

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΕΛΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ
ΑΝΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ ΠΕΤΣΙΝΗΣ
ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΕΙΡΗΝΗ ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ**

ΠΑΤΡΑ 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Από την εποχή που ο άνθρωπος άρχισε να εγκαταλείπει τις έτοιμες εστίες των βράχων και να δημιουργεί δικές του κατασκευές αντιλήφθηκε και τα προβλήματα που δημιουργούνται από τα φυσικά φαινόμενα. Στην αρχή μέσω της παρατήρησης επιχείρησε να βελτιώσει τις κατασκευές του και να τις θωρακίζει. Η συνεχής αυξανόμενες ανάγκες από την άλλη τον οδήγησαν να εφεύρει νέα υλικά και τεχνοτροπίες που βοήθησαν στο έργο του.

Με την πάροδο του χρόνου η ανάγκη για εξειδίκευση στον τομέα αυτό γινόταν ολοένα και μεγαλύτερη έτσι φτάσαμε στον κλάδο του μηχανικού. Οι πρώτοι μηχανικοί ήταν στην πραγματικότητα στρατιωτικοί μηχανικοί, οι οποίοι συνδυάζανε στρατιωτικές και αστικές δεξιότητες. Σε περιόδους πολέμου ήταν υπεύθυνοι για μηχανήματα πολέμου (καταπέλτες, βαλλίστρες, πολιορκητικούς κριούς κ.α.), αλλά και για οχυρώσεις κάστρων και μέτρα προφύλαξης αυτών (τάφρους). Σε περιόδους ειρήνης αντίθετα εκτός από τις οχυρώσεις συμπεριελήφθησαν και σε αστικές δραστηριότητες όπως δρόμους, γέφυρες, υδραγωγεία, κανάλια, ναούς κ.α.

Το σώμα αυτό των μηχανικών ήταν τόσο δραστήριο και επιτυχημένο που αποφασίστηκε να μεταφερθεί η τεχνογνωσία και η εμπειρία στους κλασσικούς ακαδημαϊκούς κύκλους. Ο όρος πολιτικός μηχανικός εισήχθη στην ουσία μετά τους ναπολεόντειους πολέμους. Ήταν δηλαδή μηχανικοί που αποφοιτούσαν από μη στρατιωτικά ιδρύματα. Η συγκέντρωση του πληθυσμού σε αστικά κέντρα άρχισε να δημιουργεί προβλήματα στους μηχανικούς που έπρεπε να επιλύσουν (ύδρευση, αποχέτευση, στατικότητα, σύνδεση περιοχών, προφύλαξη από φυσικά φαινόμενα κ.α.). Η εργασία αυτή θα ασχοληθεί με το τελευταίο, την προφύλαξη δηλαδή των κατασκευών του μηχανικού από φυσικά φαινόμενα και πιο συγκεκριμένα από την διάβρωση του εδάφους και πως την αντιμετωπίζει ο σύγχρονος πολιτικός μηχανικός.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στη διάβρωση του εδάφους καθώς και κάποιους από τους τρόπους αντιμετώπισης. Αρχικά εισάγεται η έννοια του εδάφους καθώς και κάποια στοιχεία γι' αυτό. Στη συνέχεια αναφέρονται οι παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό του εδάφους καθώς και οι 3 κύριες κατηγορίες εδαφών, χαρακτηριστικά αυτών και ο διαχωρισμός τους σε συνεκτικά και μη συνεκτικά. Ακολούθως αναφέρονται οι μορφές εδαφικής υποβάθμισης με χαρακτηριστικά παραδείγματα. Μπαίνοντας στο κυρίως θέμα δίνεται ο ορισμός της εδαφικής διάβρωσης και η διάκρισή της σε αιολική και υδάτινη. Αναλύοντας στη συνέχεια την υδάτινη διάβρωση αναφέρονται οι πιο συνηθισμένες μορφές υδάτινης διάβρωσης. Γίνεται μια γρήγορη αναφορά στη παγκόσμια εξίσωση απώλειας εδάφους καθώς και σε κάποια άλλα μοντέλα πειραματικά και φυσικά υπολογισμού της διάβρωσης. Στο δεύτερο κομμάτι του κυρίως θέματος συναντάμε τους τρόπους αντιμετώπισης της διάβρωσης ξεκινώντας από τα πιο γνωστά και διαδομένα μέχρι τα πιο πρόσφατα και ειδικευμένα. Στην αρχή αναλύονται τα λιθοπληρωμένα συρματοκιβώτια, ακολουθεί η μέθοδος εκτοξευμένου σκυροδέματος, η μέθοδος της υδροσποράς, τα γεωσυνθετικά πλέγματα, οι γεωσυνθετικοί βιοδιασπώμενοι τάπητες, οι μόνιμοι γεωσυνθετικοί τάπητες, οι τρισδιάστατες γεωκυψέλες, το ζεύγος γεωφύλαξης πληρωμένο με σκυροδέμα και τέλος κάποιες από τις πολλές χρήσεις των γεωσωλήνων με παραδείγματα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1 Ορισμός εδάφους	4
1.2 Σχηματισμός του εδάφους.....	4
1.3 Κατηγορίες εδαφών.....	4
1.4 Εδαφική υποβάθμιση	6
ΚΥΡΙΩΣ ΘΕΜΑ	15
2.1 Ορισμός – Γενικά Στοιχεία	15
2.2 Τρόποι Αντιμετώπισης	20
2.2.1 Λιθοπληρωμένα συρματοκιβώτια (Σαραζανέτ)	20
2.2.2 Εκτοξευμένο Σκυρόδεμα (Guniting)	22
2.2.3 Υδροσπορά (hydroseeding).....	23
2.2.4 Γεωσυνθετικά σε συνδυασμό με βλάστηση	26
2.2.5 Γεωσυνθετικά σε συνδυασμό με βαριά μέτρα προστασίας (Hard armor systems).....	29
2.2.6 Γεωσωλήνες (Geotubes).....	31
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	41

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμός εδάφους

Το επιφανειακό (ανώτατο) στρώμα του φλοιού της γης ονομάζεται έδαφος. Έδαφος ορίζεται η στρώση γης από την επιφάνεια έως και 35cm – 50cm βάθος. Το στρώμα κάτω από το έδαφος ονομάζεται Υπέδαφος. Το έδαφος είναι εξαιρετικά σημαντικό για τον άνθρωπο για τον λόγο ότι σε αυτό καλλιεργεί τα προϊόντα του, αλλά το χρησιμοποιεί και για τις κατασκευές που φτιάχνει. Από αυτό παίρνει τις πρώτες ύλες και σε αυτό στηρίζει τις κατασκευές του. Οποιαδήποτε λοιπόν μεταβολή στο έδαφος ή και το υπέδαφος χρήζει έρευνας και μελέτης από τον άνθρωπο. Το έδαφος σχηματίζεται με φυσικό τρόπο από την αποσάθρωση των επιφανειακών πετρωμάτων της γης που συντελείται με την επίδραση ορισμένων παραγόντων όπως οι συνεχείς μεταβολές της θερμοκρασίας, η βροχή, ο άνεμος, οι χημικές αντιδράσεις, οι μικροοργανισμοί, τα ανώτερα φυτά, οι ζωικοί οργανισμοί και αλλά. Ο τρόπος σχηματισμού και εξέλιξης των εδαφών ονομάζεται εδαφογένεση. Το έδαφος είναι ένας φυσικός πόρος που χρειάζεται πάρα πολύ καιρό να δημιουργηθεί. Για να σχηματιστεί ένα εκατοστό έδαφος απαιτούνται δεκάδες χρόνια, μπορεί και ένας αιώνας. Έτσι οποιαδήποτε απώλεια περισσότερο από 1 ton/ha ανά έτος μπορεί να θεωρηθεί ως αμετάκλητη μέσα σε μια χρονική διάρκεια 50-100 ετών. Το έδαφος μπορεί επομένως να θεωρηθεί ως μη ανανεώσιμος πόρος.

1.2 Σχηματισμός του εδάφους

Πέντε παράγοντες θεωρείται πως επηρεάζουν το σχηματισμό του εδάφους:

1. **Το μητρικό υλικό**, το οποίο είναι σχετικά χαλαρό υλικό, το προερχόμενο από την αποσάθρωση των πετρωμάτων και από το οποίο με την επίδραση και των άλλων παραγόντων της εδαφογένεσης, σχηματίζεται το έδαφος.
2. **Το κλίμα**, το οποίο επιδρά στη βλάστηση με τη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις, αλλά και σε άλλους παράγοντες εδαφογένεσης.
3. **Οι ζώντες οργανισμοί**, δηλαδή φυτικοί οργανισμοί, μικροοργανισμοί, μεγάλοι οργανισμοί και άνθρωποι που χρησιμοποιούν τη γη για αγροτικές, δασικές, κτηνοτροφικές, οικιστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες.
4. **Η τοπογραφία της περιοχής**, δηλαδή η μορφολογία του εδάφους.
5. **Ο χρόνος**, δηλαδή η διάρκεια διαδικασίας σχηματισμού του εδάφους που είναι πολύ μεγάλη. Συνήθως για το σχηματισμό ενός στρώματος από χώμα μέσω φυσικών διαδικασιών αποσάθρωσης μητρικών πετρωμάτων χρειάζονται από 100 έως 1000 χρόνια ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος. Για αυτό το λόγο το έδαφος δεν αποτελεί ανανεώσιμο φυσικό πόρο.

1.3 Κατηγορίες εδαφών

Τα ανόργανα στερεά του εδάφους αποτελούνται από τεμαχίδια διαφορετικών μεγεθών και χωρίζονται κυρίως σε τρία κλάσματα μεγεθών:

1. **Άμμος (Sand)** (μέγεθος από 2 mm έως 0,02 mm). Τα εδάφη που χαρακτηρίζονται αμμώδη, το ποσοστό της άμμου είναι μεγαλύτερο από 70% και το ποσοστό της αργίλου είναι μικρότερο από 15%.



Εικόνα 1 Ραγισμένο αμμώδες έδαφος λόγω ξηρασίας. Πηγή: el.wikipedia.org.

2. **Ιλύς (Silt)** (μέγεθος από 0,02 mm έως 0,002 mm). Τα εδάφη όπου υπερέχει συντριπτικά η ιλύς, σε σχέση με την άμμο και την άργιλο, ονομάζονται ιλυώδη.



