

Πειραματική προσέγγιση της χρήσης ανακυκλωμένων αδρανών βιομηχανικής επεξεργασίας στην παράγωγή νέου σκυροδέματος. Μέρος Ι

Σ. Μαυρίδου, Ν. Οικονόμου

*Εργαστήριο Δομικών Υλικών,, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ, 54124, Θεσσαλονίκη,
e-mail: smavrido@civil.auth.gr; ikonomou@civil.auth.gr*

Κλ. Γιάνναρης, Στ. Παντούλα

Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ

Λέξεις κλειδιά: ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος (Α.Α.Σ), Απόβλητα από Εκσκαφές, Κατασκευές και Κατεδαφίσεις (Α.Ε.Κ.Κ), σκυρόδεμα, περιβάλλον

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την πρώτη σειρά μιγμάτων σκυροδέματος με χρήση ανακυκλωμένων αδρανών παλαιού σκυροδέματος από σύγχρονη βιομηχανική μονάδα επεξεργασίας Αποβλήτων από Εκσκαφές, Κατασκευές και Κατεδαφίσεις (Α.Ε.Κ.Κ) σταθερού τύπου. Για το σκοπό αυτό παρασκευάστηκαν μίγματα σκυροδέματος με ολική αντικατάσταση των φυσικών αδρανών με ανακυκλωμένα αδρανή, τα οποία προήλθαν από συλλογή παλαιών στοιχείων σκυροδέματος από κατεδαφίσεις στο ευρύτερο Πολεοδομικό Συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Παρουσιάζονται χαρακτηριστικά των ανακυκλωμένων αδρανών καθώς και χαρακτηριστικά των παραγόμενων μιγμάτων. Βάσει των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι είναι δυνατή η χρήση ανακυκλωμένων αδρανών σκυροδέματος τυχαίας σύστασης, ηλικίας και προέλευσης στην παραγωγή νέου σκυροδέματος με οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Experimental approach of the use of industrially recycled aggregates in the production of new concrete. Part I

S. Mavridou, N. Oikonomou

*Laboratory of Building Materials, Aristotle University of Thessaloniki (A.U.Th)
e-mails: smavrido@civil.auth.gr; ikonomou@civil.auth.gr*

Kl. Giannaris, St. Pantoula

Civil Engineer, A.U.Th

Keywords: recycled aggregates, demolition wastes, concrete, environment

ABSTRACT: This report presents primary laboratory results of concrete mixtures with industrially recycled aggregates. The recycled aggregates came from old concrete

generated from demolition wastes from the region of Thessaloniki and were treated industrially in a steady type plant. The report consists of the suitability tests for recycled aggregates while characteristics of concrete mixtures in fresh and hardened state are examined. Based on the results, it seems possible to produce concrete with recycled aggregates of random age, origin and composition environmentally and economically profitable.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο τομέας των κατασκευών είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τον άνθρωπο αλλά παράλληλα υπεύθυνος σε ποσοστό 50% [1] για τη λήψη από τη φύση πρώτων υλών. Ο κύριος όγκος των δομικών υλικών που κατευθύνονται στην κατασκευή αποτελείται από αδρανή υλικά που θεωρούνται το πρώτο φυσικό υλικό που καταναλώνεται μετά το νερό και τα καύσιμα. Τα απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ) συνιστούν ένα από τα μεγαλύτερα ρεύματα αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, μαζί με τα αντίστοιχα από τις μεταλλευτικές και αγροτικές δραστηριότητες και μάλιστα σε ποσοστό 25%[2].

Όσον αφορά στο νομοθετικό πλαίσιο της χώρας μας, το σχετικό με την εναλλακτική διαχείριση των Αποβλήτων από Εκσκαφές, Κατασκευές και Κατεδαφίσεις(ΑΕΚΚ) Προεδρικό Διάταγμα έχει ήδη υπογραφεί ενώ εκκρεμεί η δημοσίευσή του στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως. Οι στόχοι που θέτει αυτό είναι οι εξής [3]:

Α) μέχρι την 1^η Ιανουαρίου 2006 να αξιοποιείται κατ' ελάχιστο το 30% κ.β των παραγόμενων απορριμμάτων, από το οποίο το 50% να ανακυκλώνεται (!)

