ωθήσεων γαιών γίνονται με ανάλυση των ενεργών τάσεων, ενώ η ανάλυση με ολικές τάσεις χρησιμοποιείται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.

Σε ένα εδαφικό σημείο που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, αναπτύσσονται τόσο ορθές όσο και διατμητικές τάσεις. Στην γεωστατική κατάσταση, οι συνιστώσες των τάσεων μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας την αρχή της στερεοστατικής ισορροπίας. Λόγω συμμετρίας στις οριζόντιες και κατακόρυφες κατευθύνσεις, δεν αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις σε αυτά τα επίπεδα, καθιστώντας τα κύρια επίπεδα.

Στη μελέτη των τοίχων, η τάση που ασκείται κάθετα στην επιφάνεια του τοίχου συνδέεται με την κατακόρυφη τάση μέσω ενός συντελεστή ωθήσεων γαιών ΚΚΚ. Ο συντελεστής αυτός ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο της πίεσης (ενεργητική, παθητική ή ουδέτερη). Παράγοντες όπως η επιφάνεια του τοίχου (π.χ., αν είναι λείος ή όχι), το μέγεθος της μετακίνησης του τοίχου και ο τύπος του εδάφους επηρεάζουν την οριζόντια τάση που δρα πάνω στον τοίχο.

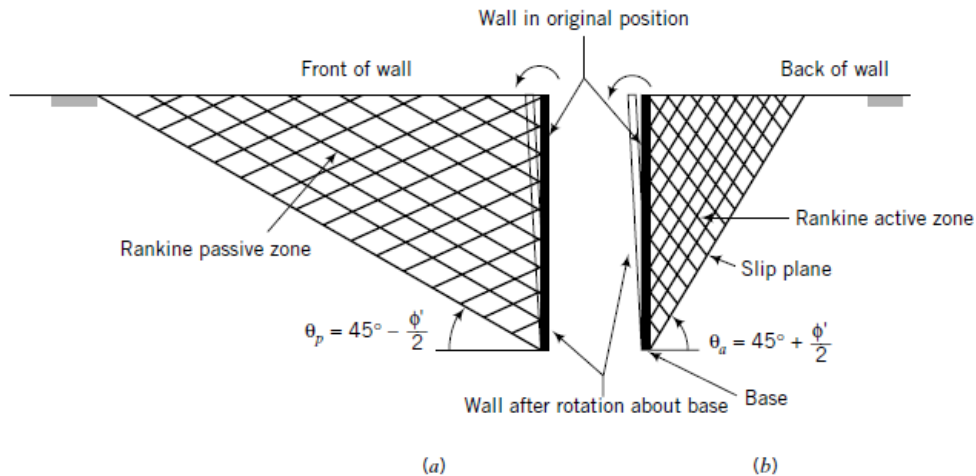
Ο Rankine ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε την αρχή των τάσεων για την επίλυση προβλημάτων ευστάθειας στην Εδαφομηχανική. Η μέθοδος του Rankine εφαρμόζεται σε λείους κάθετους τοίχους που δεν έχουν τριβές και υποστηρίζουν ξηρό και ομοιογενές έδαφος με οριζόντια επιφάνεια. Στην οριζόντια επιφάνεια, η διατμητική τάση ασκείται σε κάθετα και οριζόντια επίπεδα. (Hunt, 1984).



Εικόνα 3.1 Τάσεις σε στοιχεία εδάφους έμπροσθεν και όπισθεν του τοίχου (Budhu, 2011)

Σε έναν άκαμπτο τοίχο που παραμένει σε ηρεμία και δεν υφίσταται καμία μετακίνηση, οι κατακόρυφες και οριζόντιες ενεργές τάσεις (σν και σ_{Ho}) είναι οι κύριες δυνάμεις που ασκούνται πίσω (A) και μπροστά (B) από το τοίχο.

Η ύπαρξη ενός στροφέα γύρω από τον πυθμένα του τοίχου μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση διαφόρων επιπέδων ολίσθησης, τόσο πίσω όσο και μπροστά από τον τοίχο. Οι πλευρικές παραμορφώσεις μπροστά από τον τοίχο είναι σημαντικά μεγαλύτερες σε σύγκριση με αυτές πίσω από τον τοίχο. Αυτό συμβαίνει επειδή η μάζα του εδάφους που βρίσκεται πίσω από τον τοίχο οδηγεί στην αστοχία, ενώ η μάζα του εδάφους μπροστά από τον τοίχο παρέχει αντίσταση.



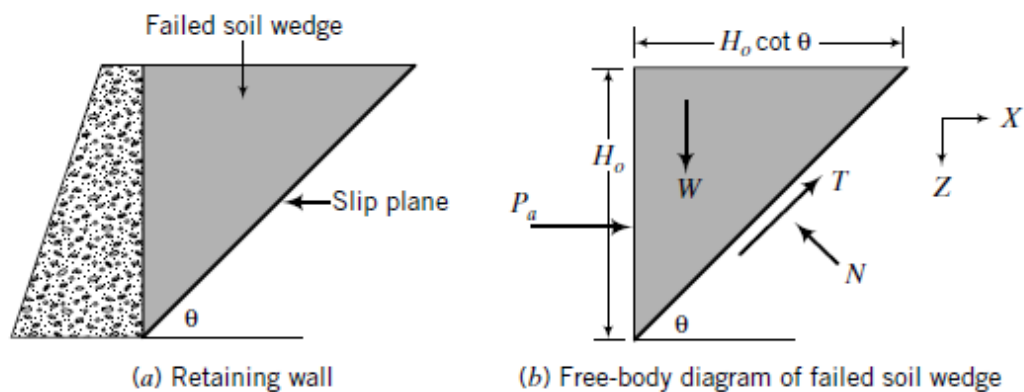
Εικόνα 3.2 Επίπεδα ολίσθησης εδαφικής μάζας δίπλα σε τοίχο αντιστήριξης (Budhu, 2011)

Η κατακόρυφη ενεργός τάση παραμένει σταθερή σε σχέση με την κατάσταση ηρεμίας, ενώ η οριζόντια ενεργός τάση μεταβάλλεται. Συγκεκριμένα, μπροστά από τον τοίχο αυξάνεται, ενώ πίσω από αυτόν μειώνεται. Αυτές οι μεταβολές οφείλονται στην αλλαγή του συντελεστή των πλευρικών ωθήσεων, ο οποίος εξαρτάται από τον τύπο της ώθησης.

Η θεωρία του Coulomb αναπτύχθηκε για μη συνεκτικά υλικά. Σύμφωνα με τον Coulomb (1776), μια εδαφική σφήνα με βάρος W , που περικλείεται από έναν κατακόρυφο τοίχο αντιστήριξης και ολισθαίνει κατά μήκος ενός κεκλιμένου επιπέδου, σχηματίζοντας μια γωνία θ με το οριζόντιο επίπεδο, βρίσκεται σε κατάσταση οριακής ισορροπίας. Ο Coulomb προσδιόρισε το σημείο της μέγιστης ώθησης και το επίπεδο ολίσθησης.

Οι τρεις βασικές αρχές οριακής ισορροπίας στις οποίες βασίζεται η μέθοδος Coulomb είναι:

1. Η επιλογή ενός έγκυρου μηχανισμού αστοχίας.
2. Ο προσδιορισμός των δυνάμεων που δρουν στην επιφάνεια αστοχίας.
3. Η εφαρμογή των εξισώσεων ισορροπίας για τον προσδιορισμό της μέγιστης ώθησης.



Εικόνα 3.3 Σφήνα αστοχίας Coulomb (Budhu, 2011)



Καθώς η σφήνα (Εικόνα 3.3) κινείται προς τα κάτω υπό την επίδραση της βαρύτητας, αναπτύσσεται η πλήρης διατμητική αντοχή του εδάφους, και η τριβή στο πίσω μέρος του τοίχου ασκεί δύναμη προς τα κάτω. Η ενεργητική ώθηση εξαρτάται από το είδος του εδάφους και τη διατμητική αντοχή που αναπτύσσεται.

Όταν η σφήνα μετακινείται προς τα πάνω, αναπτύσσεται ξανά η πλήρης διατμητική αντοχή του εδάφους στο πίσω μέρος του τοίχου και η τριβή προς τα κάτω, αλλά αυτή τη φορά με κατεύθυνση αντίθετη στην κίνηση. Οι δυνάμεις αυτές αντιστέκονται στην ανοδική κίνηση του εδάφους, γεγονός που σημαίνει ότι η παθητική δύναμη που αναπτύσσεται στον τοίχο είναι μεγαλύτερη για εδάφη με υψηλότερη αντοχή.

Τα εδάφη, λόγω του βάρους τους, ασκούν πιέσεις (πλευρικές ωθήσεις) στα κατακόρυφα στοιχεία που τα περιορίζουν. Μία από τις πιο κοινές περιπτώσεις είναι η πλευρική ώθηση που αναπτύσσεται κατά την γεωστατική κατάσταση, δηλαδή όταν παρεμποδίζεται η πλευρική παραμόρφωση. (Καββαδάς, 2005).

3.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

Αντιστηρίξεις ονομάζονται οι προσωρινές κατασκευές που έχουν ως σκοπό την πρόσκαιρη στήριξη τμημάτων ή ολόκληρων κατασκευών ή ορυγμάτων, τα οποία βρίσκονται σε ασφαλής κατάσταση, μέχρι να ολοκληρωθούν οι εργασίες μόνιμης σταθεροποίησής τους. Σύμφωνα με τον Κίρτα (2010): *“ως έργα αντιστήριξης μπορούν να οριστούν οι κατασκευές εκείνες, οι οποίες συγκρατούν την υπάρχουσα εδαφική μάζα. Επιπλέον, επιτρέπουν την διαμόρφωση οποιασδήποτε απότομης αλλαγής στη στάθμη της γήινης επιφάνειας, με τέτοιο τρόπο ώστε το έδαφος μαζί με την κατασκευή να εμφανίζουν περιορισμένη μετακίνηση. Τέτοια έργα είναι οι τοίχοι βαρύτητας, οι τοίχοι μορφής προβόλου, οι αγκυρωμένοι τοίχοι και η οπλισμένη γη, όπως επίσης, οι τοίχοι υπογείου, τα ακρόβαθρα γεφυρών, τα αυτοσταθή πετάσματα και οι αγκυρωμένοι πασσαλότοιχοι”*.

