

# Φθορά Γεωπλεγμάτων κατά την Τοποθέτηση

## Installation Damage of Geogrids

ΑΤΜΑΤΖΙΔΗΣ, Δ.Κ.	Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής, Παν/μιο Πατρών
ΦΙΚΙΡΗΣ, Ι.Φ.	Πολιτικός Μηχανικός, MSc, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
ΧΡΥΣΙΚΟΣ, Δ.Α.	Πολιτικός Μηχανικός, Λέκτορας, Παν/μιο Πατρών
ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΣ, Ι.Α.	Πολιτικός Μηχανικός, Διδάκτορας, Παν/μιο Πατρών

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Ο μειωτικός συντελεστής φθοράς κατά την τοποθέτηση,  $RF_{ID}$ , τριών ίδιου τύπου γεωπλεγμάτων προσδιορίστηκε (α) με κατασκευή δοκιμαστικού επιχώματος και προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών πεδίου και (β) με εργαστηριακές διαδικασίες κατά ENV ISO 10722-1. Οι τιμές του συντελεστή  $RF_{ID}$  (α) κυμαίνονται από 1,14 έως 1,30 (δοκιμές πεδίου), από 1,07 έως 1,16 (κατά ENV ISO 10722-1) και από 1,09 έως 1,20 (κατά ENV ISO 10722-1 με τροποποιημένο αδρανές πεδίου), (β) μειώνονται με την αύξηση της ονομαστικής αντοχής σε εφελκυσμό των γεωπλεγμάτων και (γ) είναι σε πολύ καλή συμφωνία με προτεινόμενες τιμές ή αποτελέσματα δοκιμών που περιέχονται στη διαθέσιμη βιβλιογραφία.

**ABSTRACT :** Installation damage reduction factors,  $RF_{ID}$ , were obtained for three geotextiles of the same type by (a) constructing a test embankment simulating actual field conditions and (b) conducting laboratory tests according to ENV ISO 10722-1. The values of factor  $RF_{ID}$ , range from 1.14 to 1.30 (field test), from 1.07 to 1.16 (ENV ISO 10722-1) and from 1.09 to 1.20 (ENV ISO 10722-1 with modified field aggregate), (b) decrease with increasing tensile strength of the geogrids and (c) are in very good agreement with recommended values and field test results found in the available literature.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά το σχεδιασμό έργων όπου χρησιμοποιούνται γεωπλέγματα για τον οπλισμό ή την ενίσχυση εδάφους, εφαρμόζονται μειωτικοί συντελεστές επί της ονομαστικής (εργαστηριακής) τιμής της αντοχής σε εφελκυσμό των γεωπλεγμάτων ώστε να προκύψει η επιτρεπόμενη τιμή (τιμή σχεδιασμού) της αντοχής σε εφελκυσμό. Οι μειωτικοί συντελεστές εισάγονται για να αντιμετωπιστούν φθορές κατά την τοποθέτηση, μακροπρόθεσμα δυσμενείς επιπτώσεις λόγω ερπυσμού και αποδόμηση λόγω χημικών ή βιολογικών παραγόντων. Η τιμή του μειωτικού συντελεστή λόγω φθοράς κατά την τοποθέτηση,  $RF_{ID}$ , προσδιορίζεται σύμφωνα με πρότυπες εργαστηριακές διαδικασίες (πρότυπο ENV ISO 10722-1) κυρίως για λόγους συγκριτικής αξιολόγησης μεταξύ γεωπλεγμάτων. Επί πλέον, εκτελούνται δοκιμές

πεδίου όταν απαιτείται ποσοτικοποίηση του μειωτικού συντελεστή υπό τις αναμενόμενες συνθήκες πεδίου.

Εκτεταμένη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων σημαντικού αριθμού δοκιμών πεδίου (Hufenus et al. 2005) υποδεικνύει ότι η τιμή του μειωτικού συντελεστή,  $RF_{ID}$ , εξαρτάται από τον τύπο του γεωπλέγματος, την κοκκομετρική σύνθεση και το σχήμα των κόκκων του αδρανούς, το πάχος της στρώσης του αδρανούς, την ενέργεια συμπύκνωσης του αδρανούς επί του γεωπλέγματος και τον τύπο του μηχανήματος συμπύκνωσης. Από σύνθεση των αποτελεσμάτων συνολικά 263 δοκιμών, οι Hufenus et al. (2005) προσδιόρισαν γενικό εύρος τιμών του συντελεστή φθοράς κατά την τοποθέτηση,  $RF_{ID}$ , μεταξύ 1,00 και 1,32. Για κατασκευές οπλισμένου εδάφους (πρανή, αναχώματα, τοίχοι) ο Koerner (2005) συνιστά τιμές του  $RF_{ID}$  που

κυμαίνονται μεταξύ 1,1 και 1,4. Για παρόμοιες εφαρμογές, ο οργανισμός FHWA (Elias 2001) συνιστά εύρος τιμών που διαφοροποιείται ανάλογα με την κοκκομετρία του αδρανούς και τον τύπο του γεωπλεγμάτος και κυμαίνεται, γενικά, μεταξύ 1,10 και 2,05.