Β) μέχρι την 1^η Ιανουαρίου 2008 να αξιοποιείται κατ' ελάχιστο το 50% κ.β των παραγόμενων απορριμμάτων, από το οποίο το 50% να ανακυκλώνεται (!)

Γ) μέχρι την 1^η Ιανουαρίου 2015 να αξιοποιείται κατ' ελάχιστο το 80% κ.β των παραγόμενων απορριμμάτων, από το οποίο το 50% να ανακυκλώνεται.

Οι στόχοι Α και Β δυστυχώς δεν έχουν επιτευχθεί ενώ η δημοσίευση του Προεδρικού Διατάγματος και συνεπώς η ομαλή και νόμιμη λειτουργία των ήδη υπαρχουσών- αλλά χωρίς άδεια- μονάδων επεξεργασίας Α.Ε.Κ.Κ ίσως σταθεί αρωγός στην επίτευξη του στόχου Γ.

Στην παρούσα εργασία μελετώνται ιδιότητες σκυροδέματος με χρήση ανακυκλωμένων αδρανών αντί φυσικών. Αρχικά ελέγχεται η καταλληλότητα χρήσης των ανακυκλωμένων αδρανών, τα οποία προήλθαν από συλλογή παλαιών στοιχείων σκυροδέματος από κατεδαφίσεις στο ευρύτερο Πολεοδομικό Συγκρότημα της Θεσσαλονίκης και στη συνέχεια εξετάζονται ιδιότητες του σκυροδέματος σε νωπή και σκληρυμένη κατάσταση.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των συνθέσεων ήταν:

- ❑ Αδρανή λατομείου Δρυμού (άμμος-γαρμπίλι)
- ❑ Αδρανή ανακυκλωμένα από την 'Ανακύκλωση Αδρανών Μακεδονίας Α.Ε.' (άμμος-γαρμπίλι)
- ❑ Νερό δικτύου ύδρευσης
- ❑ Τσιμέντο TITAN CEM I 42,5R
- ❑ Τσιμέντο TITAN CEM II 32,5N
- ❑ Επιβραδυντής Pozzolith 134 CF
- ❑ Υπερρευστοποιητής Glenium C329

Όσον αφορά στα ανακυκλωμένα αδρανή, αυτά προήλθαν από το συλλογικό σύστημα ανακύκλωσης ΑΕΚΚ 'Ανακύκλωση Αδρανών Μακεδονίας ΑΕ', που εδρεύει στο ευρύτερο Πολεοδομικό Συγκρότημα του νομού Θεσσαλονίκης[5]. Η ύπαρξη της μονάδας αυτής, με το μέγεθός της και την ποιότητα παραγωγής, έδωσε τη δυνατότητα μελέτης της συμπεριφοράς και των δυνατοτήτων του σκυροδέματος με Α.Α.Σ. στην πράξη. Για την παραγωγή αυτών, τροφοδοτήθηκαν στο σύστημα, κομμάτια από κράσπεδα και πλάκες σκυροδέματος, ενώ το υλικό που προέκυψε συλλέχθηκε ξεχωριστά, για αποφυγή ανάμιξης του με τα στοκ των υπολοίπων προϊόντων. Διευκρινίζεται ωστόσο, πως η προέλευση των τεμαχίων πρωτογενούς σκυροδέματος είναι άγνωστη. Κάτι ανάλογο θα ισχύει γενικά και στην πράξη αφού η παραγωγή και η ύπαρξη στοκ καθαρών (Α.Α.Σ.) θα εξαρτάται άμεσα από τη διαθεσιμότητα στοιχείων σκυροδέματος από ποικίλες κατεδαφίσεις.

Ο χώρος εγκατάστασης της μονάδας, σταθερού τύπου, είναι πρώην χώρος αμμοληψίας αυτούσιου υλικού. Για τη δημιουργία της μονάδας, η μορφολογία της περιοχής χρειάστηκε να αλλάξει με χωματουργικές εργασίες διαμόρφωσης και φυτοκάλυψη μεγάλης κλίμακας. Έτσι, η όλη εγκατάσταση βρίσκεται 24m κάτω από τον περιβάλλοντα χώρο ενώ το εμβαδόν της διαμορφωμένης έκτασης ξεπερνά τα 110.000m².



Σχήμα 1^α,β,γ. Συλλογικό σύστημα ανακύκλωσης ΑΕΚΚ ‘Ανακύκλωση Αδρανών Μακεδονίας ΑΕ’.

ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ

Α) Έλεγχοι σε υγεία και σε φθορά κατά Los Angeles

Οι έλεγχοι σε υγεία και φθορά κατά Los Angeles διενεργήθηκαν στο κρατικό εργαστήριο ΠΕΔΕ Κεντρικής Μακεδονίας. Όσον αφορά το ανακυκλωμένο γαρμπίλι, ο έλεγχος σε φθορά κατά Los Angeles έδωσε 29,4% ενώ η αντίστοιχη τιμή για τα αδρανή του λατομείου Δρυμού ήταν 24,8%- ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ) θέτει ως όριο το 40%-.

Ο έλεγχος σε υγεία για το γαρμπίλι έδωσε 1,8%, έναντι 0,3% των χονδρόκοκκων Δρυμού, τιμή αποδεκτή βάσει του αντίστοιχου ορίου 12%.

Β) Ειδικό Βάρος – Υδαταπορροφητικότητα

Στη συνέχεια μετρήθηκαν το ειδικό βάρος (Ε.Β.) και η υδαταπορροφητικότητα των (Α.Α.Σ.), ενώ οι τιμές που προέκυψαν χρησιμοποιήθηκαν στον κατοπινό σχεδιασμό των συνθέσεων που πραγματοποιήθηκαν. Οι μετρήσεις αυτές, όπως και οι προαναφερθείσες συνθέσεις σκυροδέματος, έγιναν στο κεντρικό εργαστήριο ελέγχου ποιότητας της ΑΕΓΕΚ ως αναδόχου της κατασκευής του Μετρό Θεσσαλονίκης.

Πίνακας 1 . Μικτό φαινόμενο ειδικό βάρος και υδαταπορροφητικότητα αδρανών, ανακυκλωμένων και φυσικών

	Άμμος ανακυκλωμένη	Άμμος Δρυμού	Γαρμπίλι Δρυμού	Γαρμπίλι ανακυκλωμένο
ΜΙΚΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ Ε.Β.	2,63	2,89	2,71	2,45

ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ %	8,13	2,0	0,30	5,13
--------------------	------	-----	------	------

Όπως ήταν αναμενόμενο, το ειδικό βάρος των ανακυκλωμένων αδρανών είναι μικρότερο από των πρωτογενών, ενώ η υδαταπορροφητικότητα τους αρκετά μεγαλύτερη. Αυτό οφείλεται στη στιβάδα της επικολλημένης τσιμεντόπαστας με το μεγάλο πορώδες. Συγκρίνοντας τώρα τα κλάσματα μεταξύ τους, παρατηρούμε πως το ανακυκλωμένο γαρμπίλι παρουσιάζει καλύτερα χαρακτηριστικά σε σχέση με τα πιο λεπτόκοκκα (Α.Α.Σ.) αφού όπως έχει αναφερθεί έχει μικρότερο ποσοστό τσιμεντοπήγατος[4].

Γ) Ισοδύναμο Άμμου

Παρατηρείται πως τα ανακυκλωμένα υλικά έχουν ελαφρώς καλύτερη τιμή ισοδυνάμου άμμου από τα μητρικά- 71 έναντι 70 των μητρικών-. Είναι γενικά αποδεκτό πως τα πρωτογενή αδρανή παρουσιάζουν σχετικά χαμηλές τιμές λόγω του τρόπου παραγωγής τους στα λατομεία. Από την άλλη τα ανακυκλωμένα εμφανίζονται ικανά να καλύψουν τις απαιτήσεις της δοκιμής αυτής (κατώτατο όριο για χρήση σε σκυρόδεμα 65).

Δ) Κοκκομετρική ανάλυση

Τα συσσωματώματα των (Α.Α.Σ.) θεωρήθηκαν ως κανονικοί κόκκοι αδρανών χωρίς καμία περαιτέρω μελέτη για την κοκκομετρική καμπύλη των πρωτογενών ασβεστολιθικών αδρανών μέσα σε αυτά. Παρατηρήθηκε ότι η άμμος λατομείου είχε μεγαλύτερο ποσοστό διερχόμενων από το κόσκινο Νο 200 σε σχέση με την ανακυκλωμένη, γεγονός που συντελεί και στη μικρότερη τιμή ισοδυνάμου άμμου. Οι κοκκομετρικές καμπύλες της άμμου και του γαρμπιλιού φαίνονται στο σχήμα 2 στην ενότητα των συνθέσεων.

ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ

Χρησιμοποιώντας τα (Α.Α.Σ.) της ‘Ανακύκλωση Αδρανών Μακεδονίας Α.Ε.’, καθώς και φυσικά αδρανή από το λατομείο του Δρυμού, πραγματοποιήθηκαν έξι συνθέσεις σκυροδέματος. Ο σχεδιασμός των συνθέσεων αυτών έγινε με γνώμονα την απόκτηση εμπειρίας επί των βασικών ιδιοτήτων, δηλαδή ως προς την εργασιμότητα και την ανάπτυξη αντοχών, από διαφορετικές συνθέσεις σκυροδέματος παρά την παραγωγή ομοειδών μιγμάτων ενός μόνο τύπου για άμεση σύγκριση. Τα ποσοστά αντικατάστασης, το είδος του τσιμέντου, ο λόγος νερού προς τσιμέντο, το ποσοστό του υπερρευστοποιητή, ήταν οι μεταβλητές που ενδεχομένως άλλαζαν σε κάθε σύνθεση.

Οι συνθέσεις που παρασκευάστηκαν στόχευαν στην παραγωγή σκυροδέματος κατηγορίας C20/25 (συνθέσεις 1-3) και C30/37 (συνθέσεις 4-6) όπως φαίνεται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Επιμέρους ποσότητες των συστατικών για κάθε σύνθεση (σε kg/m³)

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	1	2	3	4	5	6
Γαρμπίλι Δρυμού	835			823		
Άμμος Δρυμού	976			962		
Γαρμπίλι ανακυκλωμένο		734	734		747	682
Άμμος ανακυκλωμένη		860	860		875	800

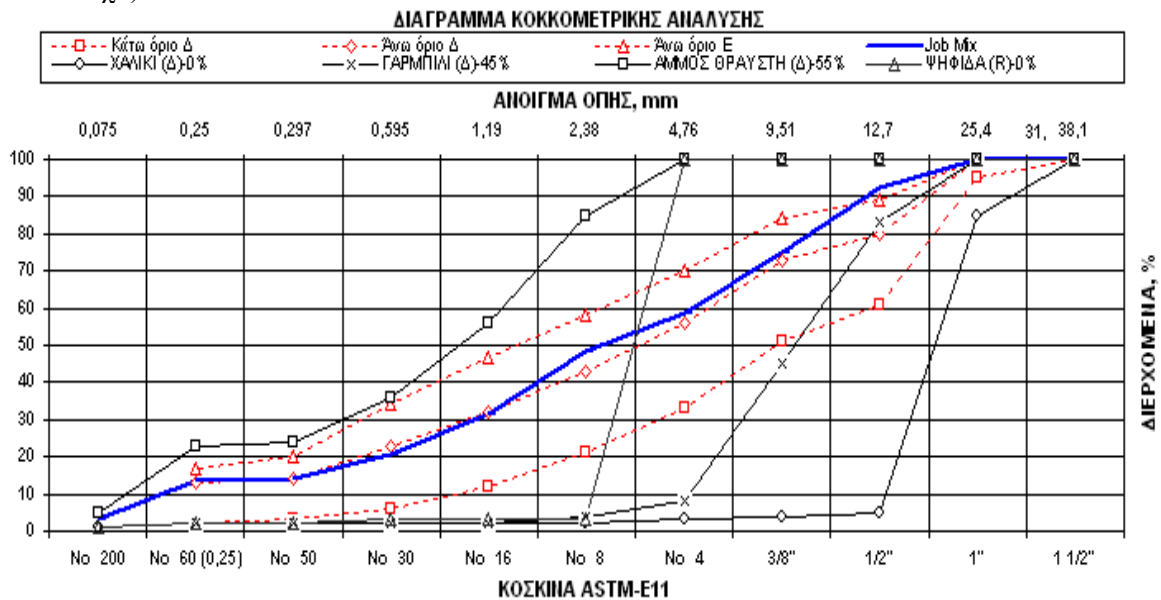
Νερό	225	310	310	190	276	325
TITAN CEM I 42,5R	200	200	200	100	100	100
TITAN CEM II 32,5N	100	100	100	300	300	300
Pozzolith 134 CF	0,90	0,90	0,90	1,40	1,40	1,40
Glenium C329	2,40	2,40	5,10	4,40	4,40	4,40
Glenium C329 (προσθήκη σε 60')	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,40 ¹

