

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΧΑΜΗΛΟΥ ΠΟΡΩΔΟΥΣ

Ανάδοχος φορέας: CNE Technology Ltd (www.cnetechtechnology.com)

Συνεργαζόμενοι φορείς: Πανεπιστήμιο Κύπρου (www.ucy.ac.cy/BML),

Frederick Research Centre (<http://research.frederick.ac.cy>)

Το ερευνητικό έργο με αριθμό πρωτοκόλλου ΠΡΟΪΟΝ/0609/112 συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης και το Ίδρυμα Προώθησης Έρευνας της Κύπρου.

Εισαγωγή

Το ερευνητικό έργο Permeability αφορά την ανάπτυξη ενός νέου τεχνολογικού προϊόντος για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας σε δομικά υλικά χαμηλού πορώδους (δηλαδή, σε σχετικά αδιαπέρατα δομικά υλικά). Η διαπερατότητα θεωρείται μια σημαντική παράμετρος για την πρόβλεψη της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος, του οποίου η ενανθράκωση και η διάβρωση οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στον τρόπο με τον οποίο το νερό διαχέεται στη μικροδομή του υλικού. Παρόλα αυτά, η διαπερατότητα είναι μια ιδιότητα, η οποία δύσκολα μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια στο εργαστήριο. Ως εκ τούτου, συνήθως η σύγκριση των σχετικών τιμών γίνεται στα επίπεδα τάξης μεγέθους π.χ. 10^{-n} .

Η καινοτομία του έργου έγκειται στο γεγονός πως καμία τυποποιημένη μέθοδος μέτρησης της διαπερατότητας δεν υπάρχει σήμερα. Επίσης, τα αποτελέσματα από τις πρόσφατες ερευνητικές δραστηριότητες στον τομέα ανά το παγκόσμιο, χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιομορφία και χαμηλή επαναληψιμότητα. Η μέθοδος που αναπτύχθηκε δίνει τη δυνατότητα εύρεσης της διαπερατότητας σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Η επαναληψιμότητα των μετρήσεων είναι αρκετά βελτιωμένη σε σχέση με άλλες μεθόδους που έχουν διερευνηθεί κατά καιρούς.

Προσδιορισμός διαπερατότητας δομικών υλικών χαμηλού πορώδους

Η διαπερατότητα σχετίζεται άμεσα με τη διάβρωση του οπλισμένου σκυροδέματος. Η μέχρι τώρα διερεύνηση των σχετικών μηχανισμών διάβρωσης εστιάζεται σε επιφανειακά φαινόμενα λόγω έλλειψης ικανού εργαστηριακού εξοπλισμού που να δίνει την δυνατότητα διείσδυσης διαβρωτικών διαλυμάτων στο εσωτερικό δοκιμίων σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Αξιοποιώντας το νέο καινοτόμο τεχνολογικό προϊόν που αναπτύχθηκε, είναι δυνατή η

διερεύνηση διείσδυσης χλωριόντων, θειικών ιόντων και άλλων ουσιών σε σχετικά αδιαπέρατα υλικά. Ο προσδιορισμός της διαπερατότητας τέτοιων υλικών είναι εκ των πραγμάτων πολύ δύσκολος. Η πειραματική διάταξη επιλύει το πρόβλημα, καθιστώντας δυνατή τη μέτρηση της διαπερατότητας και τη συσχέτιση της με τους διαφορετικούς τύπους συμβατικών σκυροδεμάτων και σκυροδεμάτων υψηλής απόδοσης.

