

Ανάπτυξη Προκατασκευασμένου Κατακόρυφου Στραγγιστηρίου

Development of a Prefabricated Vertical Drain

ΧΡΥΣΙΚΟΣ, Δ.Α. Πολιτικός Μηχανικός, Λέκτορας, Παν/μιο Πατρών
ΑΤΜΑΤΖΙΔΗΣ, Δ.Κ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής, Παν/μιο Πατρών
ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΥ, Ε.Ι. Πολιτικός Μηχανικός, Μ.Δ.Ε., Παν/μιο Πατρών
ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ, Θ.Κ. Υφαντουργός Μηχανικός, Bondofibra ABEE

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Προκατασκευασμένο κατακόρυφο στραγγιστήριο διαμορφώθηκε με μανδύα από μη υφασμένο γεωύφασμα (ίνες πολυπροπυλενίου, μηχανική εμπλοκή ινών, θερμική μετεπεξεργασία) και πλαστικό πυρήνα (πολυπροπυλένιο, διαμήκεις αυλακώσεις). Το στραγγιστήριο έχει φυσικές, μηχανικές και υδραυλικές ιδιότητες συγκρίσιμες με αυτές των ήδη διαθέσιμων στη διεθνή αγορά. Εγκατάσταση σε μεγάλο βάθος ή/και έντονες τοπικές παραμορφώσεις δεν προκαλούν σοβαρή απομείωση της υδραυλικής μεταβιβασιμότητάς του.

ABSTRACT : A prefabricated vertical drain was developed using a nonwoven geotextile (polypropylene fibers, needle-punched, thermally posttreated) around a plastic core (polypropylene, corrugated). The drain has physical, mechanical and hydraulic properties which are comparable to those of internationally available drains. Installation at large depths and/or excessive local strains have no significant impact on the hydraulic transmissivity of the drain.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η στερεοποίηση λεπτόκοκκων κορεσμένων εδαφών προκαλεί καθιζήσεις και επιδρά δυσμενώς στην ασφάλεια των κατασκευών που θεμελιώνονται σε αυτά. Η προφόρτιση τέτοιων εδαφών είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος για τη βελτίωσή τους ώστε να αποφεύγονται προβλήματα καθιζήσεων κατά την κατάσχευή και κατά το χρόνο ζωής του έργου. Σε συνδυασμό με προφόρτιση, χρησιμοποιούνται κατακόρυφα στραγγιστήρια που συνήθως διαπερνούν όλο το πάχος του λεπτόκοκκου στρώματος και τοποθετούνται σε κλίμακα με πλευρά σημαντικά μικρότερη από το πάχος του στρώματος ώστε να επιταχυνθεί δραστικά το φαινόμενο της στερεοποίησης.

Η αλματώδης ανάπτυξη των γεωσυνθετικών υλικών είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ικανού αριθμού γεωσυνθετικών κατακόρυφων στραγγιστηρίων που αποκαλούνται διεθνώς "Προκατασκευασμένα Κατακόρυφα Στραγγιστήρια" και, για λόγους συντομίας, θα αναφέρονται στο κείμενο αυτό ως ΠΚΣ. Τα προκατασκευασμένα κατακόρυφα στραγγιστή-

ρια (ΠΚΣ) έχουν μορφή λωρίδας (ορθογωνική διατομή) και αποτελούνται από ένα μανδύα που κατασκευάζεται συνήθως από μη υφασμένο γεωύφασμα και από έναν πλαστικό πυρήνα που χαρακτηρίζεται από υψηλή υδραυλική μεταβιβασιμότητα τουλάχιστον κατά τη διαμήκη διεύθυνση (κατά μήκος της λωρίδας). Ο μανδύας ενός ΠΚΣ διαχωρίζει το χώρο ροής του πυρήνα από τα περιβάλλοντα λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά. Λειτουργεί, δηλαδή, ως φίλτρο που επιτρέπει τη ροή του νερού κάθετα στο επίπεδο του ενώ ταυτόχρονα περιορίζει τη διέλευση των λεπτόκοκκων συστατικών του εδάφους προς την περιοχή του πυρήνα. Ο πλαστικός πυρήνας ενός ΠΚΣ υποστηρίζει το γεωύφασμα – φίλτρο, παρέχει διάυλους ροής κατά μήκος του στραγγιστηρίου, διατηρεί τη μορφή του στραγγιστηρίου, παρέχει αντίσταση σε φορτία εφελκυσμού και περιορίζει φαινόμενα λυγισμού του στραγγιστηρίου. Η επιλογή γεωυφάσματος και πυρήνα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με γνωστά κριτήρια σχεδιασμού γεωσυνθετικών φίλτρων και στραγγιστηρίων, αντίστοιχα (John, 1987,

IFAI, 1992, Holtz et al., 1990, Koerner, 1994, Bergado et al., 1996).

