

Ανακυκλωμένο Σκυρόδεμα

Ν.Οικονόμου

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ

Γ.Τσώχος

Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

Λέξεις κλειδιά: ανακυκλωμένα αδρανή, ανακυκλωμένο σκυρόδεμα, ανθεκτικότητα, δομικά απορρίματα, κυβόλιθοι, προϊόντα σκυροδέματος, τσιμεντόλιθοι, υλικά κατεδάφισης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα της ανακύκλωσης των δομικών υλικών και ιδιαίτερα των δομικών απορριμάτων που προέρχονται από τις παλιές κατασκευές και αποτελούνται κυρίως από σκυρόδεμα και υλικά τοιχοποιίας, είναι σημαντικό για πολλούς λόγους στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης. Σε προηγούμενη εργασία μας (πρακτικά 13^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος), παρουσιάστηκαν αποτελέσματα από προσδιορισμούς μηχανικών χαρακτηριστικών ανακυκλωμένου σκυροδέματος με αδρανή που προέρχονται από παλιό σκυρόδεμα. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα ανακυκλωμένου σκυροδέματος που αφορούν δοκιμασίες ανθεκτικότητας (υδατοαπορρόφησης, υδατοδιαπερατότητας) καθώς και αντοχής σε ολίσθηση. Τα αποτελέσματα πιστοποιούν ότι το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων σκυροδέματος όπως κυβόλιθοι δαπέδων, τσιμεντόλιθοι τοιχοποιίας.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σχέση μεταξύ Δόμησης και Περιβάλλοντος σημαίνει ότι οποιαδήποτε ενέργεια αφορά την κατασκευή έχει άμεση επίδραση στο περιβάλλον και έχει τέσσερις συνιστώσες:

- λήψη μεγάλων ποσοτήτων πρώτων υλών (αδρανή για την παραγωγή τσιμέντου, σκυροδέματος, κεραμικών...) με αποτέλεσμα τη δραστική μείωση των αποθεμάτων του ορυκτού φυσικού πλούτου που διαρκώς υποβαθμίζεται
- κατανάλωση υψηλών ποσοτήτων ενέργειας για την παραγωγή, μεταφορά, χρήση των πρώτων υλών κ.ο. και των τελικών προϊόντων τους
- εκπομπές μεγάλων ποσοτήτων αερίων όπως CO₂, SO₂,... κατά την παραγωγή τους
- δημιουργία τεράστιων όγκων δομικών απορριμμάτων από τις παλιές κατασκευές που είναι εκτός λειτουργίας ή κατεδαφίζονται λόγω νέων απαιτήσεων αλλά και από υλικά κατεδάφισης που προέρχονται από φυσικές καταστροφές (σεισμοί, θύελλες, κ.τ.λ.).

Η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των δομικών υλικών ανταποκρίνεται στις σύγχρονες τάσεις της τεχνολογικής ανάπτυξης που αποτελούν μέρος της σύγχρονης απαίτησης για βιώσιμη ανάπτυξη, τη διαφύλαξη του φυσικού πλούτου και την αποτελεσματική διαχείριση των απορριμμάτων (Οικονόμου & Σελεβός 1999).

Η ετήσια «παραγωγή» των ορυκτών απορριμμάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση εκτιμάται ότι υπερβαίνει τους 300 εκατομμύρια τόνους αλλά ήδη σε πολλές χώρες η αξιοποίησή τους με επαναχρησιμοποίηση υπερβαίνει και το 80% (Τσώχος & Οικονόμου 2002). Δυστυχώς στην Ελλάδα το σύνολο σχεδόν των δομικών απορριμμάτων, που υπολογίσθηκαν πάνω από 2

εκατομμύρια τόνοι το χρόνο, οδηγείται προς τυχαία απόθεση με τα γνωστά αρνητικά αποτελέσματα.