Το νέο καινοτόμο τεχνολογικό προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στη διερεύνηση της διαπερατότητας άλλων υλικών, όπως επιχρίσματα και κονιάματα, που εφαρμόζονται σε τοιχοποιίες με σκοπό την αύξηση της υδαταπωθητικότητας και την προστασία τους από τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Ανάπτυξη πειραματικής συσκευής με 3 τριαξονικές κυψέλες

Για τους σκοπούς του έργου σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν 3 τριαξονικές κυψέλες που μπορούν να λειτουργούν, είτε ανεξάρτητα, είτε παράλληλα στις δοκιμές. Δύο από αυτές επιδέχονται πυρήνες διαμέτρου 150 mm και μια πυρήνα διαμέτρου 100 mm. Το μήκος του θαλάμου (και κατ' επέκταση το μήκος του δοκιμίου) μπορεί να μεταβάλλεται από 50 mm μέχρι 150 mm. Το σύστημα αφαίρεσης του δείγματος στην κυψέλη των 100 mm γίνεται με κοχλία και δακτυλίδια συγκράτησης, ενώ για την κυψέλη των 150 mm, για λόγους εργονομίας αλλά και βάρους, έχουν σχεδιαστεί ειδικοί βραχίονες διπλής συγκράτησης των φλαντζών για εύκολη και ομαλή εισαγωγή-αφαίρεση του δείγματος μέσω περιστροφής. Η κάθε μια από τις τρεις τριαξονικές κυψέλες τροφοδοτείται με υγρό σε ψηλή πίεση, χρησιμοποιώντας αντλίες υγρής χρωματογραφίας.

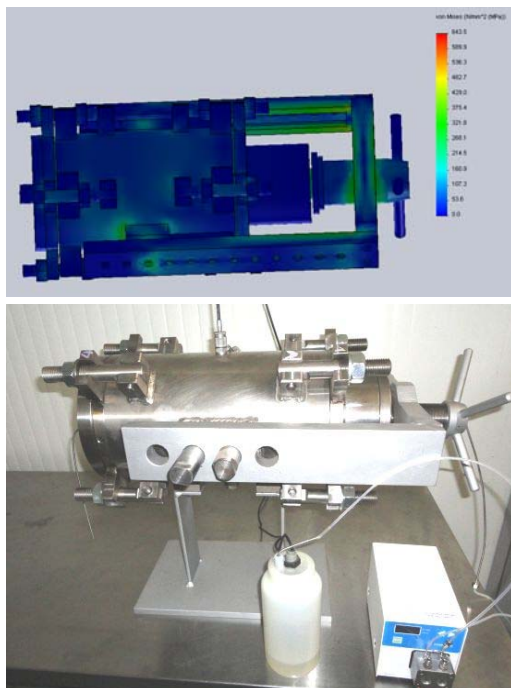
Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, οι συσκευές υπόκεινται σε ψηλές υδροστατικές πιέσεις οι οποίες καταπονούν τα τοιχώματα και τα εξαρτήματα των συσκευών. Ο πίνακας 1

δείχνει τις αναπτυσσόμενες πιέσεις και δυνάμεις στα τοιχώματα των κυψελών 100 mm και 150 mm.

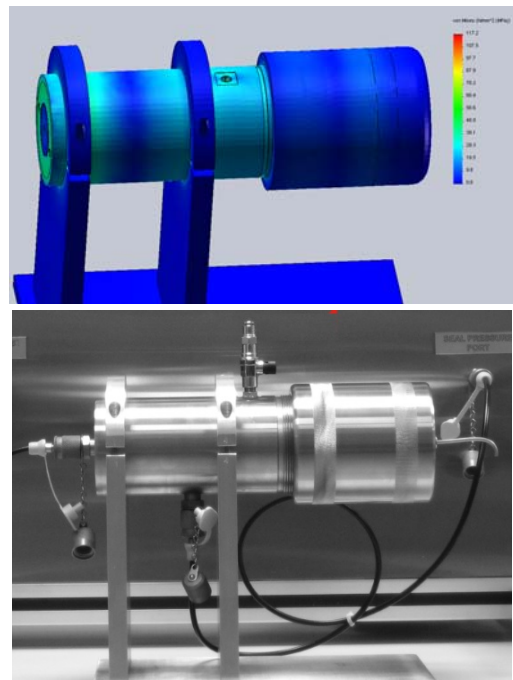
Πίνακας 1 : Πιέσεις τοιχωμάτων στις κυψέλες