Για τις ανάγκες σχεδιασμού οπλισμένων επιχωμάτων μεγάλου τεχνικού έργου που εκτελείται στον Ελληνικό Χώρο, ποσοτικοποιήθηκε ο μειωτικός συντελεστής,  $R_{FID}$ , τριών γεωπλεγμάτων. Εκτελέστηκαν δοκιμές πεδίου με την κατασκευή δοκιμαστικού επιχώματος και εφαρμογή των πραγματικών συνθηκών κατασκευής (κοκκομετρία αδρανούς, πάχος στρώσης αδρανών, βαθμός συμπίκνωσης, μηχανήμα συμπίκνωσης, αριθμός διελεύσεων). Με κατασκευή διαφορετικών διατομών, διερευνήθηκε και η επίδραση του πάχους της στρώσης των αδρανών. Επί πλέον, εκτελέστηκαν εργαστηριακοί έλεγχοι σύμφωνα με το πρότυπο ENV ISO 10722-1 με χρήση του προβλεπόμενου από το πρότυπο αδρανούς καθώς και αδρανούς από το πεδίο. Τα αποτελέσματα αυτής της διερεύνησης συνοψίζονται σ' αυτή την παρουσίαση.

## 2. ΓΕΩΠΛΕΓΜΑΤΑ

Τα γεωπλέγματα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των δοκιμών πεδίου και εργαστηρίου ανήκουν στην κατηγορία των "πλεκτών" γεωπλεγμάτων. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται ίνες υψηλής αντοχής από πολυεστέρα (PET) που διαμορφώνονται σε πολύκλινα νήματα. Τα νήματα πλέκονται και συνδέονται μεταξύ τους έτσι ώστε να διαμορφωθούν τα διαμήκη και εγκάρσια στελέχη των γεωπλεγμάτων. Ο κάνναβος που προκύπτει επικαλύπτεται με PVC. Τα γεωπλέγματα που ελέγχθηκαν, και που στη συνέχεια αυτού του κειμένου αναφέρονται ως ΓΠ1, ΓΠ2 και ΓΠ3, έχουν ονομαστική αντοχή σε εφελκυσμό ίση προς 55,110 και 150kN/m, αντίστοιχα, κατά τη διεύθυνση παραγωγής (MD) και 30kN/m κατά την εγκάρσια διεύθυνση (CD). Ο αριθμός στελεχών των γεωπλεγμάτων ΓΠ1, ΓΠ2 και ΓΠ3 κατά τη διεύθυνση παραγωγής είναι 43, 40 και 24 ανά τρέχον μέτρο ενώ κατά την εγκάρσια διεύθυνση είναι 40, 43 και 30 ανά τρέχον μέτρο, αντίστοιχα.

## 3. ΔΟΚΙΜΕΣ ΦΘΟΡΑΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ

Παρά το γεγονός ότι στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν αποτελέσματα από ένα σημαντικό αριθμό δοκιμών πεδίου για την εκτίμηση της

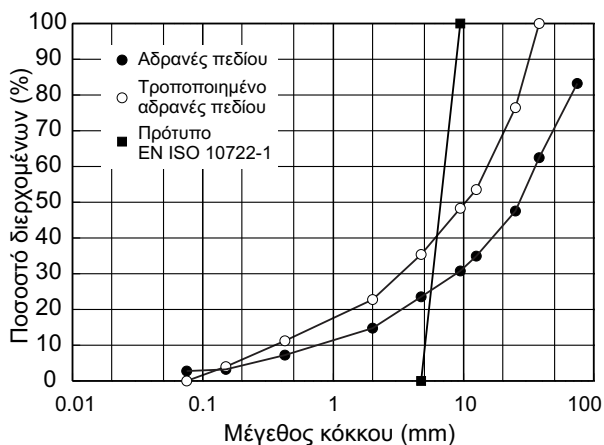
φθοράς κατά την τοποθέτηση γεωπλεγμάτων, δεν έχει διαμορφωθεί ακόμη σχετική διαδικασία που να βασίζεται σε Ευρωπαϊκό Πρότυπο. Πάντως, το Αμερικανικό Πρότυπο ASTM D5818 παρέχει πολύ καλές οδηγίες για αυτού του τύπου δοκιμές πεδίου και εφαρμόστηκε στην παρούσα διερεύνηση, στο βαθμό που ήταν δυνατό. Οι δοκιμές πεδίου εκτελέστηκαν ώστε να προσομοιωθούν, όσο πληρέστερα μπορούσαν να προβλεφθούν, οι αναμενόμενες συνθήκες κατά την κατασκευή των οπλισμένων επιχωμάτων.