¹ προστέθηκε με στόχο την επίτευξη μεγαλύτερης κάθισης

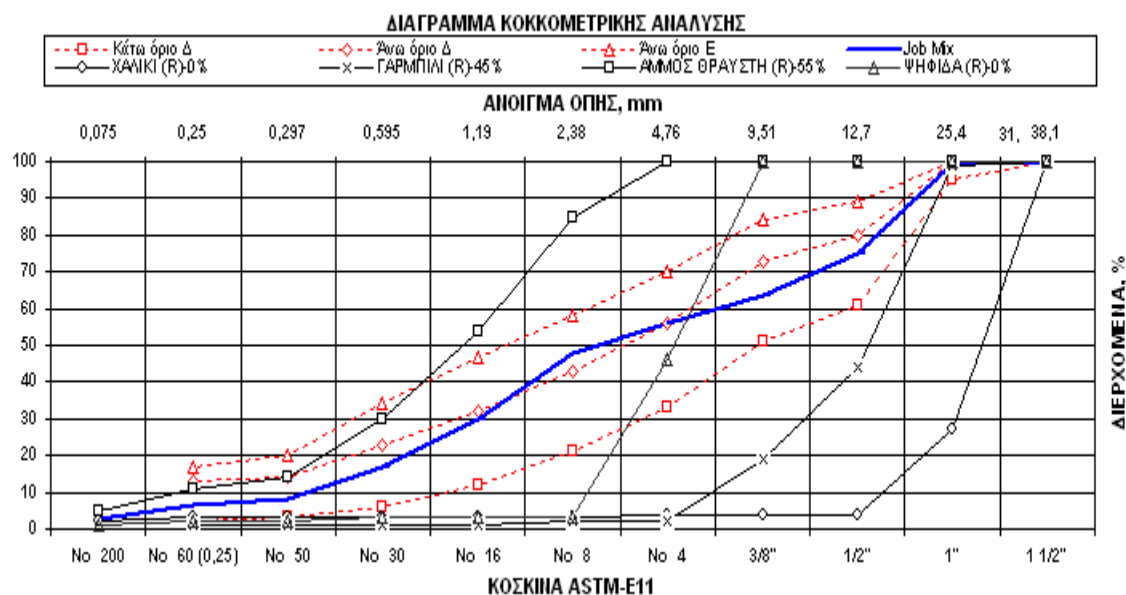
Όπως φαίνεται και από τον πίνακα, οι συνθέσεις μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες

- Όλα τα αδρανή είναι λατομείου
- Όλα τα αδρανή είναι ανακυκλωμένα

Για τον κάθε συνδυασμό σχεδιάστηκε η αντίστοιχη κοκκομετρική καμπύλη (σχήματα 2 και 3 αντίστοιχα).



Σχήμα 2. Κοκκομετρική καμπύλη για συνθέσεις με αδρανή λατομείου (συνθέσεις 1 και 4)



Σχήμα 3. Κοκκομετρική καμπύλη για συνθέσεις αδρανή ανακυκλωμένα (συνθέσεις 2,3,5,6)

Για την υλοποίηση των συνθέσεων παρασκευάστηκαν 60lt μίγματος για την κάθε μία από αυτές ενώ ελήφθησαν κυβικά, κυλινδρικά και πρισματικά δοκίμια για έλεγχο. Οι έλεγχοι που διενεργήθηκαν αφορούσαν χαρακτηριστικά των μιγμάτων σε νωπή κατάσταση (πυκνότητα, αρχική κάθιση, κενά αέρος σκυροδέματος) και σε σκληρυμένη (το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, την θλιπτική και καμπτική αντοχή καθώς και την αντοχή σε διάρρηξη). Η εργασία συμπληρώνεται με μελέτη της μικροδομής των μιγμάτων ώστε να διαπιστωθεί η καλή ή όχι συνάφεια των ανακυκλωμένων κόκκων με το υπόλοιπο μίγμα. Όλοι οι έλεγχοι πραγματοποιήθηκαν σε δοκίμια 28 ημερών τα οποία συντηρήθηκαν σε θάλαμο θερμοκρασίας $20 \pm 2^\circ\text{C}$ και υγρασία $>95\%$.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών συνθέσεων, που αποτελούν μέσο όρο τριών τιμών.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα δοκιμών και ελέγχων στο νωπό και σκληρυμένο σκυρόδεμα για κάθε σύνθεση