Εικόνα 2 Ιλυώδες έδαφος. Πηγή: rashidfaridi.files.wordpress.com

3. **Άργιλος (Clay)** (μέγεθος μικρότερο από 0,002 mm). Σε εδάφη όπου η άργιλος είναι μεγαλύτερη από 35% ονομάζονται αργιλώδη. Αυτά έχουν μεγάλη συνεκτικότητα και δύσκολα περνούν μέσα τους βαθιά το νερό, ο ήλιος κι ο αέρας. Το χειμώνα δεν τα διαπερνάει το κρύο, αλλά στην επιφάνειά τους είναι ψυχρά. Το καλοκαίρι κρατούν υγρασία, αλλά στις μεγάλες ζέστες σκάζουν, δημιουργώντας βαθιές ρωγμές.



Εικόνα 3 Αργιλώδες έδαφος. Πηγή: el.wikipedia.org

Τα χαλίκια (με μέγεθος μεγαλύτερο από 2 mm) και η άμμος χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκα εδάφη. Τα χονδρόκοκκα είναι **μη συνεκτικά εδάφη**, δεν υπάρχει συγκόλληση μεταξύ των κόκκων τους. Σε αντίθεση με την ιλύ και τον άργιλο τα οποία χαρακτηρίζονται ως λεπτόκοκκα εδάφη και ανήκουν στα **συνεκτικά εδάφη**, είναι δηλαδή εδάφη με συγκόλληση μεταξύ των κόκκων τους.

1.4 Εδαφική υποβάθμιση

Οι διεργασίες της εδαφικής υποβάθμισης γενικά οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες αλλά μπορεί να είναι και φυσικές διεργασίες οι οποίες όμως επιτείνονται από τις δραστηριότητες αυτές. Η αλλαγή του κλίματος σε συνδυασμό με μεμονωμένα ακραία καιρικά φαινόμενα καθώς και η καταστροφή οικοσυστημάτων λόγω πυρκαγιών παρατηρούνται ολοένα και συχνότερα και αναμένεται ότι έχουν και θα έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο έδαφος.

Οι διαδικασίες εδαφικής υποβάθμισης είναι :

1. η διάβρωση (soil erosion)

Η διάβρωση αποτελεί σύνολο διεργασιών μηχανικού κυρίως χαρακτήρα που περιλαμβάνει αρχικά την απόσπαση του επιφανειακού εδάφους κυρίως και θραυσμάτων από πετρώματα και στη συνέχεια τη μεταφορά τους και την απόθεσή τους σε νέες θέσεις με τη βοήθεια φυσικών παραγόντων (νερό, αέρας, βαρύτητα κ.α.) ως κλαστικά ιζήματα.



Εικόνες 4,5 Αυλακωτή διάβρωση σε διαφορετικούς τύπους εδαφών. Πηγές: agribusinessexpert.blogspot.gr, alaska.usgs.gov



Εικόνα 6 Αυλακωτή διάβρωση σε πρανές σε επαρχιακή οδό Αντιρρίου – Θέρμου. Πηγή: Προσωπικό αρχείο

2. η ελάττωση/υποβάθμιση της οργανικής ουσίας (organic matter loss/degradation)

Η ξηρασία, η έλλειψη χλωρίδας, η έντονη γεωργική παρουσία χωρίς περιόδους αγρανάπαυσης, η χρήση φαρμάκων είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες που συμβάλουν στη μείωση αποθεμάτων οργανικής ουσίας.



Εικόνα 7 Έδαφος φτωχό σε οργανικές ουσίες. Πηγή: 3.bp.blogspot.com

3. η συμπίεση (compaction)

Συμπίεση εδάφους ορίζουμε την μείωση του πορώδους. Όταν δηλαδή τα στερεά συστατικά του εδάφους συμπιέζονται και λιγοστεύουν οι πόροι. Κυριότεροι παράγοντες που ευθύνονται για τη συμπίεση είναι η βροχή η οποία δημιουργεί ένα είδους κρούστας και η χρήση μηχανημάτων βαρέως τύπου.



Εικόνα 8 Συμπιεσμένο έδαφος στην πλατεία Εθνικής Αντίστασης, Πάτρα. Πηγή: Προσωπικό αρχείο



Εικόνα 9 Συμπιεσμένο έδαφος στην πλατεία Εθνικής Αντίστασης, Πάτρα. Πηγή: Προσωπικό αρχείο

4. η αλάτωση (salination)

Η αλάτωση εμφανίζεται εκεί που το μητρικό υλικό είναι πλούσιο σε διαλυτά άλατα ή εκεί που υπάρχει ρηχός αλατούχος υδροφόρος ορίζοντας. Αλατούχα εδάφη παρατηρούνται και σε ξερές περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις δεν επαρκούν να ξεπλύνουν τα διαλυτά άλατα στο έδαφος.



Εικόνα 10 Έδαφος με συσσωρευμένα άλατα στην επιφάνειά του. Πηγή: eusoils.jrc.ec.europa.eu



Εικόνα 11 Υψηλή αλατότητα εδάφους. Πηγή: fytiatriki.blogspot.gr

5. οι κατολισθήσεις (landslides-rockfalls)

Με τον όρο κατολίσθηση εννοούμε την γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος ή εδάφους, στο οποίο το κέντρο μάζας μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω, αποκόπτεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα και μετακινείται σε πιο χαμηλό επίπεδο. Πρωτεύοντα ρόλο στις κατολισθήσεις έχει η βαρύτητα και η συνοχή του εδάφους ή του πετρώματος.



Εικόνα 12 Κατολίσθηση βράχων σε οδό, Καναδάς. Πηγή: en.wikipedia.org



Εικόνα 13 Πτώση βράχων σε οδό, Αϊντάχο. Πηγή: itd.idaho.gov



Εικόνα 14 Ολίσθηση εδάφους σε αυτοκινητόδρομο, Ταϊβάν. Πηγή: media3.washingtonpost.com



The landslide at the cliff top, west of Hoskin's Gap, Barton-on-Sea, 26th January 2009. The separated block of Pleistocene gravel and brickearth has descended further on the curved slip plane. However, it is not rotating with a landward tilt as might be expected, but is moving out seaward, with a gap at the back, and is now beginning to topple. Ian West, T. West & J. Bentley (c) 2009.

Εικόνα 15 Αποκοπή και ολίσθηση γκρεμού σε παραθαλάσσια περιοχή, Σαουθάμπτον. Πηγή: southampton.ac.uk

6. η ρύπανση (contamination)

Με τον όρο ρύπανση του εδάφους εννοούμε την μείωση της ικανότητας του εδαφικού οικοσυστήματος να επιτελέσει τις βασικές του λειτουργίες σαν αποτέλεσμα της εναπόθεσης είτε οργανικών, είτε ανόργανων ουσιών. Η ρύπανση αφορά την ποιότητα του εδάφους και συγκεκριμένα την υποβάθμιση.



Εικόνα 16 Ρύπανση εδάφους λόγω απορριμμάτων, Ηλεία. Πηγή: koutipandoras.gr



Εικόνα 17 Ρύπανση εδάφους λόγω απορριμμάτων, Λάρισα. Πηγή: paidis.com



Εικόνα 18 ΑΗΣ Κοζάνης, Πηγή: kozan.gr

7. η σφράγιση (sealing)

Σφράγιση ονομάζουμε την στεγανοποίηση του εδάφους με αδιαπέραστα για το νερό υλικά όπως τσιμέντο, άσφαλτος κ.α.



Εικόνα 19 Η πιο πυκνοκατοικημένη κοιλάδα στον κόσμο, Μ' Ζαμπ. Πηγή: iefimerida.gr



Εικόνες 20, 21 Η φύση διαρρηγνύει συμπαγείς στρώσεις. Πηγές: bluebig.wordpress.com, perierga.gr

8. μείωση της βιοποικιλότητας (biodiversity decline)

Ως βιοποικιλότητα ορίζεται η ποικιλία των βιολογικών ειδών στα γήινα οικοσυστήματα. Εξαιτίας των ανθρώπινων αναπτυξιακών δραστηριοτήτων, της αποδάσωσης, της ερημοποίησης κλπ. Ένα μεγάλο ποσοστό αυτών των ειδών απειλείται με εξαφάνιση, αν και τέτοιες εξαφανίσεις (σε αρκετά μικρότερους ρυθμούς ωστόσο) αποτελούν και φυσικό φαινόμενο.



Εικόνα 22 Μείωση βιοποικιλότητας. Πηγή: fusionfarms.com

Δύο συχνά συγχεόμενες έννοιες είναι η διάβρωση και η αποσάθρωση. Η διάβρωση χρησιμοποιείται στον κλάδο της ηλεκτροχημείας όσον αφορά τα μέταλλα και τα κράματα μετάλλων. Στην εδαφολογία διάβρωση εννοούμε την μεταφορά υλικών της αποσάθρωσης που υφίσταται το έδαφος. Η αποσάθρωση διακρίνεται σε χημική, φυσική, βιολογική και αφορά την αποκόλληση ή και τον θρυμματισμό του μητρικού πετρώματος. Η διάβρωση εμπεριέχει την έννοια της μεταφοράς του θραυστού υλικού της αποσάθρωσης, μέσω ρευστού μέσου (αέρα και νερό). Η εδαφική διάβρωση αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες μορφές εδαφικής υποβάθμισης γενικά. Συγκεκριμένα για τον μηχανικό η διάβρωση μαζί με την κατολίπωση αποτελούν τα δυο μόνιμα προβλήματα. Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στην **Διάβρωση και στους τρόπους αντιμετώπισης.**

ΚΥΡΙΩΣ ΘΕΜΑ

2.1 Ορισμός – Γενικά Στοιχεία

Διάβρωση ορίζεται ως η παράσυρση κόκκων του εδάφους που βρίσκεται στο ανώτερο στρώμα της γήινης επιφάνειας από το νερό της βροχής ή το άνεμο.

Η Διάβρωση διακρίνεται σε επιμέρους δύο μορφές, την **αιολική διάβρωση** και την **υδάτινη διάβρωση**. Υπάρχει βέβαια και η διάβρωση που προκαλείται από τα ζώα και από τις διάφορες δραστηριότητες χρήσεις γης, οι οποίες όμως μπορούν γενικά να περιγραφούν ως μορφές επιταχυνόμενης διάβρωσης.

Η **αιολική διάβρωση** (wind erosion) αφορά την ταχύτητα που ασκεί πίεση στο έδαφος με αποτέλεσμα να αποσπά τεμάχια ενός συγκεκριμένου μεγέθους (χονδρόκοκκα ιλύς και άμμος). Όταν τα τεμάχια αυτά δεν συγκρατούνται ισχυρά με την παρουσία οργανικής ουσίας, των ριζών ή της αργίλου διαβρώνονται εύκολα.

