

Μέγεθος Πόρων μη Υφασμένων Γεωυφασμάτων

Pore Sizes of Nonwoven Geotextiles

ΑΤΜΑΤΖΙΔΗΣ, Δ.Κ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής, Παν/μιο Πατρών
ΧΡΥΣΙΚΟΣ, Δ.Α. Πολιτικός Μηχανικός, Λέκτορας, Παν/μιο Πατρών
ΠΑΝΑΓΙΩΤΙΔΗ, Ε.Κ. Πολιτικός Μηχανικός, Μ.Δ.Ε., Παν/μιο Πατρών
ΣΚΑΡΑ, Μ.Ν. Πολιτικός Μηχανικός, Μ.Δ.Ε., Παν/μιο Πατρών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Τα χαρακτηριστικά μεγέθη πόρων (O_{95} , O_{90} , O_{50}) και η πορομετρική σύνθεση 52 μη υφασμένων γεωυφασμάτων προσδιορίστηκαν εργαστηριακά σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM D4751, ASTM D6767 και EN ISO 12956. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Μετά από διόρθωση των αποτελεσμάτων των δοκιμών κατά ASTM D6767 (πολλαπλασιάζοντας με 0,33) αυτά προσεγγίζουν πολύ ικανοποιητικά τα αποτελέσματα από δοκιμές κατά EN ISO 12956. Ενισχύεται η άποψη ότι είναι απαραίτητο να καθιερωθεί ένα και μοναδικό πρότυπο εργαστηριακού προσδιορισμού της καμπύλης πορομετρικής σύνθεσης των γεωυφασμάτων.

ABSTRACT : Characteristic pore sizes (O_{95} , O_{90} , O_{50}) and pore size distribution curves for 52 nonwoven geotextiles were obtained in the laboratory according to standards ASTM D4751, ASTM D6767 and EN ISO 12956. Results differ significantly according to test method. After correction of results obtained according to standard ASTM D6767 (multiplication by 0,33) very good agreement is obtained with results obtained according to standard EN ISO 12956. It becomes evident that there is a need to establish a unique standard method for determining the pore size distribution curves of geotextiles.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκτεταμένη χρήση γεωυφασμάτων σε εφαρμογές όπου αυτά λειτουργούν ως φίλτρα ή ως στραγγιστήρια καθιστά αναγκαίο τον αξιόπιστο προσδιορισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών τους. Πολλά κριτήρια σχεδιασμού οδηγούν στον υπολογισμό ενός μεγέθους (διαμέτρου) που χαρακτηρίζει τους μεγαλύτερους πόρους του γεωυφάσματος (π.χ. O_{95} , που δηλώνει ότι μόνο 5% των πόρων του γεωυφάσματος έχουν άνοιγμα μεγαλύτερο από το μέγεθος αυτό). Έχει διαπιστωθεί ότι γεωυφάσματα με ίδια μεγέθη για τους μεγαλύτερους πόρους μπορεί να έχουν διαφορετική πορομετρική καμπύλη (Prarahaaran et al., 1989) και ότι ο σχεδιασμός φίλτρων και στραγγιστηρίων δεν μπορεί να βασίζεται σε προσδιορισμούς των διαστάσεων μόνο των μεγαλύτερων πόρων των γεω-

υφασμάτων (Giroud, 1996). Πέρα από θεωρητικά μοντέλα (Giroud, 1996, Faure et al., 1986) έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι εργαστηριακού προσδιορισμού του μεγέθους των πόρων των γεωυφασμάτων, όπως ξηρό, υγρό ή υδροδυναμικό κοσκίνισμα, θεώρηση των πόρων ως τριχοειδών σωλήνων και ανάλυση εικόνας (Fisher et al., 1996). Μεταξύ αυτών, υπάρχουν και τρεις μέθοδοι για τις οποίες έχουν εγκριθεί τα “διεθνούς” αποδοχής πρότυπα ASTM D4751, EN ISO 12956 και ASTM D6767 που ισχύουν από το 1993, το 1998 και το 2002, αντίστοιχα.

Το πρότυπο ASTM D4751 ορίζει διαδικασία ξηρού κοσκίνισματος. Χρησιμοποιούνται γυάλινα σφαιρίδια που είναι χωρισμένα σε κλάσματα αποτελούμενα από “ισομεγέθεις” κόκκους. Η διαδικασία ξεκινάει κοσκινίζοντας μέσω του γεωυφάσματος το κλάσμα σφαιριδίων με τη μικρότερη διάμετρο και

συνεχίζεται με το κλάσμα σφαιριδίων της αμέσως μεγαλύτερης διαμέτρου. Προσδιορίζεται το φαινόμενο μέγεθος πόρων, O_{95} , που αντιστοιχεί σε εκείνο το μέγεθος σφαιριδίων των οποίων το 5% διαπερνά το γεωύφασμα. Παρ' όλο που το πρότυπο ASTM D4751 οδηγεί στον προσδιορισμό ενός μεγέθους πόρων (σχεδόν του μεγαλύτερου) υπάρχει δυνατότητα επέκτασης της μεθόδου ώστε να παρέχει και την καμπύλη κατανομής πόρων του γεωυφάσματος.

Σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 12956 καθορίζεται το χαρακτηριστικό μέγεθος πόρων γεωυφάσματος, O_{90} , κοσκινίζοντας μέσω του γεωυφάσματος, και υπό συνεχή καταιονισμό, εδαφικό υλικό πρότυπης κοκκομετρίας. Θεωρείται ότι η κοκκομετρική καμπύλη του διερχόμενου υλικού αντιστοιχεί στην πορομετρική καμπύλη του γεωυφάσματος.

Η μέθοδος που ορίζεται από το πρότυπο ASTM D6767 βασίζεται στο γεγονός ότι ένα κορεσμένο πορώδες υλικό μορφής δίσκου θα επιτρέψει σε αέρα υπό πίεση να το διαπεράσει όταν η πίεση του αέρα ξεπεράσει την αντίσταση που αναπτύσσεται λόγω επιφανειακής τάσης στους μεγαλύτερους πόρους. Σταδιακή αύξηση της πίεσης του αέρα προκαλεί διάνοιξη όλο και μικρότερων πόρων. Θεωρώντας ότι η πίεση του αέρα είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους των πόρων, προσδιορίζεται η πορομετρική καμπύλη των γεωυφάσματος (καμπύλη κατανομής των μεγεθών των στενώσεων των πόρων).