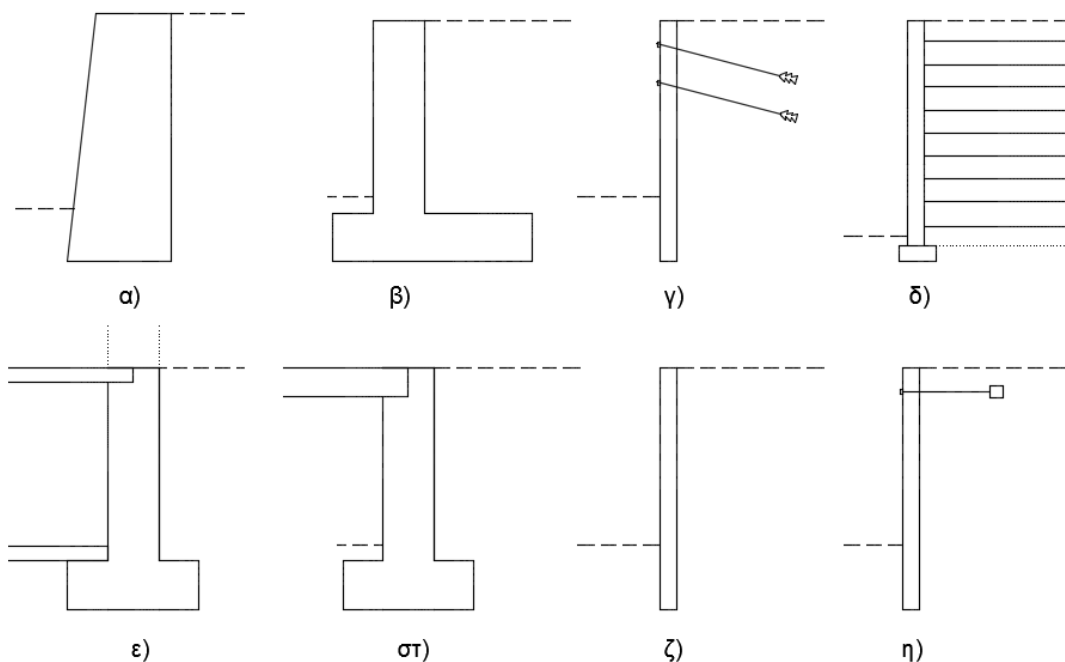
Οι κατασκευές αυτές είναι χρήσιμες σε διάφορα έργα, όπως οι εκσκαφές κάτω από την επιφάνεια της γης για διάνοξη σηράγγων, καθώς και σε έργα επιχώσεων που αυξάνουν την εδαφική επιφάνεια, όπως στην κατασκευή λιμενικών έργων. Επίσης, χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση κατολισθητικών φαινομένων, με στόχο τη διασφάλιση της μακροχρόνιας ευστάθειας των πρανών. Κατολίσθηση είναι η κίνηση εδαφικών ή βραχωδών μαζών υπό την επίδραση της βαρύτητας, η οποία μπορεί να συμβεί σε φυσικά πρανή ή πρανή ορυγμάτων. Αυτό το φαινόμενο προκαλείται από την περιορισμένη ευστάθεια των πρανών σε σχέση με στατικά και σεισμικά φορτία. Η αστοχία των πρανών μπορεί να οφείλεται σε γεωλογικούς, φυσικούς ή ανθρωπογενείς παράγοντες. (Παντελίδης, 2012).

Η κατασκευή έργων αντιστήριξης απαιτεί προσεκτική μελέτη των συνθηκών και την επιλογή της κατάλληλης λύσης. Κύρια κριτήρια για την επιλογή του τύπου αντιστήριξης περιλαμβάνουν τη φύση του εδάφους, την παρουσία υπόγειου υδροφορέα, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το κόστος κατασκευής, τη μακροχρόνια αντοχή και την αισθητική.

Γενικά, τα έργα αντιστήριξης (earth-retaining structures) έχουν ως σκοπό την εξασφάλιση της ευστάθειας εδαφικών μαζών που μπορεί να επηρεάσουν μια κατασκευή. Δημιουργούνται για να αποτρέψουν την οριζόντια μετατόπιση του εδάφους προς τα κατάντη. Συναντώνται σε κατασκευές όπως κατοικίες, αυτοκινητόδρομους, αποβάθρες, και βαθιές εκσκαφές γύρω από υπογείους χώρους κτιρίων.

Για την κάλυψη αυτών των αναγκών, διατίθενται διάφοροι τύποι τοίχων αντιστήριξης, οι οποίοι επιλέγονται ανάλογα με τις συνθήκες της κάθε περίπτωσης για να εξασφαλιστεί η ευστάθεια της κατασκευής. Μερικές κατηγορίες έργων αντιστήριξης περιλαμβάνουν:

- Τοίχους βαρύτητας
- Εμπεμπηγμένους τοίχους
- Αντηριδωτούς τοίχους
- Αγκυρωμένους τοίχους
- Τοίχους αντιστήριξης
- Πασσαλότοιχους
- Πτερυγότοιχους



Εικόνα 3.4 α) Τοίχοι βαρύτητας, β) Τοίχοι μορφής προβόλου, γ) Αγκυρωμένοι τοίχοι, δ) Οπλισμένη γη, ε) Τοίχοι υπογείου, στ) Ακρόβαθρα γεφυρών, ζ) Αυτοσταθή πετάσματα, η) Αγκυρωμένοι πασσαλότοιχοι (πηγή: BS 8006, 2010).

Η κατασκευή τοίχων αντιστήριξης είναι απαραίτητη για την υποστήριξη κατακόρυφων επιφανειών εδάφους ή βράχου. Υπό κανονικές συνθήκες, οι τοίχοι αυτοί απαιτούνται για να υποστηρίξουν τις επιφάνειες που εκτίθενται κατά την εκσκαφή, αν και σε ειδικές



περιπτώσεις (όπως σε οριζόντια πετρώματα), μπορεί να είναι δυνατή η προσωρινή διατήρηση των εκσκαφών χωρίς υποστήριξη.

Οι τοίχοι αντιστήριξης μπορεί να κατασκευαστούν σε τεχνητά εδάφη πριν από την τοποθέτηση της επίχωσης. Εξαιτίας των διαφορών στις εδαφικές συνθήκες και τις απαιτήσεις κάθε έργου, οι τοίχοι αντιστήριξης κατασκευάζονται από ποικιλία υλικών, όπως σκυρόδεμα και χάλυβα, και χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι στήριξης. Η επιλογή του τύπου αντιστήριξης εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους και την αρχική κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους.

Τα είδη των έργων αντιστήριξης διαφοροποιούνται ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τις συνθήκες του κάθε έργου, όπως τα φορτία, οι συνθήκες θεμελίωσης, τα εδαφικά υλικά και τα υλικά κατασκευής. Το κυριότερο στοιχείο είναι αν η αντιστήριξη θα γίνει πριν ή μετά την εκσκαφή του εδάφους.

Εάν η εκσκαφή προγραμματίζεται να γίνει πριν την τοποθέτηση της αντιστήριξης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξής τύποι:

- Αντιστήριξη από λιθοδομή
- Αντιστήριξη από άοπλο σκυρόδεμα
- Αντιστήριξη από προεντεταμένο σκυρόδεμα
- Αντιστήριξη από αντηρίδες
- Αντιστήριξη από οπλισμένο έδαφος

Εάν η εκσκαφή πρόκειται να γίνει μετά την τοποθέτηση της αντιστήριξης, τότε είναι δυνατή η χρήση των εξής:

- ❖ Φρεατοπάσσαλοι
- ❖ Διαφραγματικοί τοίχοι
- ❖ Τοίχοι «τύπου Βερολίνου»

Οι τοίχοι αντιστήριξης είναι μια κατηγορία έργων που χρησιμοποιούνται για τη συγκράτηση εδαφικών μαζών και διακρίνονται σε διάφορες υποκατηγορίες ανάλογα με τη μάζα τους, την ευκαμψία τους και τις συνθήκες αγκύρωσης. Οι κυριότεροι τύποι είναι οι τοίχοι βαρύτητας, οι τοίχοι μορφής προβόλου και οι αγκυρωμένοι τοίχοι (BS 8006, 2010).

Οι τοίχοι βαρύτητας είναι μια από τις πιο κοινές και ευρέως χρησιμοποιούμενες μορφές αντιστήριξης εδαφών (Κίρτας, 2010). Αυτές οι κατασκευές συνήθως έχουν τραπεζοειδή μορφή και κατασκευάζονται από υλικά όπως άοπλο σκυρόδεμα, τιμεντόλιθους, ή σπανιότερα φυσικούς λίθους. Υπάρχουν επίσης τοίχοι βαρύτητας κατασκευασμένοι από συρματοκιβώτια, που αποτελούνται από γαλβανισμένα συρμάτινα κουτιά γεμάτα με πέτρες.

Οι τοίχοι βαρύτητας στηρίζονται στη βαρύτητα για να διατηρούν τη θέση τους, χάρη στη μεγάλη τους μάζα και την ογκώδη, δύσκαμπτη κατασκευή τους. Αυτές οι ιδιότητες τους



καθιστούν σχεδόν αμετάβλητους, και οι κύριες ανησυχίες κατά την ανάλυση της ευστάθειάς τους είναι η πιθανότητα ολίσθησης ή ανατροπής. (Μπελόκας, 2015).

Η ευστάθεια ενός τοίχου βαρύτητας εξαρτάται από την αποφυγή κινδύνων που σχετίζονται με την ολίσθηση και την ανατροπή. Για να διασφαλιστεί η ευστάθεια, είναι απαραίτητο να μην υπάρχουν συνθήκες που να ευνοούν την ολίσθηση του τοίχου πάνω στην επιφάνεια του εδάφους. Η ολίσθηση μπορεί να συμβεί λόγω έλλειψης ισορροπίας στις οριζόντιες δυνάμεις που δρουν στο τοίχο.

Επιπλέον, η ανατροπή του τοίχου μπορεί να προκύψει αν δεν υπάρχει ισορροπία στις ροπές που προκαλούνται κατά την περιστροφή του γύρω από έναν άξονα που είναι κάθετος στην κατακόρυφη τομή του. Αυτό μπορεί να συμβεί αν η φέρουσα ικανότητα του εδάφους θεμελίωσης υπερβεί την αντοχή του. (Kramer, 1996).