Ιδιότητα \ Σύνθεση	1	2	3	4	5	6
Κατηγορία σκυροδέματος	C20/25	C20/25	C20/25	C30/37	C30/37	C30/37
Πυκνότητα (Kg/m^3)	2403	2168	2123	2410	2201	2148
Αρχική κάθιση δοκιμίων (cm)	21	3	9	26	2	11
Κενά αέρος νωπού σκυρ/τος %	1,7	4,2	3,9	1,7	3,8	3,5
Αντοχή σε διάρρηξη	2,61	1,86	1,56	3,57	2,63	2,12
Αντοχή σε κάμψη	3,96	2,59	2,43	4,95	3,94	3,60
Αντοχή σε θλίψη	35,80	22,30	20,17	47,05	33,83	26,67
Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (GPa)	44,37	26,55	24,48	53,50	35,67	30,05

Με βάση τα εργαστηριακά αποτελέσματα παρατηρήθηκε μείωση της πυκνότητας των μιγμάτων σκυροδέματος με προσθήκη ανακυκλωμένων αδρανών, η οποία μειώθηκε περαιτέρω με προσθήκη μεγαλύτερης ποσότητας υπερρευστοποιητή. Η μείωση αυτή ήταν αναμενόμενη δεδομένου του χαμηλότερου ειδικού βάρους των ανακυκλωμένων αδρανών.

Η εργασιμότητα των μιγμάτων με ανακυκλωμένα αδρανή, η οποία μετρήθηκε με την κάθιση, εμφανίστηκε αισθητά μειωμένη σε σχέση με την αντίστοιχη των μιγμάτων που περιείχαν φυσικά αδρανή. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ιδιαίτερα αυξημένη ποσότητα νερού που απορροφούν τα ανακυκλωμένα αδρανή. Για το σκοπό αυτό παρασκευάστηκαν και συνθέσεις με μεγαλύτερη ποσότητα υπερρευστοποιητή και νερού.

Επίσης, τα θεωρούμενα κενά, σε λίτρα ανά κυβικό μέτρο, που συνυπολογίζονταν σε κάθε σύνθεση, χρειάστηκε να αναπροσαρμοστούν σε τιμές μεγαλύτερες από την τυπική τους των 15 lt/m^3 για καλύτερη προσέγγιση του αυξημένου ποσοστού κενών που προέκυπτε πειραματικά όποτε χρησιμοποιούνταν (Α.Α.Σ.).

Όσον αφορά στα μηχανικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων μιγμάτων παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Οι συνθέσεις 1 και 4 ικανοποιούν πλήρως τους στόχους αντοχής που τέθηκαν κατά το σχεδιασμό των συνθέσεων δηλαδή των κατηγοριών C20/25 και C30/37, αντίστοιχα.
- Η σύνθεση 2, η οποία περιείχε αποκλειστικά ανακυκλωμένα αδρανή και στα δύο κλάσματα που χρησιμοποιήθηκαν εμφάνισε μηχανικά χαρακτηριστικά λιγότερο ικανοποιητικά από τα αντίστοιχα του στόχου σχεδιασμού ενώ η μείωση της θλιπτικής αντοχής της ανήλθε στο 37,71% σε σχέση με τη σύνθεση αναφοράς 1.
- Η σύνθεση 3, η οποία περιείχε και αυτή αποκλειστικά ανακυκλωμένα αδρανή και στα δύο κλάσματα που χρησιμοποιήθηκαν εμφάνισε ακόμα χαμηλότερες τιμές μηχανικών αντοχών παρά την αυξημένη ποσότητα υπερρευστοποιητή. Αυτό οφείλεται στον επίσης αυξημένο λόγο νερό/τσιμέντο, ο οποίος δρα αρνητικά στην ανάπτυξη των μηχανικών αντοχών.
- Όσον αφορά στη σύνθεση 5, η οποία περιείχε ανακυκλωμένα αδρανή, εμφάνισε θλιπτική αντοχή ίση με 33,83MPa, τιμή μειωμένη σε σχέση με την αντίστοιχη του συμβατικού μίγματος κατά 28,09%.
- Η σύνθεση 6 εμφάνισε παρόμοια συμπεριφορά με τη σύνθεση 3, δηλαδή αν και αυξήθηκε η ποσότητα του υπερρευστοποιητή, αυξήθηκε και η ποσότητα νερού και επομένως παρασκευάστηκαν μίγματα με μειωμένες μηχανικές αντοχές.
- Παρόμοια συμπεριφορά εμφανίζεται και στις υπόλοιπες ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος δηλαδή της καμπτικής αντοχής, της αντοχής σε διάρρηξη καθώς και του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας ωστόσο η μείωση των τιμών των χαρακτηριστικών αυτών δεν ήταν τόσο μεγάλη.
- Τέλος, παρατηρούμε πως η προσθήκη των ανακυκλωμένων αδρανών στις συνθέσεις κατηγορίας C30/37 επηρέασε λιγότερο αρνητικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων από τις αντίστοιχες της κατηγορίας C20/25.

ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Η μικροδομή των μιγμάτων σκυροδέματος, τόσο των συμβατικών όσο και αυτών που περιείχαν ανακυκλωμένα αδρανή, εξετάστηκαν με χρήση οπτικού μικροσκοπίου τύπου Leica Wild M10. Τα αποτελέσματα έδειξαν ισχυρή πρόσφυση της τραχείας επιφάνειας των γωνιωδών ανακυκλωμένων κόκκων με την πάστα. Από την μικροσκοπική παρατήρηση φάνηκε επίσης πως τα δύο υλικά

λειτουργούν ενιαία με τις ρωγμές να προχωρούν στο ανακυκλωμένο αδρανές και να μη σταματάνε στη διεπιφάνεια αδρανούς – κονιάς. Συγκεκριμένα για τις :

➤ *Συνθέσεις με χρήση αδρανών λατομείου (συνθέσεις 1 και 4)*

Παρατηρήθηκε ισχυρή συνάφεια πάστας και αδρανών ωστόσο παρατηρούνται αποκολλήσεις των ασβεστολιθικών αδρανών με ύπαρξη σφαιρικών πόρων διαμέτρου 200-400μm σε θέσεις όπου αποκολλήθηκαν αδρανή-σχήμα 4.



Σχήμα 4. Δομή σκυροδέματος με χρήση αδρανών λατομείου (x8)

➤ *Συνθέσεις με χρήση ανακυκλωμένων αδρανών (συνθέσεις 2,3,5,6.)*

Αν και στις συνθέσεις αυτές παρατηρούνται αποκολλήσεις μερικών αδρανών, η συνάφεια παραμένει ισχυρή. Επίσης παρατηρήθηκε ύπαρξη λίγων λεπτοκρυσταλλικών αλάτων σε πόρους των (Α.Α.Σ.)- σχήμα 5.



Σχήμα 5. Δομή σκυροδέματος με χρήση ανακυκλωμένων αδρανών (x8)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Με την παρούσα εργασία έγινε μία ουσιαστική προσέγγιση του πολύ σημαντικού περιβαλλοντολογικά θέματος της εναλλακτικής διαχείρισης των ΑΕΚΚ. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν ανακυκλωμένα αδρανή που προέρχονται από παλιό σκυρόδεμα, στην παραγωγή νέου συμβατικού σκυροδέματος. Το ανακυκλωμένο υλικό χορηγήθηκε από την 'Ανακύκλωση Αδρανών Μακεδονίας Α.Ε.' μία μονάδα ανακύκλωσης ΑΕΚΚ σταθερού τύπου. Ως

εκ τούτου τα αδρανή που ελήφθησαν αφορούν προϊόντα που παράγονται στην πράξη και όχι σε εργαστηριακό επίπεδο.

Στις συνθέσεις όπου χρησιμοποιήθηκαν ανακυκλωμένα αδρανή, αυτά αντικατέστησαν τα φυσικά σε ποσοστό 100%. Τα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν-φυσικά και ανακυκλωμένα-, το νωπό σκυρόδεμα καθώς και το σκληρυμένο που παρασκευάστηκε υποβλήθηκαν σε μία σειρά ελέγχων και δοκιμών για να διαπιστωθεί η καταλληλότητα και η συμπεριφορά τους.

