

# ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΑΡΙΝΑΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΕΛΑΦΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

**Χ.-Τ. Γκαλμπένης<sup>1</sup>, Κ. Τσακαλάκης<sup>2</sup>, Σ. Τσίμας<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, Τ.Κ. 15773

<sup>2</sup>Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, Τ.Κ. 15780

**KEYWORDS:** Οικοδομικά απορρίμματα, ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος, ανακυκλωμένα αδρανή τοιχοποιίας, φαρίνα τσιμέντου

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία διερευνά την δυνατότητα υποκατάστασης της φαρίνας του τσιμέντου από ανακυκλωμένα υλικά που προέρχονται από κατεδαφίσεις κτιρίων για την παραγωγή κλίνκερ τσιμέντου. Τα οικοδομικά απορρίμματα που ειδικότερα αντιμετωπίζονται είναι τα Ανακυκλωμένα Αδρανή Σκυροδέματος (ΑΑΣ) και τα Ανακυκλωμένα Αδρανή Τοιχοποιίας (ΑΑΤ). Από τον προσδιορισμό της χημικής και ορυκτολογικής σύστασης των ΑΑΣ και ΑΑΤ, διαπιστώθηκε καταρχήν η ομοιότητα τους με τη σύσταση της φαρίνας του τσιμέντου. Επιπρόσθετα, προσδιορίστηκε το ποσοστό υποκατάστασης της φαρίνας του τσιμέντου από τα υπό εξέταση υλικά. Τα ανωτέρω αποτελέσματα αποτελούν μία αρχική ένδειξη σχετικά με τον επιθυμητό στόχο της εργασίας.

## REPLACEMENT OF CEMENT RAW MEAL WITH RECYCLED MATERIALS OBTAINED FROM DEMOLISHED BUILDINGS

**C.-T. Galbenis<sup>1</sup>, K. Tsakalakis<sup>2</sup>, S.Tsimas<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens, Heron Polytechniou 9, Zografou Campus, GR-15773

<sup>2</sup>School of Mining and Metallurgy Engineering, National Technical University of Athens, Heron Polytechniou 9, Zografou Campus, GR-15780

## ABSTRACT

The present paper investigates the possibility of replacing the cement raw meal with recycled materials obtained from demolished buildings in order to produce clinker cement. The Construction and Demolition wastes that are specially used, are Recycled Concrete Aggregates (RCA) and Recycled Masonry Aggregates (RMA). From the determination of the chemical and mineralogical composition of RCA and RMA samples, the similarity of their composition with the composition of the cement raw meal was ascertained. Moreover, the replacing percentage of the cement raw meal with the examined materials was determined. The above results are an indication concerning the desired target of this paper.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα οικοδομικά απορρίμματα αποτελούν μεγάλο μέρος του συνόλου των στερεών απορριμμάτων στις περισσότερες αστικές περιοχές. Σημαντικές ποσότητες οικοδομικών απορριμμάτων προκύπτουν καθημερινά από οικοδομικές εργασίες κάθε είδους, έργα τεχνικών υποδομών, εκσκαφές και φυσικές ή τεχνολογικές καταστροφές [1,2]. Τα απορρίμματα που παράγονται από τις ανωτέρω δραστηριότητες είναι σχεδόν στο σύνολό τους αδρανή υλικά, δηλαδή υλικά τα οποία δεν υφίστανται καμία σημαντική χημική, φυσική ή βιολογική μετατροπή και για αυτόν τον λόγο μπορούν να θεωρηθούν ιδιαίτερα φιλικά προς το περιβάλλον [3]. Ο κύριος όγκος των οικοδομικών απορριμμάτων αποτελείται από σκυρόδεμα, υλικά τοιχοποιίας (τούβλα, κονιάματα), άσφαλτο, γυαλί, ξύλο, πλαστικό, χάλυβα, αλουμίνιο κλπ [4,5]. Τα υλικά αυτά είναι ανακυκλώσιμα και επομένως μπορούν να οδηγηθούν σε μονάδες ανακύκλωσης παρέχοντας νέα εκμεταλλεύσιμα δομικά υλικά.