Πιέσεις και δυνάμεις	Κυψέλη: 100 mm	Κυψέλη: 150 mm
Μέγιστη υδροστατική πίεση δοκιμίου	12 MPa	12 MPa
Περιβάλλουσα πίεση	48 MPa	48 MPa
Αξονικές δυνάμεις δοκιμίου	94.2 kN	212 kN
Αξονικές δυνάμεις περιβάλλουσας πίεσης	142.5 kN	600 kN
Ολική αξονική δύναμη	236.7 kN	812 kN
Αξονική τάση εξωτερικού κυλίνδρου	36 N/mm ²	54 N/mm ²

Το σύστημα περιμετρικής συγκράτησης/σφραγίσματος το οποίο διασφαλίζει τη μονοδιάστατη ροή μέσα από το δείγμα, τροφοδοτείται από υδραυλικούς συσσωρευτές αζώτου οι οποίοι επιτρέπουν τη συγκράτηση του δείγματος για εκτεταμένο χρόνο και περιορίζουν την παλμικότητα της επιβαλλόμενης πίεσης. Αισθητήρες πίεσης, θερμοκρασίας και ροής καταγράφουν τα δεδομένα και επικοινωνούν με τον ηλεκτρονικό ελεγκτή ο οποίος έχει τη δυνατότητα να παρουσιάζει τα αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο.



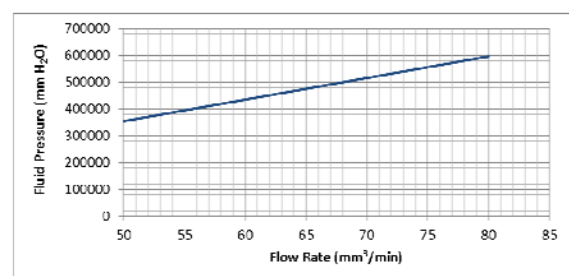
Σχήμα 1: Κυψέλη διαπερατότητας 150 mm



Σχήμα 2: Κυψέλη διαπερατότητας 100 mm

Πειραματικά Αποτελέσματα

Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου ελέγχθηκαν διάφορες σειρές κορεσμένων δειγμάτων σκυροδεμάτων και τσιμεντοκονιαμάτων με διάμετρο 100 mm & 150 mm και μήκος (L) 50-100 mm, τα οποία παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο Δομικών Υλικών του Πανεπιστημίου Κύπρου. Για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας χρησιμοποιήθηκαν δείγματα με διαφορετικές χρονικές περιόδους ωρίμανσης (δηλαδή 28, 56 και 90 ημέρες). Ο υπολογισμός της διαπερατότητας για το κάθε δείγμα έγινε, αφού μετρήθηκε η πίεση ροής (fluid pressure, ΔP) για διάφορες ταχύτητες ροής (flow rates, Q). Οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία γραφικής παράστασης (βλ. τυπικό διάγραμμα σχήματος 3 για μείγμα σκυροδέματος C6 ηλικίας 28 ημερών), η κλίση της οποίας (G_{pA}) εισάγεται στην εξίσωση του Darcy για τον υπολογισμό της διαπερατότητας K .

$$K = \frac{QL}{(\Delta P)A} = \frac{L}{G_{pA}}$$


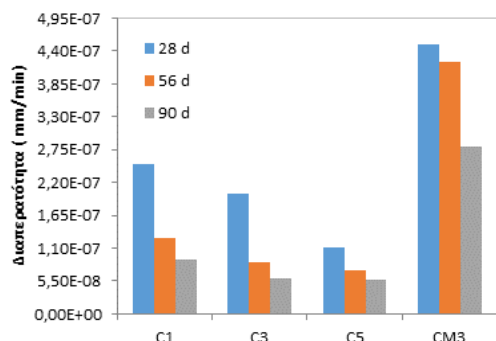
Σχήμα 3: Σχέση πίεσης-ροής για τον υπολογισμό της διαπερατότητας

Πειράματα έγιναν με διαφορετικά μείγματα σκυροδέματος, τα οποία περιείχαν διαβασικά και ασβεστολιθικά αδρανή, καθώς και με τσιμεντοκονιάματα με διαβασικά, ασβεστολιθικά και ασβεσταρενιτικά αδρανή. Στον Πίνακα 1 φαίνονται τυπικά αποτελέσματα διαπερατότητας (mm/min) σε σκυροδέματα με διαβασικά και ασβεστολιθικά αδρανή, καθώς και τσιμεντοκονιάματα με διαβασικά αδρανή, σε διαφορετικούς χρόνους ωρίμανσης (28, 56 και 90 μέρες).