Τα επιχώματα αντιστήριξης λειτουργούν ως οπλισμένα αντίβαρα για την αποτροπή κατολισθήσεων σε περιοχές με επικίνδυνες κλίσεις. Δημιουργώντας τεχνητές βαθμίδες στη στέψη του επιχώματος, παρέχουν επιπλέον παθητική προστασία στον κατάντη χώρο. (Νάσκος, 2007). Αυτά τα επιχώματα είναι επίσης χρήσιμα σε εδάφη με κακή φέρουσα ικανότητα, καθώς μπορούν να διαχειριστούν καλύτερα τις διαφορικές καθιζήσεις σε σύγκριση με άλλες πιο άκαμπτες λύσεις, και είναι κατάλληλα για σεισμικές ζώνες.

Χρησιμοποιούνται τόσο σε φυσικά πρανή όσο και σε πρανή που έχουν δημιουργηθεί με περικοπή (ορύγματα), με σκοπό την εγκατάσταση νέων αυτοκινητόδρομων ή τη δημιουργία οικοδομήσιμων περιοχών σε επικλινή οικόπεδα. Το έδαφος μετά από περικοπή μπορεί να είναι ασταθές, ειδικά όταν η γωνία κλίσης του τροποποιείται πέρα από τη φυσική του γωνία ηρεμίας.

Ευρεία εφαρμογή βρίσκουν τα επιχώματα και στα υδραυλικά έργα. Γίνεται χρήση τους για επένδυση των θεμελιώσεων γεφυρών, ώστε να προστατευθούν τα θεμέλια από τη διάβρωση. Επίσης, χρησιμοποιούνται για να προστατεύονται τα πρανή στις όχθες των ποταμών και των ρεμάτων και γενικά εφαρμόζονται σε διάφορα αντιπλημμυρικά έργα.

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου κατασκευής τοίχου αντιστήριξης απαιτεί την εξέταση διαφόρων κριτηρίων, τα οποία περιλαμβάνουν:

- **Ελαχιστοποίηση της συνολικής δαπάνης:** Είναι κρίσιμο να εξεταστεί η οικονομική αποδοτικότητα της κατασκευής σε όλη τη διάρκεια ζωής της.
- **Επιπτώσεις στη γειτνίαση με άλλα έργα:** Η μορφή κατασκευής πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη γειτνίαση με άλλα έργα, ιδιοκτησίες και εγκαταστάσεις για να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η κανονική λειτουργία τους.
- **Περιορισμοί απαλλοτρίωσης και άδειες:** Η θέση, μορφή και μέθοδοι κατασκευής θα πρέπει να συμμορφώνονται με τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τα όρια απαλλοτρίωσης και τις σχετικές άδειες.
- **Καταλληλότητα μεθόδων κατασκευής:** Οι μέθοδοι κατασκευής πρέπει να επιτρέπουν τη διευκόλυνση της τοποθέτησης και της συμπίκνωσης των υλικών.



Ειδικές θεωρήσεις περιλαμβάνουν τη χρήση τυποποιημένων τεχνικών έργων αντιστήριξης. Αυτά τα συστήματα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις διάρκειας ζωής του έργου, και τα υλικά πρέπει να πιστοποιούνται από αναγνωρισμένους οργανισμούς για την αντοχή και ανθεκτικότητα τους. Η μελέτη των τυποποιημένων συστημάτων πρέπει να ακολουθεί τους αντίστοιχους κανονισμούς και τις υποδείξεις του κατασκευαστή.

Η επιλογή της κατάλληλης λύσης για την αντιστήριξη εξαρτάται από παράγοντες όπως:

- **Υλικό κατασκευής:** Το υλικό επηρεάζει την αντοχή του τοίχου, καθώς και το βάρος του που αντισταθμίζει την ώθηση. Η επιλογή υλικού επηρεάζει την οικονομία της λύσης.
- **Μέθοδος εκτέλεσης:** Οι συνθήκες κατασκευής, όπως η παρουσία υπόγειου ύδατος, μπορούν να περιορίσουν τις διαθέσιμες επιλογές. Η κατασκευή κάτω από το νερό, για παράδειγμα, ενδέχεται να ευνοεί την επιλογή μεταλλικών πασσαλοσανίδων, παρά την υψηλότερη δαπάνη τους.

Οι τοίχοι αντιστήριξης κατασκευάζονται συνήθως από υλικά όπως λιθοδομή, άοπλο σκυρόδεμα, οπλισμένο σκυρόδεμα και συρματοκιβώτια. Σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και ξύλινοι τοίχοι για προσωρινές κατασκευές. Τοίχοι από προεντεταμένο σκυρόδεμα και συνδυασμοί υλικών μπορούν επίσης να εφαρμοστούν, με την τελευταία τεχνολογία να περιλαμβάνει τοίχους από οπλισμένη γη, οι οποίοι δεν έχουν ακόμα ευρεία εφαρμογή στην Ελλάδα (Γιατρά, 2014).

Η ευστάθεια των φυσικών πρανών και των πρανών εκσκαφών δεν απαιτεί πάντοτε την κατασκευή έργων αντιστήριξης. Σε περιπτώσεις όπου η κλίση είναι ήπια και τα ύψη των πρανών είναι σχετικά μικρά, το έδαφος μπορεί να παραμείνει σταθερό χωρίς την ανάγκη επιπλέον αντιστήριξης. Στις περιπτώσεις αυτές, τα φυσικά πρανή συνήθως έχουν επαρκή φυσική γωνία ηρεμίας και δύναμη εδαφικής συνοχής για να διατηρήσουν την ευστάθειά τους χωρίς πρόσθετες επεμβάσεις. (Καββαδάς, 2005).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι εδαφικές μάζες, λόγω φυσικών αίτιων και τεχνικών έργων (εκσκαφές) τείνουν να κατολισθήσουν, επομένως καθίσταται αναγκαία η αντιστήριξη των εδαφών. Υπάρχουν τρία είδη αντιστήριξης εδαφών: οι τοίχοι αντιστήριξης, οι πασσαλοσανίδες και οι πασσαλότοιχοι. Κατά κύριο λόγο τα συρματοκιβώτια κατατάσσονται στους τοίχους αντιστήριξης. Ο τοίχος αντιστήριξης έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί έτσι ώστε να έχει μεγάλη αντοχή στην πλευρική πίεση του εδάφους.

Κατά τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) ως τοίχος αντιστήριξης νοείται κάθε τεχνικό έργο που υποστηρίζει ένα επίχωμα ύψους μεγαλύτερου από 0,50 m πάνω από τη στάθμη επιχώματος ή από το φυσικό έδαφος που βρίσκεται σε άμεση επαφή με την όψη του. Κατασκευάζονται σε θέσεις όπου υπάρχει απότομη αλλαγή (αύξηση) της κλίσης του πρανούς τέτοια ώστε να είναι κατακόρυφο (Παπαντωνόπουλος, 2017; Κωτσαντώνης, 2023). Έχουν χαμηλό κόστος, είναι εύκαμπτα και έχουν μεγάλη αντοχή. Είναι ορθογώνια ή κυλινδρικά καλάθια τα οποία διαχωρίζονται σε τμήματα, το εσωτερικό του αποτελείται από πέτρες, σκυρόδεμα και κάποιες φορές άμμο και χώμα για έργα οδοποιίας για παράδειγμα. Εξωτερικά είναι κατασκευασμένα από γαλβανιζέ σύρμα. Η βάση, το καπάκι και τα τοιχώματα είναι ένα ενιαίο κομμάτι, η λεγόμενη ορθογώνια μονάδα, με την περιφερειακή ενίσχυση ούγκια από σύρμα μεγαλύτερου πάχους από του πλέγματος. (Παπαντωνόπουλος, 2017)

Για τη δημιουργία του τοιχώματος, κάμπτουμε το πλέγμα προς τα επάνω δημιουργώντας γωνία 90°, έπειτα τοποθετούνται εσωτερικά ένα ή περισσότερα διαφράγματα, αναλόγως με το μήκος του καλαθιού, σε τακτά διαστήματα και κλείνει το καπάκι κάμπτοντας το κατά 90°. Τέλος θα συρραφούν οι ακμές του καλαθιού με την ενισχυμένη ούγκια. (Παπαντωνόπουλος, 2017)

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κανάλια για ενίσχυση (όπως και σε υδατοφράγματα), ανάπλαση ροής και επένδυση, σε ποτάμια για επένδυση πρανών και ανάπλαση ροής η οποία ανάπλαση γίνεται και σε χειμάρρους, ενισχύουν επίσης βάσεις γεφυρών και μεγάλης κλίσης πλαγιές καθώς και τις στερεώνουν και τις συγκρατούν όπως επίσης γίνεται στα αναχώματα. Τέλος, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τοίχων αντιστήριξης. (Παπαντωνόπουλος, 2017)

4.2 ΕΙΔΗ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

Με τον όρο συρματοκιβώτια ορίζονται όλοι οι τύποι φατνών από εξαγωνικής διπλής πλέξης συρματοπλέγμα. Ανάλογα με το σχήμα και την μορφή τους διακρίνονται τα εξής είδη:

1. Συνήθη συρματοκιβώτια (gabions),

2. Στρώμενες (μικρού πάχους συρματοκιβώτια τύπου Reno)
3. Συρματοκύλινδροι (sack gabions)
4. Συρματοκιβώτια τα οποία φέρουν προεκτάσεις συρματοπλέγματος για τον οπλισμό των αναχωμάτων (τύπου Terramesh)(08-02-01-00,2006)

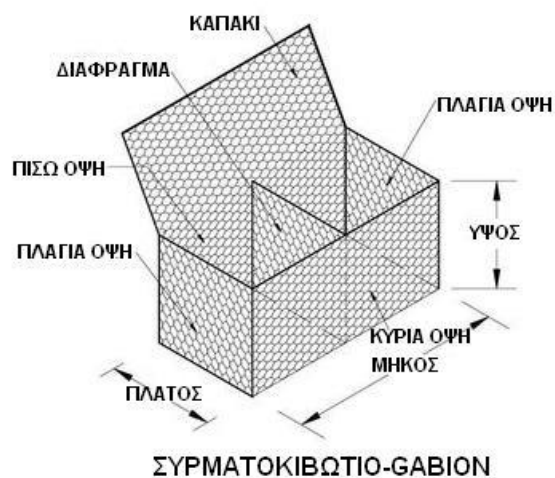
4.3 ΣΥΝΗΘΗ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ

Χρησιμοποιούνται, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, για την κατασκευή τοίχων αντιστήριξης, εγκάρσιων οδών, αναβαθμών και προβολών και για επενδύσεις πρανών χειμάρρων, ποταμών και άλλων έργων.

