

Χρήση αδρανών σκωρίας για την παραγωγή διαπερατών κυβόλιθων για επίστρωση εξωτερικών χώρων

Ελευθέριος Αναστασίου

Επίκουρος Καθηγητής Α.Π.Θ., elan@civil.auth.gr

Ιωάννα Παπαγιάννη

Καθηγήτρια Α.Π.Θ., papayian@civil.auth.gr

Μιχαήλ Παπαχριστοφόρου

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, papchr@civil.auth.gr

Αλέξανδρος Λιάπης

Υποψήφιος Διδάκτωρ ΑΠΘ, aliapisk@civil.auth.gr

Εκτενής περίληψη

Οι κυβόλιθοι είναι δομικά στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται εδώ και χιλιάδες χρόνια για την κάλυψη δαπέδων. Η χρήση τους είναι ευρεία (επίστρωση πεζοδρομίων, πλατειών, ανοιχτών χώρων, χώρων στάθμευσης αλλά και σημείων οδοστρωμάτων με ειδικές απαιτήσεις) κάτι που οφείλεται στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν έναντι εναλλακτικών τρόπων διαμόρφωσης δαπέδων: εύκολη διάστρωση και εύκολη και οικονομική συντήρηση με απλή αντικατάσταση των φθαρμένων σημείων χωρίς γενικό «ξήλωμα», προσαρμογή στις ανωμαλίες του εδαφικού υπόβαθρου, αντοχή στις εξωτερικές συνθήκες. Ενώ οι κυβόλιθοι στο παρελθόν κατασκευάζονταν σχεδόν αποκλειστικά από λίθο, η παραγωγή προκατασκευασμένων άοπλων στοιχείων σκυροδέματος, σε διάφορες διαστάσεις, έφερε ακόμα περισσότερα πλεονεκτήματα: χαμηλότερο κόστος από τους λίθινους, άνετη βάδιση με μη ολισθηρή επιφάνεια.

Για περιπτώσεις στις οποίες δεν ενδιαφέρει τόσο το οπτικό αποτέλεσμα αλλά περισσότερο η γρήγορη αποστράγγιση των επιφανειακών νερών και η μεγάλη αντοχή (όπως οδοστρώματα, χώροι στάθμευσης, δάπεδα αεροδιαδρόμων), μεγάλη εφαρμογή βρίσκει η κατασκευή δαπέδων από διαπερατό σκυρόδεμα. Η επιφάνεια παρουσιάζει ανθεκτικότητα και το υψηλό ποσοστό κενών επιτρέπει την ταχύτατη διήθηση του νερού, με αποτέλεσμα την διατήρηση του δαπέδου σε λειτουργική κατάσταση μετά από έντονα καιρικά φαινόμενα.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την προσπάθεια του Εργαστηρίου Δομικών Υλικών της Πολυτεχνικής Σχολής του ΑΠΘ, να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα και από τις δύο παραπάνω εφαρμογές, προτείνοντας την επίστρωση δαπέδων και τμημάτων οδοστρωμάτων με προκατασκευασμένους διαπερατούς κυβόλιθους. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπ' όψη τις απαιτήσεις της σύγχρονης αγοράς για περιβαλλοντικά και οικονομικά βιώσιμες λύσεις, μελετάται η αντικατάσταση πρώτων υλών για την παραγωγή των κυβόλιθων με παραπροϊόντα τα οποία προέρχονται από την βιομηχανία του χάλυβα. Η έρευνα έγινε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος “SLAGPROD” και αφορά τόσο την εργαστηριακή μελέτη συνθέσεων, όσο και την πιλοτική παραγωγή κυβόλιθων, με χρήση αδρανών σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου (electric arc furnace – EAF slag).