Πίνακας 1 : Τυπικά αποτελέσματα διαπερατότητας (mm/min) σε σκυροδέματα και κονιάματα με διαφορετικούς χρόνους ωρίμανσης

Ωρίμανση / Δείγματα	28d	56d	90d
Σκυροδέματα με διαβασικά αδρανή			
C1	3.43E-07	1.28E-07	9.12E-08
C2	2.32E-07	2.37E-07	1.07E-07
Σκυροδέματα με ασβεστολιθικά αδρανή			
C4	1.46E-07	1.20E-07	1.07E-07
Κονιάματα με διαβασικά αδρανή			
CM3	5.41E-07	4.33E-07	2.96E-07

Στο διάγραμμα του σχήματος 4 παρατηρείται ότι επικρατεί τάση μείωσης της διαπερατότητας με την πάροδο του χρόνου. Αυτό οφείλεται στην ενυδάτωση του σκυροδέματος και στο κλείσιμο των πόρων του, αφού, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, η διαπερατότητα συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τα κενά (πόροι) που δημιουργούνται μεταξύ των αδρανών στο σκυρόδεμα. Το διάγραμμα αφορά 3 δείγματα σκυροδέματος (C1, C3, C5), και ενός τσιμεντοκονιάματος (CM3) σε χρονικές περιόδους ωρίμανσης 28, 56 και 90 ημερών.

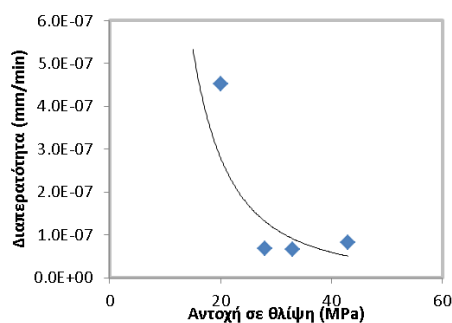
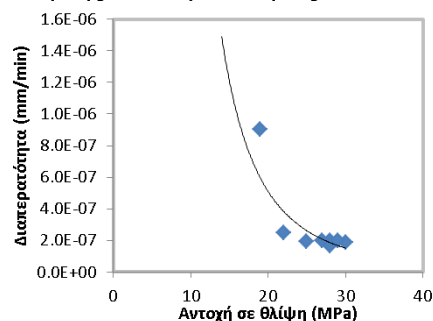


Σχήμα 4: Διαπερατότητα δειγμάτων σκυροδέματος (C1, C3, C5) και τσιμεντοκονιάματος (CM3) σε 3 χρονικές περιόδους ωρίμανσης

Πίνακας 2 : Αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη (f_c) των σκυροδεμάτων και τσιμεντοκονιαμάτων στις 28 ημέρες.

Δείγματα		f_c (MPa)
Σκυροδέματα	C1-ΕΠ38	22
	C2-ΕΠ12	30
	C3-ΕΠ13	28
	C6-ΕΠ7	19
	C7-ΕΠ23	28
	C8-ΕΠ27	27
	C9-ΕΠ28	29
	C10-ΕΠ37	25
Τσιμεντοκονιάματα	C1-ΕΠ38	20
	CM4-ΕΠ14	43
	CM5-ΕΠ4	33
	CM6-ΕΠ32	28

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η συσχέτιση της διαπερατότητας με την αντοχή σε θλίψη σκυροδεμάτων και τσιμεντοκονιαμάτων με διαβασικά αδρανή στις 28 ημέρες (βλ. πίνακα 2). Από τα αποτελέσματα, προκύπτει ότι η αύξηση της αντοχής σε θλίψη οδηγεί σε μείωση της διαπερατότητας.



Σχήμα 5: Συσχέτιση διαπερατότητας με αντοχή σε θλίψη α) σκυροδεμάτων και β) τσιμεντοκονιαμάτων με διαβασικά αδρανή στις 28 ημέρες.