Η σύσταση των δομικών απορριμμάτων είναι ένα άλλο σημαντικό στοιχείο. Σχετική έρευνα από ομάδα φοιτητών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΑΠΘ σε 8 κτίρια προς κατεδάφιση της Θεσσαλονίκης (Οικονόμου 2002), έδειξε σε γενικές γραμμές την ακόλουθη βασική σύσταση των δομικών απορριμμάτων :σκυρόδεμα 40%, κεραμικά υλικά 25%, ξύλο 15%, πλαστικά υλικά 5%, μεταλλικά υλικά 5%, διάφορα 10%.Εάν δεν υπολογισθούν τα είδη υγιεινής, τα ξύλινα στοιχεία, τα κουφώματα κλπ τότε η σύσταση των δομικών απορριμμάτων είναι περίπου η ακόλουθη: σκυρόδεμα 55% , τοιχοποιία 40% , διάφορα 5% .Τα σχετικά αποτελέσματα συμφωνούν με βιβλιογραφικά δεδομένα (Mueller& Winkler 1998) και οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο κύριος όγκος των δομικών απορριμμάτων από κτίρια προς κατεδάφιση αποτελείται από σκυρόδεμα, κεραμικά υλικά και κονιάματα.

Παρά τη διεθνή εμπειρία (RILEM 1992, Dhir και Συνεργάτες 1998, BRITE/EURAM 3 1998-2000, BRITE/EURAM 3 1999-2000 & Basuyan 2000) και την εφικτή τεχνολογία παραγωγής Αδρανών από Ανακυκλώμενο Σκυρόδεμα (ΑΑΣ),στη χώρα μας δεν υπάρχει ολοκληρωμένο πλαίσιο διαχείρισης των δομικών απορριμμάτων ώστε η επαναχρησιμοποίησή τους να έχει χαμηλό κόστος αλλά και τα περιβαλλοντικά οφέλη να είναι πολλαπλάσια. Το θέμα αυτό μάλιστα είναι εξαιρετικά επίκαιρο με την κατασκευή των Ολυμπιακών έργων σε σύγκριση με τα «πράσινα» Ολυμπιακά έργα στο Sydney, όπου χρησιμοποιήθηκαν πάνω από 300.000 τόνοι ανακυκλωμένου σκυροδέματος(Dumitru και Συνεργάτες 2000).

Στην προοπτική της παρασκευής ανακυκλωμένου σκυροδέματος, (δηλαδή σκυροδέματος με τη χρήση αδρανών από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα), συμπληρώνουμε με την παρούσα εργασία τα αποτελέσματα σχετικής έρευνας, της οποίας το πρώτο μέρος παρουσιάστηκε στο 13^ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος.

2.ΥΛΙΚΑ

Για την παραγωγή ΑΑΣ ως πρώτη ύλη για τη σύνθεση του νέου σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκαν επιλεγμένα δοκίμια σκυροδέματος κατηγορίας C16/20, ηλικίας 2 ετών. Ικανός όγκος δοκιμίων υποβλήθηκε σε θραύση σε λατομείο του Ν.Θεσσαλονίκης και συλλέχθηκε το κλάσμα 4-16mm. Το κλάσμα της άμμου δεν χρησιμοποιήθηκε λόγω της υψηλής υδατοαπορροφητικότητας (>9%) και του υψηλού ποσοστού φθοράς κατά τον προσδιορισμό της υγείας (>18%), (RILEM 1992, Ravindrarajah και Συνεργάτες,1997).

Για την παραγωγή σκυροδέματος C16/20 με μέγιστο κόκκο 16 mm εκτός των ΑΑΣ χρησιμοποιήθηκαν επίσης: άμμος Αξιού ποταμού, άμμος λατομείου Δρυμού και γαρμπίλι λατομείου Δρυμού. Στον πίνακα 1 δίνονται τα χαρακτηριστικά των αδρανών που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη μας (τα ΑΑΣ είναι δυνατόν να ανήκουν στην κατηγορία TYPE II (RILEM 1992) και καλύπτουν τις προτεινόμενες Ελληνικές προδιαγραφές για ΑΑΣ (Οικονόμου 2003).