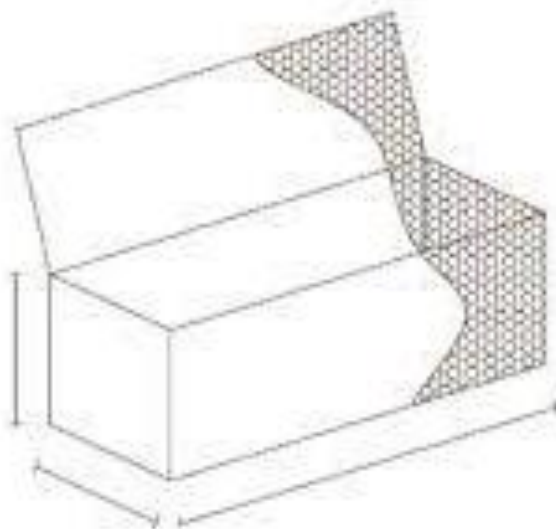
Το πεδίο εφαρμογής των συρματοκιβωτίων είναι αρκετά ευρύ και περιλαμβάνει:

- **Επενδύσεις πρανών:** Χρησιμοποιούνται για την προστασία πρανών ποταμών, χειμάρρων και άλλων υδατικών έργων, προκειμένου να αντιμετωπιστούν προβλήματα όπως η υψηλή ταχύτητα ροής του νερού ή η μεταφορά ιζημάτων.
- **Κατασκευή εγκάρσιων οδών και αναβαθμών:** Χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία σταθερών και ανθεκτικών επιφανειών σε επικλινείς περιοχές.
- **Κατασκευή τοίχων αντιστήριξης:** Χρησιμοποιούνται ως στοιχείο σταθεροποίησης και στήριξης εδάφους.

Τα συρματοκιβώτια κατασκευάζονται συνήθως από εξαγωνικό χαλύβδινο σύρμα διπλής πλέξης, σχηματίζοντας παραλληλεπίπεδα με πλάτος συνήθως από ένα έως δύο μέτρα και ύψος από μισό έως ένα μέτρο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, διαθέτουν εγκάρσια διαφράγματα ανά διάστημα ενός μέτρου, και οι ακμές τους ενισχύονται με σύρμα μεγαλύτερης διαμέτρου από το σύρμα του πλέγματος.



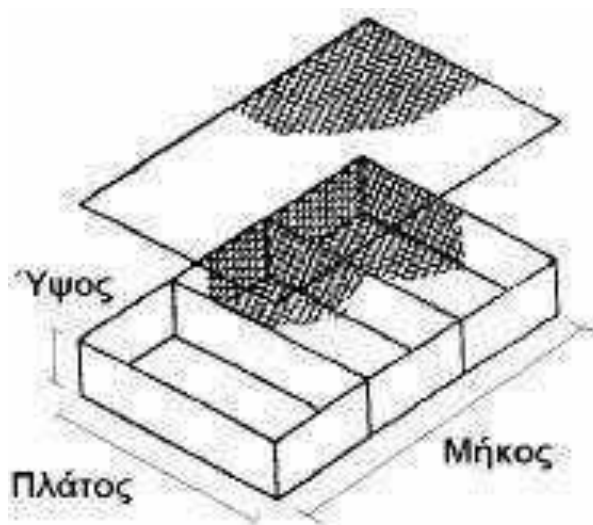
Εικόνα 4.1 Συρματοκιβώτιο με διαφράγματα



Εικόνα 4.2 Συρματοκιβώτιο χωρίς διαφράγματα

4.4 ΣΤΡΩΜΝΕΣ

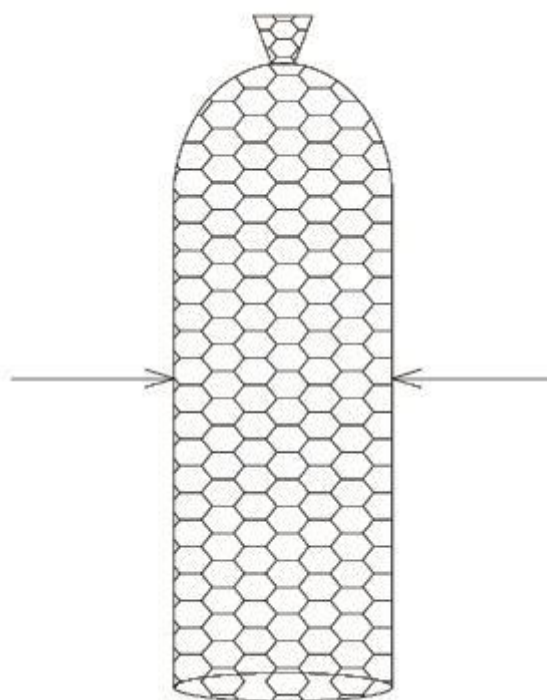
Χρησιμοποιούνται σε ηπιότερες μορφολογικά συνθήκες από ότι τα συρματοκιβώτια διότι είναι πιο ελαφρές αλλά και πιο εύκαμπτες. Εφαρμόζονται σε επενδύσεις πρανών για την προστασία ποδός πρανών και σε κοιτοστρώσεις. Κατασκευάζονται όπως τα συρματοκιβώτια με εξαγωνικό χαλύβδινο συρματοπλέγμα διπλής πλέξης. Έχουν συνήθως μορφή παραλληλεπίπεδου, πλάτος 2m και ύψος 0,17-0,30m με τα εγκάρσια διαφράγματα να προθέτονται ανά 1m ξανά. Ενισχύονται, επίσης, με σύρμα οι ακμές τους. (08-02-01-00,2006*1501-08-02-01-00,2009).



Εικόνα 4.3 Στρώμνη τύπου RENO με διαφράγματα

4.5 ΣΥΡΜΑΤΟΚΥΛΙΝΔΡΟΙ

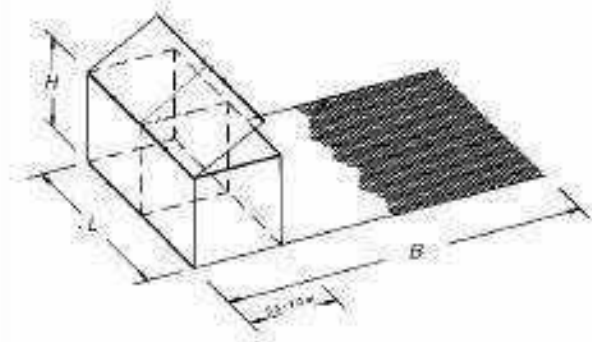
Εκτός από επενδύσεις πρανών χρησιμοποιούνται και για την υποθεμελίωση κατασκευών από άλλου είδους συρματοκιβώτια, εφόσον το σχήμα και η ευκαμψία τους τα καθιστά κατάλληλα και επιτρέπει την ευχερέστερη προσαρμογή στο έδαφος. Κατασκευάζονται και αυτοί με εξαγωνικό χαλύβδινο συρματοπλέγμα συνήθως όμως διπλής πλέξης. Έχουν διάμετρο 0,65-0,95m και ύψος 2m (οι οποίες διαστάσεις καθορίζονται αναλόγως από την μελέτη των έργων αναφοράς). Ενισχύονται με σύρμα καθ' ύψος (08-02-01-00,2006*1501-08-02-01-00,2009)



Εικόνα 4.4 Συρματοκύλινδρος

4.6 ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΜΕ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ ΣΥΡΜΑΤΟΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Ξεχωρίζουν χάρη στην ύπαρξη μιας ελεύθερης προέκτασης φύλλου συρματοπλέγματος, η οποία επιχώνεται και εγκιβωτίζεται στο διαμορφούμενο πρανές μετά την λιθοπλήρωση του συρματοκιβωτίου. Έχουν μορφή παραλληλεπίπεδου συνήθως μήκους 1-2m και ύψους 0,5-1m, διαθέτουν διαφράγματα. Το μήκος της προέκτασης είναι από 3-7m ανάλογα με την μελέτη, και ενισχύονται οι ακμές τους με σύρμα. (08-02-01-00,2006*1501-08-02-01-00,2009)

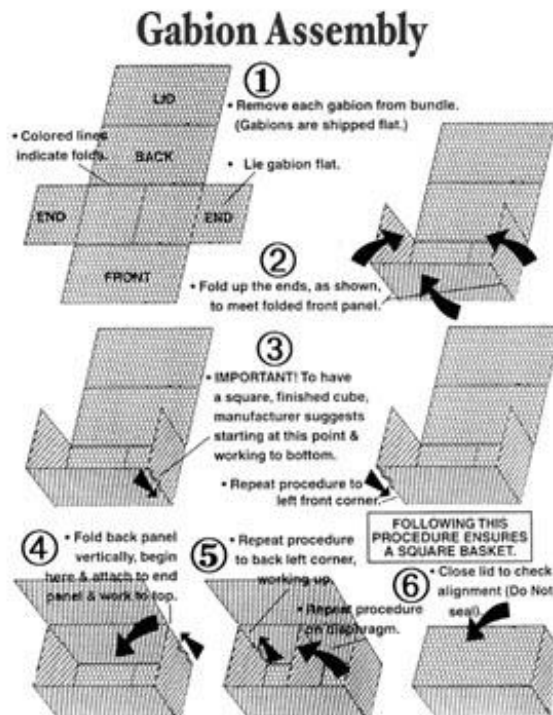


Εικόνα 4.5 Συρματοκιβώτιο με προέκταση συρματοπλέγματος τύπου TERRAMESH

4.7 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

Κάθε πλευρά ξετυλίγεται και τσακίζεται σε συγκεκριμένα σημεία έτσι ώστε να δημιουργηθεί το κουτί με το δίπλωμα των πλευρών. Αφού διπλωθούν η μπροστά και οι πλάγιες πλευρές ανασηκώνεται και συρράβεται η πίσω πλευρά (αν υπάρχει διάφραγμα συρράβεται και αυτό κάθετα, έπειτα κλείνει το καπάκι και ελέγχεται η ευθυγράμμιση του συρματοκιβωτίου χωρίς συρραφή, η συρραφή του γίνεται είτε με σύρμα είτε με γαντζάκια C-RINGS. Το συρματοκιβώτιο είναι πλέον έτοιμο για πλήρωση. Παρακάτω απεικονίζεται η διαδικασία συναρμολόγησης.

