

# Υποθαλάσσια τοποθέτηση γεωσωλήνων για την αποκατάσταση και προστασία αμμώδους παραλίας στο Λαγονήσι Αττικής.

Under water placement of geotubes for the rehabilitation and preservation of a sandy beach in Lagonisi of Attika.

ΖΑΛΑΧΩΡΗ Ε. Υδροβιολόγος-Περιβαλλοντολόγος MSc, Univers of Wales, UK, Geoactions ΕΠΕ  
KIEVIT J.J Μηχανολόγος, Univers of Enchede ,NL, Τεχνικός Διευθυντής Geoactions ΕΠΕ

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Η διάβρωση αμμώδους παραλίας πολυτελούς ξενοδοχείου του Λαγονησίου αντιμετωπίστηκε με την, μετά από βαθυμετρική μελέτη, υποθαλάσσια τοποθέτηση κυλινδρικών κατασκευών από υφαντό γεωύφασμα ( γεωσωλήνες ) σε επιλεγείσες θέσεις και σχηματισμούς .Οι γεωσωλήνες πληρώθηκαν υδραυλικά με άμμο ,υποβρυχίως με τη βοήθεια δυτών και αντλίας – venturi. Μετά το στράγγισμα των νερών από τους πόρους τους γεωυφάσματος παρέμεινε ένας ύφαλος κυματοθραύστης, υψηλής αντοχής, που ενθάρρυνε την σταδιακή συσσώρευση της άμμου πίσω από αυτόν, αποκαθιστώντας τελικά την διαβρωμένη παραλία. Οι γεωσωλήνες καλύφθηκαν γρήγορα με βλάστηση που προσέλκυσε τους ιχθυοπληθυσμούς όπως ακριβώς οι κοραλλιογενείς ύφαλοι.

**ABSTRACT :** The eroded beach of an A class Hotel beach in the Lagonissi peninsula, has been treated by the underwater placement of woven geotextile cylinders (geotubes), in selected areas and lines indicated through a bathymetry survey. The geotubes were filled hydraulically by divers using underwater pumps. The sand being dewatered through the woven geotextile pores, a steady underwater construction has been left behind to act as submerged breakwater, blocking the drifting of the sand by the waves. Sand sedimentation has followed, behind the geotube, gradually building up the eroded beach. Quick vegetation of the geotube has also followed, attracting the fish populations just like coral reefs are doing.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εποχιακά υψηλοί κυματισμοί σε συνδυασμό τις συχνά ρηχές αμμώδεις εκτάσεις στις παράκτιες ζώνες της Ελλάδας αποτελούν υπόβαθρο για την δημιουργία σοβαρών προβλημάτων διάβρωσης, όταν γίνονται επεμβάσεις με τεχνικά έργα χωρίς σωστές μελέτες (π.χ προβλήτες, αλιευτικά καταφύγια, κυματοθραύστες, πρόβολοι).

Γνωστές παραλίες των νησιών αλλά και της κυρίως χώρας ( π.χ Σαντορίνη, Ρόδος) απογυμνώνονται σταδιακά από την άμμο, με άμεσες αρνητικές συνέπειες τόσο στον τουρισμό, όσο και στους κατοίκους των περιοχών αφού απειλούν τις παράκτιες ιδιοκτησίες.

Η GEOACTIONS ΕΠΕ προτείνει την ανάπλαση των διαβρωμένων ακτών με τη τοποθέτηση ύφαλων κυματοθραυστών σε βάθος 1,20-1,50 m περίπου από την επιφάνεια της θάλασσας, κατασκευασμένων από γεωσωλήνες, (geotubes®), που θα αποκλείουν την παραλιακή ρηχή ζώνη από

άκρη σε άκρη, με συνεχόμενες ή διακοπτόμενες γραμμές.