Όσον αφορά την **υδάτινη διάβρωση** (aquatic erosion) τώρα υπάρχουν αρκετές διακριτές διεργασίες, οι πιο συνηθισμένες είναι :

- Η επιφανειακή διάβρωση ή διάβρωση κατά στρώσεις (rill erosion) μπορεί να θεωρηθεί το πρώτο στάδιο διάβρωσης και περιλαμβάνει την αφαίρεση ενός σχετικά ομοιόμορφου λεπτού στρώματος εδάφους από την επιφάνεια εξαιτίας των βροχοπτώσεων και της επιφανειακής απορροής. Η επιφανειακή διάβρωση ξεκινάει με το χτύπημα της σταγόνας του νερού πάνω στο έδαφος που προκαλεί μια χαλάρωση στη συνοχή των κόκκων του εδάφους. Στη συνέχεια οι κόκκοι μεταφέρονται παρασυρόμενοι από τη ροή του νερού προς τα χαμηλότερα υψόμετρα, όπου συνενώνονται οι επιφανειακές απορροές από τις γειτονικές πλαγίες σε ρεύματα. Η ποσότητα του εδάφους που μπορεί να παρασυρθεί εξαρτάται από:
 1. τα χαρακτηριστικά της δομής και της υφής του εδάφους,
 2. την κλίση του και την μορφολογία του εδάφους,
 3. την ένταση των βροχών και των ανέμων της περιοχής,
 4. από το είδος της βλάστησης (φυτοκάλυψη)



Εικόνα 23 Επιφανειακή διάβρωση σε αγρό Κουήνσλαντ, Αυστραλία. Πηγή: www.qld.gov.au



Εικόνα 24 Επιφανειακή διάβρωση στο έδαφος, Βικτώρια Αυστραλία. Πηγή: geocaching.com

- Η αυλακωτή διάβρωση (grooved erosion) η οποία είναι μια διεργασία διάβρωσης σε επικλινείς περιοχές κατά την οποία δημιουργούνται πολυάριθμα, συνήθως μερικών εκατοστών, αυλάκια κυρίως σε πρόσφατα καλλιεργημένα εδάφη. Εάν δεν ληφθούν μέτρα προστασίας από την αυλακωτή διάβρωση τότε η αυλάκωση εξελίσσεται σε μέγεθος με το σκάψιμο των πρανών και του πυθμένα και δημιουργεί χαράδρα.



Εικόνα 25 Παρατεταμένη διάβρωση οικοπέδου λόγω βροχόπτωσης, Κένυα. Πηγή: waterjournalistsafrika.com



Εικόνα 26 Αυλακωτή διάβρωση σε πάρκο στην Σάντα Τερέζα, Καλιφόρνια, ΗΠΑ. Πηγή: stpfriends.org

- Η χαραδρωτή διάβρωση (gully erosion) είναι μια διεργασία κατά την οποία το νερό συγκεντρώνεται σε χαράδρες, απομακρύνοντας το έδαφος σε σημαντικό βάθος μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Το βάθος μια τυπικής χαραδρωτικής διάβρωσης κυμαίνεται από 0,5 m έως και 25 m. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε συγκεκριμένες συνθήκες και τύπους πετρωμάτων. Η διάβρωση με χαραδρώσεις μπορεί να δημιουργηθεί εξ' αρχής στο έδαφος και να μην αποτελεί εξελικτικό στάδιο της διάβρωσης με αυλακώσεις. Μπορεί να διαμορφωθεί γρηγορότερα με την αποκοπή του εδάφους στην αρχή της διαμορφούμενης χαράδρας. Οι χαράδρες συχνά συγκεντρώνουν το νερό αποστράγγισης από τη λεκάνη απορροής γεγονός που τις καθιστά ιδιαίτερα ασταθείς. Η αυλακωτή και η χαραδρωτή διάβρωση χαρακτηρίζονται ως γραμμική διάβρωση.



Εικόνα 27 Εκτεταμένη χαραδρωτή διάβρωση λόγω νερού. Πηγή: environment11.pbworks.com



Εικόνα 28 Σοβαρή διάβρωση του εδάφους λόγω της αποψίλωσης των δασών στην νότια περιοχή της επαρχίας Τσιενσί, ΛΔΚ. Πηγή: greek.cri.cn

Η γραμμική διάβρωση εμφανίζεται συχνά σε χαρακτηριστικούς τύπους εδαφών. Δηλαδή εμφανίζονται συχνά σε γεωργικά εδάφη που έχουν υποστεί συμπίεση του υπεδάφους και το επιφανειακό έδαφος έχει μικρή συνοχή. Εμφανίζονται επίσης κατά μήκος των πρηνών των

δρόμων. Η γραμμική διάβρωση εξαρτάται από τη συρτική ικανότητα του ρεύματος, δηλαδή την ποσότητα των στερεών υλικών που μπορούν να μεταφερθούν κυλιόμενα στον πυθμένα του ρεύματος. Η γραμμική διάβρωση πραγματοποιείται μόνο όταν η συρτική ικανότητα του ρεύματος είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα των φερτών υλικών που μεταφέρει το ρεύμα. Η συρτική ικανότητα εξαρτάται από:

1. την παροχή του ρεύματος,
2. την κλίση του πυθμένα,
3. την διάμετρο των κόκκων του παρασυρόμενου υλικού

Παγκόσμια Εξίσωση Απώλειας Εδάφους

Η πρόβλεψη του μεγέθους της διάβρωσης καθώς και της υποβάθμισης της παραγωγικότητας των εδαφών δίνεται από μία εμπειρική εξίσωση που υπολογίζει την ποσότητα των εδαφών που χάνεται με την διάβρωση, είναι γνωστή ως <<παγκόσμια ή γενική εξίσωση απώλειας εδάφους (ΠΕΕΑ)>> (Universal Soil Loss Equation, USLE)

$A=R*K*LS*C*P$, όπου

R: Συντελεστής διαβρωτικότητας βροχής (Rainfall erosivity factor)

K: Συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους (Soil erodibility factor)

LS: Συντελεστής ανάγλυφου ή τοπογραφικός συντελεστής (Topographic factor), που αποτελείται από το γινόμενο του μήκους κλιτύος L και του συντελεστή κλίσης κλιτύος S.

C: Συντελεστής φυτοκάλυψης (Vegetation cover factor)

P: Συντελεστής ελέγχου διάβρωσης (Support practice factor).

Η διάβρωση A του τύπου υπολογίζεται ετησίως σε τόνους/εκτάριο (ton/ha). Η εξίσωση προέκυψε πειραματικά από στατιστική επεξεργασία στοιχείων σε καλλιεργούμενες εκτάσεις με μικρές λεκάνες απορροής στις ΗΠΑ και αφορά την αυλακωτή διάβρωση

Εκτός του USLE και των παραλλαγών του (RUSLE και MUSLE), υπάρχουν ευρωπαϊκά μοντέλα εδαφικής απώλειας (Eurosem, Gavrilovic και Kronfellner – Kraus), καθώς και φυσικής βάσης μοντέλα (CREAMS, ANSWERS, WEPP).

Οποιαδήποτε ανθρώπινη δραστηριότητα έχει ως αποτέλεσμα την απότομη και εκτενή διατάραξη του περιβάλλοντος, είτε θελητή (χάραξη δρόμου, υδραυλικές κατασκευές, κτίρια κ.α.), είτε αθέλητη (πυρκαγιά) και χρήζει μελέτη αντιδιαβρωτικής θωράκισης. Συγκεκριμένα η επιφανειακή βλάστηση καταστρέφεται ολοσχερώς με αποτέλεσμα να αποκαλύπτονται μεγάλες επιφάνειες εδάφους οι οποίες εκτίθενται στην επίδραση των παραγόντων του κλίματος. Αποτέλεσμα της έκθεσης αυτής στους παράγοντες του κλίματος και ειδικότερα στο νερό και στον άνεμο είναι η διάβρωση του εδάφους, δηλαδή η αποκόλληση και μεταφορά των σωματιδίων του από την επίδραση του ανέμου ή του νερού. Το πρόβλημα παρουσιάζεται όχι μόνο όπου έχει καταστραφεί η βλάστηση αλλά και στα νεοσχηματιζόμενα πρανή. Η διάβρωση καθυστερεί την εγκατάσταση βλάστησης και ορισμένες φορές την καθιστά και αδύνατη. Αυτό κάνει απαραίτητη την παρέμβαση του ανθρώπου για να σταματήσει το φαινόμενο.

Για να κατανοήσουμε λίγο το μέγεθος της διάβρωσης σύμφωνα με έρευνες η διάβρωση του γεωργικού εδάφους είναι 12,5 φορές μεγαλύτερη από την διάβρωση που υφίσταται στο ίδιο χρονικό διάστημα ένας βοσκότοπος, 100 φορές μεγαλύτερη από τη διάβρωση που υφίσταται έδαφος δάσος πεύκων και 200 φορές μεγαλύτερη από το έδαφος φυλλοβόλων. Σε παγκόσμια κλίμακα κάθε χρόνο περισσότερα από 120.000 Km² παραγωγικής γης χάνονται εξαιτίας της διάβρωσης.

2.2 Τρόποι Αντιμετώπισης

2.2.1 Λιθοπληρωμένα συρματοκιβώτια (Σαραζανέτ)

Τα λιθοπληρωμένα συρματοκιβώτια είναι ένα πολυεργαλείο για τον μηχανικό. Χρησιμοποιείται για σταθεροποίηση και θωράκιση εδαφών με απότομη κλίση, θωράκιση υδατοφραγμάτων και καναλιών, προστασία ακτών, ρύθμιση ροής επιφανειακών υδάτων κ.α. Σε περιοχές κυρίως ραγδαίων και πυκνών βροχοπτώσεων, η επιφάνεια των πρανών δύναται να καλυφθεί από συρματοκιβώτια που εξασφαλίζουν προστασία έναντι διάβρωσης. Πρόκειται για γαλβανισμένο συρματόπλεγμα διπλής στρέψης πάχους 3mm, με βρόγχους σε σχήμα εξαγωνικό με διαστάσεις που ποικίλουν (ανάλογα με τα αδρανή που θα χρησιμοποιηθούν), από 5x7cm μέχρι 8x12cm. Το πλάτος κυμαίνεται από 1m-2m και το ύψος από 0,5m-1m το μήκος διαφέρει ανάλογα με το έργο και φέρει εγκάρσια διαφράγματα συνήθως ανά 1m. Το συρματόπλεγμα του κιβωτίου παλαιότερα απλωνόταν επάνω στο έδαφος και κοβόταν σε ανάπτυγμα ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου. Για λόγους οικονομίας χρόνου στο εργοτάξιο παραγγέλλεται στις επιθυμητές διαστάσεις και φτάνει σε πακέτο δέσμης αρκετών συρματοκιβωτίων. Στη συνέχεια και επιτόπου στο εργοτάξιο υψώνονται οι παράπλευρες έδρες, που είναι γύρω από τη βάση και ράβονται μεταξύ τους σχηματίζοντας τέσσερις κατακόρυφες ακμές. Η έδρα που θα αποτελέσει το κάλυμμα του κιβωτίου παραμένει ανοιχτή. Μετά τη συρραφή των τεσσάρων ακμών το κενό κιβώτιο τοποθετείται στη θέση του στο έργο και ράβεται με τα άλλα κιβώτια που έχουν ήδη τοποθετηθεί. Στη συνέχεια γίνεται η χειρόθετη επιμελημένη λιθοπλήρωση με κροκάλες ή πέτρες με διαστάσεις μεγαλύτερες των διαστάσεων του βρόγχου, έτσι ώστε να μην μπορούν να περάσουν εκτός πλέγματος.