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά αδρανών

| Αδρανή | χαλαρή πυκνότητα kg/l | πυκνότητα SSD kg/l | υδατοαπ. 24h % | υγεία % | φθορά κατά LA % |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|---------|--------------------|
| άμμος ποταμού | 1.68 | 2.67 | 1 | | |
| άμμος λατομείου | 1.65 | 2.65 | 1.9 | | |
| άμμος ΑΑΣ | 1.44 | 2.3 | 8.1-9.4 | 19 | |
| γαρμπίλι λατομείου | 1.5 | 2.61 | 0.9 | | 23 |
| γαρμπίλι ΑΑΣ | 1.32 | 2.37 | 4.8 | 7 | 35 |

Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε ήταν τύπου Π 32, 5N του εργοστασίου TITAN Θεσσαλονίκης ενώ χρησιμοποιήθηκε επίσης και ρευστοποιητής- μειωτής νερού του εμπορίου.

3.ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Οι συνθέσεις σκυροδέματος είχαν περιεκτικότητα σε τσιμέντο 350 kg/m^3 ενώ ο λόγος N/T κυμάνθηκε μεταξύ 0,55-0,60. Η εργασιμότητα του νωπού σκυροδέματος προσδιορίστηκε με τη δοκιμή κάθισης. Τα δοκίμια για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής καθώς και για τον προσδιορισμό της ανθεκτικότητας συμπυκνώθηκαν σε δονητική τράπεζα και συντηρήθηκαν σε συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος, οι δε έλεγχοι έγιναν σε δοκίμια ηλικίας 28 ημερών. Τα δοκίμια για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής ήταν κυβικά $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$ ενώ για τους υπόλοιπους προσδιορισμούς ήταν:

- για τον προσδιορισμό της υδατοαπορροφητικότητας(24h), κυβικά δοκίμια $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$
- για τον προσδιορισμό της υδατοδιαπερατότητας (72h), πρισματικά δοκίμια $20 \times 20 \times 12 \text{ cm}$
- για τον προσδιορισμό της αντίστασης σε ολίσθηση, πρισματικά δοκίμια $20 \times 20 \times 12 \text{ cm}$ και για τη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε η διάταξη του Βρετανικού εκκρεμούς (British pendulum) σύμφωνα με τη βιβλιογραφία(ASTM E 303).Οι συνθέσεις και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Συνθέσεις σκυροδέματος και αποτελέσματα δοκιμών

| ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ-ΔΟΚΙΜΕΣ | A ₀ | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | A ₅ |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Άμμος ποταμού, % | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Άμμος λατομείου, % | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| γαρμπίλι λατομείου, % | 60 | 30 | 30 | | | |
| γαρμπίλι ΑΑΣ, % | | 30 | 30 | 60 | 60 | 60 |
| Πρόσμικτο, % στο τσιμέντο | | | 0.5 | | 0.5 | 1 |
| λόγος N/T | 0.55 | 0.58 | 0.56 | 0.60 | 0.59 | 0.60 |
| εργασιμότητα (κάθιση), cm | 9 | 3 | 8 | 1 | 6 | 10 |
| αντοχή σε θλίψη (28d), MPa | 26.7 | 21.2 | 24.6 | 20.4 | 22.3 | 23.1 |
| υδατοαπορροφητικότητα(24h), % | 2.6 | 4.8 | 4.3 | 5.2 | 5.0 | 4.7 |
| υδατοδιαπερατότητα(72h), mm | 33 | 39 | 37 | 42 | 39 | 38 |
| αντίσταση σε ολίσθηση (BNP) | 92 | 84 | 86 | 81 | 80 | 83 |

4.ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όπως έχει διαπιστωθεί (RILEM 1992) αλλά και από τα αποτελέσματα του πρώτου μέρους της έρευνας (Οικονόμου & Σελεβός 1999), η προσθήκη ρευστοποιητή-μειωτή νερού είχε θετική επίδραση στην αύξηση της εργασιμότητας, η οποία με την παρουσία ΑΑΣ μειώθηκε. Επίσης η θλιπτική αντοχή των 28 ημερών κάλυψε την απαίτηση για σκυρόδεμα C16/20.

