

Διερεύνηση της προσθήκης οικοδομικών απόβλητων σε διαπερατά σκυροδέματα. Πρώτη προσέγγιση

Βαρδάκα Γ.

Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 73 Ζωγράφου Αθήνα.

Λέξεις Κλειδιά: Διαπερατό Σκυρόδεμα, Οικοδομικά Απόβλητα, Αδρανή

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Το διαπερατό σκυρόδεμα είναι νέο προϊόν, που έχει αναπτυχθεί κυρίως στις ΗΠΑ ενώ ελάχιστες είναι οι αναφορές του στην Ευρώπη. Η ιδιαιτερότητα του έγκειται στο μεγάλο πορώδες του, που επιτρέπει στο νερό της βροχής να διέρχεται μέσα από τη μάζα του και με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η διαχείριση των όμβριων υδάτων, η αποφυγή πλημμυρών και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδάτων. Για να επιτευχθεί το υψηλό πορώδες του συγκεκριμένου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται κυρίως χονδρόκοκκα αδρανή με ελάχιστη συμμετοχή έως πλήρη απουσία των λεπτόκοκκων αδρανών. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται μια θεωρητική προσέγγιση, στο πλαίσιο σχετικής διδακτορικής διατριβής, σχετικά με τη προσθήκη οικοδομικών αποβλήτων ως υποκαταστάτων των χονδρόκοκκων αδρανών.

Investigation of the addition of construction and demolition (c&d) wastes to pervious concrete. First approach

Vardaka G.

Laboratory of Inorganic and Analytical Chemistry, School of Chemical Engineers NTUA, 9 Iroon Polytechniou str. 157 73 Athens.

Keywords: Pervious Concrete, Construction and Demolition (C&D) waste, Aggregates

ABSTRACT: The pervious concrete is a new product, developed mostly in the U.S. while there are few reports of it in Europe. Its particularity lies on the high porosity, which allows rain water to pass through the mass, thus ensuring the management of rainwater, the prevention of flooding and the enrichment of underground waters. To achieve the high porosity of this concrete there are used mainly coarse aggregates with a little participation of fine aggregate. This paper, in the frame of a relative PhD thesis, makes a theoretical approach to the addition of Construction and Demolition (C&D) wastes as substitutes for coarse aggregates.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνεχής οικοδόμηση και η εξάπλωση του αστικού ιστού τις περισσότερες φορές αυθαίρετα, με «εξάντληση» των δικτύων υποδομής έχουν επιβαρύνει πολύ τη φύση. Πιο αναλυτικά, οι κατασκευές επηρεάζουν το περιβάλλον άμεσα ή έμμεσα κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής τους, καθώς επίσης και κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των υλικών και των συστατικών που τις απαρτίζουν, μέσω μιας σειράς ανθρώπινων δραστηριοτήτων και φυσικών διαδικασιών. Οι περιβαλλοντικές αυτές επιπτώσεις μπορεί να είναι τοπικές, όπως η παραγωγή απορριμμάτων, ή παγκόσμιες, όπως η κλιματική αλλαγή, και προκύπτουν από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των κατασκευών: από την εξόρυξη και τη μεταφορά των πρώτων υλών, τη φάση της κατασκευής, αυτή της λειτουργίας και συντήρησης, και τέλος της κατεδάφισης. Καθώς οι επιπτώσεις από τον κατασκευαστικό κλάδο εμφανίζονται όλο και πιο έντονα, λόγω της αυξημένης οικοδομικής δραστηριότητας, οι έννοιες της αειφορίας και του οικολογικού σχεδιασμού εισέβαλαν επιτακτικά για να δημιουργήσουν ένα πιο υγιές μοντέλο κατασκευών και να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα περιβαλλοντικής επίπτωσης είναι η εφιαλτική μείωση της απορροφητικής ικανότητας του εδάφους λόγω της άναρχης δόμησης και της «τσιμεντοποίησης των πάντων», με τελικό αποτέλεσμα την ανεπαρκή αντιπλημμυρική προστασία, και την αδυναμία εξασφάλισης νερού ανθρώπινης κατανάλωσης. Η τάση που επικρατεί στις σύγχρονες ερευνητικές προσπάθειες έχει ως κεντρικό άξονα την προστασία του περιβάλλοντος και ταυτόχρονα την αντιμετώπιση των προβλημάτων που έχουν προκύψει από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Αυτό διαφαίνεται έντονα από την στροφή των ερευνών, ακόμα και της βιομηχανίας σκυροδέματος, στην ανάπτυξη συστημάτων ορθολογικότερης διαχείρισης των όμβριων υδάτων. Η αρχή των προσπαθειών αυτών εντοπίζεται την τελευταία δεκαετία στις ΗΠΑ με τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη του διαπερατού σκυροδέματος (perVIOUS concrete), ενός νέου τύπου προϊόντος το οποίο έχει μεγάλες πορώδες και επιτρέπει στο νερό της βροχής να διέρχεται μέσα από τη μάζα του. Ελάχιστες είναι οι αναφορές του συγκεκριμένου προϊόντος στην Ευρώπη.