Προηγούμενες διερευνήσεις υποδεικνύουν μεταξύ άλλων και τα εξής: (α) οι τιμές των μεγεθών πόρων που προσδιορίζονται εργαστηριακά εξαρτώνται από τη μέθοδο που εφαρμόζεται, (β) τα αποτελέσματα της μεθόδου κατά ASTM D4751 επηρεάζονται από την ανάπτυξη ηλεκτροστατικών φορτίων μεταξύ γεωυφάσματος και γυάλινων σφαιριδίων και εγκλωβισμό σφαιριδίων στον όγκο του γεωυφάσματος, (γ) είναι προτιμότερο να εκτελούνται δοκιμές κατά EN ISO 12956 παρά κατά ASTM D4751 λόγω περιορισμένης διασποράς των αποτελεσμάτων, (δ) η μέθοδος κατά ASTM D4751 δίνει συστηματικά μεγαλύτερα μεγέθη πόρων σε σχέση με τις μεθόδους κατά EN ISO 12956 και ASTM D6767, (ε) οι μέθοδοι κατά EN ISO 12956 και ASTM D6767 δίνουν παρόμοια αποτελέσματα και (στ) η μόνη μέθοδος που καταγράφει το μέγεθος των στενώσεων στους πόρους των γεωυφασμάτων είναι η ASTM D6767 (Faure et al., 1990, Bhatia et al., 1994, Giroud, 1996,

Fischer et al., 1996, Bhatia et al., 1996, Tu et al, 2002, Aydilek et al., 2005).

Οι παραπάνω παρατηρήσεις αποτέλεσαν το έναυσμα για την εκτέλεση της εργαστηριακής διερεύνησης, αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται σ' αυτή την εργασία. Επιδίωξη είναι ο εμπλουτισμός των διαθέσιμων δεδομένων συγκριτικής αξιολόγησης των τριών προτύπων ώστε να ενισχυθεί η άποψη για καθιέρωση ενός και μοναδικού προτύπου εργαστηριακού προσδιορισμού της πορομετρίας των γεωυφασμάτων.

2. ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ASTM D6767

Η μέθοδος που καθιερώνεται με το πρότυπο ASTM D6767 επιτρέπει τον υπολογισμό του μεγέθους των πόρων θεωρώντας την ισορροπία μεταξύ της εφαρμοζόμενης πίεσης αέρα και του συνόλου της αναπτυσσόμενης επιφανειακής τάσης σε πόρους συγκεκριμένου μεγέθους. Με την υπόθεση ότι οι πόροι του γεωυφάσματος έχουν σχήμα κυλινδρικό, η ισορροπία των δυνάμεων αυτών περιγράφεται ως εξής:

$$P \cdot \pi \cdot O^2 / 4 = B \cdot \gamma \cdot \pi \cdot O \cdot \cos \theta \quad (1)$$

όπου P είναι η εφαρμοζόμενη πίεση αέρα, O είναι η διάμετρος του πόρου, γ είναι η επιφανειακή τάση του υγρού διαβροχής, θ είναι η γωνία επαφής και B είναι μία σταθερά. Με την υπόθεση ότι η γωνία επαφής θ είναι ίση με μηδέν ($\cos \theta = 1$), προκύπτει:

$$O = 4 \cdot B \cdot \gamma / P \quad (2)$$

Ταυτόχρονα με τη μέτρηση της πίεσης του αέρα, καταγράφεται και η παροχή, q_w , του αέρα μέσω του υγρού δοκιμίου. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται με καταγραφή πίεσης – παροχής ($P-q_d$) μέσω ξηρού δοκιμίου. Για συγκεκριμένη πίεση αέρα, που αντιστοιχεί σε ένα μέγεθος πόρων, το ποσοστό πόρων μικρότερων αυτού υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\% \text{ μικρότερων} = (1 - q_w/q_d) \cdot 100 \quad (3)$$

Οι υποθέσεις ότι η γωνία επαφής, θ , είναι ίση προς μηδέν και ότι το σχήμα των πόρων είναι κυλινδρικό, οδηγούν σε υπερεκτίμηση του μεγέθους των πόρων. Για πραγματική γωνία θ έως 45° η υπερεκτίμηση είναι έως και 41%. Εάν υποθεθούν άλλες απλές γεωμετρικές της διατομής των πόρων, π.χ. ορθογωνική με

πλάτος ίσο προς το μισό του μήκους ή ρόμβος τότε η υπερεκτίμηση είναι έως και 100% ως προς τη διάμετρο του κύκλου που είναι εσωτερικά επαπτόμενος σ' αυτά τα σχήματα. Η ακανόνιστη μορφή της διατομής των πόρων των μη υφασμένων γεωυφασμάτων έχει επισημανθεί και διερευνηθεί και παλαιότερα (Chin and Nikraz, 1996, Elsharief and Lovell, 1996). Σημειώνεται ότι η παράμετρος B που εισάγεται στην Εξίσωση 1 σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D6767, έχει σταθερή τιμή ίση προς 0,715 όταν η πίεση του αέρα εκφράζεται σε kPa και η προέλευσή της αποδίδεται στον Bechhold (1908) από όπου όμως δεν προκύπτει κάτι σχετικό. Η ίδια παράμετρος, B, χρησιμοποιείται και στο πρότυπο ASTM F316 αλλά δεν δικαιολογείται ούτε η ανάγκη εισαγωγής της ούτε η τιμή της. Επί πλέον, σε αρκετές εργασίες που σχετίζονται με τη μέθοδο που καθιερώνεται με το πρότυπο ASTM D6767 (Vermeersch and Mlynarek, 1996, Bhatia and Smith, 1994, Tu et al., 2002) δεν περιλαμβάνεται η παράμετρος B στην εξίσωση προσδιορισμού του μεγέθους πόρων των γεωυφασμάτων. Συνδυάζοντας αυτές τις πληροφορίες, φαίνεται ότι η παράμετρος B θα πρέπει να θεωρηθεί ως διορθωτικός συντελεστής, η τιμή του οποίου πρέπει να είναι μικρότερη της μονάδας και να εξαρτάται από τα υλικά που ελέγχονται, το υγρό διαβροχής και τα χαρακτηριστικά της συσκευής που χρησιμοποιείται.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