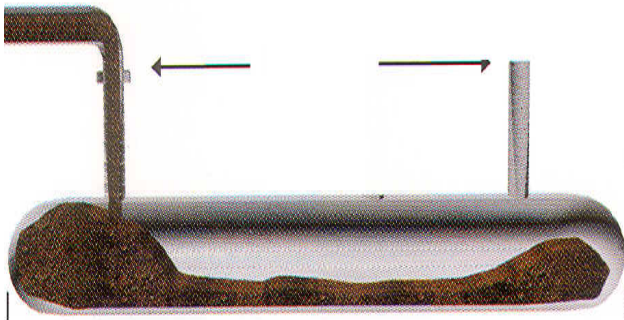
Βασικός παράγοντας επιτυχίας της μεθόδου είναι η ακριβής μελέτη που θα οδηγήσει στη σωστή επιλογή γεωυφάσματος, ανάλογα με το ίζημα και τις επικρατούντες συνθήκες και τον σωστό σχεδιασμό, (διαστάσεις γεωσωλήνων, αριθμός & γραμμές τοποθέτησης). Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία τοποθέτησης γεωσωλήνων σε έργο αποκατάστασης και προστασίας αμμώδους παραλίας πολυτελούς ξενοδοχείου στη χερσόνησο Λαγονησίου.

## 2. ΓΕΩΣΩΛΗΝΕΣ-ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 2.1 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ & ΔΟΜΗ

Με καταγεγραμμένη ονομασία Geotubes®, οι γεωσωλήνες είναι τμήμα μίας νέας Ολλανδικής τεχνολογίας που εισάγει τη χρήση ελαστικών κυλίνδρων με υποδοχείς, κατασκευασμένους από φύλλα μηχανικής

ύφανσης ινών με βάση το πολυπροπυλένιο ή τον πολυεστέρα, τα οποία επιτρέπουν τη « συσκευασία » και γρήγορη αφυδάτωση συνεκτικών και μη συνεκτικών υλικών.



Σχήμα 1. Δομή Γεωσωλήνα  
Figure 1. Geotube structure.

**Η πρώτη ύλη :** οι ίνες με βάση το πολυπροπυλένιο ή τον πολυεστέρα, είναι χημικά αδρανές υλικό σε αλκαλικά και οξέα και για αυτό προσδίδει στο γεωύφασμα αξιόπιστη και μακροχρόνια αντοχή ενώ είναι απολύτως ανακυκλώσιμο. Στο συγκεκριμένο έργο επιλέχτηκε πολυπροπυλένιο.

**Η επεξεργασία της πρώτης ύλης:** τα νήματα είναι επεξεργασμένα με ειδικά πρόσθετα διαρκείας ώστε να εξασφαλιστεί το προσδόκιμο σε θαλάσσιο ή χερσαίο περιβάλλον σε πάνω από 200 έτη.

**Η επιλογή τύπου υφαντού γεωυφάσματος :** η αντοχή και ο τελικός τύπος του GEOLON που θα χρησιμοποιηθεί στους γεωσωλήνες ενός έργου , καθώς και η επιλογή ως υλικού πολυπροπυλενίου ή πολυεστέρα , υπολογίζεται σε ειδικό software ανάλογα με τη φύση του έργου, τη σύσταση του υποστρώματος και τις σεισμογραφικές συνθήκες που επικρατούν.

Τα φύλλα υφαίνονται με πόρους διαφορετικού διαμετρήματος , ανάλογα με το υλικό που διαχειρίζονται. Κατασκευάζονται σύμφωνα με τις απαιτούμενες διαστάσεις του κάθε έργου. Οι διαστάσεις μπορούν να ποικίλουν μεταξύ 1 και 25 μέτρων χωρίς όρια στο μήκος. Συνιστώνται πάντως, για την ευκολία τοποθέτησης , μονάδες γεωσωλήνων μήκους 25-120m και διαμέτρου μέχρι 11m. Οι γεωσωλήνες γεμίζονται μέχρι το 70%-90% της χωρητικότητάς τους, ανάλογα με το επιθυμητό τελικό σχήμα.

Στο συγκεκριμένο έργο επιλέχτηκε GEOLON PP 120S , δηλαδή πολυπροπυλένιο με δύναμη εφελκυσμού 120 kN/m και στις δύο κατευθύνσεις και ροή νερού 0,008m/sec.