Στα έργα προστασίας, τα συρματοκιβώτια θα συνδέονται μεταξύ τους σε όλες τις επιφάνειες επαφής για να σχηματίσουν ένα ενιαίο σύνολο. Η σύνδεση θα γίνεται με τη χρήση δακτυλίων από γαλβανισμένο σύρμα, με διάμετρο τουλάχιστον 3 mm και εφελκυστική αντοχή 1700 N/mm². Ειδικότερα, η σύνδεση με πλαστικοποιημένο σύρμα θα γίνεται με ανοξείδωτα δαχτυλίδια, και η σύσφιξη των δακτυλίων θα επιτυγχάνεται μέσω ειδικών εργαλείων, είτε μηχανικών είτε πνευματικών. Για την επαρκή στερέωση, θα απαιτούνται περίπου 25 δακτύλιοι ανά κυβικό μέτρο. Εναλλακτικές μέθοδοι σύνδεσης των συρματοκιβωτίων που προτείνουν οι ανάδοχοι θα πρέπει να εξασφαλίζουν την κατάλληλη μονολιθικότητα και αντοχή της κατασκευής. Οποιαδήποτε εναλλακτική πρόταση θα πρέπει να τεκμηριώνεται με λεπτομέρειες για το υλικό, τη μέθοδο εφαρμογής και την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος, συνοδευόμενη από φυλλάδια και αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών από αναγνωρισμένους κατασκευαστές ή προμηθευτές.



Εικόνα 4.6 Διαδικασία συναρμολόγησης συρματοκιβωτίων

4.8 ΟΔΗΓΙΕΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ

Τοποθετούνται σε ευθυγραμμισμένο και στέρεο έδαφος, αφού πληρωθούν από πέτρα, δένονται τα καπάκια. Έπειτα τοποθετείται ύφασμα εδαφοκάλυψης στην πλευρά του συρματοκιβωτίου προς το πρανές, στη συνέχεια μπαζώνεται το τυχόν κενό που υπάρχει μέχρι το πρανές και γίνεται συμπίεση ως το ύψος της πρώτης σειράς των συρματοκιβωτίων. Έπειτα ξεκινά η τοποθέτηση της δεύτερης σειράς συρματοκιβωτίων, ή οποία ξεκινάει πιο μέσα από την πρώτη σειρά, αρχίζει η διάταξη με ένα συρματοκιβώτιο του μισού μήκους σε σχέση με αυτά της πρώτης σειράς ώστε να «δεθεί» η κατασκευή όπως μια κοινή τοιχοποιία.

Το υλικό πλήρωσης πρέπει να προέρχεται από ασβεστολιθικό πέτρωμα ή να είναι υγιές, χωρίς αργιλικές και άλλες προσμίξεις, έντριπτα ή σαθρά υλικά. Η διαβάθμιση των λίθων πλήρωσης θα πρέπει να επιλέγεται με βάση τις αναμενόμενες ταχύτητες ροής.



Πίνακας 4.1 Απαιτούμενα χαρακτηριστικά των λίθων πλήρωσης

Εφαρμογή	Ύψος συρματοκιβωτίου (m)	Διάσταση λίθου		Κρίσιμη ταχύτητα (m/sec)	Οριακή ταχύτητα (m/sec)
		Διάμετρος (mm)	D ₅₀ (mm)		
Στρώμνη (τύπου Reno)	0,17	70-100	85	3,5	4,2
		70-150	110	4,2	4,5
	0,23	70-100	85	3,6	5,5
		70-150	120	4,5	6,1
	0,30	70-120	100	4,2	5,5
		100-150	125	5,0	6,4
Συρματοκιβώτια	0,50 και 1,00	100-200	150,00	5,8	7,6
		120-250	190,00	6,4	8,0



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΕ ΕΡΓΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται σημαντικά έργα υποδομής που συνεισφέρουν στην αποτροπή πλημμυρών, την προστασία της γης και την ενίσχυση των συγκοινωνιακών δικτύων. Αναλύονται τα εξής έργα:

- 1) Διευθέτηση Χειμάρρου Κιμμερίων: Έργο που ολοκληρώθηκε το φθινόπωρο του 2022 από την Περιφερειακή Ενότητα Ξάνθης, περιλαμβάνει ανοικτή διατομή με συρματοκιβώτια και λιθορριπή για την αποτροπή πλημμυρικών φαινομένων στην ευρύτερη περιοχή.
- 2) Αντιπλημμυρική Προστασία Περιοχής Νέας Εφέσσου Πιερίας: Υλοποιήθηκε το 2021 με επένδυση ρεμάτων χρησιμοποιώντας προκατασκευασμένα συρματοκιβώτια, με στόχο την ενίσχυση της αντοχής σε ακραία καιρικά φαινόμενα.
- 3) Αποκατάσταση Πρανών σε Τμήματα της Εθνικής Οδού Θεσσαλονίκης - Νέων Μουδανιών: Αντιστήριξη των πρανών με συρματοκιβώτια για τη βελτίωση της ασφαλούς κυκλοφορίας και την αποφυγή κατολισθήσεων.
- 4) Εγνατία Οδός - Υψηλό Επίχωμα Κόμβου Μετσόβου - Τμήμα 3.2: Κατασκευή υψηλού επιχώματος με συρματοκιβώτια για την υποστήριξη του οδικού δικτύου και τη διατήρηση της σταθερότητας.
- 5) Επενδεδυμένο Ανάχωμα Πρανών Γέφυρας Παλαιοκαρυάς Νομού Τρικάλων: Ολοκληρώθηκε το 1999 για την προστασία των παρόχθιων περιοχών από πλημμυρικά φαινόμενα με επένδυση πρανών και κατασκευή τοίχου αντιστήριξης.
- 6) Οδός Κρέντης - Βαρβαριάδα - Άγραφα, Τμήμα Α' Κρέντης - Βαρβαριάδα – Αποπεράτωση (Κοίτη Αγραφιώτη ποταμού): Ολοκλήρωση του συγκεκριμένου τμήματος για τη βελτίωση της προσβασιμότητας και της κυκλοφορίας.

Κάθε έργο συνεισφέρει στη συνολική αναβάθμιση των υποδομών και στην προστασία των περιοχών που εξυπηρετούν.

1) ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΚΙΜΜΕΡΙΩΝ

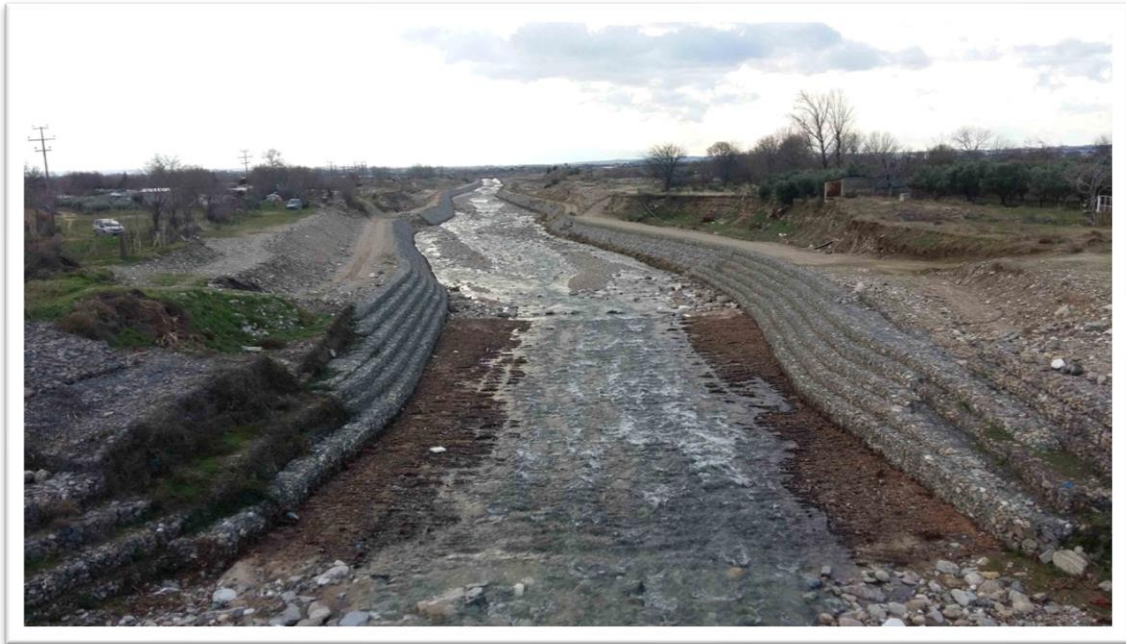
Το έργο με τίτλο «Διευθέτηση χειμάρρου Κιμμερίων από γέφυρα Ο.Σ.Ε. μέχρι τον ποταμό Κοσύνθο» εκτελέστηκε από την Περιφερειακή Ενότητα Ξάνθης και αποτελεί μέρος της συνολικής διευθέτησης του χειμάρρου Κιμμερίων. Το έργο επεκτείνεται σε μήκος περίπου 2 χιλιομέτρων, από τη σιδηροδρομική γέφυρα έως τη συμβολή με τον ποταμό Κόσυνθο, και ολοκληρώθηκε το φθινόπωρο του 2022.

Η διευθέτηση του χειμάρρου πραγματοποιήθηκε με χρήση ανοικτής διατομής, περιλαμβάνοντας πρανή επενδεδυμένα με συρματοκιβώτια και κοίτη από λιθορριπή, που σταθεροποιήθηκε με συρματοκιβώτια. Το έργο συνάδει με τον χαρακτήρα της περιοχής και χρησιμοποιεί σχεδόν αποκλειστικά φυσικά υλικά.

Με την ολοκλήρωση του έργου, επιτεύχθηκε η προστασία της περιοχής από πλημμυρικά φαινόμενα. Το έργο συμβάλλει θετικά στις οικονομικές και κοινωνικές συνθήκες της περιοχής, προστατεύοντας τον οικισμό των Κιμμερίων, τους γύρω οδικούς άξονες, τη σιδηροδρομική γραμμή και τις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Επίσης, αναβαθμίζει αισθητικά την περιοχή και διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ των δύο οχθών. Παράλληλα, επιτρέπει τον καθαρισμό της κοίτης από φερτά υλικά και σκουπίδια, και οι παρόχθιες εκτάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αναψυχή και άθληση των κατοίκων.