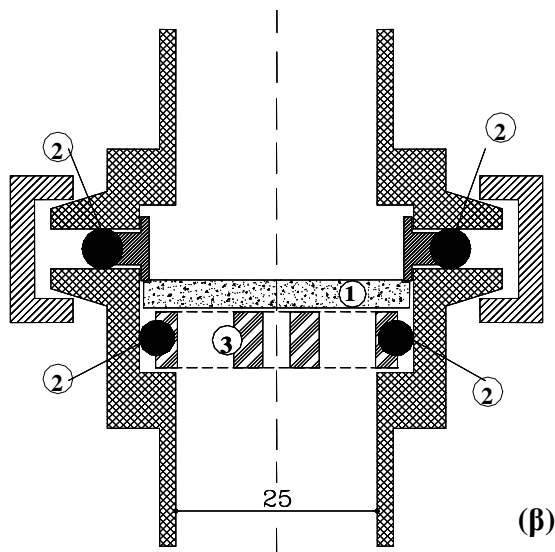
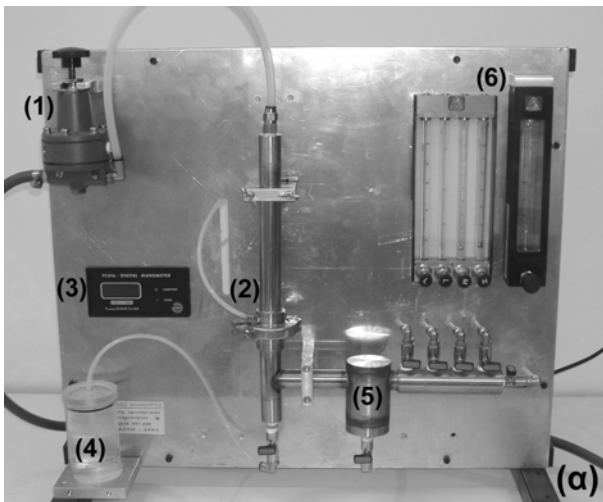
Στο πλαίσιο αυτής της εργαστηριακής διερεύνησης ελέγχθηκαν 52 δείγματα μη υφασμένων γεωυφασμάτων που κατασκευάζονται από ίνες πολυπροπυλενίου, ώστε να περιοριστεί στο ελάχιστο η επίδραση διαφορετικών πρώτων υλικών στις μετρήσεις και στις συσχετίσεις που προκύπτουν από αυτές. Τα δείγματα προέρχονται από 8 διαφορετικούς κατασκευαστές και αντιπροσωπεύουν 9 σειρές γεωυφασμάτων με 4 έως 7 γεωυφάσματα ανά σειρά. Το 83% αυτών των γεωυφασμάτων κατασκευάζονται με μηχανική εμπλοκή των ινών από ίνες μικρού μήκους ή από συνεχείς ίνες και το 17% με διάφορες μεθόδους θερμικής συγκόλλησης των ινών. Τα εργαστηριακά δείγματα είχαν πλάτος όσο και το πλάτος παραγωγής και μήκος από 2,5m ως 5,0m. Χαρακτηρίζονται στο κείμενο αυτό με ειδικό κωδικό (π.χ. M3/1). Τα σύμβολα M1 ως M9 χαρακτηρίζουν τη σειρά (προέλευση, κατασκευαστή) των γεωυφασμάτων και ο τελευταίος αριθμός ταυτο-

ποιεί το γεωύφασμα κάθε σειράς. Οι φυσικές ιδιότητες των γεωυφασμάτων καλύπτουν ένα ευρύ πεδίο τιμών, με τη μάζα ανά μονάδα επιφάνειας να κυμαίνεται μεταξύ 70 και 640gr/m² και το πάχος μεταξύ 0,36 και 4,77mm.

Για τις ανάγκες αυτής της εργαστηριακής διερεύνησης, εκτελέστηκαν δοκιμές σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM D6767, ASTM D4751 και EN ISO 12956. Τα αποτελέσματα των δοκιμών συμβολίζονται στο κείμενο αυτό ως εξής: BP (ASTM D6767), WS (EN ISO 12936) και DS (ASTM D4751). Σημειώνεται ότι (α) για την εκτέλεση δοκιμών κατά EN ISO 12956, το προβλεπόμενο πρότυπο εδαφικό υλικό αντικαταστάθηκε με ίδιας κοκκομετρικής σύνθεσης μείγμα γυάλινων σφαιριδίων και (β) για την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων των δοκιμών κατά ASTM D6767 η τιμή της παραμέτρου B τέθηκε ίση προς τη μονάδα. Κατά τα άλλα ακολουθήθηκαν πλήρως οι διαδικασίες που καθορίζουν τα πρότυπα ελέγχου. Στο Σχήμα 1 φαίνεται η εργαστηριακή διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση δοκιμών κατά ASTM D6767 και που ανταποκρίνεται απόλυτα στις απαιτήσεις αυτού του προτύπου. Η διάταξη περιλαμβάνει ρυθμιστή πίεσης (1), θάλαμο δοκιμίου (2), ηλεκτρονικό μετρητή πίεσης (3), δοχείο ανίχνευσης πρώτης διέλευσης αέρα (4), παγίδα νερού (5) και παροχόμετρα (6). Στο θάλαμο δοκιμίου (Σχήμα 1β) που στεγανώνεται απόλυτα με κυκλικές φλάντζες (2) το γεωύφασμα (1) στηρίζεται σε διάτρητο μεταλλικό δακτύλιο (3).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται, ενδεικτικά, οι πορομετρικές καμπύλες για τέσσερα από τα γεωυφάσματα που ελέγχθηκαν. Παρατηρήθηκε ότι για οποιοδήποτε γεωύφασμα τα μεγέθη πόρων που προκύπτουν κατά EN ISO 12956 (WS) είναι μικρότερα από αυτά που προκύπτουν κατά ASTM D6767 (BP) και ASTM D4751 (DS). Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι τα μεγαλύτερα μεγέθη πόρων προκύπτουν, γενικά, όταν εφαρμόζεται το πρότυπο ASTM D6767 (BP). Το γεγονός αυτό έρχεται σε αντίθεση με πληροφορίες που υπάρχουν στη βιβλιογραφία και υποδεικνύει την αναγκαιότητα εισαγωγής ενός διορθωτικού συντελεστή στον υπολογισμό των πόρων κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων δοκιμών κατά ASTM D6767 (BP). Ο συντελεστής αυτός μπορεί να είναι, πράγματι, η παράμετρος B που εισάγει το πρότυπο.