Εικόνα 29 Αποκατάσταση ζημιών πρανούς σε επαρχιακή οδό Ραψάνη, Λάρισα. Πηγή: paidis.com

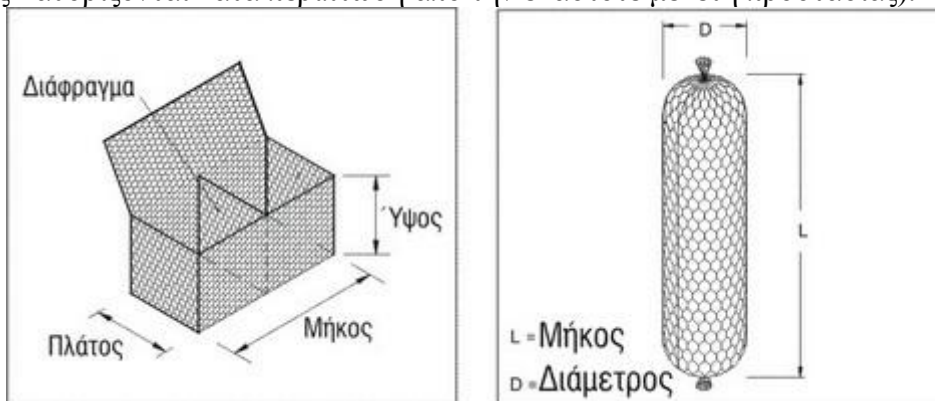
Κατά την λιθοπλήρωση πρέπει οι ακμές να παραμένουν ευθύγραμμες χωρίς παραμορφώσεις. Όταν το κιβώτιο γεμίσει, κλείνει το κάλυμά του και ράβεται με τις αντίστοιχες ακμές του κιβωτίου. Η συρραφή γίνεται με τρόπο ώστε να μην αποτελεί το συρματοκιβώτιο στέρεο πρίσμα, αλλά ολόκληρο το σώμα των συρματόπλεκτων κιβωτίων να αποτελεί εύκαμπτο

συνεκτικό και αδιάσπαστο όγκο. Τα προστατευτικά έργα που κατασκευάζονται με συρματοκιβώτια αποτελούνται από δύο στοιχεία. Την ποδιά ή θεμέλιο και την κύρια προστασία. Η ποδιά κατασκευάζεται επάνω σε οριζοντιωμένη και επίπεδη επιφάνεια συνήθως σε χαμηλότερη από τη στάθμη της κοίτης του ρεύματος και πλατιά ώστε να καλύπτει το τμήμα του εδάφους που κινδυνεύει με υποσκαφή.



Εικόνα 30 Κατασκευή αποστραγγιστικής τάφρου όμβριων υδάτων επαρχιακή οδός Λάρισας-Καρδίτσας. Πηγή: e-thessalia.gr

Το κύριο σώμα τοποθετείται επάνω στην ποδιά συγκρατώντας το πρηνές του αναχώματος για να το προστατέψουν από διάβρωση. Τόσο η ποδιά όσο και το κύριο σώμα αποτελούνται από συρματοκιβώτια συνδεόμενα μεταξύ τους. Παρόμοια χρήση με αυτή των συρματοκιβωτίων έχουν και οι συρματοκύλινδροι. Πρόκειται για κυλίνδρους κατασκευασμένους με εξαγωνικό χαλύβδινο συρματοπλέγμα διπλής πλέξης, διαμέτρου 0,65m – 0,95m και ύψους 2m (οι διαστάσεις καθορίζονται κατά περίπτωση από την εκάστοτε μελέτη προστασίας).



Εικόνα 31 Γραφική απεικόνιση συρματοκιβωτίων και συρματοκύλινδρων. Πηγή: erlikon.gr

Εφαρμόζονται σε επενδύσεις πρανών, για προστασία ποδός, και κοιτοστρώσεις χειμάρρων, ποταμών και άλλων έργων καθώς επίσης και για την υποθεμελίωση κατασκευών από άλλου, καθόσον η ευκαμψία και το σχήμα τους επιτρέπει την ευχερέστερη προσαρμογή στο έδαφος.

2.2.2 Εκτοξευμένο Σκυρόδεμα (Guniting)

Ένας ακόμη τρόπος προστασίας ,είτε προσωρινός είτε μόνιμος, είναι και το εκτοξευμένο σκυρόδεμα (guniting), πρόκειται για σκυρόδεμα υψηλής αντοχής που διαστρώνεται πάνω σε μια επιφάνεια με εκτόξευσή του από ακροφύσιο, ώστε να σχηματίζει στρώση με συνάφεια. Η χρήσεις του ποικίλουν από σταθεροποίηση πρανών και συρράγων μέχρι έργα επισκευής. Τα συστατικά του εκτοξευμένου σκυροδέματος είναι τσιμέντο, αδρανή, νερό, προσθετά, πρόσμικτα και επιταχυντές πήξης αλλά και ίνες χάλυβα, πολυπροπυλενίου ή γυαλιού σε συγκεκριμένες δοσολογίες και προδιαγραφές ανάλογα με τις απαιτήσεις της μελέτης. Κατά τη μέθοδο αυτή το ανάμιγμα μεταφέρεται μέσω μια υδραυλικής διάταξης σωληνώσεων σε ένα συνεχές ρεύμα υψηλής πίεσης αέρα προς το ακροφύσιο και όπου η δύναμη και η ενέργεια μεταφοράς χρησιμοποιείται για την εκτόξευση και συμπίκνωση του αναμίγματος. Υπάρχουν δύο μέθοδοι : Η ξηρή και η υγρή μέθοδος. Κατά την ξηρή μέθοδο το μίγμα παρασκευάζεται επί τόπου στο εργοτάξιο οπου γίνεται η ανάμιξη των ξηρών συστατικών του σκυροδέματος (τσιμέντο, αδρανή) και διοχετεύεται στη μηχανή εκτόξευσης. Η προσθήκη του νερού γίνεται κατά την έξοδο του μίγματος από το ακροφύσιο. Στην υγρή μέθοδο αντίθετα το μίγμα έρχεται έτοιμο στο εργοτάξιο από την μονάδα παραγωγής σκυροδέματος το οποίο περιέχει όλα του τα συστατικά (τσιμέντο, αδρανή, νερό) και στη συνέχεια διοχετεύεται στη μηχανή υγρού guniting και εκτοξεύεται.



Εικόνα 32 Χρήση εκτοξευμένου σκυροδέματος. Πηγή: knowlesindustrial.com



Εικόνα 33 Χρήση αυτόματου μηχανήματος εκτοξευμένου σκυροδέματος. Πηγή: americanshotcreteconstruction.com

Πριν την εκτόξευση απαιτείται προετοιμασία της επιφάνειας από σκόνες σαθρά υλικά κ.α. Στα πλεονεκτήματα του εκτοξευμένου σκυροδέματος είναι ότι έχει πρόσφυση σε μεγάλες κλίσεις ακόμα και κάθετες επιφάνειες, έχει υψηλή αντοχή, επιτυγχάνεται το ίδιο αποτέλεσμα με μικρότερα πάχη μανδύα εκτοξευμένου σκυροδέματος σε σχέση με το έγχυτο (καλουπωτό) σκυρόδεμα, τέλος δεν απαιτείται ξυλότυπος καλουπώματος. Σημαντικό ρόλο στην αντοχή και στην επιτυχία της μεθόδου παίζει ο τρόπος εκτόξευσης για το λόγο αυτό χρειάζεται πεπειραμένο προσωπικό. Η ορθή διάστρωση γίνεται με ελαφρός κυκλικές κινήσεις του ακροφυσίου και κάθετα στην επιφάνεια έτσι ώστε να γίνει όσο το δυνατόν μικρότερη αναπήδηση του μίγματος και των αδρανών. Το τελικό αποτέλεσμα δίνει μια άκαμπτη στρώση σκυροδέματος ικανή να προστατέψει από διάβρωση συγκρατώντας παράλληλα το έδαφος.



Εικόνα 34 Σταθεροποίηση πρανούς με τη βοήθεια εκτοξευμένου σκυροδέματος, Βικτόρια, Αυστραλία. Πηγή: helixsteel.com



Εικόνα 35 Χρήση εκτοξευμένου σκυροδέματος σε ανάχωμα οδού Κάρνλοου, Αγγλία. Πηγή: fpmccann.co.uk

2.2.3 Υδροσπορά (hydroseeding)

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω η επιφανειακή βλάστηση έχει βαρύνουσα σημασία στον έλεγχο της διάβρωσης και της επιφανειακής απορροής. Όπου όμως η φυσική αποκατάσταση είναι βραδεία ή δεν γίνεται ποτέ λόγω απουσίας ευνοϊκών παραγόντων φροντίζουμε να

προστατεύουμε τα πρανή αμέσως μετά την διαμόρφωσή τους με την εγκατάσταση χλοοτάπητα με υδροσπορά. Σύμφωνα με το USDA Soil Conservation Service, 1978 οι εδαφικές απώλειες εξαιτίας της διάβρωσης του νερού μπορούν να μειωθούν εκατονταπλάσια με τη διαχείριση ενός πυκνού χλοοτάπητα, γρασιδιού ή ποώδους βλάστησης. Συγκεκριμένα τα ευεργετικά αποτελέσματα της ποώδους βλάστησης και των γρασιδιών κατά της επιφανειακής διάβρωσης συνοψίζονται στα παρακάτω :

Αναχαίτιση: Το φύλλωμα των φυτών και τα φυτά απορροφούν την ενέργεια της βροχής και εμποδίζουν την απόσπαση και διαμερισμό του εδάφους από την πρόσπτωση των σταγόνων της βροχής.