Η βασική πρόκληση για την βιομηχανία σκυροδέματος είναι ότι καλείται να σχεδιάσει και να συνθέσει ένα κατ'εξοχή πορώδες υλικό που να είναι υδατοπερατό σε αντίθεση με το μέχρι τώρα βασικό θέσφατο του χώρου που στόχευε στην μείωση της υδατοπερατότητας μέσω του δραστικού περιορισμού των πόρων που διευκολύνουν την διόδο επιβλαβών για το σκυρόδεμα συστατικών τα οποία δυνητικά θα αποτελέσουν απαρχή διάβρωσης.

Το διαπερατό σκυρόδεμα συνίσταται από τσιμέντο Πόρτλαντ, χονδρόκοκκα αδρανή, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα αδρανή, πρόσμικτα και νερό, η βέλτιστη αναλογία των οποίων διερευνάται ανάλογα με την φύση των αδρανών που χρησιμοποιούνται και τις επιμέρους απαιτήσεις εφαρμογής του σκυροδέματος. Τελικώς ο συνδυασμός αυτών των συστατικών οδηγεί στην παραγωγή ενός σκληρυμένου προϊόντος με πόρους που συνδέονται μεταξύ τους και κυμαίνονται σε μέγεθος από 2 έως 8 mm, γεγονός που επιτρέπει στο νερό να διαπερνά εύκολα το σκυρόδεμα. Οι κενοί χώροι κυμαίνονται μεταξύ 18 και 35% και οι τυπικές θλιπτικές αντοχές που επιτυγχάνονται είναι της τάξης του 2,8 έως 28 MPa. Το ποσοστό αποστράγγισης ενός πεζοδρομίου που έχει κατασκευασθεί με διαπερατό σκυρόδεμα ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος των αδρανών και την πυκνότητα του μείγματος, αλλά γενικά θα κυμαίνεται από 81 έως 730 L/min/m². (ACI Committee 2008) (Liv Haselbach and Robert Freeman 2006) (Dale P. Bentz, 2008).

Αν και, όπως είναι προφανές, το υψηλό πορώδες του διαπερατού σκυροδέματος, το οδηγεί αναπόφευκτα σε μειωμένες αντοχές, εν τούτοις βρίσκει μεγάλο όγκο ειδικών εφαρμογών όπως: σε χώρους στάθμευσης, στις υπαίθριες πλατείες των εμπορικών κέντρων ως άκαμπτα στρώματα αποστράγγισης, στα δάπεδα των θερμοκηπίων προκειμένου να παραμείνουν αυτά