Σχήμα 1. ASTM D6767 (α) εργαστηριακή διάταξη και (β) θάλαμος δοκιμίου

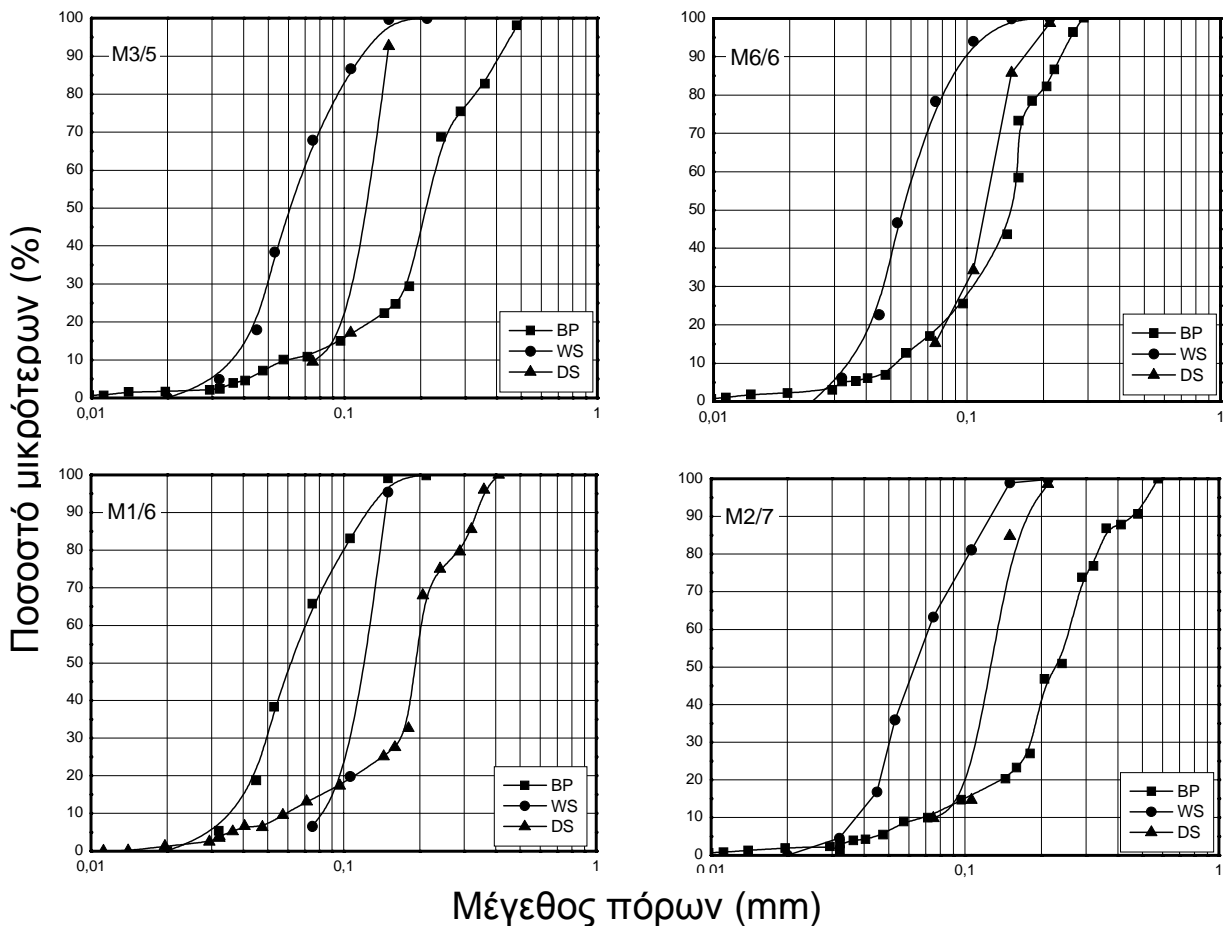
Figure 1. ASTM D6767 (a) laboratory equipment and (b) specimen holder.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο πλαίσιο αυτής της εργαστηριακής διερεύνησης παρουσιάζει η σύγκριση μεταξύ αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή των τριών πρότυπων εργαστηριακών δοκιμών τόσο ως προς τη γενική μορφή των πορομετρικών καμπυλών όσο και ως προς συγκεκριμένες τιμές μεγέθους κενών (O_{95} , O_{90} και O_{50}) για κάθε γεωύφασμα. Οι συσχετίσεις μεταξύ αντίστοιχων μεγεθών πόρων ήταν δυνατό να γίνουν μόνο για τις σειρές γεωυφασμάτων για τις οποίες ήταν διαθέσιμα τουλάχιστον τρία ζεύγη τιμών. Για κάθε συνδυασμό προτύπων μεθόδων (WS-BP, DS-BP και DS-WS) έγινε σύγκριση μεταξύ των αντίστοιχων μεγεθών πόρων για το σύνολο των γεωυφασμάτων, για