Ενίσχυση: Το ριζικό σύστημα συνδέει και συγκρατεί τους εδαφικούς κόκκους ενώ το υπέργειο τμήμα φιλτράρει τα εναποτιθέμενα ιζήματα.

Επιβράδυνση: Το υπέργειο τμήμα των φυτών (κλαδιά, φύλλωμα) επιβραδύνει την ταχύτητα του ανέμου και την επιφανειακή απορροή.

Διήθηση: Τα φυτά και τα φυτικά υπολείμματα συμβάλουν στη διατήρηση του πορώδους του εδάφους και της διαπερατότητας , με αυτό τον τρόπο επιβραδύνουν την έναρξη της απορροής και αυξάνουν την διήθηση των νερών.

Οι δυσπρόσιτες επιφάνειες, όπως τα πρανή, στις οποίες δεν είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν με επιτυχία άλλες μέθοδοι σποράς- καλλιέργειας, καθιστούν την υδροσπορά την πιο επιτυχή μέθοδο αναχλόασης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ειδικό εξοπλισμό εκτόξευσης ενός μίγματος που αποτελείται από σπόρους, λίπασμα, υλικά επικάλυψης (mulches), σταθεροποιητή εδάφους και νερό.



Εικόνα 36 Το μίγμα της υδροσποράς αμέσως μετά την εφαρμογή τους σε πρανή της Εγνατίας Οδού. Πηγή: agrohoum.gr

Στην υδροσπορά χρησιμοποιώντας σπόρους κατάλληλων φυτών, επιτυγχάνουμε γρήγορη προστασία των επιφανειών με την δημιουργία χλοοτάπητα ο οποίος σταθεροποιεί με τις ρίζες του την επιφάνεια του εδάφους, ενισχύοντας παράλληλα το άγονο έδαφος με υλικά που δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη μικροβιακής δραστηριότητας με

αποτέλεσμα να εμπλουτιστεί το έδαφος με οργανικά υλικά, αναγκαία για την ύπαρξη χλωρίδας.

Ήσσανος σημασίας είναι και το αισθητικό αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται στο διαταραγμένο από την ανθρώπινη παρέμβαση τοπίο, η συγκράτηση της δημιουργούμενης οργανικής ύλης και η δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για την αναγέννηση της φυσικής χλωρίδας ή πιθανές μελλοντικές φυτεύσεις.



Εικόνα 37 Πρανές πριν και μετά την υδροσπορά στην Εγνατία Οδό. Πηγή: temmuzpeyzaj.com

Όπως κάθε φύτευση έτσι και η υδροσπορά έχει συγκεκριμένο χρόνο εκτέλεσης. Ο πιο κατάλληλος χρόνος για τις ελληνικές συνθήκες είναι οι βροχεροί μήνες Οκτώβρης, Νοέμβρης. Εναλλακτικά μπορεί να πραγματοποιηθεί τέλος Φλεβάρη αρχές Μάρτη ιδιαίτερα σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από δριμείς χειμώνες όπου πέφτει παγετός.

Η μέθοδος της υδροσποράς έχει πραγματοποιηθεί με επιτυχία στην κατασκευή της Εγνατίας Οδού. Για να είναι δυνατή η εκτέλεση των εργασιών οι Ανάδοχοι, η ΕΟΑΕ συνέταξε μια σειρά από προδιαγραφές (Άρθρο 80 ΤΣΥ) και μεθόδους αξιολόγησης της επιτυχίας των αποτελεσμάτων (Άρθρο Β11 ΕΣΥ). Για την σύνταξη των προδιαγραφών χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από εργασία ομάδας εμπειρογνομόνων με συντονιστή τον Καθηγητή του ΑΠΘ κ. Τσαλικίδη, καθώς και ομάδας εμπειρογνομόνων με συντονιστή τον Καθηγητή του ΑΠΘ κ. Β. Παπαναστάση.

Αξιοσημείωτο είναι ότι η σύνθεση του μίγματος των σπόρων που χρησιμοποιείται είναι διαφορετική για κάθε φυτοκοινωνιολογική ζώνη κατά μήκος της Εγνατίας Οδού. Η επιλογή των μιγμάτων για κάθε ζώνη έγινε από ομάδα εμπειρογνομόνων με συντονιστή τον κ. Παπαναστάση στα πλαίσια της εργασίας <<Τρόπος παραγωγής ή εισαγωγής υλικού σπόρων για την αντιδιαβρωτική προστασία και αποκατάσταση του τοπίου της Εγνατίας Οδού>>. Μεγάλη σημασία, εκτός του χρόνου που πραγματοποιείται η υδροσπορά, έχει η ποιότητα, η ποσότητα αλλά και η σωστή ανάμειξη των σπόρων. Η ποσότητα σπόρου είναι περίπου 20 gr/m². Μέχρι σήμερα κατά μήκος της Εγνατίας οδού έχει πραγματοποιηθεί υδροσπορά σε 3000 στρέμματα εκ των οποίων το 44% είναι ορύγματα, ενώ το 56% είναι επιχώματα.



Εικόνα 38 Εφαρμογή υδροσποράς με ειδικό μηχάνημα σε πρανή της Εγνατίας Οδού. Πηγή: agrohoum.gr

2.2.4 Γεωσυνθετικά σε συνδυασμό με βλάστηση

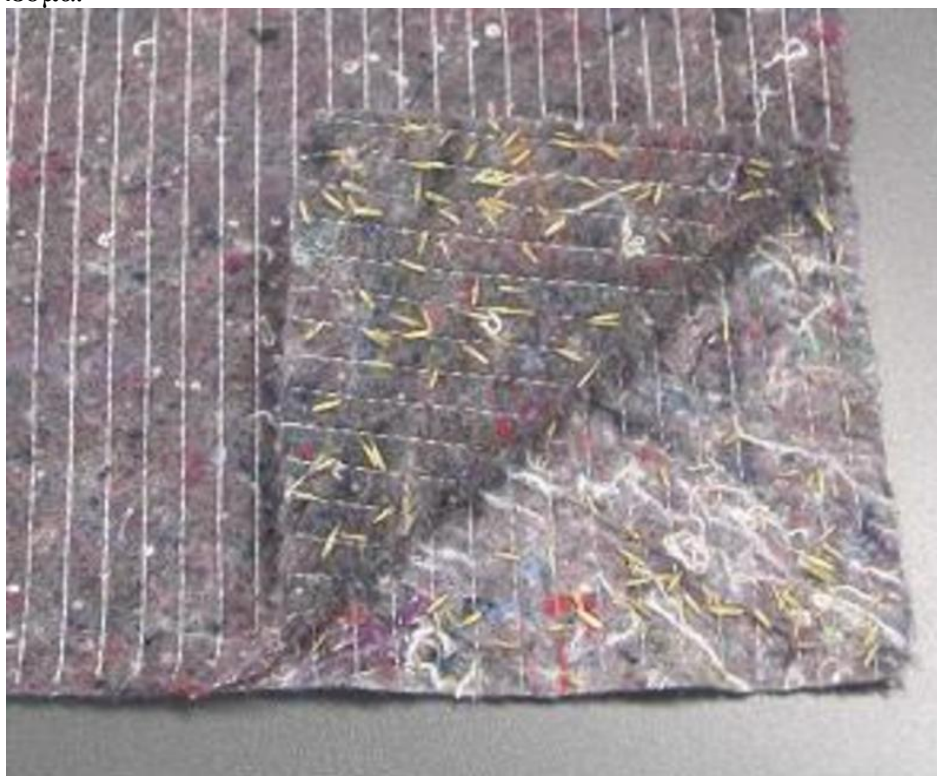
Η χρήση των υλικών αυτών γίνεται κυρίως σε έργα που γίνεται προσπάθεια συγκράτησης του εδάφους σε πρανή με κλίσεις όπου η φύτευση δεν μπορεί να διενεργηθεί τουλάχιστον κατά τα πρώτα κυρίως στάδια. Στην κατηγορία αυτή διακρίνονται τα τρισδιάστατα γεωσυνθετικά πλέγματα, οι βιοδιασπόμενοι τάπητες και οι μόνιμοι γεωσυνθετικοί τάπητες, σε ποικιλία υλικών και σχημάτων αναλόγως αντοχής και χρησιμότητας.

1. **Τρισδιάστατα γεωσυνθετικά πλέγματα** (3-dimensional geogrid) (πάχους περίπου 10mm) αποτελούνται από συνθετικές ίνες πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) οι οποίες έχουν θωρακιστεί μέσω ειδικής επεξεργασίας έναντι της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV-stabilized) και στις χημικές προσβολές που πιθανόν να υποστούν από το έδαφος. Τα γεωσυνθετικά πλέγματα με την τοποθέτησή, λόγω του κυματοειδούς σχήματός τους, τους δημιουργούν ένα τεχνητό ριζικό σύστημα με την παγίδευση σωματιδίων του εδάφους επιτρέποντας έτσι την ανάπτυξη της βλάστησης. Είναι εξαιρετικά πορώδεις (έως 85%) με αποτέλεσμα να επιτρέπουν την πλήρωσή τους με εδαφικό υλικό και ανάπτυξη ριζικού συστήματος εντός αυτών. Η τοποθέτησή τους γίνεται είτε πριν, είτε μετά την διαδικασία της υδραυλικής υδροσποράς. Συχνά συναντάται να τοποθετείται χαλύβδινο πλέγμα και δίχλα ή αγκύρια σε κάρναβο.



Εικόνα 39 Γεωπλέγμα με αγκύριο για σταθεροποίηση. Πηγή: greenfix.co.uk

2. **Τρισδιάστατοι βιοδιασπώμενοι τάπητες** (biodegradable geomats) είναι μη υφαντοί, από 100% ίνες βαμβακιού χωρίς χημικές ουσίες οι οποίοι τοποθετούνται στα πρανή και έχουν στο εσωτερικό τους σπόρους δημιουργώντας ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξή τους για τη δημιουργία ριζικού συστήματος. Μετά από 2-3 χρόνια αποσυντίθενται πλήρως εφόσον έχει αναπτυχθεί η βλάστηση. Οι τρισδιάστατοι γεωσυνθετικοί τάπητες έχουν εξαιρετική αντιδιαβρωτική αντοχή και αισθητικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 40 Φυτεμένος βιοδιασπώμενος γεωτάπητας. Πηγή: geomuanagyag.hu



Εικόνα 41 Εφαρμογή βιοδιασπώμενου γεωτάπητα. Πηγή: geomuanyag.hu

3. **Τρισδιάστατοι γεωσυνθετικοί τάπητες** (geomats) είναι βαρύτεροι και πιο υψηλής απόδοσης τάπητες οι οποίοι κατασκευάζονται από μονόινα πολυαμίδια προγεμισμένα με πίσσα και σκύρα. Λόγω της αντοχής τους χρησιμοποιούνται συνήθως σε κοίτες ποταμών, λιμνών και διωρύγων, όπου χρειάζεται προστασία απευθείας με τη την τοποθέτησή τους, και είναι ανθεκτικό στη δράση του κυματισμού που προκαλούν τα μικρά σκάφη αλλά και σε μεγάλες ταχύτητες ροής. Με την πάροδο του χρόνου επιτρέπει την ανάπτυξη βλάστησης η οποία του μεγιστοποιεί την αντιδιαβρωτική προστασία.