## 2.2 ΤΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΩΝ ΓΕΩΣΩΛΗΝΩΝ

Από τις αρχές της δεκαετίας του ' 50, τα γεωυφάσματα, άρχισαν να χρησιμοποιούνται ως νέες και πρωτότυπες λύσεις σε ένα ευρύ φάσμα χερσαίων και παράκτιων μηχανικών-υδραυλικών εφαρμογών . Η διαδικασία αυτή ξεκίνησε με την χρήση τους σε υδραυλικές υποδομές για την αντιμετώπιση των μεγάλων καταστροφών που προκαλούσαν οι συχνές ισχυρές καταιγίδες στις εκτεθειμένες περιοχές της Ολλανδικής παράκτιας ζώνης.

Τα γεωυφάσματα θεωρούνται ιδανικά για έργα στην παράκτια ζώνη όπου τα φυσικά υλικά είναι κυρίως άμμος και άλλα χαλαρά υλικά και στις περισσότερες περιπτώσεις έργου πρέπει ούτως ή άλλως να γίνουν εκσκαφές για να δημιουργηθεί χώρος για τη θεμελίωση του.

Λόγω της χαμηλής συνεκτικότητάς τους τα προϊόντα εκσκαφής θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν μόνον εάν ήταν δυνατή η «συσκευασία» τους μέσα σε πιο συνεκτικές δομές. Η απάντηση σε αυτό το πρόβλημα ήταν τα γεωυφάσματα.

Έτσι με τη χρήση αυτών των υφαντών προϊόντων πολυπροπυλενίου συνεκτικά και μη συνεκτικά υλικά μπορούν να « συσκευαστούν » και να χρησιμοποιηθούν σαν υπόβαθρο ή δομικό υλικό στην κατασκευή παράκτιων έργων όπως προβλήτες, αναχώματα κλπ. Αποτελούν δε τον πιο εύκολο τρόπο για την κατασκευή έργων μεγάλης κλίμακας με ήπιες ή/και απότομες κλίσεις κάτω από το νερό.

Στο σκεπτικό αυτό στηρίχτηκε η κατασκευή, από την Ten Cate Geosynthetics, των «γεωσυστημάτων» Geobags , Geotubes και Geocontainers στην περίοδο 1985-1990, προσφέροντας έτσι καινοτόμες λύσεις σε έργα της παράκτιας ζώνης, όπου απαιτείται η γρήγορη και σταθερή δημιουργία κυματοθραύστη , αναχώματος , προβλήτας , η σκελετού τεχνητής νησίδας .

## 3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ

### 3.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΓΟΥ

Σε συνεργασία με τον Μελετητή του Έργου ερευνήθηκαν οι λόγοι της διάβρωσης της ακτής στην δυτική πλευρά της Χερσονήσου Λαγονησίου, που είχαν απογυμνώσει τις παραλίες του Ξενοδοχείου.

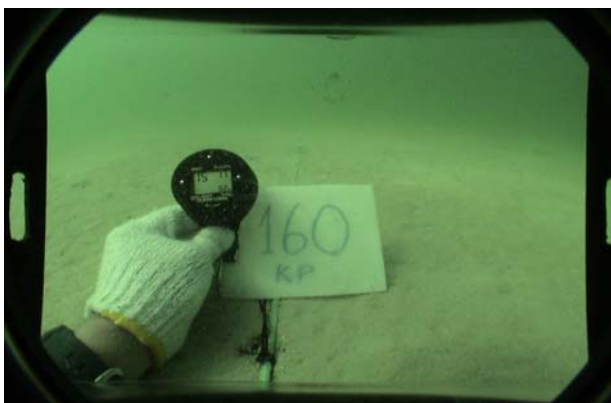
Σχεδιάστηκε κατ αρχήν σε βαθυμετρικό χάρτη η κατά προσέγγιση γραμμή τοποθέτησης των γεωσωλήνων ως ύφαλα

εμπόδια , λαμβάνοντας υπ' όψη τη γεωμορφολογία του πυθμένα, τις ισοβαθείς, την ένταση και κατεύθυνση ανέμων και θαλασσιών ρευμάτων και τέλος την παλίρροια και το ύψος κύματος.

### 3.2 ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΔΙΟΥ-ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ

Ακολούθησε βαθυμετρία της περιοχής από εμπειρους του κλάδου και σε νέα συνεργασία με τον Μελετητή του έργου έγινε η λεπτομερής χάραξη των γραμμών και του βάθους τοποθέτησης των γεωσωλήνων.