Το σύνθετο προϊόν πρέπει να παρουσιάζει ικανοποιητική συμπεριφορά υπό τις γενικές συνθήκες πεδίου στις οποίες προβλέπεται να εκτεθεί. Οι σχετικοί προβληματισμοί επικεντρώνονται στα εξής σημεία:

(α) Για την διασφάλιση από φθορά ή βλάβες κατά την εγκατάσταση στο πεδίο, το ΠΚΣ θα πρέπει να έχει ικανοποιητική συμπεριφορά έναντι μηχανικών καταπονήσεων (Bergado et al., 1996, Voskamp et al., 1998). Οι έλεγχοι που πρέπει να γίνονται περιλαμβάνουν αντοχή σε εφελκυσμό, σε σχίσιμο, σε διάτρηση και σε διάρρηξη και μπορούν να εκτελεστούν σύμφωνα με τα προβλεπόμενα σε πρότυπες εργαστηριακές δοκιμές για γεωφάσματα.

(β) Μετά την εγκατάσταση στο πεδίο, το ΠΚΣ υφίσταται θλιπτικά φορτία από το έδαφος που το περιβάλλει. Η καταπόνηση αυτή μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τόσο τη συμπίεση του πυρήνα όσο και την απόφραξη διαύλων ροής που διαθέτει ο πυρήνας από διείδυση σε αυτούς του γεωφάσματος που τον περιβάλλει (Hwu et al., 1990, Miura et al., 1998, Chai and Miura, 1999, Miura and Chai, 2000). Ενδεικτικά της συμπεριφοράς αυτής είναι αποτελέσματα εργαστηριακής έρευνας (Rixner et al., 1986) όπου διαπιστώθηκε μείωση της παροχής κατά 30% έως 80% για αύξηση της ορθής τάσης από 100 kPa σε 800 kPa, ανάλογα με το προϊόν που ελέγχονταν.

(γ) Με την πρόοδο του φαινομένου της στερεοποίησης, το πάχος της εδαφικής στρώσης εντός της οποίας τοποθετούνται τα στραγγιστήρια μειώνεται σημαντικά. Το στραγγιστήριο ακολουθεί αναγκαστικά αυτή την παραμόρφωση με αποτέλεσμα την έντονη καμπύλωση ή και το τσάκισμά του. Στις περιοχές έντονης καμπύλωσης ή τσάκισματος, επέρχεται αναγκαστικά μείωση της υδραυλικής μεταβιβασιμότητας του στραγγιστηρίου, που είναι ανεπιθύμητη εφόσον είναι σημαντική σε σχέση με την προβλεπόμενη από τη μελέτη παροχή μέσω του στραγγιστηρίου. Σε σχετικές εργαστηριακές διερευνήσεις (Suits et al., 1985, Lawrence and Koerner, 1988) για διάφορους τύπους προκατασκευασμένων στραγγιστηρίων παρατηρήθηκε μείωση της παροχής μέσω των στραγγιστηρίων κατά 9% έως 99% ανάλογα με τον τύπο και τη γεωμετρία του "τσάκισμένου" στραγγιστηρίου και το μέγεθος του φορτίου που την προκάλεσε.

(δ) Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η ελάχιστη απαιτούμενη παροχετευτικότητα (παροχή) ενός ΠΚΣ υπό τις πλέον δυσμενείς

συνθήκες πεδίου πρέπει να είναι τουλάχιστον $100\text{m}^3/\text{έτος}$ ($3,2 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$) σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των Rixner et al. (1986) και Koerner (1994). Επιπλέον, η διαπίστωση ότι μήκη στραγγιστηρίων άνω των 25m μπορεί να οδηγήσουν σε δυσλειτουργίες και μείωση της απόδοσης, καθορίζει και τις μέγιστες ορθές τάσεις υπό τις οποίες αναμένεται να λειτουργεί το στραγγιστήριο στο πεδίο (έλεγχος για ορθή τάση 300 kPa έως 350 kPa παρέχει ικανοποιητικό περιθώριο ασφαλείας).

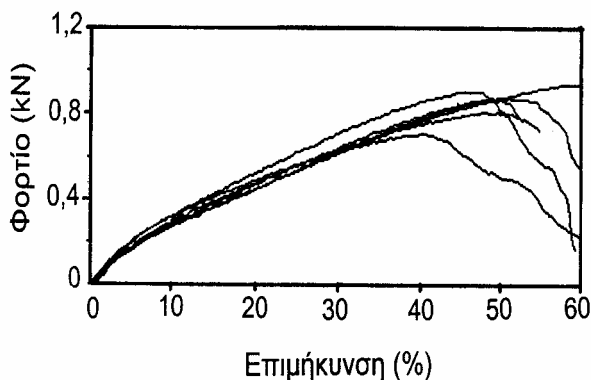
Οι ανάγκες σε ΠΚΣ των τεχνικών έργων που κατασκευάζονται στον Ελληνικό χώρο καλύπτονται με εισαγόμενα προϊόντα. Στην εργασία αυτή συνοψίζονται τα αποτελέσματα ερευνητικού έργου που εκτελέστηκε με σκοπό το σχεδιασμό ενός προϊόντος αμιγώς Ελληνικής παραγωγής, την τεκμηρίωση των ιδιοτήτων του και τη συγκριτική αξιολόγησή του. Μετά από την επιλογή κατάλληλου μανδύα και πυρήνα, προσδιορίστηκαν οι φυσικές, μηχανικές και υδραυλικές ιδιότητες του ΠΚΣ. Ιδιαίτερη έμφαση, ως προς την τεκμηρίωση της συμπεριφοράς του ΠΚΣ, δόθηκε στον έλεγχο της υδραυλικής μεταβιβασιμότητας υπό συνθήκες (α) περιορισμού εντός απαράμορφωτων πλακών, (β) εγκιβωτισμού σε παραμορφώσιμο εδαφικό υλικό, δηλαδή άργιλο και (γ) υπό συνθήκες έντονης τοπικής παραμόρφωσης με μορφή τσακίσματος 90° ή καμπύλωσης 180° .