Η Ελλάδα έχει καθυστερήσει χαρακτηριστικά στην οργάνωση ενός δικτύου συλλογής και αξιοποίησης των οικοδομικών απορριμμάτων [2,6]. Το γεγονός αυτό έχει διευρύνει το χάσμα που υπάρχει με πολλές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι οποίες εδώ και χρόνια προωθούν με συστηματικό και οργανωμένο τρόπο (νομοθεσίες, υποδομές, ευαισθητοποίηση και ενημέρωση των εμπλεκόμενων φορέων) την εναλλακτική διαχείριση των εν λόγω απορριμμάτων [1,2,6]. Είναι ενδεικτικό ότι στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης παράγονται περίπου 450 εκατομμύρια τόνοι οικοδομικών απορριμμάτων ετησίως, ενώ το ποσοστό της ανακύκλωσης των υλικών αυτών φθάνει το 30% [1,6]. Στην Ελλάδα εκτιμάται ότι η αντίστοιχη ετήσια ποσότητα οικοδομικών απορριμμάτων ανέρχεται σε 4 εκατομμύρια τόνους, ενώ το ποσοστό αυτών που ανακυκλώνονται και επαναχρησιμοποιούνται δεν ξεπερνά το 5%. Το σύνολο σχεδόν των οικοδομικών απορριμμάτων στην χώρα μας απορρίπτεται σε ανεξέλεγκτες περιοχές ή διατίθεται για την αποκατάσταση ανενεργών λατομείων χωρίς, όμως, συγκεκριμένες προδιαγραφές [1,3,6].

Μία από τις πιο σημαντικές εξελίξεις στην χώρα μας αναφορικά με τα οικοδομικά απορρίμματα αποτελεί η εφαρμογή του νόμου 2939 που θέτει το θεσμικό πλαίσιο συλλογής και αξιοποίησης των υλικών αυτών [7]. Το υπό έκδοση Προεδρικό Διάταγμα, που έχει τον τίτλο «Μέτρα και όροι για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις. Πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση τους», αποσκοπεί στη μείωση των ποσοτήτων των οικοδομικών απορριμμάτων που διατίθενται ανεξέλεγκτα στο περιβάλλον με την παράλληλη αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης, επαναχρησιμοποίησης και των άλλων μορφών αξιοποίησης των υλικών αυτών. Στο εν λόγω Προεδρικό Διάταγμα τονίζεται ρητά ότι οι υπόχρεοι φορείς διαχείρισης των οικοδομικών απορριμμάτων είναι οι παραγωγοί των αντίστοιχων απορριμμάτων, οι οποίοι έχουν την υποχρέωση να οργανώνουν ατομικά συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης ή να συμμετέχουν σε αντίστοιχα συλλογικά.

Τα προϊόντα ανακύκλωσης των οικοδομικών απορριμμάτων χρησιμοποιούνται ήδη με επιτυχία, σε πολλές χώρες, σε αρκετές εφαρμογές. Οι κυριότερες από αυτές είναι η χρήση τους ως υλικού οδοποιίας, υλικού επιχώσεων σε τεχνικά έργα, υλικού αποκατάστασης ανεξέλεγκτων χωματερών και ΧΥΤΑ, υλικού αποστραγγιστικών ζωνών σε τεχνικά έργα και ως αδρανή για την παρασκευή σκυροδέματος [8]. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται μία εναλλακτική εφαρμογή των οικοδομικών απορριμμάτων. Συγκεκριμένα, επιχειρείται μία πρώτη προσέγγιση αναφορικά με τη δυνατότητα αξιοποίησης των υλικών αυτών ως υποκατάστατων της φαρίνας του τσιμέντου για την παραγωγή κλίνκερ τσιμέντου. Γενικότερος στόχος της εργασίας είναι αφενός η εξοικονόμηση των φυσικών πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στις τσιμεντοβιομηχανίες και αφετέρου η αποτελεσματικότερη διαχείριση των οικοδομικών απορριμμάτων.