Οι μελέτες των οπλισμένων επιχωμάτων προέβλεπαν ότι (α) τα γεωπλέγματα θα τοποθετούνταν οριζόντια και σε μεταξύ τους κατακόρυφες αποστάσεις ίσες προς 0,60m και (β) επί κάθε στρώσης οπλισμού θα συμπυκνωνόταν αδρανές σε δύο ισοπαχείς στρώσεις πάχους 0,30m η κάθε μία. Με στόχο τη διερεύνηση της επίδρασης του πάχους της στρώσης των αδρανών στην τιμή του μειωτικού συντελεστή φθοράς κατά την τοποθέτηση, το δοκιμαστικό επίχωμα που κατασκευάστηκε είχε τρεις διαφορετικές διατομές. Η Διατομή #1 είχε πάχος αδρανών ίσο προς 0,60m που διαμορφώθηκε με συμπίκνωση δύο στρώσεων πάχους 0,30m η κάθε μία. Οι Διατομές #2 και #3 είχαν πάχος αδρανών ίσο προς 0,30m και 0,20m, αντίστοιχα, που συμπυκνώθηκαν σε μια στρώση.

Το αδρανές που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του δοκιμαστικού επιχώματος λήφθηκε από υπάρχοντα αποθέματα που παράγονταν επί-τόπου, με χρήση θραυστήρα, για να καλύψουν τις ανάγκες κατασκευής των οπλισμένων επιχωμάτων του έργου και θεωρείται αντιπροσωπευτικό των συνθηκών πεδίου ως προς την κοκκομετρία και το σχήμα των κόκκων του αδρανούς. Όπως φαίνεται στα Σχήματα 1 και 2, το αδρανές έχει γωνιώ-



Σχήμα 1. Αδρανές πεδίου  
Figure 1. Field aggregate



Σχήμα 2. Κοκκομετρία αδρανών  
Figure 2. Gradation of aggregates

δεις κόκκους με σημαντικό εύρος τιμών ως προς το μέγεθός τους και περιέχει μικρό ποσοστό λεπτόκοκκων (περίπου 3%) και ποσοστό άμμου περίπου 20%.

Η αρχική τοποθέτηση του αδρανούς επί των γεωπλεγμάτων στο δοκιμαστικό επίχωμα έγινε με τη βοήθεια φορτωτή και φορτηγού αυτοκινήτου, ενώ η διάστρωση πριν από την συμπύκνωση έγινε με διαμορφωτή γαιών. Τα αδρανή συμπυκνώνονταν με δονητικό οδοστρωτήρα λείου κυλίνδρου που είχε συνολικό βάρος 17 τόννων και φορτίο άξονα στο λείο κύλινδρο 11 τόννων που αντιστοιχεί σε στατικό γραμμικό φορτίο ίσο προς περίπου 50kg/cm. Εφαρμόστηκαν οκτώ (8) διελεύσεις του οδοστρωτήρα επειδή ο αριθμός αυτός απόδείχτηκε επαρκής, μετά από δοκιμές στο πεδίο, για τη βέλτιστη συμπύκνωση στρώσης αδρανών πάχους 0,3m σε ξηρό βάρος περίπου 21,5kN/m<sup>3</sup>. Όλα τα μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν διατέθηκαν από τον κατασκευαστή του έργου και ήταν όμοια με αυτά που προβλέπονταν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή των οπλισμένων επιχωμάτων.

### 3.1 Διαδικασίες πεδίου

Αρχικά συμπυκνώθηκε μια στρώση αδρανών, πάχους περίπου 0,3m, ώστε να προσομοιωθεί η άνω επιφάνεια συμπυκνωμένης στρώσης αδρανών των οπλισμένων επιχωμάτων. Αυτή η στρώση είχε περίπου οριζόντια επιφάνεια, μήκος άνω των 30m και πλάτος περίπου 6m. Φωτογραφία από την προετοιμασία αυτής της στρώσης δίνεται στο Σχήμα 3α.

Από κάθε τύπο γεωπλέγματος, προσκομίστηκε στον χώρο του δοκιμαστικού επιχώματος ένα πλήρες ρολό που ανοίχτηκε και απλώθηκε στην επιφάνεια του εδάφους ώστε

να γίνει η κατάλληλη δειγματοληψία. Τα πρώτα 3m κάθε ρολού αποθηκεύτηκαν ώστε να μην υποστούν φθορές ή αποδόμηση και για να χρησιμοποιηθούν (α) για την εκτέλεση των εργαστηριακών δοκιμών φθοράς κατά την τοποθέτηση και (β) για τον έλεγχο της αντοχής σε εφελκυσμό και τον προσδιορισμό των τιμών “αναφοράς” δηλαδή των τιμών της αντοχής πριν από τη φθορά κατά την τοποθέτηση. Τα επόμενα 6m από κάθε ρολό διαιρέθηκαν σε τρία περίπου ίσα μέρη κατά τη διεύθυνση παραγωγής (MD) ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα δείγματα για τοποθέτηση στο δοκιμαστικό επίχωμα. Τα δείγματα των γεωπλεγμάτων τοποθετήθηκαν στην επιφάνεια της στρώσης από συμπυκνωμένο αδρανές με την διεύθυνση παραγωγής (MD) κάθετη προς τη διεύθυνση κίνησης του οδοστρωτήρα ώστε να προσομοιωθούν οι συνθήκες πεδίου. Η συνηθισμένη πρακτική είναι τα μηχανήματα συμπύκνωσης να κινούνται παράλληλα προς το μέτωπο (όψη) του οπλισμένου επιχώματος ή τοίχου αντιστήριξης. Σε κάθε μία από τις τρεις προβλεπόμενες διατομές του δοκιμαστικού επιχώματος, τα δείγματα των τριών γεωπλεγμάτων τοποθετήθηκαν αφήνοντας κενό περίπου 0,5m μεταξύ τους. Μια φάση από την τοποθέτηση των γεωπλεγμάτων φαίνεται στη φωτογραφία του Σχήματος 3β.