στεγνά από στάσιμα νερά, σε ελαφροβαρείς δομικούς τοίχους με απαίτηση καλύτερης θερμομόνωσης, σε πεζοδρόμια, τοίχους, δάπεδα και όπου είναι επιθυμητή καλύτερη ηχομόνωση, ως βάση τόσο για τους αστικούς όσο και για τους επαρχιακούς δρόμους όπως επίσης στις εθνικές οδούς, και στα αεροδρόμια, ως επιφανειακό στρώμα χώρων στάθμευσης, γηπέδων τένις, δαπέδων ζωολογικών κήπων και στάβλων, σε αναχώματα γεφυρών, σε χώρους απόθεσης της λάσπης στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, σε συστήματα αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας και για την επένδυση τοιχωμάτων φρεάτων γεωτρήσεων. Συνήθως το διαπερατό σκυρόδεμα, λόγω του υψηλού κινδύνου διάβρωσης του οπλισμού του χάλυβα μέσω των ανοιχτών πόρων στη δομή του χρησιμοποιείται σε όλες αυτές τις εφαρμογές που απαιτούν μη οπλισμένο σκυρόδεμα. (ACI Committee 2006, ACI Committee 2008).

ΠΡΩΤΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ-ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

Στην παρούσα εργασία, και στο πλαίσιο σχετικής διδακτορικής διατριβής, γίνεται μια πρώτη - βιβλιογραφική προσέγγιση στην προσθήκη οικοδομικών αποβλήτων ως υποκαταστάτων των χονδροκόκκων αδρανών στο διαπερατό σκυρόδεμα. Η χρήση των συγκεκριμένων θα βελτιώσει το περιβάλλον και θα αποτελεί μία ακόμα εναλλακτική λύση για τα 500 εκ. τόνους το χρόνο των κατασκευαστικών αποβλήτων της Ευρώπης, και όσον αφορά το μερίδιο της Ελλάδας, για τα 5 εκατομμύρια τόνους που παράγονται ετησίως (σύμφωνα με αναφορές του 2003). (Γκαλμπένης Χ.Τ. 2008)

Πλούσιο ερευνητικό έργο έχει σημειωθεί αναφορικά με την αξιοποίηση του ανακυκλωμένου σκυροδέματος ως αδρανούς υλικού για την παραγωγή νέου σκυροδέματος. Κοινό σημείο αναφοράς όλων αυτών των ερευνητικών προσπαθειών είναι ότι το σκυρόδεμα που περιέχει τα ανακυκλωμένα αδρανή μπορεί να αξιοποιηθεί σε δευτερεύουσες εφαρμογές καθόσον τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του εμφανίζονται υποδεέστερα συγκριτικά με ένα κοινώς παραγόμενο σκυρόδεμα. (Γκαλμπένης Χ.Τ. 2008)

Το χαρακτηριστικό που εμφανίζουν τα ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος ως προς τη συγκεκριμένη μορφή αξιοποίησής τους, είναι το υψηλό πορώδες τους το οποίο, για την παραγωγή ενός συμβατικού τύπου σκυροδέματος, αποτελεί μειονέκτημα, όμως για την παραγωγή του διαπερατού σκυροδέματος αποτελεί τη βασικότερη επιθυμητή ιδιότητα. Το υψηλό πορώδες των ανακυκλωμένων αδρανών υλικών, το οποίο κυμαίνεται στην περιοχή του 3-12%, τη στιγμή που το αντίστοιχο εύρος για τα φυσικά αδρανή υλικά είναι 0.5-1%. (Katz A.,2003) (Ryu J.S.,2002a) (Ryu J.S.,2002b) Ο λόγος αυτής της διαφοροποίησης αποδίδεται στην διεπιφάνεια που υπάρχει μεταξύ των ανακυκλωμένων αδρανών και της προσκολλημένης παλιάς τσιμεντοκονίας. Η τσιμεντόπαστα που παραμένει στην διεπιφάνεια των ανακυκλωμένων αδρανών δίνει αδύνατα σημεία στα ανακυκλωμένα σκυροδέματα, αφού αποτελείται από πολύ μικρούς πόρους και ρωγμές, οι οποίοι απορροφούν νερό. Στο υψηλό πορώδες των ανακυκλωμένων αδρανών συνεισφέρει και η ενανθράκωση που έχει υποστεί η τσιμεντόπαστα με την πάροδο του χρόνου. (Tam V.W.Y., Gao X.F. and Tam C.M.,2005)