τα βελονοδιάτρητα γεωυφάσματα, για τα θερμικά συγκολλημένα γεωυφάσματα αλλά και ανά σειρά γεωυφασμάτων και υπολογίστηκε ο λόγος των αντίστοιχων μεγεθών πόρων για κάθε γεωύφασμα. Σημειώνεται ότι οι βέλτιστες γραμμικές συσχετίσεις που προέκυψαν σε κάθε περίπτωση ήταν της μορφής $y=A \cdot x+B$. Για λόγους συγκρίσεων αλλά και ορθότερης προσέγγισης της πραγματικότητας υπολογίστηκαν και συσχετίσεις της μορφής $y=A \cdot x$ τα αποτελέσματα των οποίων δίνονται στον Πίνακα 1 και στα Σχήματα 3,4 και 5.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των συσχετίσεων των αντίστοιχων μεγεθών πόρων που προέκυψαν με εφαρμογή των προτύπων EN ISO 12956 (WS) και ASTM D6767 (BP) παρατηρείται ότι (α) όταν η συσχέτιση πραγματοποιείται ανά σειρά γεωυφασμάτων οι λόγοι αντίστοιχων μεγεθών παίρνουν τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 0,30 και 0,40 για τα μεγέθη O_{95} (με μέσο όρο 0,34), μεταξύ 0,31 και 0,39 για τα μεγέθη O_{90} (με μέσο όρο 0,34) και μεταξύ 0,28 και 0,37 για τα μεγέθη O_{50} (με μέσο όρο 0,31). Όταν η συσχέτιση πραγματοποιείται για το σύνολο των γεωυφασμάτων, ο λόγος αντίστοιχων μεγεθών έχει τιμή ίση με 0,34, 0,33 και 0,30 για τα μεγέθη O_{95} , O_{90} και O_{50} , αντίστοιχα. Η τιμή του λόγου των αντίστοιχων μεγεθών που προκύπτουν εργαστηριακά κατά EN ISO 12956 (WS) και ASTM D6767 (BP) εμφανίζει περίπου το ίδιο εύρος διακύμανσης για όλα τα μεγέθη όταν η σύγκριση γίνεται ανά σειρά γεωυφασμάτων. Επίσης η τιμή του λόγου αυτού που προκύπτει από τη συσχέτιση του συνόλου των γεωυφασμάτων είναι περίπου ίση προς το μέσο όρο των τιμών όταν η θεώρηση γίνεται ανά σειρά. Διαπιστώνεται, δηλαδή ότι η εφαρμογή ενός διορθωτικού συντελεστή με τιμή 0,30 ως 0,34 στα αποτελέσματα που προκύπτουν με βάση το πρότυπο ASTM D6767, αποδίδει πορομετρική καμπύλη που είναι σε πολύ καλή συμφωνία με την αντίστοιχη που προκύπτει με εφαρμογή του προτύπου EN ISO 12956.

Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων των αντίστοιχων μεγεθών πόρων που προέκυψαν με εφαρμογή των προτύπων ASTM D4751 (DS) και ASTM D6767 (BP) υποδεικνύουν ότι (α) όταν η συσχέτιση πραγματοποιείται ανά σειρά γεωυφασμάτων οι λόγοι αντίστοιχων μεγεθών παίρνουν τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 0,38 και 0,56 για τα μεγέθη O_{95} (μέσος όρος 0,46), μεταξύ 0,37 και 0,56 για τα μεγέθη O_{90} (μέσος όρος 0,46) και μεταξύ 0,53 και 0,69



Σχήμα 2. Τυπικές πορομετρικές καμπύλες κατά ASTM D6767 (BP), EN ISO 12956 (WS) και ASTM D4751 (DS)