Εδώ σημειώνεται ότι όταν τα δεδομένα δεν επαρκούν γίνονται υποβρύχιες δοκιμές για τον ακριβέστερο προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν τη μετακίνηση της άμμου.



Φωτογραφία 1. Χάραξη γραμμής τοποθέτησης  
Photo 1. The lining of geotubes.

Μετά από την ανάλυση του ιζήματος και με βάση τα αποτελέσματα της παραπάνω προεργασίας έγινε η παραγγελία τριών γεωσωλήνων από πολυπροπυλένιο Geolon PP120S σε μήκη 100m ,170m, 80m και αντίστοιχα και διαμέτρου 3,5m. Οι γεωσωλήνες γεμίστηκαν στο 85% της συνολικής χωρητικότητας ώστε στη τελική μορφή τους να έχουν ελλειψοειδή μορφή με πλάτος της βάσης τα 4m και ύψος τα 2,40-2,60m, αφήνοντας τουλάχιστον 1,5m άνωθεν για τη διέλευση των λουομένων.

### 3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ

Οι γεωσωλήνες ξετυλίχθηκαν και καλύφθηκαν με «κάλτσα προστασίας» από υφαντό γεωύφασμα πολυπροπυλενίου για την προστασία τους από αιχμηρά αντικείμενα. Στη συνέχεια μεταφέρθηκαν με πλωτή εξέδρα στο σημείο τοποθέτησης.

Η τοποθέτηση στον πυθμένα έγινε από δύο ειδικά εκπαιδευμένους δύτες, πάνω ακριβώς στη χάραξη που έχει προηγηθεί. Χρησιμοποιήθηκαν πρόχειρες άγκυρες για τη στήριξή τους στον πυθμένα μέσα από λούπες που είναι ραμμένες στο γεωύφασμα ώστε να μην μετακινούνται κατά την πλήρωση. Στη συνέχεια άρχισε η άντληση υδαρούς άμμου από το άμεσο περιβάλλον, στο οποίο είχε ήδη μεταφερθεί και αποτεθεί για το σκοπό αυτό.

Αρχικά είχε προγραμματιστεί η πλήρωση να γίνει με πλωτή βυθοκόρο, όπου οι γεωσωλήνες θα γεμίζονταν οι κατ' ευθείαν από τον χώρο εκσκαφής μέσα από τα ενσωματωμένα σωληνοειδή ανοίγματα που συνδέονται με τη σωληναρία της πλωτής βυθοκόρου.

Λόγω σχετικής απαγόρευσης από το Λιμεναρχείο η πλήρωση έγινε με φυγόκεντρο φορητή αντλία

Η φορητή αντλία άμμου τοποθετήθηκε πάνω σε πλωτή πλατφόρμα με εξωλέμβια μηχανή την οποία χειρίζονταν δύο εργάτες στην εκάστοτε θέση εργασίας. Οι γεωσωλήνες γεμίζονταν με τη σωληναρία της αντλίας την οποία εφάρμοζαν οι δύτες υποβρυχίως στα στόμιά τους.

Το σύστημα venturi ήταν απαραίτητο για να εξασφαλίζεται η ισοκατανομή της άμμου. Σε αυτό βοηθά και η κατασκευή αρκετών «στομίων εισόδου » πάνω στο γεωσωλήνα , ανάλογα με το μήκος του.

Κατά την άντληση της υδαρούς άμμου τα νερά αποστραγγίζονταν άμεσα από τους πόρους του γεωυφάσματος. Η πλήρης αποστράγγιση ολοκληρωνότανε στη διάρκεια της νύχτας όταν αφήνονταν σε ηρεμία. Ακολουθούσε η άντληση την επόμενη ημέρα μέχρι όπου έφτασαν σταδιακά οι γεωσωλήνες στο επιθυμητό σημείο πλήρωσης όπου καθίσταντο πλέον σταθερά δομικά στοιχεία και λειτουργούσαν ως ύφαλοι κυματοθραύστες.

### 3.4 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Χρησιμοποιήθηκαν :

1) Πλωτή εξέδρα διαστάσεων 10mX 4m με εξωλέμβια μηχανή 25Hp και μικρό γερανό για τη μεταφορά και τοποθέτηση των γεωσωλήνων στο νερό. Επάνω στη

πλατφόρμα σταθεροποιήθηκε η αντλία και ενώθηκε η σωληναρία της.