Δεν υπάρχουν αναφορές για χρήση των οικοδομικών αποβλήτων σε διαπερατά σκυροδέματα, ούτε καν στην Αμερική που το συγκεκριμένο προϊόν παράγεται την τελευταία δεκαετία. Όλες οι έρευνες που έχουν γίνει αφορούν την παρασκευή συμβατικού τύπου σκυροδέματος με υποκατάσταση των φυσικών αδρανών με οικοδομικά απόβλητα. Βάσει αυτών των ερευνών αναφέρονται μειωμένες οι μηχανικές αντοχές (τόσο σε θλίψη όσο σε κάμψη και εφελκυσμό) των σκυροδεμάτων που περιέχουν οικοδομικά απόβλητα σε σχέση με τα κοινώς παραγόμενα σκυροδέματα, γεγονός που οφείλεται στο υψηλό πορώδες τους. (Sagoe – Crentsil K.K., Brown T. and Taylor A.H.,2001) Παρά ταύτα, σύμφωνα με το πρότυπο για το σκυρόδεμα (EN206-1) δεν πρέπει σε όλες τις περιπτώσεις η αντοχή να αποτελεί τον πρωταρχικό παράγοντα για την σύνθεση του σκυροδέματος αλλά η σχετική μελέτη είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένη με το πεδίο εφαρμογής του κάθε τύπου σκυροδέματος. Πρέπει δηλαδή το σκυρόδεμα να συντίθεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποκτά τις επιθυμητές ιδιότητες ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής του.

Αναφορικά με τις δοκιμές ανθεκτικότητας των υπό εξέταση σκυροδεμάτων, πέραν της μεγαλύτερης υδατοπερατότητας / υδατοαπορροφητικότητας που επισημάνθηκε ανωτέρω, έχει αναφερθεί και το μεγαλύτερο βάθος ενανθράκωσης των σκυροδεμάτων που περιέχουν τα ανακυκλωμένα αδρανή υλικά (Sagoe – Crentsil K.K., Brown T. and Taylor A.H.,2001), (Otsuki N, Miyazato S. and Yodsudjai W.,2003). Αυτή η συμπεριφορά πιθανόν να αποδίδεται στην μεγαλύτερη διαπερατότητα των ανακυκλωμένων αδρανών υλικών εξαιτίας της παρουσίας της παλιάς τσιμεντοκονίας. Σχετικά με την αντίσταση σε ψύξη και απόψυξη, τα σκυροδέματα που περιέχουν τα ανακυκλωμένα αδρανή δείχνουν ικανοποιητική συμπεριφορά ως προς τη συγκεκριμένη ιδιότητα (Gocke A., Nagataki A., Saeki T. and Hisada M.,2004) (Zaharieva R., Francois B.-B. and Eric W.,2004).

Βάσει όλων όσων προαναφέρθηκαν τα οικοδομικά απόβλητα, δεν ενδείκνυνται για την παραγωγή συμβατικού τύπου σκυροδέματος, παρά μόνο στην περίπτωση που ο σκοπός χρήσης του θα είναι οι δευτερεύουσες εφαρμογές. Το γεγονός ότι αυξάνουν το πορώδες του παραγόμενου σκυροδέματος, κατ' επέκταση και την υδατοπερατότητά του τα καθιστούν μια εξαιρετική επιλογή για την παραγωγή διαπερατού σκυροδέματος, αφού εξασφαλίζουν στο μέγιστο τις επιθυμητές ιδιότητες του προϊόντος.