Σχετικά με τις δοκιμές ανθεκτικότητας και αντίστασης σε ολίσθηση παρατηρήθηκαν γενικά μικρές μόνο αποκλίσεις από τις αντίστοιχες τιμές του σκυροδέματος αναφοράς (Αο) ακόμα και σε πλήρη αντικατάσταση του χονδρόκοκου αδρανούς με χονδρόκοκκο ΑΑΣ. Αυτές οι αποκλίσεις μειώθηκαν με την προσθήκη ρευστοποιητή-μειωτή νερού, η παρουσία του οποίου κρίθηκε απαραίτητη.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Δυστυχώς, παρά το γεγονός ότι τεράστιοι όγκοι παλιού σκυροδέματος ή παλιάς τοιχοποιίας οδηγούνται σε ανεξέλεγκτη απόθεσή τους και ενώ έχουν σχετική τεχνική ισοτιμία με τα φυσικά αδρανή η τεχνολογία της επαναχρησιμοποίησής τους βρίσκεται σε μηδενικό επίπεδο στην Ελλάδα. Το θέμα μάλιστα είναι ιδιαίτερα επίκαιρο αυτή τη χρονική περίοδο λόγω της συγκυρίας της κατασκευής των μεγάλων τεχνικών έργων στη χώρα όπου σε πολλούς τομείς ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν αδρανή από δομικά απορρίμματα

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά (μηχανικά, ανθεκτικότητας, αντίστασης σε ολίσθηση) πιστεύεται ότι η παραγωγή κυβολίθων ή πλακών πεζοδρομίου με αδρανή από ανακυκλωμένο σκυροδέμα είναι εφικτή και παράλληλα επιβεβλημένη. Επίσης είναι δυνατή η παραγωγή τσιμεντόλιθων τοιχοποιίας όπου θα είναι δυνατή και η συμμετοχή αδρανών από ανακυκλωμένη παλιά τοιχοποιία, θέμα το οποίο θα μας απασχολήσει στο μέλλον.

6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- ASTM E303-93, 1994. Standard test method for measured surface frictional properties using British pendulum tester, Annual Book of ASTM Standards.
- Basuyan V., 2000. Recycled Materials :An additional source of Aggregates. Proceedings of Workshop ,1st ETNRecy.net / RILEM, Paris.
- BRITE/EURAM 3, 1999-2000. European concrete pavement for recycling. Project Ref: BRST985334.
- BRITE/EURAM 3, 1998-2002. Use of recycled materials as aggregates in the construction industry. Project Ref: BRRT985004.
- Dhir R., Henderson N.,&Limbachiya M.(editors). 1998. Proceedings of International Symposium on Sustainable Construction: *Use of Recycled Concrete Aggregates* London,E&FN SPON.
- Dimitru I., Munn R.& Smorchersky G .2000:Progress Towards Achieving Ecologically Sustainable Concrete and Road Pavements in Australia. Proceedings of *WASCON 2000*, North Yorkshire, UK..
- Mueller A. & Winkler A.1998. Characteristics of Processed Concrete Rubble. Proceedings of International Symposium on Sustainable Construction: *Use of Recycled Concrete Aggregates* ,Dhir R., Henderson N.,&Limbachiya M.(editors), London,E&FN SPON. pp. 109-119.
- Οικονόμου Ν. 2003 Αδρανή Ανακυκλωμένου Σκυροδέματος (ΑΑΣ). Πρόταση για ελληνικές προδιαγραφές .Εγκρίθηκε για δημοσίευση σε special issue of *Cement and Concrete Composites* dedicated to Cement and Concrete research in Greece.
- Οικονόμου Ν. 2002. Ανακύκλωση δομικών απορριμμάτων, Πρακτικά 1^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη.
- Οικονόμου Ν. και Σελεβός Σ.1999. Ανακύκλωση Σκυροδέματος. Πρακτικά 13^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Ρέθυμνο, σ.235-249.
- RILEM. 1992. *Recycling of Demolished concrete and Masonry*. London. E&FN SPON.
- Sri Ravindrarajah R, Loo Y.H.,&Tam C.T. 1997. Strength evaluation of recycled-aggregate concrete by in situ tests. *Materials and Structures* Vol.21,pp. 289-295.
- Τσώχος Γ. & Οικονόμου Ν.2002. Διαχείριση δομικών απορριμμάτων- σκυροδέματος. Πρακτικά 1^{ου} Συνεδρίου για τη διαχείριση στερεών Αποβλήτων. ΕΕΔΣΑ. Αθήνα.