Εικόνα 42 Γεωτάπητας με σκύρα και πίσσα. Πηγή: geomuanyag.hu



Εικόνα 43 Κοίτες ποταμού μετά την εφαρμογή γεωσυνθετικού τάπητα. Πηγή: geomuanpag.hu

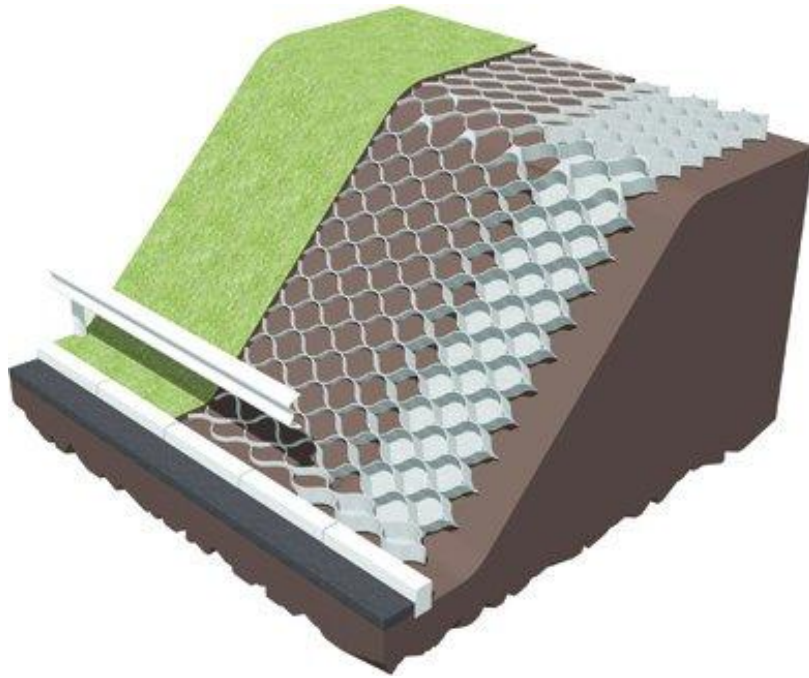
2.2.5 Γεωσυνθετικά σε συνδυασμό με βαριά μέτρα προστασίας (Hard armor systems)

Σε περιπτώσεις που η ανάπτυξη βλάστησης είναι πρακτικά αδύνατη ή οι ανάγκες αντιδιαβρωτικής προστασίας είναι μεγάλες, οι πιθανές λύσεις είναι βαριά και υψηλού κόστους αντιδιαβρωτικά μέτρα. Τα πιο διαδεδομένα μέτρα είναι τα εξής :

1. **Τρισδιάστατες γεωσυνθετικές κυψέλες (Geocellular containment systems)** . Πρόκειται για δομές κυψελοειδούς σχήματος με ύψος κυττάρου που ποικίλει από 75mm έως 100mm. Το υλικό κατασκευής μπορεί να είναι είτε γεώφασμα, είτε μεταλλικό, είτε ακόμα και από πολυαιθυλένιο, ανάλογα πάντα με τις ανάγκες του έργου. Η δομή ανοίγει σαν ακορντεόν καθιστώντας εύκολη τη μεταφορά και την τοποθέτησή του. Η πλήρωση των κυψελών γίνεται είτε με εδαφικό υλικό είτε με σκυρόδεμα, ανάλογα με τις ανάγκες του έργου. Η χρήση των τρισδιάστατων κυψελών σε συνδυασμό με σκυρόδεμα γίνεται και σε πρανή με μεγάλη κλίση όπου θα ήταν απαραίτητη η χρήση προσωρινού ξυλότυπου, σε εδάφη αδιαπέραστα ή βραχώδη όπου η ανάπτυξη της βλάστησης είτε αδύνατη, είτε εξαιρετικά δύσκολη, αλλά και σε καταστάσεις όπου οι ταχύτητες ροής σε κανάλια υπερβαίνουν τα σχετικά όρια (ανάπτυξη υψηλών διατμητικών τάσεων) ή για συνθήκες ανομοιομορφων ροών.



Εικόνα 44 Τρισδιάστατες γεωκυψέλες με φύτευση χλόης. Πηγή: library.tce.gr



Εικόνα 45 Γράφημα για εφαρμογή γεωκυψελών σε πρανές αυτοκινητόδρομου. Πηγή: sigmahellas.gr

2. **Ζεύγος γεωφάσματος πληρωμένο με σκυρόδεμα (Concrete filled geomattresses).** Πρόκειται για στρώμα οι επιφάνειες του οποίου αποτελούνται από μηχανικά υφαντό γεωφάσμα, το οποίο πληρώνεται με τσιμεντοκονία, τα πάχη των οποίων κυμαίνονται από 80mm μέχρι 180mm Το ζεύγος των δυο γεωφασμάτων συνδέεται σε κατάλληλες διαστάσεις κάνναβο. Η χρήση τους βοηθάει στη προστασία του παρόχθιων και παράκτιων περιοχών. Η τοποθέτηση και η έγχυση του σκυροδέματος γίνεται επιτόπου παρέχοντας μια σχετικά οικονομική λύση για την θωράκιση του πρανούς. Παρόμοια είναι και η αρχή λειτουργίας και η μέθοδος αποκατάστασης του εδάφους θεμελίωσης που βρίσκεται εντός υδάτων χωρίς την προσωρινή εκτροπή τους. Σε θεμελιώσεις όπου υπάρχει περίπτωση υποσκαφής η χρήση εύκαμπτων τύπων γεωφάσματος με έγχυση σκυροδέματος αποτελεί μια αποτελεσματική επισκευαστική λύση.



Εικόνα 46 Ζεύγος γεωφάσματος πληρωμένο με σκυρόδεμα. Πηγή: tencate.com



Εικόνα 47 Ζεύγος γεωυφάσματος για την προστασία καναλιού. Πηγή: acegeosyntheticsecopark.com

2.2.6 Γεωσωλήνες (Geotubes)

Η ιδέα των γεωσωλήνων δεν είναι κάτι καινούργιο για τον μηχανικό. Για πολλούς αιώνες πριν τον γεωσωλήνα οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν σάκους πληρωμένους με άμμο για προστασία από διάβρωση και ενίοτε από πλημμύρες. Αρχικά η κατασκευή τους προερχόταν από το φυτό γιούτα ή ιούτα. Το βασικό τους μειονέκτημα είναι η μικρή διάρκεια ζωής τους, λόγω της φυτικής τους σύστασης. Έτσι, κρατώντας την φιλοσοφία των σάκων, εξέλιξαν τα υλικά τα οποία αντικατεστάθησαν με συνθετικά υλικά τα οποία είχαν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες και αντοχή στις καιρικές συνθήκες και τις υπεριώδεις ακτίνες του ηλίου (unstabilized). Η χρήση των γεωσυνθετικών υλικών εν γένει, άρχισε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 στο τομέα του πολιτικού μηχανικού και συνεχίζεται ραγδαία μέχρι σήμερα. Αρχικά η χρήση τους περιοριζόταν ως επί το πλείστον στην ενίσχυση της διατμητικής αντοχής των εδαφών εντός του σώματος των επιχωμάτων, στη πορεία η εξέλιξη των υλικών αυτών έχει διευρύνει τον τομέα εφαρμογής τους. Έχουν αναφερθεί σήμερα περισσότερες από 150 εφαρμογές γεωσυνθετικών υλικών, καθιστώντας το βασικό και αρκετές φορές το μοναδικό τεχνικό εργαλείο για τους μηχανικούς. Η ποικιλία τόσο στους τύπους, όσο και στις επιμέρους ιδιότητες των γεωσυνθετικών υλικών επιτρέπει την πολλαπλή χρήση τους.

Η ανάπτυξη των γεωσυνθετικών υλικών τα τελευταία χρόνια έχει προσφέρει στο μηχανικό ένα σημαντικό εφόδιο για την θωράκιση παράκτιων και παραλίμνιων περιοχών και πιο συγκεκριμένα των γεωσωλήνων. Πρόκειται για αναδιπλούμενα, στη πλειοψηφία τους, γεωυφάσματα με μορφή σωλήνα διαμέτρων έως και 8m και μήκη που ξεπερνούν πολλές φορές τα 20m. Στα ισχυρά πλεονεκτήματα εντάσσονται οι εύκαμπτες λύσεις που προσφέρουν οι γεωσωλήνες, ανταγωνιστική ταχύτητα κατασκευής, χαμηλό κόστος, καθώς και η χρήση διαθέσιμων υλικών επιτόπου για την πλήρωσή τους.

Χρήσεις Γεωσωλήνων:

- 1. Απομάκρυνση νερού (Dewatering):** Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή μιας υδατοστεγής κατασκευής (cofferdam), που την βοήθεια γεωσωλήνων η οποίοι μετά την πλήρωση τους συγκρατούν το νερό έξω από τον χώρο εργασιών δημιουργώντας ένα ασφαλές χώρο εργασιών και απλοποιώντας την κατασκευή. Σε περιπτώσεις που χρειάζεται η κατασκευή ή επισκευή ενός έργου ή τμήματος αυτού το οποίο είναι εντός πλημμυρισμένης περιοχής (λιμενοβραχίονας, βάθρο γέφυρας ποταμού κ.α.), στο οποία είναι δύσκολη είτε αδύνατη η ολική εκτροπή του νερού, τότε το συνεργείο δημιουργεί μια δεξαμενή περιμετρικά του έργου με γεωσωλήνες τοποθετημένες τη μια πάνω στην άλλη τις οποίες γεμίζει με αδρανή ή ακόμα και νερό σε μερικές περιπτώσεις με την βοήθεια υδραυλικής αντλίας και στη συνέχεια αφαιρεί τα εντός της περιμέτρου ύδατα και προβαίνει σε εργασίες κατασκευής ή επισκευής. Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής έναντι των προκατόχων της είναι η ευκαμψία του γεωσωλήνα να εφαρμόζει στον οποιοδήποτε πυθμένα, ο χρόνος και το κόστος της κατασκευής. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η επισκευή γραμμής σωλήνων μέσα σε ποτάμι, κατασκευή κεκλιμένης επιφάνειας για σκάφη, κατασκευή βάθρου γέφυρας, επισκευή κοίτης καναλιού από σκυρόδεμα.