2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΩΦΑΣΜΑΤΟΣ

Οι πληροφορίες σε σχέση με τα διαθέσιμα στη διεθνή αγορά ΠΚΣ, υποδεικνύουν ότι ως μανδύας χρησιμοποιείται συνήθως μη υφασμένο γεωφάσμα μικρού πάχους, σχετικά υψηλού αρχικού μέτρου εφελκυσμού ώστε να μην εμφανίζει έντονη επιμήκυνση υπό φορτία λειτουργίας και σχετικά μικρής συμπίεστότητας ώστε να μην εισχωρεί στα κενά του πυρήνα κατά τη λειτουργία. Μετά από αξιολόγηση εγχώρια παραγόμενων μη υφασμένων γεωφασμάτων με μηχανική εμπλοκή των ινών, διαπιστώθηκε ότι αυτά έχουν κατάλληλες υδραυλικές ιδιότητες, όμως, υστερούν κυρίως ως προς τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες αλλά και ως προς τη σχέση της μάζας ανά μονάδα επιφάνειας με το πάχος. Μετά από σειρά δοκιμαστικών παραγωγών και ελέγχων, επιλέχθηκε τελικά ένα γεωφάσμα που παράγεται με μηχανική εμπλοκή ινών πολυπροπυλενίου (μήκος 60mm, denier 4,4). Μετά τη μορφοποίησή του, το γεωφάσμα υφίσταται θερμική μετεπεξεργασία συμπιεζόμενο μέσω

καλάνδρας με θερμαινόμενους κυλίνδρους (θερμοκρασία κυλίνδρων 140°C, πίεση επί του γεωφάσματος 5 bar, ταχύτητα προώθησης γεωφάσματος 5,5m/min).

Τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών που εκτελέστηκαν συνοψίζονται στον Πίνακα 1. Στο Σχήμα 1, παρουσιάζονται οι καμπύλες φορτίου – επιμήκυνσης από δοκιμές πλατειάς λωρίδας κατά τη διεύθυνση παραγωγής. Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές παρατηρείται ότι το γεωφάσμα καλύπτει ικανοποιητικά τις απαιτήσεις για χρήση στη σύνθεση του ΠΚΣ.



Σχήμα 1. Καμπύλες φορτίου – επιμήκυνσης του γεωφάσματος από δοκιμές πλατειάς λωρίδας

Figure 1. Geotextile load-extension curves from wide-width tensile tests

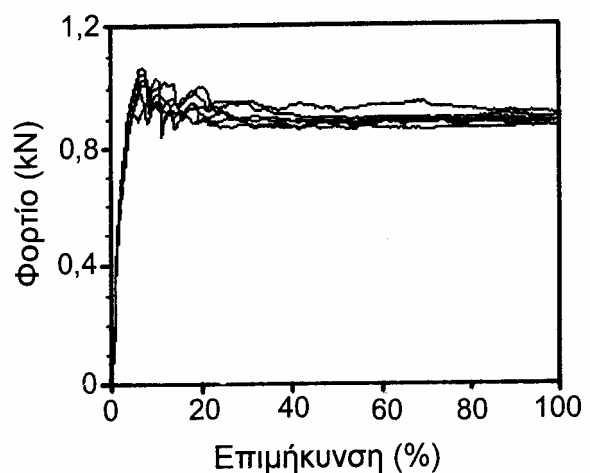
Κατασκευάζεται σε αποδεκτό πάχος (1,5mm), έχει τιμές μηχανικών ιδιοτήτων συγκρίσιμες με γεωφάσματα που χρησιμοποιούνται σε εμπορικά διαθέσιμα ΠΚΣ και έχει υδραυλικές ιδιότητες ανώτερες των ήδη χρησιμοποιούμενων. Επιπλέον, η μορφή της καμπύλης φορτίου – επιμήκυνσης σε δοκιμές πλατειάς λωρίδας υποδεικνύει ότι υπάρχει σχετικά μειωμένος κίνδυνος εισόδου του γεωφάσματος στα κενά του πυρήνα λόγω παραμόρφωσης υπό τις αναμενόμενες να ασκηθούν στο πεδίο ορθές τάσεις.