## 2. ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥΣ

### 2.1 Πρώτες ύλες

Τα οικοδομικά απορρίμματα που ειδικότερα αντιμετωπίζονται στην παρούσα εργασία είναι τα Ανακυκλωμένα Αδρανή Σκυροδέματος (ΑΑΣ) και τα Ανακυκλωμένα Αδρανή Τοιχοποιίας (ΑΑΤ), τα οποία προέρχονται από εργασίες κατεδάφισης κτιρίων. Τα υπό εξέταση δείγματα συλλέχθηκαν από μονάδα ανακύκλωσης οικοδομικών απορριμμάτων η οποία εδρεύει στο Σχιστό Κορυδαλλού. Αξίζει να αναφερθεί ότι, επί του παρόντος, η εν λόγω μονάδα είναι η μοναδική στον νομό Αττικής, η οποία ασχολείται με τη συλλογή και διάθεση στην αγορά ανακυκλωμένων αδρανών υλικών προερχόμενων από οικοδομικά απορρίμματα. Διευκρινίζεται, επίσης, ότι η ακριβής ηλικία και προέλευση των εξεταζόμενων δειγμάτων είναι άγνωστη.

Το δείγμα των ΑΑΣ συλλέχθηκε στο κλάσμα 0-8mm ενώ το δείγμα των ΑΑΤ συλλέχθηκε στο κλάσμα >32mm. Για την επίτευξη των επόμενων βημάτων αυτής της εργασίας (προσδιορισμός σύστασης δειγμάτων, συνθέσεις φαρίνας τσιμέντου) κρίθηκε αναγκαίο το μεγαλύτερο μέρος αυτών των δειγμάτων να λειοτριβηθεί. Η διαδικασία της λειοτριβήσης πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακό σφαιρόμυλο τύπου Bond. Με χρήση κοσκίνων προσδιορίστηκε η λεπτότητα των ΑΑΣ και ΑΑΤ, τα οποία εμφάνισαν υπόλειμμα στα 90μm περίπου 12%, γεγονός που εξυπηρετούσε τους σκοπούς της εργασίας. Επιπρόσθετα, συλλέχθηκε ικανή ποσότητα Βιομηχανικής Φαρίνας (ΒΦ), η οποία παρουσίασε υπόλειμμα στα 90μm περίπου 12%.

### 2.2 Μέθοδοι προσδιορισμού της σύστασης των πρώτων υλών

Ο προσδιορισμός της σύστασης των ΑΑΣ και ΑΑΤ αποτελεί κρίσιμο παράγοντα προκειμένου να αξιολογηθεί η καταλληλότητα των ανωτέρω υλικών ως υποκατάστατων της ΒΦ. Η ομοιότητα της σύστασης της φαρίνας τσιμέντου βιομηχανικής προέλευσης με την σύσταση των ανακυκλωμένων αδρανών μπορεί να αποτελέσει μία αρχική ένδειξη αναφορικά με τον επιθυμητό στόχο. Ο προσδιορισμός της σύστασης τόσο των ΑΑΣ και ΑΑΤ όσο και της ΒΦ πραγματοποιήθηκε με χημική και ορυκτολογική ανάλυση.

Η χημική ανάλυση των ΑΑΣ, ΑΑΤ και της ΒΦ πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου φθορισμού ακτίνων X (X-Ray Fluorescence). Για τον εντοπισμό των κύριων ορυκτολογικών φάσεων σε κρυσταλλική μορφή των ανωτέρω υλικών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της περίθλασης με ακτίνες X (X-Ray Diffraction).

## 3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 3.1 Χημική ανάλυση

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων ΑΑΣ και ΑΑΤ καθώς και της φαρίνας τσιμέντου βιομηχανικής προέλευσης παρατίθενται στον Πίνακα 1 που ακολουθεί:

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 Χημική σύσταση ΑΑΣ, ΑΑΤ και ΒΦ (% κ.β.)