Εικόνα 48 Εκτροπή νερού για την κατασκευή αγωγού, Η.Π.Α. Πηγή: hydrologicalsolutions.com



Εικόνα 49 Εκτροπή νερόν ποταμού για την βελτίωση συνθηκών εργασίας. Πηγή: hydroresponse.com

- 2. Φράγματα (Dams):** Τα φράγματα γενικά μπορεί να χρησιμοποιηθούν κυρίως για ύδρευση, για άρδευση, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για ανάσχεση πλημμύρας ή και συνδυασμός των παραπάνω. Οι γεωσωλήνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την κατασκευή φραγμάτων μικρού μεγέθους και πιθανών για συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων φραγμάτων είναι τα εξής: ρυθμιστικά φράγματα, με σκοπό τον έλεγχο και την πρόληψη της πλημμύρας, καθώς και την ελεγχόμενη παροχέτευση του νερού. Φράγματα ανάσχεσης, με σκοπό την ανάσχεση της ορμής των ρεμάτων επιφανειακής απορροής. Φράγματα εκτροπής, με σκοπό την εκτροπή του νερού, μόνιμο ή προσωρινό, σε προκαθορισμένο χώρο. Ένα παράδειγμα χρήσης γεωσωλήνων σε φράγματα είναι στο ορυχείο El Mojito στην Ονδούρα, έχει μια λιμνοθάλασσα απορριμμάτων η οποία περιέχει μεγάλες ποσότητες μολυσμένου πολτού απορριμμάτων από το ορυχείο. Η περιοχή πάνω από τη λιμνοθάλασσα είναι ασταθής και υπάρχει κίνδυνος ολίσθησης μεγάλης ποσότητας εδάφους και πετρωμάτων σε περίπτωση έντονης βροχόπτωσης. Μια ενδεχόμενη ολίσθηση θα εκτόπιζε μολυσμένα απορρίμματα πάνω από το υπάρχον φράγμα με αποτέλεσμα την ρύπανση μιας περιβαλλοντολογικά ευαίσθητης περιοχής. Για τον λόγο αυτό αφού επενδύθηκε η κοίτη δημιουργήθηκαν δύο μικρά φράγματα τα οποία θα ανέκοπταν την όποια μεταφορά μολυσμένων απορριμμάτων του ορυχείου.



Εικόνα 50 Δημιουργία φράγματος συγκράτησης, ορυχείο Ελ Μοχίτο, Ονδούρα. Πηγή: tierragroupinternational.com



Εικόνα 51 Δημιουργία φραγμάτων στο ορυχείο Ελ Μοχίτο, Ονδούρα. Πηγή: geologicnow.com

3. **Προβλήτες (Jetties)** : Προβλήτα ορίζεται ως η επέκταση της στεριάς στο νερό. Ένα στενόμακρο, φυσικό ή τεχνητό, δηλαδή τμήμα που εισχωρεί μέσα στη θάλασσα, στη λίμνη ή στο ποτάμι. Σκοπός του είναι κυρίως να προσφέρει έναν απάνεμο όρμο και να διευκολύνει το πλεύρισμα των πλοίων και των σκαφών. Συχνά αναφέρεται ως μόλος ή ντόκος (dock). Οι προβλήτες διακρίνονται σε πλωτές και μόνιμες (σταθερές). Το κύριο σώμα των μόνιμων προβλητών μπορεί να κατασκευαστεί από γεωσωλήνες και στη συνέχεια μπορεί να επενδυθεί με άλλα υλικά, χωρίς αυτό να είναι απαραίτητο. Μία τέτοια εφαρμογή γεωσωλήνων έλαβε χώρα στο πολυτελές τουριστικό θέρετρο, Stella Maris στο Εκουαδόρ. Το πρόγραμμα προέβλεπε κατασκευή δύο αντικριστών προβλητών για τη δημιουργία απάνεμου όρμου για την φιλοξενία λουομένων του ξενοδοχείου από τον Ειρηνικό ωκεανό. Η εξαιρετικά γρήγορη και φτηνή επιλογή που πρόσφεραν οι γεωσωλήνες σε συνδυασμό με την έλλειψη βράχων στην περιοχή, για την κατασκευή των προβλητών εξολοκλήρου από αυτούς, έκαναν τη χρήση των γεωσωλήνων απαραίτητη. Μετά τη πλήρωσή τους από άμμο, οι γεωσωλήνες, αποτέλεσαν τον πυρήνα που επενδύθηκε με πέτρες για την μακροβιότητα της κατασκευής.



Εικόνα 52 Κατασκευή προβλήτας στο τουριστικό θέρετρο Στέλλα Μαρίς, Εκουαδόρ. Πηγή: tencate.com



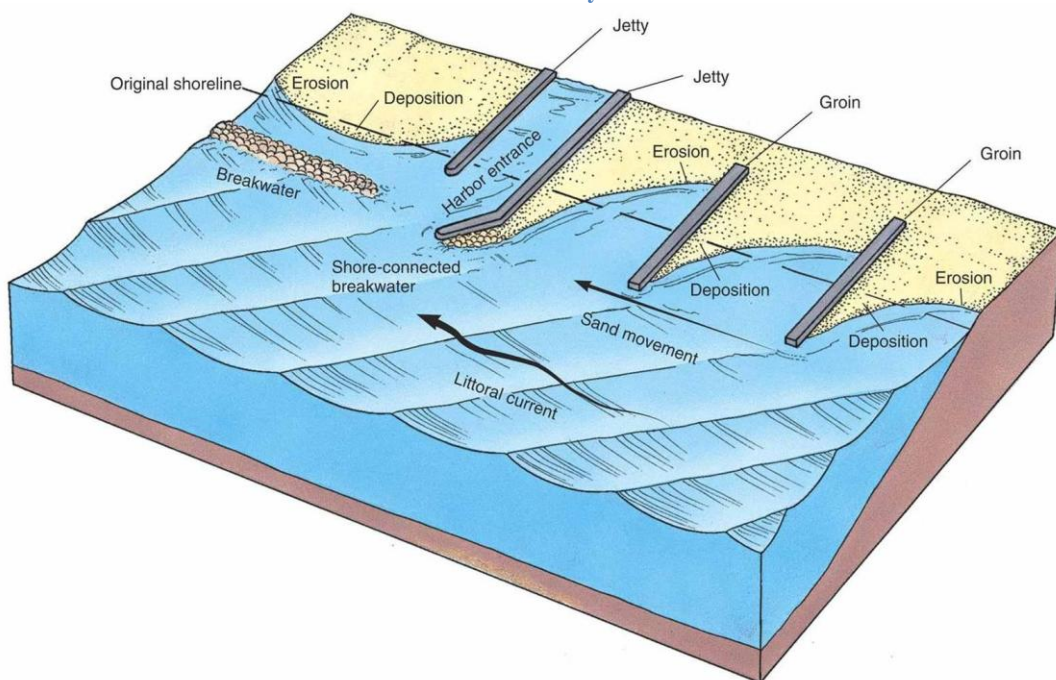
Εικόνα 53 Οι προβλήτες μετά την ολοκλήρωση των εργασιών, Στέλλα Μαρίς, Εκουαδόρ. Πηγή: tencate.com

- 4. Αντιδιαβρωτικοί Πρόβολοι (Groynes):** Η ενέργεια των κυμάτων όταν δεν παράγει ηλεκτρική ενέργεια δημιουργεί προβλήματα στη στεριά. Οι πιθανές λύσεις είναι οι αντιδιαβρωτικοί πρόβολοι, οι κυματοθραύστες ή υποθαλάσσιοι ύφαλοι και η θωράκιση της ακτογραμμής. Σε κοίτες ποταμών αλλά και παραθαλάσσιες περιοχές επιρρεπής σε προβλήματα διάβρωσης της κοίτης τους, έναν εναλλακτικό τρόπο θωράκισης αποτελούν οι πρόβολοι. Οι πρόβολοι αυτοί ορίζονται ως άκαμπτες υδραυλικές δομές που κατασκευάζονται από την ακτή ή από την όχθη ποταμού που διακόπτουν τη ροή του νερού και περιορίζουν την μεταφορά των ιζημάτων παγιδεύοντάς τα. Αρχικά κατασκευάζονταν από ξύλα και κλαδιά, λόγω όμως της ταχείας φθοράς και της ανάγκης επισκευής, τους γρήγορα αντικαταστάθηκαν από πιο βαριά υλικά όπως το σκυρόδεμα, αυξάνοντας κατά πολύ το κόστος. Έτσι οι πρόβολοι από γεωσωλήνες αποτελούν ιδανική λύση αφού το υλικό πλήρωσης του γεωσωλήνα λαμβάνεται επί τόπου ελαχιστοποιώντας έτσι το χρόνο και το κόστος κατασκευής. Η τοποθέτηση προβόλων σε ανοιχτή θάλασσα έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία παραλίας ενώ η τοποθέτησή τους σε ποτάμι έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία νέας κοίτης και φυσικά την προστασία της παλαιάς εξαιτίας της παγίδευσης των φερτών υλών. Οι πρόβολοι αυτοί τοποθετούνται κάθετα ή υπό γωνία, ξεκινώντας από την ξηρά επεκτείνονται στο νερό είτε πλήρως βυθισμένοι, είτε ξεπερνώντας την επιφάνεια του νερού ανάλογα με την περίπτωση και τα

αποτελέσματα της μελέτης. Οι πρόβολοι τοποθετούνται κατά ομάδες και συχνά συνδυάζονται με κυματοθραύστες. Μία χρήση κατασκευής αντιδιαβρωτικών προβόλων πραγματοποιήθηκε στο νησί Bald Head στη Βόρεια Καρολίνα με σκοπό την αντιμετώπιση της διάβρωσης της ακτής. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν γεωσωλήνες περιμέτρου 30 ποδιών και μήκους 300 ποδιών, οι οποίες τοποθετήθηκαν κατά το 1/3 του μήκους στη ακτή και στη συνέχεια πληρώθηκαν με άμμο. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι δύο μόλις μέρες μετά την ολοκλήρωση του έργου η περιοχή επλήγη από τον τυφώνα Francis κατηγορίας 3. Καμία διάβρωση δεν είχε υποστεί η παραλία με τους αντιδιαβρωτικούς προβόλους ενώ αμέσως άρχισε να αυξάνεται το πλάτος της.