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής θα ελεγχθεί η επιτελεστικότητα των οικοδομικών αποβλήτων ως υποκατάστατα των φυσικών χονδρόκοκκων αδρανών για την παρασκευή διαπερατού σκυροδέματος. Συγκεκριμένα θα παραχθούν δοκίμια σκυροδέματος τα οποία θα περιέχουν σε καθορισμένες αναλογίες ανάμειξης τσιμέντο Portland τύπου CEM I και ανακυκλωμένο σκυρόδεμα συγκεκριμένης κοκκομετρίας. Τα δοκίμια αυτά θα ελεγχθούν όσον αφορά τις φυσικές ιδιότητες τους (πορώδες, υδατοαπορροφητικότητα και υδατοπερατότητα) και τις μηχανικές ιδιότητες τους (έλεγχος θλιπτικών και εφελκυστικών αντοχών καθώς και έλεγχος αντοχής των δοκιμίων σε συνθήκες ψύξης-απόψυξης -freeze and thaw-). Τέλος θα αξιολογηθούν όλα τα περιβαλλοντικά οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την χρήση του συγκεκριμένου τύπου σκυροδέματος. Αυτό θα συμβεί με τη μέτρηση του ποσοστού ενανθράκωσης των δοκιμίων, την ικανότητα απορρόφησης του σκυροδέματος στον αέριο ρύπο CO₂, την κύρια αιτία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Θα ελεγχθεί αν μπορούν τα παραγόμενα δοκίμια διαπερατού σκυροδέματος να δράσουν ως φίλτρο καθαρισμού των όμβριων υδάτων από τα οργανικά κατάλοιπα των αυτοκινήτων, που παραμένουν στην άσφαλτο και παρασέρνονται από το νερό της βροχής, καθώς και από τα θειικά και νιτρικά ιόντα, τα οποία βρίσκονται στην όξινη βροχή. Τέλος θα ελεγχθεί η επίδραση των χλωριόντων στο σκυρόδεμα με σκοπό την αξιολόγηση της χρήσης του σε παραθαλάσσιες περιοχές.

Η τελική επιδίωξη των ερευνητικών προσπαθειών της διδακτορικής διατριβής είναι η παρασκευή του συγκεκριμένου τύπου σκυροδέματος, με αποδεκτές μηχανικές ιδιότητες για το πεδίο εφαρμογών του, το οποίο παράλληλα να λειτουργεί, αφενός ως μέσο αντιπλημμυρικής προστασίας καθόσον συντελεί στην σωστή διαχείριση των όμβριων υδάτων με την διευκόλυνση της διόδου του νερού της βροχής προς τον υδροφόρο ορίζοντα, αφετέρου ως φίλτρο που θα συγκρατεί τους ρύπους που παρασέρνουν τα όμβρια ύδατα και έτσι θα προστατεύει τα υπόγεια ύδατα.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Γκαλμπένης Χ.Τ. 2008 Διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησης οικοδομικών απορριμμάτων στην παραγωγή κλίνκερ τσιμέντου, *Διδακτορική Διατριβή*, ΕΜΠ
ACI Committee, 2006, 522R-06: Pervious Concrete, *Technical Documents*.

- ACI Committee, 2008, 522.1-08: Specification for Pervious Concrete Pavement, *Technical Documents*.
- Dale P. Bentz, 2008, Virtual Pervious Concrete: Microstructure, Percolation, and Permeability, *Materials Journal*, Volume 105, Issue 3, pages 297-301.
- Gocke A., Nagataki A., Saeki T. and Hisada M.,2004, Freezing and thawing resistance of air – entrained concrete incorporating recycled coarse aggregate: The role of air content in demolished concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, pp. 799-806.
- Katz A.,2003, Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, pp. 703-711.
- Liv Haselbach and Robert Freeman, 2006, Vertical Porosity Distributions in Pervious Concrete Pavement», *Materials Journal*, Volume 103, Issue 6, pages 452-458.
- Otsuki N, Miyazato S. and Yodsudjai W.,2003, Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete, *ASCE J. Mater. Civil Eng.*
- Ryu J.S.,2002a, Improvement on strength and impermeability of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate, *Materials Science Letter*, Vol. 21, pp. 1565-1567
- Ryu J.S.,2002b, An experimental study on the effect of recycled aggregate concrete properties, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 54, pp. 7-12.
- Sagoe – Crentsil K.K., Brown T. and Taylor A.H.,2001, Performance of concrete made with commercially produced recycled concrete aggregates, *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, pp. 707-712.
- Tam V.W.Y., Gao X.F. and Tam C.M.,2005, Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two – stage mixing approach, *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, pp. 1195-1203.
- Zaharieva R., Francois B.-B. and Eric W.,2004, Frost resistance of recycled aggregate concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, pp. 1277-1932.