3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΥΡΗΝΑ

Πρώτη ύλη για την παραγωγή των πυρήνων των διαθέσιμων στη διεθνή αγορά ΠΚΣ είναι συνήθως το πολυπροπυλένιο παρ' όλο που χρησιμοποιούνται και άλλα πολυμερή. Ο πυρήνας που τελικά επιλέχτηκε, κατασκευάστηκε ειδικά από ελληνική βιομηχανία πλαστικών. Ως πρώτη ύλη στο μείγμα του πλαστικού χρησιμοποιήθηκε το πολυπροπυλένιο. Το πάχος του φύλλου είναι 1,2mm και φέρει διατρήσεις διαμέτρου 1mm σε όλη την επιφάνειά του. Το

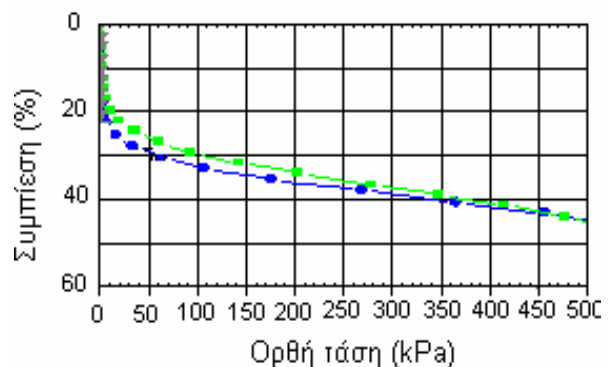
φύλλο μορφοποιείται τελικά ώστε να έχει μορφή αυλακωτή με πάχος 3.4mm και απόσταση μεταξύ των κορυφών των αυλακώσεων 7mm. Στον Πίνακα 2 συνοψίζονται τα αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών για τις φυσικές, μηχανικές και υδραυλικές ιδιότητες του πυρήνα. Στα Σχήματα 2 και 3 παρουσιάζονται τυπικά αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού πλατιάς λωρίδας και συμπίεσότητας, αντίστοιχα.

Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του πυρήνα είναι ικανοποιητικές. Τόσο η μάζα ανά μονάδα επιφάνειας όσο και το πάχος υπερβαίνουν ελαφρά τον μέσο όρο των τιμών των εμπορικά διαθέσιμων προϊόντων. Η αντοχή εφελκυσμού πλατειάς λωρίδας είναι και αυτή περίπου στο μέσο όρο των εμπορικά διαθέσιμων προϊόντων. Τα χαρακτηριστικά συμπίεσότητας εμφανίζονται ικανοποιητικά αφού για ορθή τάση 350 kPa η μείωση του πάχους των δοκιμών που ελέγχθηκαν ήταν κατά μέσο όρο περίπου 45%. Για υδραυλική κλίση ίση προς



Σχήμα 2. Καμπύλες φορτίου – επιμήκυνσης του πλαστικού πυρήνα από δοκιμές πλατειάς λωρίδας

Figure 2. Plastic core load – extension curves from wide-width tensile tests



Σχήμα 3. Συμπίεσότητα πλαστικού πυρήνα

Figure 3. Compressibility of plastic core

Πίνακας 1. Ιδιότητες γεωυφάσματος
Table 1. Geotextile properties

Ιδιότητα		Πρότυπο	Από δοκιμές*	Εμπορικά διαθέσιμα**
Μάζα ανά μονάδα επιφάνειας	(gr/m ²)	ASTM D5261	147	40/141/203
Πάχος	(mm)	ASTM D5199	1,55	
Μερικός εφελκυσμός (grab)		ASTM D4632		
Φορτίο αστοχίας	(N)		310	288/695/1112
Επιμήκυνση αστοχίας	(%)		65	25/69/100
Εφελκυσμός πλατιάς λωρίδας		ASTM D4595		
Φορτίο αστοχίας	(kN/m)		4,25	
Επιμήκυνση αστοχίας	(%)		53	
Αντοχή σε σχίσσιμο	(N)	ASTM D4533	168	80/324/954
Δείκτης αντοχής σε διάτρηση	(N)	ASTM D4833	181	150/240/356
Αντοχή σε διάρρηξη	(kPa)	ASTM D3786	988	800/1115/1655
Φαινόμενο μέγεθος πόρων	(μm)	ASTM D4751	150	75/120/210
Υδραυλική επιτρεπτικότητα	(s ⁻¹)	ASTM D5493	4,22	0,25/0,68/1,70

* Μέσος όρος των αποτελεσμάτων όλων των εργαστηριακών δοκιμών

** Ελάχιστη τιμή/μέσος όρος/μέγιστη τιμή

1,0 και ορθή τάση 200 kPa και 350 kPa, η παροχή που μετρήθηκε ήταν κατά μέσο όρο 2260m³/y και 1420 m³/y, αντίστοιχα, δηλαδή 22,6 και 14,2 φορές υψηλότερη από την ελάχιστη απαιτούμενη για προκατασκευασμένο κατακόρυφο στραγγιστήριο (100m³/y). Κατά συνέπεια ο πυρήνας αυτός είναι απολύτως κατάλληλος για να χρησιμοποιηθεί στη σύνθεση του ΠΚΣ.

4. ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΟ

Για τις ανάγκες της “πilotικής” παραγωγής, το Π.Κ.Σ. διαμορφώθηκε με αναδίπλωση του γεωυφάσματος γύρω από τον πυρήνα και απλή ραφή των δύο άκρων του γεωυφάσματος μεταξύ τους. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του ΠΚΣ. και το εύρος τιμών που χαρακτηρίζει τα διαθέσιμα στο εμπόριο

ΠΜΣ. Επιπλέον, στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού πλατιάς λωρίδας που εκτελέστηκαν σε δοκίμια με ονομαστικό πλάτος 100mm χωρίς αναγωγή των αποτελεσμάτων ανά m πλάτους του προϊόντος, όπως προβλέπεται στο πρότυπο ASTM D4595, για να υπάρχει η δυνατότητα απ’ ευθείας σύγκρισης με τιμές που δίνονται για διαθέσιμα στο εμπόριο παρόμοια προϊόντα. Τέλος, στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δοκιμών συμπίεστικότητας και γίνεται σύγκριση με τα χαρακτηριστικά συμπίεστικότητας τριών διαθέσιμων προκατασκευασμένων κατακόρυφων στραγγιστηρίων.

Με βάση τα αποτελέσματα αυτά παρατηρείται ότι τα φυσικά χαρακτηριστικά του νέου ΠΚΣ είναι πλήρως αποδεκτά. Η μάζα ανά μονάδα μήκους (περίπου 95 gr/m) βρίσκεται κοντά στο μέσο όρο των διαθέσιμων προϊόντων ενώ το πάχος (περίπου 5,4mm)

Πίνακας 2. Ιδιότητες πλαστικού πυρήνα
Table 2. Plastic core properties

Ιδιότητα		Πρότυπο	Από δοκιμές*	Εμπορικά διαθέσιμα**
Μάζα ανά μονάδα επιφάνειας	(gr/m ²)	ASTM D5261	639	300/580/970
Πάχος	(mm)	ASTM D5199	3,4	2,4/3,2/5,0
Εφελκυσμός πλατιάς λωρίδας		ASTM D4595		2,7/11,7/21,0
Φορτίο αστοχίας	(kN/m)		11,3	
Επιμήκυνση αστοχίας	(%)		>200	
Παροχή (10kPa, i=0,1)	(m ³ /s)x10 ⁻⁶	ASTM D4716	126	45/70/200
(200kPa, i=1)			72	
(350 kPa, i=1)			45	

* Μέσος όρος των αποτελεσμάτων όλων των εργαστηριακών δοκιμών

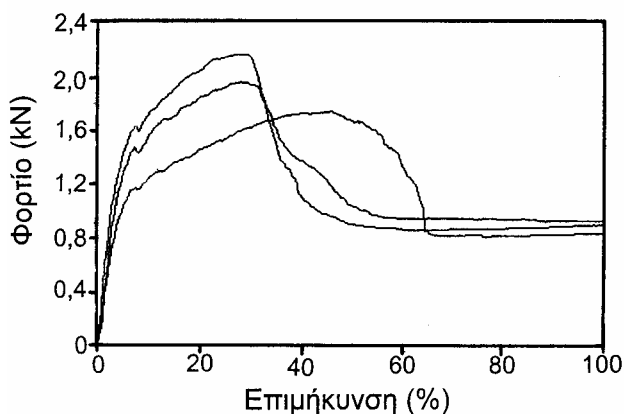
** Ελάχιστη τιμή/μέσος όρος/μέγιστη τιμή

Πίνακας 3. Ιδιότητες προκατασκευασμένου κατακόρυφου στραγγιστήριου
Table 3. Prefabricated vertical drain properties

Ιδιότητα		Πρότυπο	ΠΚΣ	Εμπορικά διαθέσιμα**
Μάζα ανά μονάδα επιφάνειας	(gr/m ²)	ASTM D5261	95,1	66/88/160
Πάχος	(mm)	ASTM D5199	5,36	2/3,7/7
Εφελκυσμός πλατιάς λωρίδας		ASTM D4595		
Φορτίο αστοχίας	(kN)		2,0	1,6/2,4/4,2
Επιμήκυνση αστοχίας	(%)			
Παροχή	(m ³ /sx10 ⁻⁶)	ASTM D4716	12-117	45/85/180

* Μέσος όρος των αποτελεσμάτων όλων των εργαστηριακών δοκιμών

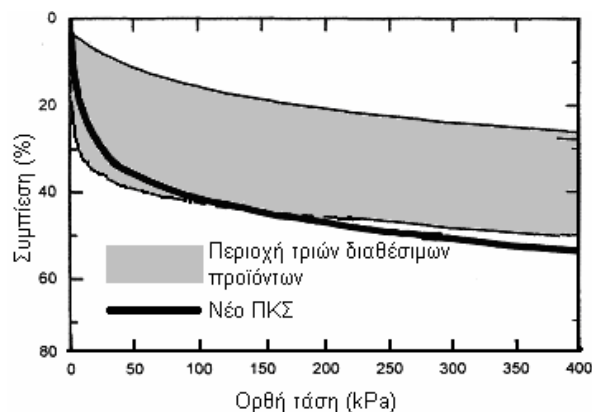
** Ελάχιστη τιμή/μέσος όρος/μέγιστη τιμή



Σχήμα 4. Καμπύλες φορτίου – επιμήκυνσης του ΠΚΣ από δοκιμές πλατειάς λωρίδας
Figure 4. PVD load-extension curves from wide-width tensile tests

υπερβαίνει το μέσο όρο που χαρακτηρίζει τα παρόμοια διαθέσιμα προϊόντα όμως είναι σαφέστατα μέσα στα αποδεκτά όρια για το πάχος προκατασκευασμένων κατακόρυφων στραγγιστήριων.