Εικόνα 54 Πανοραμική άποψη αντιδιαβρωτικών προβόλων στο νησί Μάλντ Χέντ, Βόρεια Καρολίνα. Πηγή: coastalnewstoday.com



Εικόνα 55 Γραφική απεικόνιση λειτουργίας αντιδιαβρωτικών προβόλων. Πηγή: classconnection.s3.amazonaws.com

5. **Κυματοθραύστες (Breakwater):** Πολλές φορές η δύναμη των κυμάτων προκαλεί πολλά προβλήματα στις ακτές και όχι μόνο. Στη περίπτωση των λιμενικών έργων χρειάζεται προστασία από τα κύματα και τα υποθαλάσσια ρεύματα. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούμε επιμήκεις κατασκευές από ογκώδεις πέτρες και τσιμεντόλιθους που περικλείει το λιμάνι και το προστατεύει από τα κύματα. Εναλλακτικά στην θέση των βράχων την κυματική ενέργεια σταματούν πληρωμένοι γεωσωλήνες. Μια τέτοια

εφαρμογή γεωσωλήνων πραγματοποιήθηκε στο Bahia Principe Tulum στο Μεξικό, όπου για την προστασία και την αύξηση της παραλίας χρησιμοποιήθηκαν γεωσωλήνες, οι οποίοι τοποθετήθηκαν 328 ft από την ακτή σε βάθος από 6 ft μέχρι ½ ft, δημιουργώντας έτσι δύο τεχνητούς υφάλους. Η πλήρωση των γεωσωλήνων έγινε με την βοήθεια δυτών και υδραυλικής αντλίας. Ο λόγος που αποφασίστηκε η δημιουργία τεχνητού υφάλου είναι η αποφυγή διατάραξης του φυσικού περιβάλλοντος, παρόλα αυτά η ενέργεια των κυμάτων διασπάται περνώντας πάνω από τους υφάλους με αποτέλεσμα όταν φτάνει στην ακτή να μη προκαλεί διάβρωση.



Εικόνα 56 Τουριστικό θέρετρο Μάχια Πρίνσιπε, Τουλούμ, Μεξικό. Πηγή: novatech.cl



Εικόνα 57 Κατασκευή κυματοθραύστη από γεωσωλήνες, Καναδάς. Πηγή: flintusa.net

- 6. Προστασία Ακτογραμμής (Coastline Protection):** Χιλιάδες χιλιόμετρα παραλιακών εδαφών χάνονται κάθε χρόνο λόγο της διάβρωσης από τη θάλασσα. Οι γεωσωλήνες έχουν τη δυνατότητα να προφυλάξουν τα παραλιακά εδάφη. Συγκεκριμένα αναπτύσσονται κατά μήκος της παραλίας μπροστά από το προστατευόμενο μέρος είτε αυτό είναι η παραλία είτε κάποιος παραλιακός δρόμος δίπλα στη θάλασσα. Μια τέτοιου είδους εφαρμογή έλαβε χώρα στο νησί Sir Bani Yas στα Η.Α.Ε στον Περσικό κόλπο, όπου για την προστασία του τουριστικού θερέτρου Anantara Resort and Spa χρησιμοποιήθηκαν γεωσωλήνες για την δημιουργία και προστασία της παραλίας. Λόγω της θέσης του πάνω στο νησί (στα βόρεια εκτεθειμένο στην ανοιχτή θάλασσα)

οι προηγούμενες απόπειρες απέτυχαν. Έτσι αποφασίστηκε η χρήση 80 γεωσωλήνων 25 m μήκους 300 ton έκαστος οι οποίοι πληρώθηκαν με άμμο επιτόπου χαμηλώνοντας το κόστος, αποφεύγοντας την μεταφορά βράχων, αλλά και την αισθητική παραφωνία σε σχέση με το περιβάλλον. Η σχεδίαση μιμείται ένα φυσικό ύφαλο ο οποίος "σπάει" τα κύματα και προστατεύεται τη παραλία. Η δομή των γεωσωλήνων προσφέρει ένα υπόστρωμα για τα φύκια και υδροβιότοπο για ψάρια και μαλακόστρακα.



Εικόνα 58 Χρήση γεωσωλήνων για την προστασία της παραλίας στο νησί Σιρ Μπάνι Γιάς, Η.Α.Ε. Πηγή: ecocoast.com



Εικόνα 59 Αποψη τοποθέτησης γεωσωλήνων στο νησί Σιρ Μπάνι Γιάς, Η.Α.Ε. Πηγή: ecocoast.com

7. **Έγχειρες Βελτιώσεις (Land Reclamation):** Η υπέρτατη χρήση των γεωσωλήνων είναι η έγχειρες βελτιώσεις. Πρόκειται στην πραγματικότητα για επέκταση εδάφους μέσα

στη θάλασσα, ακόμα και την δημιουργία νησιού από το μηδέν. Ένα από τα χαρακτηριστικότερα παραδείγματα της συγκεκριμένης χρήσης γεωσωλήνων είναι το τεχνητό σύμπλεγμα νησιών, στον περσικό κόλπο, Amwaj. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα βασικό στοιχείο για τη δημιουργία των νησιών αποτέλεσε η χρήση γεωσωλήνων περιμετρικά των νησιών για την κατασκευή των οποίων χρειάστηκαν 12 εκατομμύρια κυβικά μέτρα άμμου. Η εταιρία Osis Developers Property είναι υπεύθυνη για εγγειοβελτιωτικά έργα 2,79 εκατομμυρίων τετραγωνικών μέτρων στην θαλάσσια περιοχή βορειοανατολικά του νησιού Muharraq του βασιλείου του Μπαχρέιν. Μηχανικοί ακόμα από την TC Nicolon Corporation από τις ΗΠΑ και την Ολλανδία ήταν υπεύθυνοι για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση της πλήρωσης των γεωσωλήνων περιμετρικά του νησιών αλλά και την προστασία αυτών. Η προστασία περιλάμβανε υποθαλάσσιους υφάλους και κυματοθραύστες με σχεδιασμό για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 50 ετών. Το σύμπλεγμα νησιών περιλαμβάνει κατοικίες, ξενοδοχειακές μονάδες, σχολείο, πανεπιστήμιο, νοσοκομείο, θεματικά πάρκα, μαρίνες κ.α. Η πρώτη φάση περιλάμβανε την αγορά της έκτασης, κόστους 70 εκατομμυρίων δολαρίων, την ανάπτυξη του εδάφους, κόστους 80 εκατομμυρίων δολαρίων, και απρόβλεπτα έξοδα, κόστους 8,2 εκατομμυρίων δολαρίων. Η δεύτερη φάση περιελάμβανε την δημιουργία υποδομών όπως ύδρευση, αποχέτευση, ρευματοδότηση κ.α. Η τρίτη φάση αφορούσε την ανάπτυξη των κτιρίων. Σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρία ο λόγος που χρησιμοποιήθηκαν οι γεωσωλήνες, έναντι άλλων κλασικών μεθόδων, είναι η μείωση του κόστους στο μισό και οι μειωμένες περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.



Εικόνα 60 Πανοραμική άποψη συμπλέγματος νησιών Άμζα, Μπαχρέιν. Πηγή: meritasholding.com



Εικόνα 61 Άποψη συμπλέγματος νησιών Άμζα στη φάση κατασκευής, Μπαχρέιν. Πηγή: geologicnow.com

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι οι εφαρμογές γεωσωλήνων, στο εξωτερικό (Ντουμπάι, Κύπρος, Μεξικό κ.α.) σε μόνιμες κατασκευές προστασίας παραθαλάσσιων ακτών (ύφαλοι κυματοθραύστες) , έχουν δείξει ότι δεν υπάρχουν περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις, αντιθέτως οι γεωσωλήνες καλύφθηκαν πλήρως με βλάστηση και ενσωματώθηκαν στο περιβάλλον του πυθμένα μέσα σε διάστημα 2 μηνών από την τοποθέτησή τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- http://utopia.duth.gr/~kbellos/SHMEIOSEIS_MATHIMATON/YDROLOGIA/KEFALAI_O%207.pdf
- <http://users.auth.gr/vmarios/courses/RiverEngineering/CH10-ERGA.pdf>
- <http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/tex2/2014/dialexis.pdf>
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%88%CE%B4%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%82>
- <http://agroboard.blogspot.gr/2012/12/h-t.html>
- http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/Leaflets/B1_Leaflet_GR.pdf
- <http://agribusinessexpert.blogspot.gr/2012/07/soil-erosion.html>
- <http://www.epidomos.gr/page.php?id=47>
- <http://www.panmetal.gr/pdf/Texnikos%20fakelos%202009.pdf>
- http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%A4%CF%8D%CF%80%CE%BF%CE%B9_%CE%B5%CE%B4%CE%B1%CF%86%CF%8E%CE%BD
- <http://users.ntua.gr/mgsakel/Classification.pdf>
- eclass.uth.gr/eclass/modules/document/Εργαστήριο-Κοκκομετρία.doc

Ξένη βιβλιογραφία:

- <http://www.slideshare.net/gdo/ss-7909688>
- www.gowatersolve.com/downloads/GeoAmericas_2008_Mastin_and_Lebster_Use_of_Geotube_Dewat.pdf
- www.geologicnow.com/9_Dredge.php
- <http://www.tencate.com/amer/geosynthetics/solutions/marine-structures/applications/breakwaters/default.aspx>
- <http://www.acegeosyntheticsecopark.com/>
- <http://www.geotec.biz/publications/Amwaj%20Islands%20Constucted%20with%20Geotubes.pdf>
- <http://www.tencate.com/txtures/spring-2010/TenCate-Geotube-technology-in-Honduras.aspx>
- <http://www.envirotechinnovations.com/Products.html>
- <http://www.hydrologicalsolutions.com/cofferdam/hydrological-solutions-gives-back/>
- <http://www.hydrologicalsolutions.com/tag/water-dams/>
- <http://www.damitdams.com/water-filled-cofferdam.php>
- <http://www.marinet.org.uk/campaign-article/why-canute-failed>
- <http://ecocoast.com/projects/#>
- <http://www.tencate.com/amer/geosynthetics/solutions/marine-structures/applications/Jetties-Groynes/bald-head-island-north-carolina/default.aspx>
- http://www.tencate.com/es/lam/Images/bro_containment0207_tcm30-9909.pdf
- <http://www.tencate.com/amer/geosynthetics/solutions/marine-structures/applications/Jetties-Groynes/bald-head-island-north-carolina/default.aspx>
- <http://ecocoast.com/projects/#modal15>