Εικόνα 5.1. Επένδυση πρανών χείμαρρου Κιμμερίων με συρματοκιβώτια (Πηγή: Περιφερειακή Ενότητα Ξάνθης).



Εικόνα 5.2 Επένδυση πρανών χείμαρρου Κιμμερίων με συρματοκιβώτια (Πηγή: Περιφερειακή Ενότητα Ξάνθης).

2) ΑΝΤΙΠΛΥΜΜΗΡΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Ν. ΕΦΕΣΣΟΥ ΠΙΕΡΙΑΣ

Μετά τις έντονες βροχοπτώσεις από τα ακραία καιρικά φαινόμενα που παρατηρούνται τα τελευταία έτη στην Ελλάδα, οι οποίες προκάλεσαν μεγάλα πλημμυρικά φαινόμενα, κρίνεται αναγκαία η αντιπλημμυρική θωράκιση της εκάστοτε περιοχής. Για αυτό το λόγο η πολιτική προστασία αποφάσισε, για την καλύτερη δυνατή αντιπλημμυρική προστασία της ευρύτερης περιοχής της Πιερίας και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Ν. Εφέσσου, να εκπονήσει έργο επένδυσης των κυριότερων ρεμάτων με προκατασκευασμένα συρματοκιβώτια. Το έργο υλοποιήθηκε το 2021.

Τα μέτρα προστασίας των υποδομών από πλημμύρες περιλάμβαναν τη διευθέτηση των ρεμάτων, τη διαμόρφωση των πρανών τους, της κοίτης τους αλλά και εγκάρσιες κατασκευές στην κοίτη των ρεμάτων χρησιμοποιώντας αποκλειστικά συρματοκιβώτια. Οι τεχνικές προδιαγραφές του συγκεκριμένου έργου απαιτούσαν τη συρματοκιβωτίων με διαστάσεις 2x1x1 & 2x1x0.5 και η διάμετρος του σύρματός τους 2.7mm. Η συνολική ποσότητα συρματοκιβωτίων που χρησιμοποιήθηκε ήταν 46.000kg. Για τη συναρμολόγηση των συρματοκιβωτίων χρησιμοποιήθηκαν πνευματικό εργαλείο αέρος και δακτυλίδια συρραφής (GALFAN 95%Zn-5%Al) με αποτέλεσμα τη ευκολότερη, ταχύτερη και πιο αποτελεσματική τοποθέτηση.

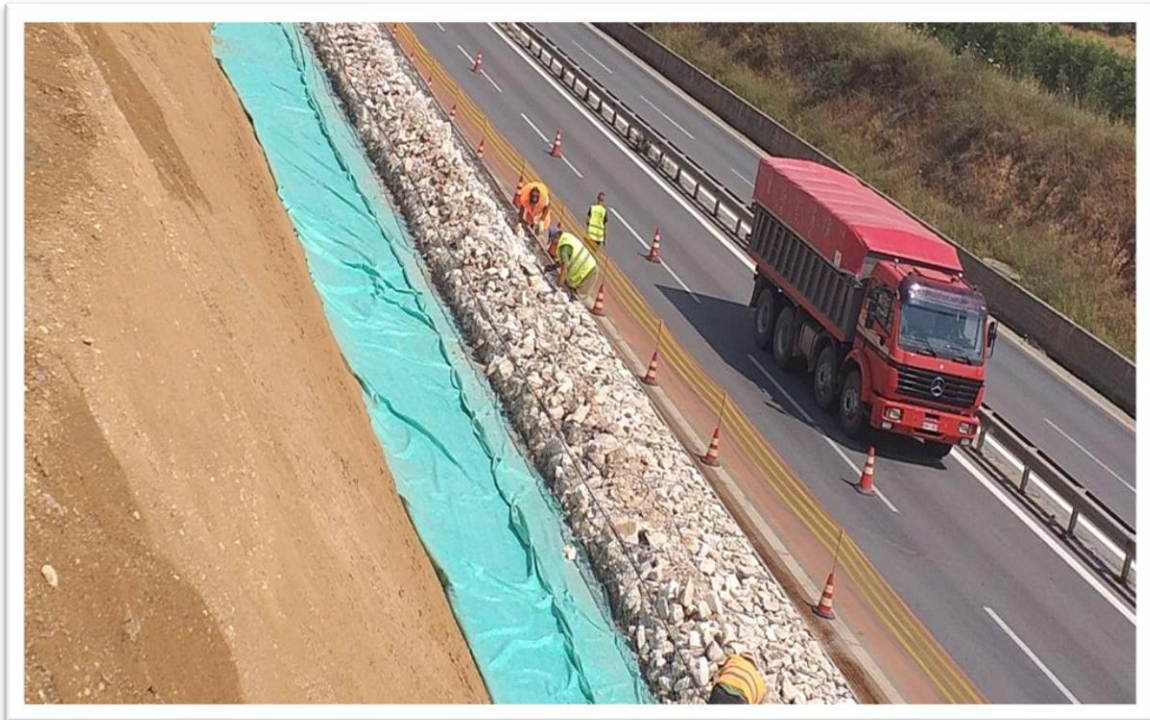


Εικόνα 5.3 Διαμόρφωση κοίτης ρέματος με χρήση συρματοκιβωτίων (Πηγή: Maccaferri Ελλάς)

3) ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΡΑΝΩΝ ΣΕ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΘΝΙΚΗΣ ΟΔΟΥ (Ε.Ο.) ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - ΜΟΥΔΑΝΙΩΝ

Ο οδικός άξονας από την Θεσσαλονίκη μέχρι τα Νέα Μουδανιά ξεκίνησε να κατασκευάζεται την δεκαετία του '90 και ολοκληρώθηκε σταδιακά μεταξύ των τελών της ίδιας δεκαετίας και του 2003. Στην συγκεκριμένη οδός ταχείας κυκλοφορίας (2 λωρίδες) έπρεπε άμεσα να προχωρήσουν οι εργασίες αντιστήριξης των πρανών σε ένα δρόμο υψίστης σημασίας για τις μεταφορές στην ευρύτερη περιοχή. Μια σειρά αρκετά σοβαρών αστοχιών και κατολισθήσεων έκαναν την ασφαλή διέλευση του δρόμου ανέφικτη, με δεδομένο τις κακές καιρικές συνθήκες στην περιοχή κατά τη διάρκεια του χειμώνα αλλά και την έντονη κίνηση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Για την αντιστήριξη του αρχικού πρανούς κατασκευάστηκε τοίχος με συρματοκιβώτια που θα λειτουργεί ως αντίβαρο. Η λύση των συρματοκιβωτίων είναι φιλική στο περιβάλλον ενώ υπήρχε και άφθονο υλικό πλήρωσής τους στην ευρύτερη περιοχή. Τα τοιχεία βαρύτητας κατασκευάστηκαν από προκατασκευασμένα συρματοκιβώτια. Τα συρματοκιβώτια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν διαστάσεων 3x2x0.50m. Τα συρματοκιβώτια αποτελούν συστήματα φιλικά προς το περιβάλλον με πολύ χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα και εξασφαλίζουν τη δομική ευστάθεια του πρανούς.



Εικόνα 5.4 Αντιστήριξη πρανούς με χρήση συρματοκιβωτίων (Πηγή: Maccaferri Ελλάς)

4) ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ - ΥΨΗΛΟ ΕΠΙΧΩΜΑ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕΤΣΟΒΟΥ-ΤΜΗΜΑ 3.2

Το υψηλό επίχωμα κόμβου Μετσόβου τμήματος 3.2 έχει μήκος 110 μέτρα και μέγιστο πλάτος καταστρώματος 90 μέτρα ενώ το ύψος του φτάνει τα 50 μέτρα. Αποτελείται από δύο ζώνες μια άοπλη με κλίση 1:2 στη βάση του επιχώματος και μια οπλισμένη στην ανώτερη υψομετρικά βαθμίδα με κλίση 2:1 και 1:1.

Τα συρματοπλεκτα κιβώτια που χρησιμοποιούνται στην πρόσοψη του επιχώματος κατασκευάζονται από συρματοπλέγμα, το οποίο κόβεται για να σχηματίσει ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο. Στη συνέχεια, το συρματοπλέγμα ράβεται κατά τις ακμές του με σύρμα. Το εσωτερικό του κιβωτίου γεμίζεται με πέτρες, οι οποίες έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από το βρόγχο του σύρματος. (Κοφίτσας, 1997).

Για τον περιορισμό των παραμορφώσεων και τη διατήρηση του σχήματος των συρματοκιβωτίων, χρησιμοποιούνται συρμάτινα διαφράγματα. Αυτά τα διαφράγματα λειτουργούν ως αντηρίδες και ταυτόχρονα διαιρούν το κιβώτιο σε διαμερίσματα, αποτρέποντας τη μετακίνηση των υλικών πλήρωσης. Το υλικό κατασκευής των διαφραγμάτων είναι συνήθως γαλβανισμένο σύρμα βαρέως τύπου, με εφελκυστική αντοχή 350-500 N/mm². Σε απλές περιπτώσεις εφαρμογής, χρησιμοποιείται γαλβανισμένο πλέγμα περιφράξεων. (Λουπασάκης, 2015).

Αφού ολοκληρωθεί η λιθοπλήρωση, το κάλυμμα του κιβωτίου κλείνει και ράβεται επίσης με σύρμα. Τα κιβώτια, όταν είναι ακόμη κενά, τοποθετούνται στις προκαθορισμένες θέσεις τους, σχηματίζοντας το σώμα του αναβαθμού (Κοφίτσας, 1997).