Χρησιμοποιήθηκε φορτωτής για την προσεκτική απόθεση αδρανούς στην αρχή του δοκιμαστικού επιχώματος και μέχρι να καλυφθεί το πρώτο δείγμα γεωπλέγματος της Διατομής #1 (Σχήμα 3γ). Τα επόμενα (δύο) δείγματα γεωπλέγματος αυτής της διατομής, καθώς και το σύνολο των δειγμάτων της Διατομής #2, καλύφθηκαν με χρήση φορτηγού αυτοκινήτου που κινούνταν πάνω στο ήδη τοποθετημένο χαλαρό αδρανές (Σχήμα 3δ). Η ποσότητα των αδρανών ελέγχονταν ώστε να προκύψει το απαιτούμενο πάχος στρώσης μετά την συμπύκνωση. Τα δείγματα των γεωπλεγμάτων της Διατομής #3 καλύφθηκαν με την ίδια διαδικασία αλλά με το φορτωτή και το φορτηγό να κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση σε σχέση με τις δύο άλλες διατομές. Για την ομοιόμορφη κατανομή των αδρανών σε όλη την επιφάνεια του επιχώματος χρησιμοποιήθηκε διαμορφωτής γαιών (Σχήμα 3ε).

Ακολούθως, συμπυκνώθηκε (Σχήμα 3στ) η στρώση των αδρανών ώστε στις Διατομές #1 και #2 το πάχος τους να είναι 0,3m και στη Διατομή #3 να είναι 0,2m. Έτσι ολοκληρώθηκε η εργασία κατασκευής του δοκιμαστικού επιχώματος στις Διατομές #2 και #3. Τέλος,



(α) Συμπύκνωση βάσης



(β) Προετοιμασία διατομών δοκιμ/κού επιχώματος



(γ) Επικάλυψη γεωπλεγμάτων με αδρανή



(δ) Απόθεση αδρανούς με φορτηγό



(ε) Ομοιόμορφη κατανομή αδρανούς



(στ) Συμπύκνωση



(ζ) Απομάκρυνση συμπυκνωμένου αδρανούς (μηχανική)



(η) Χειρωνακτική απομάκρυνση αδρανούς

Σχήμα 3. Φωτογραφίες από τη δοκιμή πεδίου  
Figure 3. Photographs from the field test

κατασκευάστηκε η δεύτερη στρώση πάχους 0,3m της Διατομής #1. Η διάστρωση και η συμπίκνωση έγιναν όπως περιγράφηκε προηγουμένως.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του δοκιμαστικού επιχώματος, έγινε η ανάκτηση των δειγμάτων των γεωπλεγμάτων. Τα διαθέσιμα μηχανήματα χρησιμοποιήθηκαν για την απομάκρυνση, με μηχανικό τρόπο, των συμπυκνωμένων αδρανών μέχρι το απομένον πάχος αδρανών πάνω από τα γεωπλέγματα να είναι περίπου 0,15m έως 0,20m. Το απομένον αδρανές αφαιρέθηκε χειρονακτικά (Σχήματα 3ζ και 3η).

### 3.2 Έλεγχος αντοχής σε εφελκυσμό

Τα δείγματα πεδίου μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου καθαρίστηκαν προσεκτικά με μαλακή βούρτσα για την απομάκρυνση κόκκων του αδρανούς από την επιφάνειά τους. Ο συντελεστής φθοράς κατά την τοποθέτηση,  $RF_{ID}$ , προσδιορίστηκε με βάση την απομένουσα αντοχή σε εφελκυσμό των γεωπλεγμάτων τόσο κατά τη διεύθυνση παραγωγής (MD) όσο και κατά την εγκάρσια διεύθυνση (CD). Η αντοχή σε εφελκυσμό τόσο των φθαρμένων δειγμάτων όσο και των δειγμάτων “αναφοράς” προσδιορίστηκε σύμφωνα με τις προβλέψεις του πρότυπου ASTM D6637-Method B. Οι δοκιμές εφελκυσμού εκτελέστηκαν με χρήση κυλινδρικών αρπαγών διαμέτρου 100mm και πλάτος 200mm που φαίνονται στο Σχήμα 4. Το απαιτούμενο μήκος δοκιμίου ήταν περίπου 1,25m. Χρησιμοποιήθηκε πλαίσιο εφελκυσμού -θλίψης 100kN χωρίς καταγραφή παραμορφώσεων αφού αυτή η παράμετρος δεν υπεισέρχεται στην εκτίμηση της φθοράς κατά την τοποθέτηση. Ο ρυθμός σχετικής μετακίνησης



Σχήμα 4. Κυλινδρικές αρπάγες  
Figure 4. Roller grips

των αρπαγών ήταν σταθερός και ίσος προς 10mm/min. Για την ορθή εφαρμογή των δοκιμίων επί των κυλινδρικών αρπαγών, εφαρμόστηκε σε κάθε δοκίμιο προφόρτιση ίση προς 250N πριν από την εκκίνηση κάθε δοκιμής εφελκυσμού.