Η αντοχή σε εφελκυσμό (περίπου 2kN) βρίσκεται σε ικανοποιητική συμφωνία με τον μέσο όρο των τιμών (2,4 kN) των διαθέσιμων



Σχήμα 5. Συμπίεση του ΠΚΣ
Figure 5. PVD compressibility

ΠΚΣ. Οι μορφές των καμπυλών φορτίου – επιμήκυνσης που φαίνονται στο Σχήμα 4 υποδεικνύουν ότι αρχικά το φορτίο παραλαμβάνεται τόσο από το γεωύφασμα – μανδύα όσο και από τον πυρήνα. Μετά την αστοχία του γεωυφάσματος, ο πυρήνας εξακολουθεί να παραμορφώνεται παρουσιάζοντας τα χαρακτηριστικά που φαίνονται και στο Σχήμα 2.

Η μορφή των καμπυλών συμπίεσότητας του νέου ΠΚΣ, είναι παρόμοια με τις μορφές που προέκυψαν από τις δοκιμές σε δείγματα τριών διαθέσιμων προϊόντων. Το νέο στραγγιστήριο εμφανίζει όμοια χαρακτηριστικά συμπίεσότητας με ένα από αυτά ενώ υστερεί σχετικά ως προς τα άλλα δύο. Η συμπεριφορά αυτή αποδίδεται στη συμπίεση του γεωυφάσματος στις κορυφές των αυλακώσεων του πυρήνα. Πάντως, τα χαρακτηριστικά συμπίεσότητας του νέου προϊόντος κρίνονται ικανοποιητικά.

Οι τιμές της παροχής που δίνονται στον Πίνακα 3 για τα εμπορικά διαθέσιμα προϊόντα έχουν προκύψει (σύμφωνα με τα τεχνικά φυλλάδια των κατασκευαστών τους) από δοκιμές που παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις μεταξύ τους ως προς τις ορθές τάσεις και τις υδραυλικές κλίσεις που εφαρμόστηκαν. Το εύρος τιμών που δίδεται για το νέο ΠΚΣ προέκυψε από δοκιμές με υδραυλική κλίση 1,0 και ορθές τάσεις από 2kPa ως 350 kPa. Παρ' όλα αυτά, η υδραυλική μεταβιβασιμότητα του νέου ΠΚΣ συγκρίνεται θετικά με αυτή των διαθέσιμων προϊόντων.

Για την πληρέστερη τεκμηρίωση της υδραυλικής συμπεριφοράς του νέου ΠΚΣ εκτελέστηκαν δοκιμές υδραυλικής μεταβιβασιμότητας με τα δοκίμια (α) μεταξύ άκαμπτων πλακών όπως ορίζει το πρότυπο ASTM D4716, (β) μεταξύ στρώσεων παραμορφώσιμου “αργιλικού” υλικού για προσομοίωση συνθηκών πεδίου και (γ) με έντονη παραμόρφωση του δοκιμίου μεταξύ άκαμπτων πλακών για εκτίμηση της συμπεριφοράς υπό ακραίες συνθήκες. Στον Πίνακα 4 συνοψίζονται οι

Πίνακας 4. Παροχή προκατασκευασμένου κατακόρυφου στραγγιστηρίου
Table 4. Discharge capacity of the prefabricated vertical drain

Ορθή τάση (kPa)	Παροχή (m ³ /sx10 ⁻⁶)			
	Άκαμπτες πλάκες	Συμπιεστό υλικό	Άκαμπτες πλάκες (τσάκισμα)	Άκαμπτες πλάκες (καμπύλωση)
2	117,22	96,11	111,67	165,56
12	50,00	54,07	50,00	68,33
25	40,28	41,39	40,83	48,15
50	28,94	32,78	34,54	36,67
100	23,93	17,89	27,22	29,44
200	17,72	13,81	20,39	21,78
350	11,89	9,53	14,07	16,44

* Μέσος όρος των αποτελεσμάτων όλων των εργαστηριακών δοκιμών

** Ελάχιστη τιμή/μέσος όρος/μέγιστη τιμή

τιμές της παροχής που προέκυψαν για υδραυλική κλίση ίση προς 1,0 από όλους τους τύπους δοκιμών υδραυλικής μεταβιβασιμότητας που εκτελέστηκαν. Η υδραυλική μεταβιβασιμότητα του νέου στραγγιστηρίου δεν εμφανίζει ουσιώδεις διαφοροποιήσεις ανάλογα με τις συνθήκες εκτέλεσης της σχετικής εργαστηριακής δοκιμής.