2) Φυγόκεντρος αντλία απόδοσης 175m<sup>3</sup> νερού /ώρα και πίεσης 10bar και σωληναρία μήκους 100m η οποία συνδέθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζει σύστημα venturi.

3) Άγκυρες, σχοινιά κλπ για την προσωρινή σταθεροποίηση των γεωσωλήνων μέχρι την πλήρωσή τους.

#### 4.ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με την ολοκλήρωση του έργου επισημάνθηκαν τα εξής σημεία ως βασικοί παράγοντες επιτυχίας του έργου:

- Η σωστή μελετητική προσέγγιση του έργου και τα αξιόπιστα στοιχεία βαθυμετρίας , υδρολογικών- κλιματολογικών συνθηκών.
- Η επιλογή του κατάλληλου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού για την γρήγορη και σωστή πλήρωση των γεωσωλήνων.
- Η κατάλληλη εκπαίδευση και η απόδοση των δυτών
- Η καλή συνεργασία με τον πελάτη ειδικά στην επιλογή της εποχής τοποθέτησης των γεωσωλήνων για την ελαχιστοποίηση της αρνητικής επίδραση εξωγενών παραγόντων-οι καιρικές συνθήκες,ι πληρότητα του ξενοδοχείου- στις εργασίες τοποθέτησης των γεωσωλήνων.

#### 5. ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με την μέθοδο των γεωσωληνων εξασφαλίσθηκε :

- ◆ Η ασφαλής και γρήγορη κατασκευή του ύφαλου κυματοθραύστη με φιλικά προς το περιβάλλον υλικά χωρίς να δημιουργείται περιβαλλοντική όχληση, ( θόρυβος , ογκώδη μηχανήματα στην ακτή κλπ )
- ◆ Η σταδιακή ανάπλαση της ακτής η οποία μέσα σε δύο χρόνια διπλασιάστηκε σε έκταση χωρίς τη προσθήκη φερτής άμμου όπως αρχικά είχε σχεδιαστεί.
- ◆ Η σταθερότητα του έργου και κάτω από ιδιαίτερα δυσμενείς καιρικές συνθήκες όπως τελικά αποδείχτηκε κατά την διάρκεια της καταιγίδας η οποία κατέστρεψε το χειμώνα του 2004 το λιμάνι της Ζέας.
- ◆ Η πλήρης ενσωμάτωση του ύφαλου κυματοθραύστη στο περιβάλλον του πυθμένα εντός δύο μηνών από την τοποθέτηση.

- ◆ Η ασφαλής διέλευση λουομένων πάνω από τον γεωσωλήνα , αφού το υλικό του γεωσωλήνα είναι απόλυτα ασφαλές,
- ◆ Η δημιουργία ενός νέου κέντρου προσέλκυσης των λουομένων για την παρατήρηση της ιχθυοπανίδας που βρήκε τροφή και καταφύγιο στους γεωσωλήνες.

#### 6. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Οι γεωσωλήνες χρησιμοποιούνται στην τελευταία 15ετία προσφέροντας σταθερές, μόνιμες η προσωρινές, λύσεις σε πολλά ακτομηχανικά προβλήματα σε διεθνές επίπεδο όπως:

**Διάβρωση ακτών** : ως ύφαλοι κυματοθραύστες ή πρόβολοι

**Ανάπλαση παραλίας** : ως ύφαλοι κυματοθραύστες που λόγω της βλάστησης που επιτυγχάνεται στην ανώμαλη επιφάνεια του γεωυφάσματος, αποτελούν σύντομα αναπόσπαστο στοιχείο του φυσικού περιβάλλοντος

**Χώρος απόθεσης βυθοκορημάτων** : ως σκελετός στην κατασκευή παράκτιας περιοχής απόθεσης προϊόντων εκσκαφής-καθαρισμού λιμένων, καναλιών, λιμνοθαλασσών.

**Τεχνητές νησίδες:** ως σκελετός στην περίφραξη του χώρου της τεχνητής νησίδας

**Κατασκευή προσωρινού λιμενίσκου:** ήταν η πρώτη χρήση των γεωσωλήνων από τον αμερικάνικο στόλο.