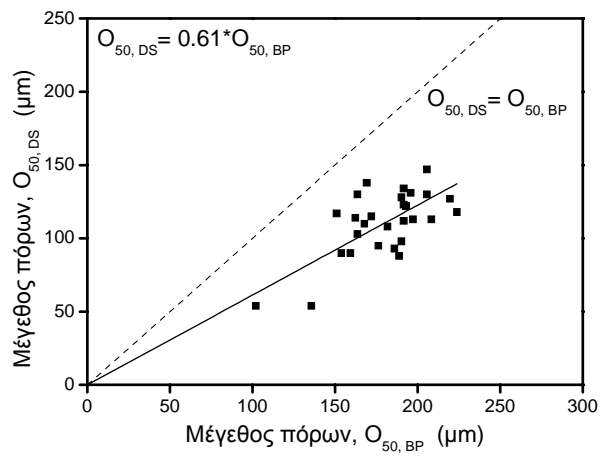
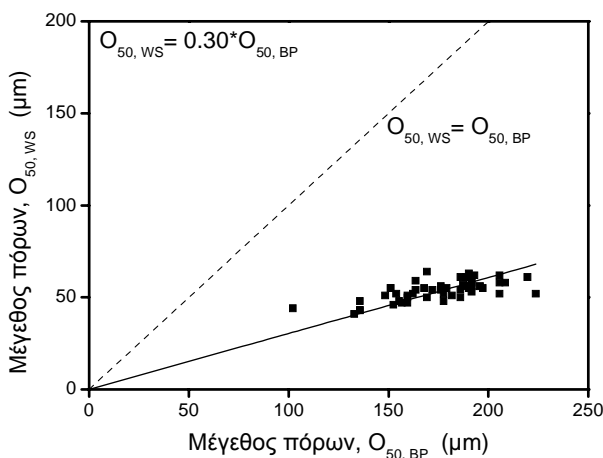
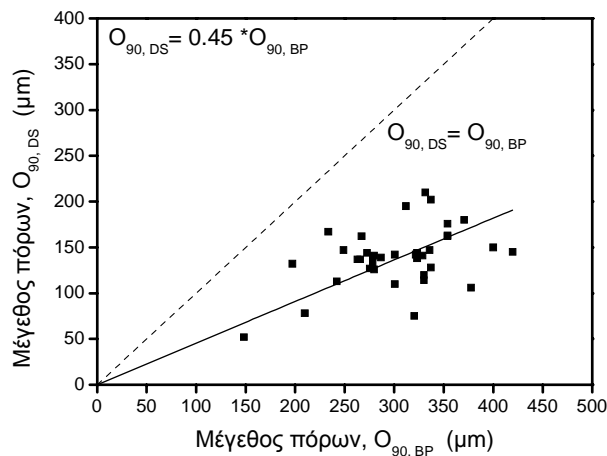
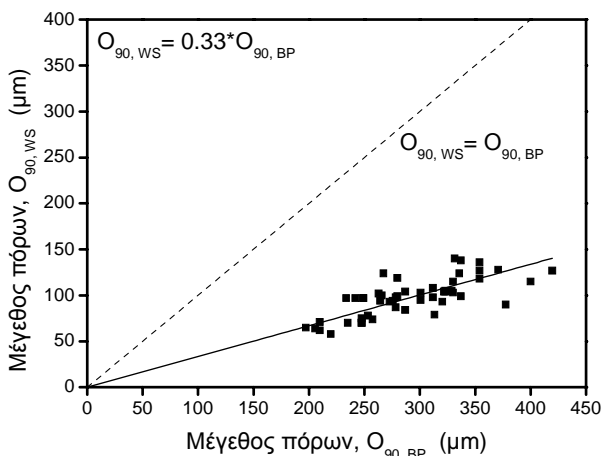
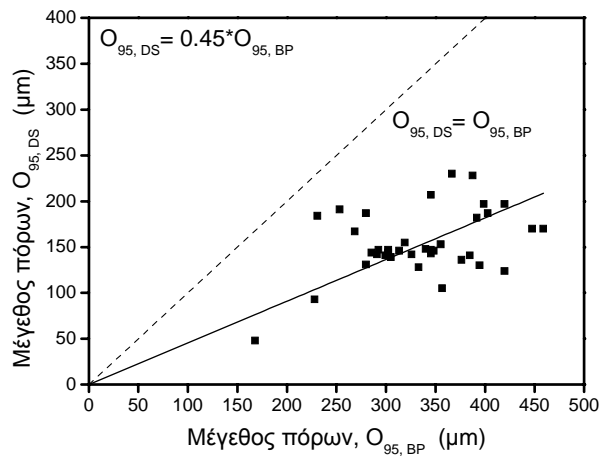
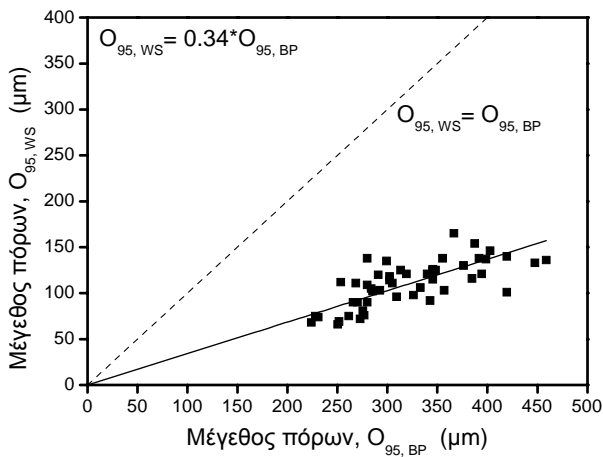
Figure 2. Typical pore size distribution curves according to ASTM D6767 (BP), EN ISO 12956 (WS) and ASTM D4751 (DS)

Πίνακας 1. Αποτελέσματα συσχετίσεων μεγεθών πόρων προσδιορισμένων κατά ASTM D4751, ASTM D6767 και EN ISO 12956

Table 1. Results of correlations between pore sizes determined according to ASTM D4751, ASTM D6767 and EN ISO 12956

Σειρά γεωυφασμάτων	$O_{95,WS}$	$O_{90,WS}$	$O_{50,WS}$	$O_{95,DS}$	$O_{90,DS}$	$O_{50,DS}$	$O_{95,DS}$	$O_{90,DS}$	$O_{50,DS}$
	$O_{95,BP}$	$O_{90,BP}$	$O_{50,BP}$	$O_{95,BP}$	$O_{90,BP}$	$O_{50,BP}$	$O_{95,WS}$	$O_{90,WS}$	$O_{50,WS}$
M1 (7)	0,31	0,31	0,30	0,39	0,39	0,63	1,82	1,82	1,15
M2 (7)	0,35	0,33	0,30	0,48	0,49	0,61	1,49	1,47	1,16
M3 (7)	0,32	0,32	0,30	0,38	0,38	0,56	1,89	1,89	1,28
M4 (5)	0,30	0,31	0,28	0,39	0,37	0,59	1,14	1,12	2,12
M5 (6)	0,36	0,35	0,31	0,45	0,46	0,55	1,59	1,56	1,30
M6 (6)	0,35	0,35	0,33	0,55	0,56	0,68	1,30	1,28	1,05
M7 (5)	0,40	0,39	0,28	0,45	0,52	0,62	1,37	3,03	1,15
M8 (5)	0,38	0,37	0,37	0,56	0,55	0,69	1,18	1,31	1,03
M9 (4)	0,32	0,32	0,32	0,46	0,45	0,53	1,33	1,32	1,63
Βελονοδιάρτητα	0,33	0,33	0,30	0,44	0,45	0,61	1,27	1,31	2,03
Θερμικά συγκ.	0,34	0,35	0,34	0,45	0,52	0,64	1,49	1,47	1,80
Σύνολο	0,34	0,33	0,30	0,45	0,45	0,61	1,30	1,33	1,99