Για τον προσδιορισμό των τιμών αναφοράς κατά τη διεύθυνση παραγωγής (MD) λήφθηκαν οκτώ δοκίμια από κάθε δείγμα αναφοράς που ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένα σε όλο το πλάτος του ρολού του γεωπλέγματος. Για τον προσδιορισμό των τιμών αναφοράς κατά την εγκάρσια διεύθυνση (CD), λήφθηκαν πέντε δοκίμια από κάθε δείγμα αναφοράς από περιοχές εκατέρωθεν των περιοχών από όπου είχαν ληφθεί τα δοκίμια για έλεγχο κατά τη διεύθυνση παραγωγής. Από τα δείγματα των γεωπλεγμάτων που υποβλήθηκαν στο πεδίο σε φθορά κατά την τοποθέτηση, λήφθηκαν κατά τη διεύθυνση παραγωγής οκτώ δοκίμια, το ένα ακριβώς δίπλα στο άλλο, καλύπτοντας πρακτικά πλήρως το πλάτος κάθε δείγματος. Κατά την εγκάρσια διεύθυνση, λήφθηκαν πέντε δοκίμια από κατάλληλες θέσεις πάνω ή/και κάτω από την περιοχή των δοκιμίων της διεύθυνσης παραγωγής. Το πλάτος των δοκιμίων κάθε γεωπλέγματος διατηρήθηκε σταθερό. Τα δοκίμια των γεωπλεγμάτων ΓΠ1 και ΓΠ2 είχαν επτά (7) ενεργά στελέχη ενώ τα δοκίμια του γεωπλέγματος ΓΠ3 είχαν τέσσερα (4) ενεργά στελέχη.

### 4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΦΘΟΡΑΣ

Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο ENV ISO 10722-1 καθορίζει διαδικασία για τη συγκριτική αξιολόγηση γεωσυνθετικών ως προς τη φθορά που υφίστανται κατά την τοποθέτηση στο πεδίο, με βάση την τιμή του “δείκτη φθοράς” που είναι ο λόγος της τιμής μιας επιλεγμένης ιδιότητας του φθαρμένου γεωσυνθετικού προς την τιμή “αναφοράς” της ίδιας ιδιότητας που προκύπτει από έλεγχο μη-φθαρμένου δοκιμίου. Το αντίστροφο του δείκτη φθοράς είναι ο μειωτικός συντελεστής φθοράς κατά την τοποθέτηση,  $RF_{ID}$ .

Η εργαστηριακή διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των δοκιμών φθοράς κατά την τοποθέτηση (Σχήμα 5) σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο Μηχανουργείο του Πανεπιστημίου Πατρών. Όπως καθορίζεται από το πρότυπο ENV ISO 10722-1, ο θάλαμος της δοκιμής είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα, έχει εσωτερικές διαστάσεις κάτοψης 300mmx300mm και αποτελείται από δύο μέρη



Σχήμα 5. Εργαστηριακός εξοπλισμός (ENV ISO 10722-1)  
Figure 5. Laboratory equipment (ENV ISO 10722-1)

με ύψος (βάθος) 75mm το κάθε ένα. Στο κάτω μέρος του θαλάμου τοποθετούνται δύο στρώσεις αδρανούς που συμπυκνώνονται με εφαρμογή πίεση 200kPa για 60s. Στην επιφάνεια αυτών των στρώσεων, τοποθετείται το δοκίμιο του γεωσυνθετικού και, ακολούθως, συμπληρώνεται με αδρανές σε χαλαρή κατάσταση το άνω μέρος του θαλάμου. Η φόρτιση γίνεται μέσω άκαμπτης πλάκας διαστάσεων κάτοψης 100mmx200mm. Εφαρμόζεται ανακυκλιζόμενο φορτίο, από 5kPa έως 900kPa, με συχνότητα 1Hz για 200 κύκλους φόρτισης.

#### Διαδικασίες

Οι εργαστηριακές δοκιμές φθοράς κατά την τοποθέτηση εκτελέστηκαν με χρήση δύο διαφορετικών αδρανών, δηλαδή, πρότυπου αδρανούς και τροποποιημένου αδρανούς πεδίου. Το πρότυπο αδρανές που χρησιμοποιήθηκε ήταν βιομηχανικά παραγόμενο οξειδίο του αλουμινίου (κορούνδιο) με γωνιώδεις κόκκους και μεγέθη κόκκων μεταξύ 5mm και 10mm. Ο συντελεστής Λος Αντζελες αυτού του αδρανούς, κατά EN 1097.02, έχει τιμή 11.