Εικόνα 5.5 Χρήση συρματοκιβωτίων σε επίχωμα (Πηγή: OmikronKappa Consulting)

5) ΕΠΕΝΔΕΔΥΜΕΝΟ ΑΝΑΧΩΜΑ ΠΡΑΝΩΝ ΓΕΦΥΡΑΣ ΠΑΛΑΙΟΚΑΡΥΑΣ ΝΟΜΟΥ ΤΡΙΚΑΛΩΝ

Η κατασκευή επενδεδυμένου αναχώματος μήκους 168 μέτρων ολοκληρώθηκε το 1999 και αποσκοπούσε στην προστασία των παρόχθιων περιοχών του ρέματος Παλαιοκαρυάς από πλημμυρικά φαινόμενα. Παράλληλα κατασκευάστηκε τοίχος αντιστήριξης για την συγκράτηση του εδάφους από τις κατολισθήσεις και τα κατακρημνίσματα. Η επένδυση των πρανών όπως και ο τοίχος αντιστήριξης δημιουργήθηκαν με συρματοπλεκτα κιβώτια. Το έργο επιτέλεσε το έργο της προστασίας ενώ παράλληλα προσαρμόστηκε επιτυχώς και στο περιβάλλον της περιοχής.



Εικόνα 5.6 Επένδυση πρανών με συρματοπλεκτα κιβώτια στη γέφυρα Παλαιοκαρνάς ((Κουλουκούρας, 2011)



Εικόνα 5.7 Τοίχος αντιστήριξης με συρματοπλεκτα κιβώτια στη γέφυρα Παλαιοκαρνάς ((Κουλουκούρας, 2011)

6) ΕΡΓΟ: «ΟΔΟΣ ΚΡΕΝΤΗΣ - ΒΑΡΒΑΡΙΑΔΑ - ΑΓΡΑΦΑ, ΤΜΗΜΑ Α' ΚΡΕΝΤΗΣ - ΒΑΡΒΑΡΙΑΔΑ – ΑΠΟΠΕΡΑΤΩΣΗ» - ΚΟΙΤΗ ΑΓΡΑΦΙΩΤΗ ΠΟΤΑΜΟΥ

Το έργο αυτό αφορά την ολοκλήρωση του τμήματος της οδού που συνδέει την Κρέντη με τη Βαρβαριάδα, περιλαμβάνοντας εργασίες που βελτιώνουν την οδική υποδομή και τη σύνδεση με την περιοχή των Αγράφων. Η αποπεράτωσή του συνεισφέρει στην ενίσχυση της προσβασιμότητας, την ασφαλή κυκλοφορία και την ενσωμάτωσή του στο ευρύτερο συγκοινωνιακό δίκτυο της περιοχής.

Το έργο της κοίτης του Αγραφιώτη Ποταμού περιλαμβάνει τη διευθέτηση και βελτίωση της κοίτης του ποταμού με στόχο τη μείωση των πλημμυρικών κινδύνων και την ενίσχυση της υδρολογικής διαχείρισης στην περιοχή. Οι εργασίες περιλαμβάνουν την απομάκρυνση φερτών υλικών, την ενίσχυση των πρανών και την κατασκευή τεχνικών έργων για την αποτροπή πλημμυρών.



Εικόνα 5.8 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.9 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.10 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.11 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.12 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.13 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.14 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.15 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.16 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.17 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



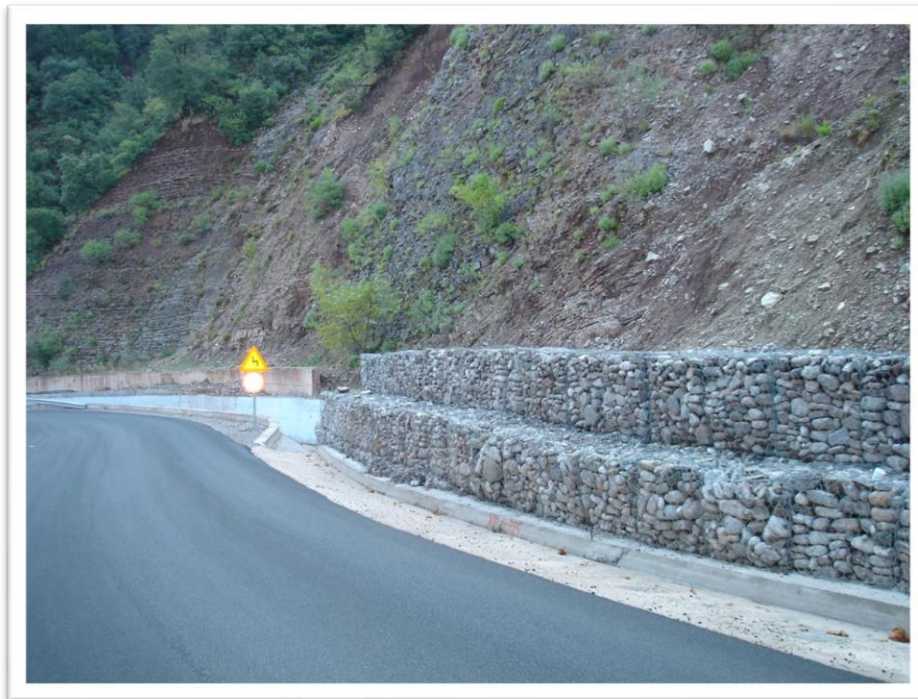
Εικόνα 5.18 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.19 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.20 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.21 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.22 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.23 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



Εικόνα 5.24 Κατασκευή συρματοκιβωτίων επί της οδού Κρέντης – Βαρβαριάδας – Αγράφων Νομού Ευρυτανίας (Πηγή: Προσωπική συλλογή φωτογραφιών Δ. Χριστοδούλου, Αύγουστος 2014).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Τα συρματοκιβώτια παρουσιάζουν πολλά θετικά στοιχεία σε αντίθεση με άλλου είδους κατασκευών αντιστήριξης, μερικά από αυτά είναι:

➤ Χρήση Φυσικών Υλικών

Τα γκαμπιόνια γεμίζονται με φυσικά υλικά όπως πέτρες, τα οποία μπορούν να προέρχονται από τοπικές πηγές, μειώνοντας τις ανάγκες για μεταφορά και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με αυτή.

➤ Διαπερατότητα στο Νερό

Τα συρματοκιβώτια επιτρέπουν τη διαπερατότητα του νερού, γεγονός που μειώνει την πίεση από τα όμβρια ύδατα και βοηθά στην πρόληψη πλημμυρών.

➤ Ανακυκλωσιμότητα

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα συρματοκιβώτια, όπως το σύρμα και οι πέτρες, είναι ανακυκλώσιμα και μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, συμβάλλοντας στη μείωση των αποβλήτων.

➤ Οικολογία

Οι κατασκευές συρμάτινων κουτιών είναι φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς έχουν ελάχιστη επίδραση στα οικοσυστήματα λόγω της αδράνειας του υλικού και της χρήσης φυσικών λίθων. Η πλήρωση των συρμάτινων κιβωτίων με πέτρες επιτρέπει τη ροή του αέρα και τη συσσώρευση εδάφους μεταξύ των λίθων, προάγοντας την ανάπτυξη φυτών που περιβάλλουν τις δομές. Με το πέρασμα του χρόνου, η φυσική βλάστηση μπορεί να καλύψει πλήρως τις δομές, συνδυάζοντας τις άψογα με το τοπίο και ταυτόχρονα διατηρώντας τη φυσική του εμφάνιση. Μπορούν να εφαρμοστούν μέθοδοι για την ενθάρρυνση της ταχείας ανάπτυξης της βλάστησης και τη δημιουργία ιδανικών συνθηκών για την ανάπτυξη των φυτών.

➤ Διάρκεια στο χρόνο

Τα συρμάτινα κουτιά είναι γνωστά για τη μακροχρόνια αντοχή τους, χάρη στον υψηλής αντοχής σχεδιασμό εξαγωνικού βρόχου διπλής στρέψης και το γέμισμα με φυσική πέτρα. Συνδέονται μεταξύ τους για να δημιουργήσουν μια στιβαρή κατασκευή που μπορεί να αντέξει τις υπόγειες μετατοπίσεις διατηρώντας παράλληλα την αρχική τους ακεραιότητα. Επιπλέον, τα συρμάτινα κουτιά έχουν την ικανότητα να προσαρμόζονται και να συνδυάζονται άψογα με το φυσικό περιβάλλον, καθώς υποστηρίζονται και ενισχύονται από την ανάπτυξη των φυτών μεταξύ τους, παρέχοντας φυσική προστασία για τη θηλιά και τις πέτρες. Με την πάροδο του χρόνου, τα συρμάτινα κουτιά γεμίζουν φυσικά με χώμα και ρίζες



φυτών, κάτι που βοηθά στη συγκράτηση των λίθων μαζί και ενισχύει την ευελιξία τους. Επιπλέον, η κατασκευή διπλής στρέψης εξαγωνικού βρόχου των συρματοκιβωτίων εμποδίζει το ξετύλιγμα τους ακόμα και αν κοπούν.

➤ **Ανθεκτικότητα**

Τα συρμάτινα κουτιά είναι εξαιρετικά ανθεκτικά και εύκαμπτα, ικανά να αντέχουν τις δυνάμεις του όγκου του νερού και του εδάφους. Έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε έργα προστασίας και συγκράτησης όχθων ποταμών και ακτών, παραμένοντας ενεργά και λειτουργικά για μεγάλο χρονικό διάστημα, ακόμη και αν ένα τμήμα έχει υποστεί ζημιά. Τα συρματοκιβώτια υποβάλλονται σε αυστηρούς ελέγχους αντίστασης σύμφωνα με τα ASTM A 975-97, EN10 223-3, EN10 244-2 για τις προδιαγραφές προϊόντος και ASTM A641 για το σύρμα που χρησιμοποιείται στην κατασκευή τους.

➤ **Ευελιξία**

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των συρμάτινων κουτιών είναι η εντυπωσιακή ευελιξία τους. Ο σχεδιασμός του εξαγωνικού βρόχου διπλής στρέψης τους επιτρέπει να αντέχουν διάφορες δυνάμεις χωρίς να καταστραφούν, καθώς είναι σε θέση να απορροφούν δυνάμεις από την κατακράτηση του εδάφους και την υδροστατική πίεση.

➤ **Εύκολη Εγκατάσταση**

Η εγκατάστασή τους είναι σχετικά απλή και δεν απαιτεί ειδικευμένο εργατικό δυναμικό. Αυτό συμβάλλει στη μείωση του κόστους κατασκευής.