Παρατηρείται, γενικά, ότι τόσο η υδραυλική μεταβιβασιμότητα όσο και η παροχή εμφανίζουν σημαντική μείωση για μικρή αύξηση της τιμής της εφαρμοζόμενης ορθής τάσης στην αρχή κάθε τύπου δοκιμής. Οι τιμές που μετρήθηκαν για ορθή τάση ίση προς 12 kPa είναι περίπου το 45% των τιμών που μετρήθηκαν για πολύ μικρή τιμή της ορθής τάσης (2 kPa). Ακολουθώντας, η τιμή τόσο της υδραυλικής μεταβιβασιμότητας όσο και της παροχής μειώνεται περίπου γραμμικά με την αύξηση της τιμής της εφαρμοζόμενης ορθής τάσης.

Από συμβατικές δοκιμές, δηλαδή με το δοκίμιο μεταξύ άκαμπτων πλακών, προκύπτει ελάχιστη τιμή της παροχής ίση προς 12×10^{-6} m³/s ή ίση προς περίπου 400 m³/y. Η τιμή αυτή είναι τετραπλάσια της τιμής των 100 m³/y που θεωρείται ως ελάχιστη απαιτούμενη (Rixner et al., 1986, Koerner, 1994). Για μικρότερα βάθη εγκατάστασης, έστω βάθος που αντιστοιχεί σε ορθή τάση 200 kPa, η παροχή είναι περίπου 560 m³/y και παρέχει ένα συντελεστή ασφάλειας περίπου 5 έως 6. Όπως παρατηρήθηκε και από άλλες εργαστηριακές διερευνήσεις η αντικατάσταση των άκαμπτων πλακών στη δοκιμή υδραυλικής μεταβιβασιμότητας με παραμορφώσιμο υλικό (άργιλο) προκαλεί μείωση της παροχетеυτικότητας του στραγγιστηρίου. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην παραμόρφωση

του γεωφύσματος που εισχωρεί στα κενά ή στις αυλακώσεις του πυρήνα. Τα αποτελέσματα των δοκιμών που εκτελέστηκαν υποδεικνύουν ότι για σχετικά μικρά βάθη εγκατάστασης (ορθές τάσεις 50 kPa έως 100 kPa) η επίδραση του συμπιεστού υλικού εγκιβωτισμού του στραγγιστηρίου είναι αμελητέα. Για μεγαλύτερα όμως βάθη, επέρχεται μείωση της παροχής κατά 20% έως 25%. Η τιμή αυτή είναι σε πολύ καλή συμφωνία με το κάτω όριο των παρατηρήσεων άλλων ερευνών (π.χ. Rixner et al., 1986) όπου προέκυψαν μειώσεις της παροχής μεταξύ 30% και 80%.

Εντονη τοπική παραμόρφωση του στραγγιστηρίου, σε μορφή τσακίσματος 90° ή καμπύλωσης 180°, δεν επιφέρει μείωση της παροχетеυτικότητας του στραγγιστηρίου. Οι υψηλότερες τιμές που παρατηρούνται στις δύο τελευταίες στήλες του Πίνακα 4 (δοκιμές με τσάκισμα ή καμπύλωση) σε σχέση με τις τιμές της πρώτης στήλης (δοκιμές με άκαμπτες πλάκες) αποδίδονται σε διαφοροποιήσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών των δοκιμών που ελέγχθηκαν. Η παρατήρηση ότι έντονες παραμορφώσεις δεν προκαλούν μείωση της παροχетеυτικότητας του στραγγιστηρίου βρίσκεται σε αντίθεση με αποτελέσματα άλλων ερευνών (Suits et al., 1985, Lawrence and Koerner, 1988) όπου παρατηρήθηκαν μειώσεις της παροχής έως και κατά 99%. Σημειώνεται ότι στην παρούσα διερεύνηση εφαρμόστηκε η ίδια γεωμετρία παραμορφωμένου στραγγιστηρίου όπως και από τους Lawrence Koerner (1988). Οι τελευταίοι όμως εφάρμοσαν ορθές τάσεις έως και 5000 kPa, δηλαδή φορτία μη αναμενόμενα στο πεδίο, που πιθανότατα προκάλεσαν σύνθλιψη του πυρήνα των στραγγιστηρίων που έλεγξαν.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών, των παρατηρήσεων και των συγκρίσεων που έγιναν, μπορούν να διατυπωθούν τα εξής συμπεράσματα:

1. Το γεωύφασμα που τελικά επιλέχτηκε ως μανδύας του νέου ΠΚΣ έχει φυσικές, μηχανικές και υδραυλικές ιδιότητες που συγκρίνονται θετικά με αυτές των ήδη διαθέσιμων προϊόντων. Πρόκειται για μη υφασμένο γεωύφασμα με μηχανική εμπλοκή των ινών και θερμική μετεπεξεργασία που κατασκευάζεται από μικρού μήκους ίνες πολυπροπυλενίου.
2. Ο πυρήνας του ΠΚΣ είναι νέο προϊόν που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ειδικά για τις ανάγκες αυτής της διερεύνησης. Παράγεται από πολυπροπυλένιο, είναι διάτρητος και έχει διαμήκεις αυλακώσεις. Τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά (αντοχή εφελκυσμού πλατειάς λωρίδας και συμπιεστότητας) του πυρήνα είναι περίπου στο μέσο όρο των εμπορικά διαθέσιμων προϊόντων. Η παροχή που χαρακτηρίζει τον πυρήνα συγκρίνεται πολύ ικανοποιητικά με τις τιμές που χαρακτηρίζουν πυρήνες διαθέσιμων στραγγιστηρίων.
3. Τα φυσικά χαρακτηριστικά του νέου ΠΚΣ είναι ικανοποιητικά. Η μάζα ανά μονάδα μήκους (95 gr/m) βρίσκεται κοντά στο μέσο όρο των διαθέσιμων προϊόντων ενώ το πάχος (5,4mm) είναι σαφώς μέσα στα αποδεκτά όρια για το πάχος των ΠΚΣ.
4. Η αντοχή σε εφελκυσμό του ΠΚΣ (περίπου 2kN), βρίσκεται σε ικανοποιητική συμφωνία με τον μέσο όρο των τιμών (2,4 kN) των διαθέσιμων ΠΚΣ.
5. Η μορφή των καμπυλών συμπιεστότητας του νέου ΠΚΣ είναι παρόμοια με τη μορφή που χαρακτηρίζει διαθέσιμα προϊόντα. Πάντως, το νέο στραγγιστήριο εμφανίζει αυξημένη συμπιεστότητα σε σχέση με τον μέσο όρο διαθέσιμων προϊόντων που ελέγχθηκαν στο εργαστήριο.
6. Για μεγάλο βάθος εγκατάστασης, που αντιστοιχεί σε ορθή τάση 350 kPa, η ελάχιστη τιμή της παροχής μέσω του ΠΚΣ είναι περίπου 400 m³/y, δηλαδή τετραπλάσια της τιμής που θεωρείται ως ελάχιστη απαιτούμενη.
7. Η προσομοίωση συνθηκών πεδίου με εγκιβωτισμό του στραγγιστηρίου σε παραμορφώσιμο υλικό (άργιλο) προκαλεί μείωση της παροχетеυτικότητας του

στραγγιστηρίου που είναι αμελητέα για σχετικά μικρά βάθη εγκατάστασης (ορθές τάσεις 50 kPa έως 100 kPa) και ανέρχεται 20% έως 25% για μεγαλύτερα βάθη.

8. Εντονη τοπική παραμόρφωση του στραγγιστηρίου, σε μορφή τσακίσματος 90° ή καμπύλωσης 180°, δεν επιφέρει μείωση της παροχетеυτικότητας του στραγγιστηρίου.

6. ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΕΙΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έρευνα που οδήγησε σ' αυτή την εργασία χρηματοδοτήθηκε εν μέρει από τη Γ.Γ.Ε.Τ. μέσω του προγράμματος ΠΑΒΕΤ 00ΒΕ247.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bergado, D.T., Anderson, L.R., Miura, N. and Balasubramaniam, A.S. (1996), "Soft Ground Improvement in Lowland and other Environments", ASCE Press, New York, N.Y., U.S.A.
- Chai, J.C. and Miura, N. (1999), "Investigation of Factors Affecting Vertical Drain Behavior", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 125, No.3, pp. 216-226.
- Holtz, R.D., Jamiolkowski, M., Lancelotta, R. and Pedroni, S. (1990), "Prefabricated Vertical Drains", Butterworth/Heinemann Publ. Co., London, U.K.
- Hwu, B.L., Sprague, C.J. and Koerner, R.M. (1990), "Geotextile Intrusion into Geonets", Proceedings, 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, The Hague, pp. 351-356.
- John, N.W.M. (1987), "Geotextiles", Blackie and Son Ltd., London, U.K.
- Koerner, R.M. (1994) "Designing with Geosynthetics", Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.
- Lawrence, C.A., and Koerner, R.M. (1988), "Flow Behavior of Kinked Strip Drains", Proceedings, Symposium on Geosynthetics for Soil Improvement, ASCE, Nashville, TN, U.S.A.
- Miura, N., Chai, J.C. and Toyota, K. (1998), "Investigation of Some Factors Affecting Discharge Capacity of Prefabricated Vertical Drain", Proceedings, Sixth International Conference on Geosynthetics, IFAI, Atlanta, Georgia, USA, Vol.2, pp. 845 – 850.
- Miura, N. and Chai, J.C. (2000), "Discharge Capacity of Prefabricated Vertical Drains

- Confined in Clay”, Geosynthetics International, Vol.7, No.2, pp. 119 – 134.
- Rixner, J.J., Kraemer, S.R. and Smith, A.D. (1986), “Prefabricated Vertical Drains”, Vol. 1 (Engineering Guidelines), Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-86/168, Washington D.C., U.S.A.
- Suits, L.D., Gemme, R.L. and Masi, J.J. (1985), “The Effectiveness of Prefabricated Drains in the Laboratory Consolidation of Remolded Soils”, ASTM Symposium, Consolidation of Soils: Laboratory Testing”, Ft. Lauderdale, FL., U.S.A.
- Voskamp, W., Troost, G. and Koerner, G.R. (1998), “The Mobilized Strength of Prefabricated Vertical Drains”, Proceedings Sixth International Conference on Geosynthetics, IFAI, Atlanta, Georgia, USA, Vol.2, pp. 839 – 844.