() : αριθμός γεωυφασμάτων

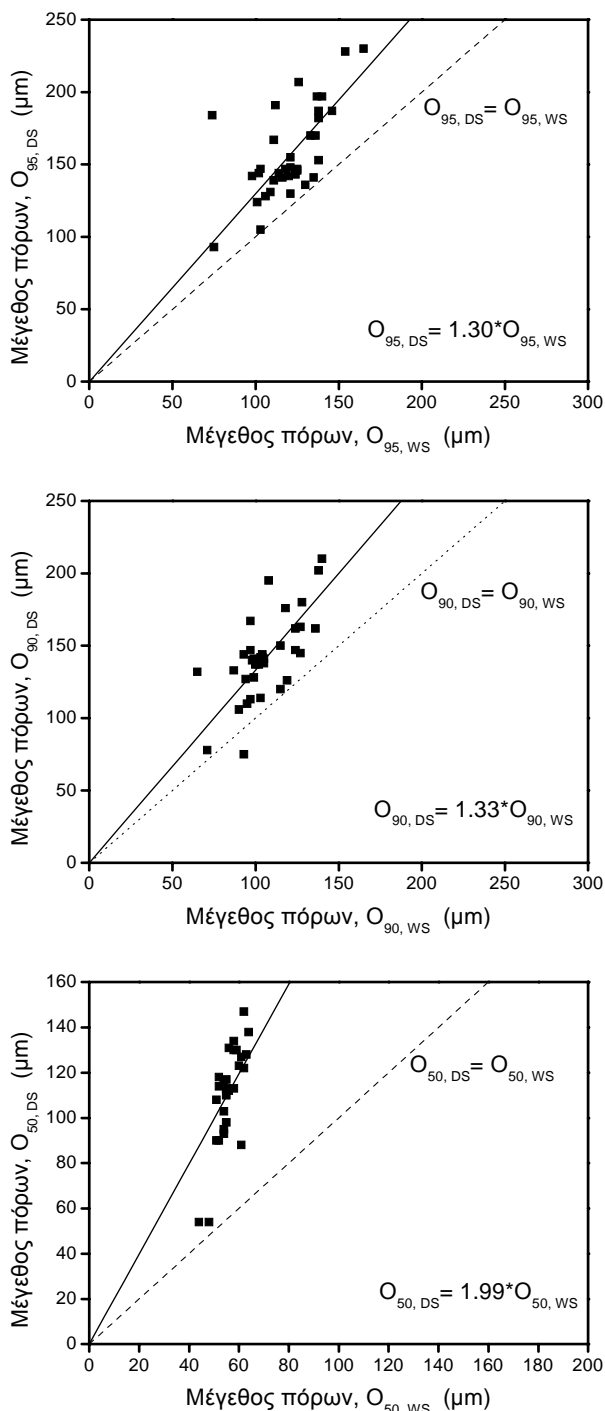


Σχήμα 3. Σύγκριση αποτελεσμάτων δοκιμών κατά EN ISO 12956 και ASTM D6767
Figure 3. Comparison of results according to EN ISO 12956 and ASTM D6767.

για τα μεγέθη O_{50} (μέσος όρος 0,61). Όταν η συσχέτιση πραγματοποιείται για το σύνολο των γεωφασμάτων, ο λόγος αντιστοιχών μεγεθών έχει τιμή ίση με 0,45, 0,45 και 0,61 για τα μεγέθη O_{95} , O_{90} και O_{50} , αντίστοιχα. Οι λόγοι των αντιστοιχών μεγεθών που προκύπτουν εργαστηριακά κατά ASTM D4751 (DS)

Σχήμα 4. Σύγκριση αποτελεσμάτων δοκιμών κατά ASTM D4751 και ASTM D6767.
Figure 4. Comparison of results according to ASTM D4751 and ASTM D6767.

και ASTM D6767 (BP) είναι μεγαλύτεροι από τους λόγους των αντίστοιχων μεγεθών που προκύπτουν κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των προτύπων EN ISO 12956 (WS) και ASTM D6767 (BP). Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο εφόσον γενικά τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών έδειξαν ότι τα



Σχήμα 5. Σύγκριση αποτελεσμάτων δοκιμών κατά ASTM D4751 και EN ISO 12956.
Figure 5. Comparison of results according to ASTM D4751 and EN ISO 12956.

μεγέθη πόρων που προσδιορίστηκαν σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D4751 (DS) ήταν μεγαλύτερα από αυτά που προσδιορίστηκαν σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 12956 (WS) και μικρότερα από αυτά που προσδιορίστηκαν σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D6767 (BP). Επιπρόσθετα, οι λόγοι των αντίστοιχων μεγεθών που προέκυψαν κατά ASTM D4751 (DS) και ASTM D6767 (BP) εμφανίζουν

σχετικά μεγάλη διασπορά. Η διασπορά είναι μεγαλύτερη για τους λόγους των μεγεθών O_{50} . Αυτό οφείλεται πιθανά, στο γεγονός ότι το πρότυπο ASTM D4751 έχει προταθεί για προσδιορισμό του σχεδόν μεγαλύτερου πόρου (O_{95}) των γεωφασμάτων και όχι της πλήρους πορομετρίας του που απαιτεί επέκταση της διαδικασίας με πιθανό κόστος ως προς την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Τέλος, με βάση τα αποτελέσματα των συσχέτισεων των αντίστοιχων μεγεθών πόρων που προέκυψαν με εφαρμογή των προτύπων ASTM D4751 (DS) και EN ISO 12956 (WS) παρατηρείται ότι (α) όταν η συσχέτιση πραγματοποιείται ανά σειρά γεωφασμάτων οι λόγοι αντίστοιχων μεγεθών παίρνουν τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 1,14 και 1,89 για τα μεγέθη O_{95} (μέσος όρος 1,46), μεταξύ 1,12 και 3,03 για τα μεγέθη O_{90} (μέσος όρος 1,64) και μεταξύ 1,03 και 2,12 για τα μεγέθη O_{50} (μέσος όρος 1,32). Όταν η συσχέτιση πραγματοποιείται για το σύνολο των γεωφασμάτων, ο λόγος αντίστοιχων μεγεθών έχει τιμή ίση με 1,30, 1,33 και 1,99 για τα μεγέθη O_{95} , O_{90} και O_{50} , αντίστοιχα. Οι τιμές των λόγων των αντίστοιχων μεγεθών που προκύπτουν κατά ASTM D4751 (DS) και EN ISO 12956 (WS) έχουν σημαντικό εύρος διακύμανσης χωρίς ουσιαστική συγκέντρωση τιμών περί τον μέσο όρο. Η διασπορά αυτή οφείλεται πιθανά στις διαφορές διαδικασιών μεταξύ των δύο μεθόδων και στην αδυναμία της μεθόδου ASTM D4751 να απεικονίσει σωστά την πορομετρική σύνθεση των γεωφασμάτων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών, τις παρατηρήσεις και τις συγκρίσεις που έγιναν, μπορούν να εξαχθούν τα εξής κύρια συμπεράσματα:

1. Οι μέθοδοι προσδιορισμού του μεγέθους των πόρων και της πορομετρικής καμπύλης ενός γεωφάσματος που ορίζουν τα πρότυπα ASTM D6767, EN ISO 12956 και ASTM D4751 δίνουν ουσιαστικά διαφορετικά αποτελέσματα.
2. Τα αποτελέσματα των δοκιμών κατά ASTM D6767 εξαρτώνται από τις βασικές υποθέσεις ότι (α) η γωνία επαφής, θ , είναι ίση με μηδέν ($\cos\theta=1$) και ότι (β) η μορφή της διατομής των πόρων των γεωφασμάτων είναι κυλινδρική. Είναι απαραίτητη η εισαγωγή ενός διορθωτικού συντελεστή κατά την επεξεργασία των

πρωτογενών δεδομένων που προκύπτουν από δοκιμές κατά ASTM D6767.

3. Η σύγκριση των μεγεθών πόρων που προσδιορίστηκαν κατά ASTM D6767 και κατά EN ISO 12956 υποδεικνύει ότι, εάν στα αποτελέσματα της δοκιμής κατά ASTM D6767 εφαρμοστεί ένας διορθωτικός συντελεστής με τιμή περίπου 1/3, τα μεγέθη πόρων που προκύπτουν είναι σε πολύ καλή συμφωνία με αυτά που προσδιορίζονται από τη δοκιμή κατά EN ISO 12956.
4. Εφόσον η εργαστηριακή διάταξη που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση δοκιμών κατά ASTM D6767 είναι ορθά βαθμονομημένη, τα αποτελέσματα που προκύπτουν προσεγγίζουν την πραγματική κατανομή των μεγεθών πόρων των γεωφασμάτων πιο ικανοποιητικά σε σχέση με τις άλλες μεθόδους.

6. ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΕΙΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τα δείγματα γεωφασμάτων προμήθευσαν οι: Amoco Fabrics and Fibers, Bonar, Du Pont (Tytar), Fibertex, Linq, Polyfelt, Synthetic Industries, TC Mirafi.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aydilek, H.A., Oguz, H.S. and Edil, B.T. (2005), "Constriction Size of Geotextile Filters", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 131 (1), pp. 28-38.
- Bechhold H. (1908), "The Permeability of Ultrafilters", *Zeitschrift fur Physik und Chemie*, Vol. 64, pp. 328-342.
- Bhatia, S. K. and Smith, J.L. (1994), "Comparative Study of Bubble Point Method and Mercury Intrusion Porometry Techniques for Characterizing the Pore-Size Distribution of Geotextiles", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 13, pp. 679-702.
- Bhatia, S. K., Smith, J.L. and Christopher B. R. (1994), "Interrelationship between Pore Opening of Geotextiles and Methods of Evaluation", *Proc., 5th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Singapore, Vol.2, pp. 705-710.
- Bhatia, S. K., Smith, J. L. and Christopher B. R. (1996), "Geotextile Characterization and Pore Size Distribution: Part III. Comparison of Methods and Application to Design", *Geosynthetics International*, Vol. 3, pp. 301-328.
- Chin Y. M. and Nikraz H.R. (1996), "An Empirical Approach to Filtration Design For Non - Woven Geotextiles" *Recent Developments in Geotextile Filters and Prefabricated Drainage Geocomposites*, ASTM STP 1281, ASTM, Philadelphia, PA, USA, pp. 87-99.
- Esharief, A.M. and Lovell, C.W. (1996), "Determination and Comparison of the Pore Structure of Nonwoven Geotextiles" *Recent Developments in Geotextile Filters and Prefabricated Drainage Geocomposites*, ASTM STP 1281, ASTM, Philadelphia, PA, USA, pp. 35-53.
- Faure, Y. H., Gourc, J. P., Millot, F. and Sunjoto S. (1986), "Theoretical and Experimental Determination of the Filtration Opening Size of Geotextiles", *Proc. 3rd International Conference on Geotextiles*, Vienna, Austria, Vol. IV, pp. 1275-1280.
- Faure, Y. H., Gourc, J.P. and Gendrin, P. (1990), "Structural Study of Porometry and Filtration Opening Size of Geotextiles", *Geosynthetics: Microstructure and Performance*, ASTM STP 1076, ASTM, Philadelphia, PA, USA pp. 102-119.
- Fischer, G. R., Holtz, R. D. and Christopher, B.R. (1996), "Characteristics of Geotextile Pore Structure", *Recent Developments in Geotextile Filters and Prefabricated Drainage Geocomposites*, ASTM STP 1281, ASTM, Philadelphia, PA, USA, pp. 3-18.
- Giroud, J.P. (1996), "Granular filters and geotextile filters" *Proc. Geofilters '96*, Montreal, Canada, pp. 565-680.
- Prapaharan, S., Holtz, R. D. and Luna, J.D. (1989), "Pore size distribution of nonwoven geotextiles", *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 12(4), pp. 261-268.
- Tu, S. K., Bhatia, S.K. and Mlynarek J. (2002), "Standardization of the Bubble Point Method for the Pore-size Characterization of Woven and Nonwoven Geotextiles", *Proc. 7th International Conference on Geosynthetics*, Nice, France, pp. 1111-1114.
- Vermeesch, O. G. and Mlynarek, J. (1996), "Determination of the Pore Size Distribution of Nonwoven Geotextiles by a Modified Capillary Flow Porometry Technique", *Recent Developments in Geotextile Filters and Prefabricated Drainage Geocomposites*, ASTM, Philadelphia, PA, USA, pp. 19-33.