➤ **Χαμηλό κόστος**

Οι κατασκευές συρματοκιβωτίων παρουσιάζονται ως οικονομικά αποδοτικές λύσεις με εφαρμογές σε διάφορα κατασκευαστικά έργα για πολλούς λόγους. Απαιτείται ελάχιστη προετοιμασία του εδάφους και τα συρμάτινα κουτιά μπορούν εύκολα να συναρμολογηθούν και να τοποθετηθούν από μη ειδικούς. Ο χρόνος συναρμολόγησης και εγκατάστασης είναι ελάχιστος σε σύγκριση με άλλες μεθόδους κατασκευής και η συντήρηση που απαιτείται με την πάροδο του χρόνου είναι ελάχιστη λόγω της αποτελεσματικής απόθησης του εδάφους στα κενά. Σε κατασκευές από συρματοκιβώτια ή ζαρζανέτια δεν χρειάζονται έργα αποστράγγισης καθώς τα φατνία έχουν πόρους που διευκολύνουν τη ροή του νερού. Οι πέτρες που χρησιμοποιούνται για την πλήρωση των συρματοκιβωτίων είναι άμεσα διαθέσιμες από τοπικά λατομεία ή εμπορεύς κοντά στην τοποθεσία του έργου.

➤ **Μείωση Διάβρωσης**

Βοηθούν στη σταθεροποίηση του εδάφους και στη μείωση της διάβρωσης, ειδικά σε περιοχές με έντονα καιρικά φαινόμενα ή σε παραποτάμιες περιοχές.

➤ **Αισθητική ενσωμάτωση με το περιβάλλον**

Τα συρματοκιβώτια προσφέρουν ένα απρόσκοπτο μείγμα με το περιβάλλον και συμβάλλουν στη δημιουργία εξελιγμένων δομών. Σε αντίθεση με τους τοίχους από σκυρόδεμα, που συχνά υφίστανται οξείδωση και αποχρωματισμό λόγω της ροής του νερού, τα συρμάτινα

κουτιά διατηρούν την αρχική τους εμφάνιση και αναπτύσσουν ακόμη και ένα φυσικό κάλυμμα βλάστησης με την πάροδο του χρόνου, διατηρώντας την ομορφιά του τοπίου. (Παπαντωνόπουλος, 2017).



Εικόνα 6.1 Κάλυψη βλάστησης στα συρματοκιβώτια

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Δυστυχώς τα συρματοκιβώτια έχουν πολλά στοιχεία που τα καθιστούν λιγότερο από βέλτιστη επιλογή για δομές αντιστήριξης διαφόρων ειδών. Αυτά τα μειονεκτήματα παρουσιάζουν τα ακόλουθα προβλήματα:

❖ Διαθεσιμότητα υλικού πλήρωσης

Έχουμε λάβει υπόψη ότι το υλικό πλήρωσης για τα συρματοκιβώτια θα πρέπει να προέρχεται κατά το δυνατόν από την περιοχή του έργου. Διαφορετικά, η μεταφορά του υλικού είναι πολύ δύσκολη και πολύπλοκη, άρα δαπανηρή και χρονοβόρα.

❖ Οξείδωση

Το σύρμα που χρησιμοποιείται είτε είναι με πλαστική επικάλυψη είτε με γαλβανισμένο χάλυβα, όταν εκτίθεται σε νερό σκουριάζει και φθείρεται.

❖ Χρονοβόρα κατασκευή

Εφόσον η πλήρωση γίνεται με πέτρες, θα πρέπει να γίνει προσεκτικά από εργατικά χέρια, το οποίο απέχει πολύ από αποτελεσματικό χρόνο παραγωγής.

❖ Ευφλεκτότητα

Σε περίπτωση πυρκαγιάς η πλαστική επένδυση του σύρματος μπορεί να λιώσει το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αστάθεια της δομής και την ευαισθησία του σύρματος σε σκουριά με την πάροδο του χρόνου (Παπαντωνόπουλος, 2017).



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη στη διαμόρφωση οπλισμένων επιχωμάτων έχει επιταχυνθεί σημαντικά, κυρίως λόγω των οριζοντιογραφικών περιορισμών, της ευκολίας κατασκευής, της σχετικής οικονομίας σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους οπλισμένου σκυροδέματος, και της πληθώρας γεωσυνθετικών υλικών διαθέσιμων στην αγορά.

Ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση των οπλισμένων επιχωμάτων βασίζονται στην αντοχή των γεωσυνθετικών υλικών, στις ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται, στις γεωμορφολογικές συνθήκες της περιοχής, και στις απαιτήσεις περιορισμένης χρήσης γης.

Η επένδυση των επιχωμάτων προσφέρει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Αντοχή σε στατικές και σεισμικές δυνάμεις.
- Αντοχή σε μόνιμα φορτία από κυκλοφορία, μικρά τεχνικά έργα.
- Προστασία από φυσικές διαβρώσεις και αποσαθρώσεις.
- Προστασία από χημικές και μικροβιολογικές επιθέσεις, πυρκαγιές, υπεριώδη ακτινοβολία, βανδαλισμούς και προσκρούσεις οχημάτων.
- Ελεγχόμενη κατασκευή με ταχεία και άμεση ενσωμάτωσή της στο περιβάλλον, χρησιμοποιώντας οργανικά γεωπλέγματα και φυτεύσεις.

Τα συστήματα επένδυσης, κυρίως, προέρχονται από βιομηχανική παραγωγή και περιλαμβάνουν προκατασκευασμένα στοιχεία όπως σκυρόδεμα, μεταλλικά πλέγματα, γεωφάσματα και φυσικά εδαφικά υλικά. Η προστατευτική επένδυση συνήθως τοποθετείται και αγκυρώνεται είτε μέσω πλεγμάτων είτε μέσω γεωσυνθετικών υλικών στο κύριο σώμα του χωματουργικού έργου.

Το συρματοκιβώτιο κατασκευάζεται από συρματοπλέγμα διπλής πλέξης και φέρει το σχήμα ενός κουτιού. Ανάλογα το μήκος του μπορεί να έχει στο εσωτερικό του χωρίσματα, συνήθως ανά ένα μέτρο, για την διατήρηση του αρχικού σχήματος του, όταν αυτό γεμίσει από πέτρες. Στις άκρες του συρματοκιβωτίου χρησιμοποιείται πάντα σύρμα ενίσχυσης, το οποίο είναι πιο χοντρό από το πάχος του συρματοπλέγματος.

Οι κυριότερες χρήσεις των συρματοκιβωτίων είναι για την κατασκευή τοίχων αντιστήριξης σε επίπεδες ή κλιμακωτές επιφάνειες, την ενίσχυση πρανών ποταμών και χειμάρρων, την προστασία αναχωμάτων και επικλινών εδαφών. Επίσης, χρησιμοποιούνται και σε διακοσμητικές κατασκευές σε εξωτερικούς χώρους και κήπους.

Τα πλεονεκτήματα ποικίλουν, αφού οι κατασκευές με συρματοκιβώτια είναι ανθεκτικές, σταθερές και δένουν αρμονικά με τον χώρο. Ταυτόχρονα, είναι φιλικές προς το περιβάλλον, αφού καλύπτονται από την φυσική βλάστηση, χωρίς να επηρεάζουν την ανάπτυξή της και διαπερνώνται από το νερό χωρίς να το εγκλωβίζουν.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γιατρά, Π.Χ., 2014. Αντιστηρίξεις εκσκαφών για την κατασκευή τεχνικών έργων. Πτυχιακή εργασία. Α.Τ.Ε.Ι. Πατρών, ΣΤΕΦ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
2. Καββαδάς, Μ., 2005. Στοιχεία Εδαφομηχανικής. Εκδόσεις Ε.Μ. Πολυτεχνείου.
3. Καββαδάς, Μ., 2005. Σημειώσεις Σχεδιασμού Υπόγειων Έργων. Εκδόσεις Ε.Μ. Πολυτεχνείου.
4. Κίρτας Ε., 2010. Θεμελιώσεις - Αντιστηρίξεις.
5. Κουλουκούρας Η., 2011. Έρευνα της αποτελεσματικότητας των εφαρμοσθέντων συστημάτων διευθέτησης των χειμαρρικών ρευμάτων του Ν. Τρικάλων, Μεταπτυχιακή διατριβή, Σχολή δασοπονίας και φυσικού περιβάλλοντος, Α.Π.Θ.
6. Κοφίτσας, Ι., 1997. Στοιχεία Οδοποιίας, Εκδόσεις «ΙΩΝ».
7. Λουπασάκης, Κ., 2015. Σημειώσεις διαλέξεων μαθήματος Βελτίωσης Γεωτεχνικής Συμπεριφοράς Γεωλογικών Σχηματισμών.
8. Μπελόκας Γ., 2015. Τοίχοι αντιστήριξης, Γεωτεχνικά έργα.
9. Μπελόκας, Γ. 2015. Σημειώσεις μαθήματος Γεωτεχνικά Έργα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, ΤΕΙ Αθήνας
10. <https://eclass.teiath.gr/modules/document/file.php/ET200/7.RetainingWalls.pdf>
11. Νάσκος Ν., 2007. Οπλισμένα Επιχώματα - Στοιχεία Σχεδιασμού, Κατασκευής και Ελέγχων Ευστάθειας, Αθήνα, ΤΕΕ.
12. Παντελίδης Λ., 2012. Ευστάθεια πρανών - Κατολισθήσεις. ΠΟΜ 226 Εδαφομηχανική.
13. Παπαντωνόπουλος, Τ., 2017. Αντιστηρίξεις εδαφών με συρματοκιβώτια. Τύποι και μηχανικές ιδιότητες. Πτυχιακή εργασία. Α.Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

14. BS 8006, 2010. Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills. Volume 1: BS 8006-1:2010, October 2010.
15. Budhu, M., 1999. Soil Mechanics and Foundations. John Wiley & Sons Inc. New York, 585 p.
16. Budhu, M., 2011. Soil Mechanics and Foundation. 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
17. Dunn, I. S., Anderson, L. R. & Kiefer, F. W., 1980. Fundamentals of geotechnical analysis. John Wiley & Sons, New York, 414 p.



18. Hunt, R.,1984). Geotechnical engineering investigation manual. McGraw- Hill Book Co., New York, 983 p.
19. Kramer L.S., 1996. Geotechnical earthquake engineering. Prentice-Hall, New Jersey.
20. **www.omikronkappa.gr**, Ιούνιος 2017. http://www.omikronkappa.gr/22-Stuff/04-Erga/04-01-Ektelesmena/04-01_Ektelesmena_GR/geotechnical_GR.pdf
21. www.maccaferri.com. Τελευταία πρόσβαση, Σεπτέμβριος 2024.