Τα ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος ικανοποίησαν τους αντίστοιχους ελέγχους που τα προκρίνουν για χρησιμοποίηση τους στην παραγωγή νέου σκυροδέματος.

Το πρόβλημα που προκύπτει από αυτά αφορά την αυξημένη τους υδαταπορροφητικότητα σε σχέση με τα φυσικά αδρανή, ποταμού ή λατομείου. Αυτό συμβαίνει λόγω της επικολημένης στην επιφάνειά τους τσιμεντόπαστας του σκυροδέματος στο οποίο είχαν αρχικά χρησιμοποιηθεί. Προσοχή θα πρέπει να δίνεται λοιπόν στο σχεδιασμό των συνθέσεων, στις οποίες χρειάζεται να αντισταθμίζεται η αρνητική ιδιότητα της μεγάλης υδαταπορροφητικότητας με προσθήκη περισσότερου νερού. Αυτό με τη σειρά του όμως δημιουργεί αλλοίωση στον ενεργό λόγο νερού προς τσιμέντο ιδίως όταν η ποσότητα του τσιμέντου είναι μικρή όπως φάνηκε και στις εξεταζόμενες συνθέσεις.

Η μικροσκοπική εξέταση του σκυροδέματος με (Α.Α.Σ.) έδειξε ισχυρή συνάφεια αυτών με την τσιμεντόπαστα και καλή συμπεριφορά ως προς τη ρηγμάτωση. Επίσης τα (Α.Α.Σ.) διαθέτουνγωνιώδες σχήμα το οποίο, ενισχύει τη συνάφεια αδρανών- τσιμεντόπαστας.

Σε επόμενο στάδιο θα εξετασθεί προσθήκη ανακυκλωμένων αδρανών σε διάφορα ποσοστά και συνδυασμούς, προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση καθενός εκ των δυο κλασμάτων των ανακυκλωμένων αδρανών ξεχωριστά. Παράλληλα θα ολοκληρωθεί η μελέτη με επιπλέον ελέγχους στο σύνολο των συνθέσεων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς εκφράζουν θερμές ευχαριστίες στον Πρόεδρο της «Ανακύκλωσης Αδρανών Μακεδονίας Α.Ε» κ. Καϊσίδη για τη χορήγηση των ανακυκλωμένων αδρανών καθώς και την εταιρεία «ΚΟΙΝΟΠΡΑΞΙΑ ΕΡΓΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ» και ιδιαίτερα τους Χημικούς Μηχανικούς κ. Μιχαηλίδη Εμμανουήλ, Προϊστάμενο και Μαργογιάννη Κωνσταντίνο, Αναπληρωτή Προϊστάμενο του Εργαστηρίου της εταιρείας για την πολύτιμη βοήθεια τους. Οι συγγραφείς ευχαριστούν επίσης τη Λέκτορα του Εργαστηρίου Δομικών Υλικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών κα Στεφανίδου Μαρία για την πολύτιμή βοήθειά της στη μικροσκοπική παρατήρηση των δειγμάτων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Oikonomou, N. ‘Recycled concrete aggregates’ Cement and Concrete Composites 2005; Vol. 27, pp. 315-318
2. N. Μουσιόπουλος, Ε. Ιακωβίδης, Α. Παπαδόπουλος, Χ. Αχίλλας, Δ. Αηδόνης, Δ. Αναστασέλος, Γ. Μπανιάς, (2007), Μεθοδολογικό πλαίσιο λήψης αποφάσεων για τη σχεδίαση

και λειτουργία μονάδας ανακύκλωσης αδρανών υλικών, Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας & Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Εργαστήριο Ποσοτικής Ανάλυσης, Θεσσαλονίκη.-2

3. Προεδρικό Διάταγμα με Θέμα: 'Μέτρα και Όροι για την Εναλλακτική Διαχείριση των Αποβλήτων από Εκσκαφές, Κατασκευές και Κατεδαφίσεις. Πρόγραμμα για την Εναλλακτική Διαχείρισή τους', (2007), Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.
4. Marta Sanchez de Juan, Pilar AlaeJow Gutierrez, (2008), Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate, CEDEX, Spain.
5. <http://anakyklosi-am.gr> (Ανακύκλωση Αδρανών Μακεδονίας).