Το δεύτερο αδρανές προέκυψε με τροποποίηση της κοκκομετρικής σύνθεσης του αδρανούς που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του δοκιμαστικού επιχώματος κατά τις δοκιμές φθοράς στο πεδίο. Αφαιρέθηκαν όλοι οι κόκκοι του αδρανούς με μέγεθος μεγαλύτερο των 38mm καθώς και όλα τα λεπτά (διερχόμενα από το κόσκινο #200). Το υλικό που προέκυψε, περιείχε περίπου 35% άμμο και 65% χαλίκι (Σχήμα 2).

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των εργαστηριακών δοκιμών προσδιορισμού της φθοράς κατά την τοποθέτηση, προήλθαν από τα μεγάλων διαστάσεων δείγματα των γεωπλεγμάτων που πάρθηκαν κατά το χρόνο κατασκευής του δοκιμαστικού επιχώματος. Κάθε δοκίμιο που υποβλήθηκε σε δοκιμή φθοράς είχε και ένα αντίστοιχο δοκίμιο αναφοράς ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση στα αποτελέσματα από την πιθανή διαφοροποίηση της αντοχής σε εφελκυσμό μεταξύ μεμονωμένων στελεχών του δείγματος. Κατά συνέπεια, κόπηκαν ζεύγη δοκιμίων εν σειρά κατά μήκος της διεύθυνσης παραγωγής (MD) κάθε δείγματος αναφοράς. Επιλέχθηκαν συνολικά δέκα θέσεις, κατανεμημένες περίπου ομοιόμορφα κατά την έννοια του πλάτους του ρολλού, και κόπηκαν είκοσι δοκίμια από κάθε δείγμα αναφοράς. Ο μειωτικός συντελεστής φθοράς κατά την τοποθέτηση, R<sub>FID</sub>, προσδιορίστηκε με βάση την απομένουσα αντοχή σε εφελκυσμό των γεωπλεγμάτων μόνο κατά τη διεύθυνση παραγωγής (MD). Οι δοκιμές εφελκυσμού εκτελέστηκαν σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D6637-Method B και με διαδικασίες ελέγχου όπως περιγράφηκαν προηγουμένως στην παράγραφο 3.2.

#### 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συνοψίζονται στον Πίνακα 1, όπου δίνονται τιμές για το ποσοστό της απομένουσας αντοχής σε εφελκυσμό και για το μειωτικό συντελεστή φθοράς κατά την τοποθέτηση. Σε σχέση με τις δοκιμές πεδίου, παρατηρείται ότι: (α) το μέγεθος της φθοράς μειώνεται όσο αυξάνεται η αντοχή σε εφελκυσμό των γεωπλεγμάτων, (β) το μέγεθος της φθοράς αυξάνεται με τη μείωση του πάχους της συμπυκνωμένης στρώσης αδρανών, (γ) η συμπύκνωση δύο στρώσεων με πάχος 0,3m η κάθε μία προκαλεί αύξηση της φθοράς σε σχέση με τη φθορά που προκαλείται από συμπύκνωση μόνο μιας στρώσης αδρανών πάχους 0,3m και (δ) η φθορά των γεωπλεγμάτων κατά την εγκάρσια

Πίνακας 1. Αποτελέσματα δοκιμών προσδιορισμού της φθοράς κατά την τοποθέτηση  
Table 1. Results of installation damage tests

Δοκιμή	Αντοχή Γεωπλέγματος (kN/m)			Απομένουσα Αντοχή (%)		Συντελεστής φθοράς, RF <sub>ID</sub>	
	Κωδ.	T <sub>0</sub> <sup>4</sup>	T <sub>α</sub> <sup>5</sup>	MD	CD	MD	CD
Πεδίο, Διατομή #1 <sup>1</sup>	ΓΠ1	55/30	53,40/31,14	79,34	76,92	1,26	1,30
Πεδίο, Διατομή #1	ΓΠ2	110/30	105,28/32,43	82,64	76,34	1,21	1,31
Πεδίο, Διατομή #1	ΓΠ3	150/30	148,37/32,87	86,96	76,91	1,15	1,30
Πεδίο, Διατομή #2 <sup>2</sup>	ΓΠ1	55/30	53,40/31,14	81,96	80,00	1,22	1,25
Πεδίο, Διατομή #2	ΓΠ2	110/30	105,28/32,43	84,74	81,30	1,18	1,23
Πεδίο, Διατομή #2	ΓΠ3	150/30	148,37/32,87	87,40	80,17	1,14	1,25
Πεδίο, Διατομή #3 <sup>3</sup>	ΓΠ1	55/30	53,40/31,14	76,92	74,07	1,30	1,35
Πεδίο, Διατομή #3	ΓΠ2	110/30	105,28/32,43	77,51	74,63	1,29	1,34
Πεδίο, Διατομή #3	ΓΠ3	150/30	148,37/32,87	80,60	75,18	1,24	1,33
Εργ., Πρότυπη	ΓΠ1	55/30	53,65/-	86,20	-	1,16	-
Εργ., Πρότυπη	ΓΠ2	110/30	105,39/-	92,59	-	1,08	-
Εργ., Πρότυπη	ΓΠ3	150/30	146,52/-	93,81	-	1,07	-
Εργ., Τροπ. Αδρανές	ΓΠ1	55/30	53,54/-	83,32	-	1,20	-
Εργ., Τροπ. Αδρανές	ΓΠ2	110/30	104,85/-	89,29	-	1,12	-
Εργ., Τροπ. Αδρανές	ΓΠ3	150/30	148,39/-	91,74	-	1,09	-