Αρχικά παρήχθησαν στο εργαστήριο δοκιμαστικές συνθέσεις με ασβεστολιθικά (Πίνακας 1: Α1) και αδρανή σκωρίας (Σ1). Βασίσθηκαν σε υπάρχουσα έρευνα του εργαστηρίου (Ιακώβου & Ιωάννου, 2012) και έγιναν με σκοπό την σύγκριση των βασικών ιδιοτήτων των δύο σκυροδεμάτων. Εφ' όσον διαπιστώθηκε ότι το σκυρόδεμα με χρήση σκωρίας δεν υστερεί από άποψης θλιπτικής αντοχής και διαπερατότητας, έγιναν επιπλέον συνθέσεις με διαφορετικές διαβαθμίσεις των αδρανών σκωρίας (Σ2, Σ3, Σ4, Σ5) για τη βέλτιστη σχέση αντοχής – διαπερατότητας.

Πίνακας 1. Εργαστηριακές συνθέσεις διαπερατού σκυροδέματος

Σύνθεση	A1	Σ1	Σ2	Σ3	Σ4	Σ5
Υλικά (Περιεκτικότητα)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
Τσιμέντο CEM I 42,5	300,8	300,8	328	328	327,9	327,9
Νερό	105,3	90,2	124,9	124,9	107,32	124,91
Ασβεστολιθικά αδρανή 8-16 mm	392,5	-	-	-	-	-
Ασβεστολιθικά αδρανή 4-8 mm	1178	-	-	-	-	-
Ασβεστολιθικά αδρανή 0-4 mm	-	-	-	-	-	-
Αδρανή σκωρίας 5-12 mm	-	1329	1062	1239	748	1062
Άμμος σκωρία 0-5 mm	-	332,31	708	531	1122	708
Λινέλαιο	-	-	-	-	-	3,28
Ρευστοποιητής	1,3	0,9	-	-	-	-
Όγκος Κενών (%)	20,67	31,08	25	25	22	25
Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m ³)	2000	2216	2247	2188	2403	2373
Αντοχή σε θλίψη 28 ημερών (Μpa)	14,29	14,33	18,79	15,87	26,37	16,97
Διαπερατότητα (mm/sec)	12,21	33,46	13,56	13,93	3,94	7,49

Τελικά επιλέχθηκε η σύνθεση Σ2 για την πιλοτική παραγωγή κυβόλιθων. Η παραγωγή έγινε στο εργοστάσιο της TEXNOMPETON, η οποία ήταν και ένας από τους εταίρους του ερευνητικού προγράμματος. Στον Πίνακα 2 φαίνεται η σύνθεση αυτή μαζί με τις ιδιότητες που μετρήθηκαν στο εργαστήριο.

Πίνακας 2. Σύνθεση και ιδιότητες πιλοτικής εφαρμογής (οι έλεγχοι των ιδιοτήτων πραγματοποιήθηκαν στις 28 ημέρες)

Αναλογίες υλικών	(kg/m ³)
Τσιμέντο CEM I 42,5	328
Νερό (0,38)	124,9
Αδρανή σκωρίας 5-12 mm (60%)	1062
Άμμος σκωρία 0-7mm (40%)	708
Όγκος Κενών (%)	25
Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m ³)	2247
Αντοχή σε θλίψη (MPa)	19,83
Αντοχή σε κάμψη (MPa)	5,32
Αντοχή σε διάρρηξη (MPa)	1,03
Απότριψη-Μέσο βάθος αλάκωσης (mm)	2,17
Συντελεστής διαπερατότητας (mm/s)	9,68

Σύμφωνα με την οδηγία που ισχύει για το διαπερατό σκυρόδεμα (ACI, 2010) απαιτείται ποσοστό κενών από 15% έως 35%, το οποίο πληρείται. Η παραπάνω οδηγία σχετικά με τη διαπερατότητα η οποία εκφράζεται από την ταχύτητα διέλευσης του νερού από το δοκίμιο, προτείνει ένα αποδεκτό κάτω όριο για τη διαπερατότητα της τάξης του 1,4-12,2 mm/sec, το οποίο επίσης πληρείται.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε και εκτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος αλλά και του οικονομικού κόστους της προτεινόμενης λύσης με πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα.

Βιβλιογραφία

Ιακώβου Δ., Ιωάννου Σ., (2012), “Μελέτη διαπερατού σκυροδέματος”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2012, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα
 ACI (2010), “Report on Pervious Concrete (ACI 522R-10)”, American Concrete Institute, March 2010, Michigan, USA