<sup>1</sup> Πάχος αδρανών 0,6m (2x0,3m)

<sup>2</sup> Πάχος αδρανών 0,3m

<sup>3</sup> Πάχος αδρανών 0,2m

<sup>4</sup> Ονομαστική αντοχή σε εφελκυσμό (διευθύνσεις MD/CD)

<sup>5</sup> Τιμή αναφοράς αντοχής σε εφελκυσμό (διευθύνσεις MD/CD)

διεύθυνση είναι παρόμοια και για τα τρία γεωπλέγματα.

Σε σχέση με τις εργαστηριακές δοκιμές κατά ENV ISO 10722-1, παρατηρείται ότι χρήση “πρότυπου” αδρανούς κατέληξε συστηματικά σε μικρότερες τιμές του μειωτικού συντελεστή σε σχέση με τις δοκιμές που εκτελέστηκαν με χρήση του τροποποιημένου αδρανούς πεδίου. Παρά το γεγονός ότι οι διαφορές αυτές είναι σχετικά μικρές (2% έως 4%), φαίνεται ότι το μέγεθος της φθοράς επηρεάζεται περισσότερο από το μέγεθος των κόκκων του αδρανούς παρά από την σκληρότητα του αδρανούς. Όπως και στις δοκιμές πεδίου, παρατηρείται ακόμη ότι το μέγεθος της φθοράς μειώνεται με την αύξηση της αντοχής σε εφελκυσμό των γεωπλεγμάτων.

Σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δοκιμών πεδίου και εργαστηρίου μπορεί να γίνει μόνο για τη διεύθυνση παραγωγής (MD), όπου και εστιάζεται το κύριο ενδιαφέρον σε σχέση με εφαρμογές οπλισμένου εδάφους. Για τις πραγματικές συνθήκες πεδίου, όπου συμπυκνώνονται επί των γεωπλεγμάτων δύο στρώσεις αδρανών πάχους 0,3m η κάθε μία, ο συντελεστής φθοράς κατά την τοποθέτηση, RF<sub>ID</sub>, κυμάνθηκε από 1,15 έως 1,26. Σύμφωνα με το πρότυπο ENV ISO 10722-1, οι

εργαστηριακά προσδιορισμένες τιμές του συντελεστή RF<sub>ID</sub> κυμάνθηκαν από 1,07 έως 1,16 και είναι μειωμένες σε σχέση με τις τιμές πεδίου κατά 7,0% έως 10,7%. Όταν οι εργαστηριακές δοκιμές εκτελέστηκαν με τροποποιημένο αδρανές πεδίου, οι νέες τιμές του συντελεστή RF<sub>ID</sub> ήταν και πάλι μικρότερες από τις αντίστοιχες των δοκιμών πεδίου κατά 4,8% έως 7,4%. Παρατηρείται, δηλαδή, ότι για τις συγκεκριμένες συνθήκες πεδίου (α) η πρότυπη δοκιμή κατά ENV ISO 10722-1 υποεκτιμά το μέγεθος της φθοράς και (β) εκτέλεση της δοκιμής με αδρανές πεδίου, που είναι κατάλληλα τροποποιημένο ώστε το μέγεθος των κόκκων του να είναι οριακά συμβατό με το μέγεθος του θαλάμου της εργαστηριακής συσκευής, απομειώνει αυτή την υποεκτίμηση.

Για πάχος στρώσης αδρανών στο πεδίο ίσο προς 0,3m και 0,2m, η τιμή του συντελεστή RF<sub>ID</sub>, κυμάνθηκε από 1,14 έως 1,22 και από 1,24 έως 1,30, αντίστοιχα. Κατά συνέπεια, οι πρότυπες δοκιμές κατά ENV ISO 10722-1 υποεκτιμούν αυτά τα αποτελέσματα κατά 4,9% έως 8,5% και κατά 10,8% έως 16,3%, αντίστοιχα, ενώ οι εργαστηριακές δοκιμές με τροποποιημένο αδρανές πεδίου υποεκτιμούν το μέγεθος της φθοράς κατά 1,6% έως 5,1%

και κατά 7,7% έως 13,2%. Κατά συνέπεια, η φθορά που υφίστανται τα γεωπλέγματα στο πεδίο εξαρτάται από το πάχος της στρώσης των αδρανών όταν η ενέργεια συμπύκνωσης (αριθμός διελεύσεων του οδοστρωτήρα) παραμένει σταθερή. Το φαινόμενο αυτό δεν μπορεί να προβλεφθεί εργαστηριακά, αφού, σύμφωνα με το πρότυπο, τόσο το ασκούμενο φορτίο όσο και αριθμός των επαναλήψεων του διατηρούνται σταθερά.

Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών πεδίου με συστάσεις για την τιμή του συντελεστή  $RF_{ID}$  καθώς και με άλλα αποτελέσματα δοκιμών πεδίου σε παρόμοια γεωπλέγματα. Για κατασκευές οπλισμένου εδάφους, ο Koerner (2005) συνιστά να λαμβάνονται τιμές του συντελεστή φθοράς κατά την τοποθέτηση,  $RF_{ID}$ , από 1,10 έως 1,40. Ο οργανισμός FHWA (Elias 2001) συνιστά, για πλεκτά γεωπλέγματα από ίνες πολυεστέρα (PET) με επικάλυψη από PVC και για αδρανές με  $d_{max}<102mm$  και  $d_{50}=30mm$ , εύρος τιμών του συντελεστή  $RF_{ID}$ , μεταξύ 1,30 και 1,85. Από σύνθεση των αποτελεσμάτων 144 δοκιμών πεδίου με πλεκτά γεωπλέγματα, οι Hufenus et al. (2005) προσδιόρισαν εύρος τιμών του συντελεστή  $RF_{ID}$  μεταξύ 1,12 και 1,31. Παρατηρείται ότι, για τη διεύθυνση παραγωγής (MD), το εύρος τιμών των αποτελεσμάτων από τις δοκιμές πεδίου που εκτελέστηκαν στο πλαίσιο αυτής της διερεύνησης, είναι από 1,14 έως 1,30 ενώ για τις πραγματικές συνθήκες πεδίου (δύο στρώσεις αδρανών, 0,3m η κάθε μία) είναι από 1,15 έως 1,26 και βρίσκεται σε πολύ καλή συμφωνία με τις παραπάνω προτάσεις ή/και προσδιορισμούς.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν και τις παρατηρήσεις που έγιναν στο πλαίσιο αυτής της περιορισμένης διερεύνησης, μπορούν να διατυπωθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Η πρότυπη εργαστηριακή διαδικασία για τον προσδιορισμό της τιμής του μειωτικού συντελεστή φθοράς κατά την τοποθέτηση,  $RF_{ID}$ , δεν επιτρέπει την εκτίμηση της επίδρασης παραμέτρων πεδίου, όπως είναι το πάχος της στρώσης αδρανών, η ενέργεια συμπύκνωσης και η κοκκομετρία και το σχήμα κόκκων των αδρανών.
2. Για τις συνθήκες πεδίου που διερευνήθηκαν, η πρότυπη εργαστηριακή δοκιμή

υποεκτίμησε τις τιμές του συντελεστή  $RF_{ID}$ , έως και κατά περίπου 11%.

3. Γεωπλέγματα του τύπου που ελέγχθηκαν, με σχετικά μικρή αντοχή σε εφελκυσμό, είναι πιο ευπαθή σε σχέση με ομοίου τύπου αλλά υψηλότερης αντοχής γεωπλέγματα.
4. Οι τιμές του συντελεστή  $RF_{ID}$  που προέκυψαν από τις δοκιμές πεδίου, στο σύνολό τους, κυμάνθηκαν από 1,14 έως 1,35 και είναι σε πολύ καλή συμφωνία με διαθέσιμες στη βιβλιογραφία τιμές από δοκιμές πεδίου ή συστάσεις.

## 7. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ - ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΕΙΣ

Οι κ.κ. Ε. Πολυβίου και Α. Παρασύρης, Πολιτικοί Μηχανικοί, είχαν ουσιώδη συμβολή στην εκτέλεση των εργαστηριακών δοκιμών φθοράς κατά την τοποθέτηση. Η συμβολή της HUESKER Synthetic GmbH (εκπροσωπούμενης από τον κ. Α. Τσιτόπουλο) και της Κ/ξιας ALPINE BAUE - ΤΕΡΝΑ Α.Ε. (κ.κ. Ν. Ντονάς, Γ. Τσίρμπας, Σ. Σταυρίδης) στην κατασκευή του δοκιμαστικού επιχώματος ήταν σημαντική.

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Elias, V. (2001), "Corrosion/degradation of soil reinforcements for mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes", FHWA-NHI-00-044, Federal Highway Administration, Washington, USA.
- Hufenus, R., Ruegger, R., Flum, D. and Sterba, I. (2005), "Strength reduction factors due to installation damage of reinforcing geosynthetics". Geotextiles and Geomembranes, Vol. 23, pp.401-424.
- Koerner, R.M. (2005), "Designing with Geosynthetics" 5<sup>th</sup> Edition, Pearson Prentice Hall, New Jersey, U.S.A.