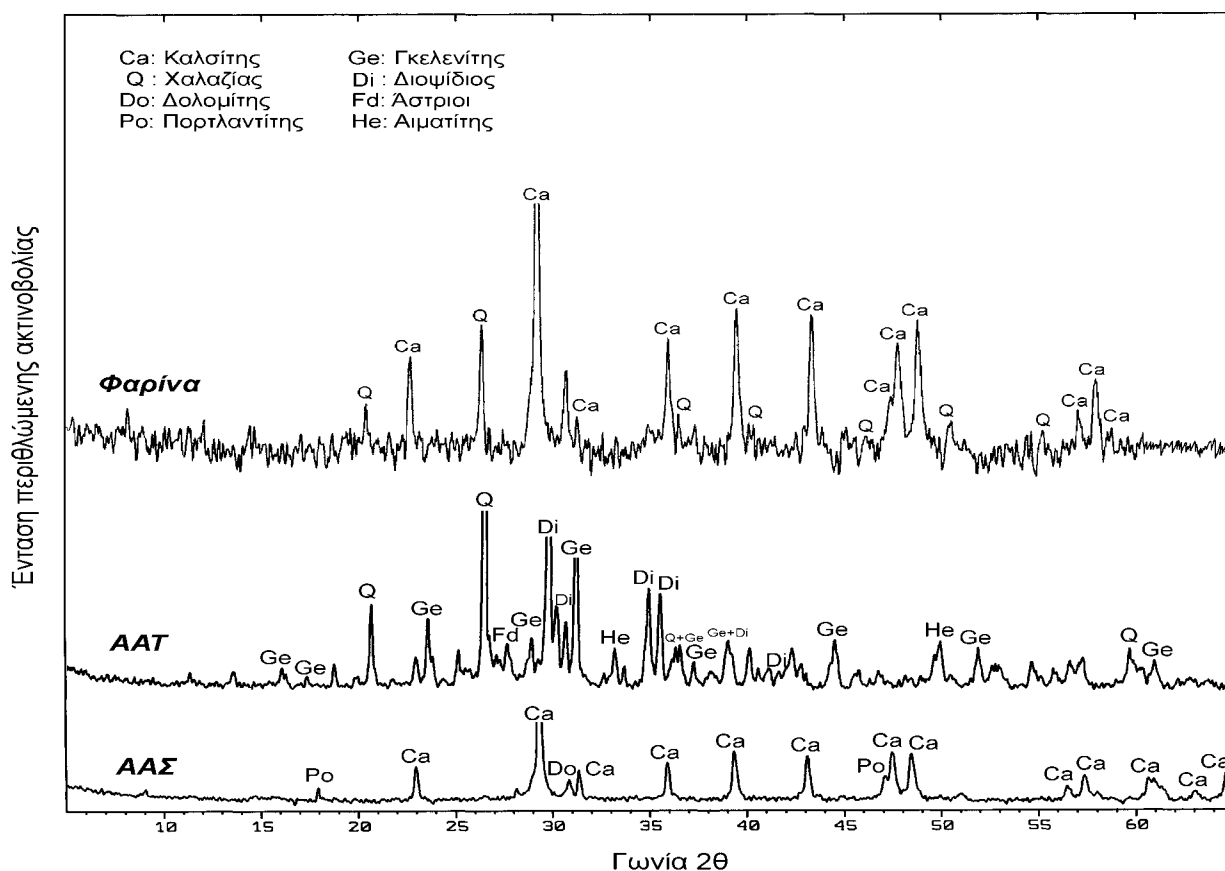
Συστατικό	ΑΑΣ	ΑΑΤ	ΒΦ
SiO <sub>2</sub>	4,78	44,59	13,55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,32	9,70	3,31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,67	4,58	2,55
CaO	46,19	26,77	41,95
MgO	1,29	2,31	1,98
K <sub>2</sub> O	0,11	0	0,41
Απώλεια Πύρωσης	40,36	9,14	35,12

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 1, το δείγμα ΑΑΣ εμφανίζει υψηλή περιεκτικότητα σε CaO, γεγονός που επιβεβαιώνει την ασβεστολιθική του προέλευση. Το δείγμα ΑΑΤ παρουσιάζει υψηλό ποσοστό σε SiO<sub>2</sub> και Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, εξαιτίας της παρουσίας των τούβλων σε αυτό, καθώς και υψηλό ποσοστό σε CaO λόγω της παρουσίας του κονιάματος [9,10]. Η σύσταση της ΒΦ επιβεβαιώνει την ασβεστολιθική, κατά κύριο λόγο, και πυριτική της προέλευση.

### 3.2 Ορυκτολογική Ανάλυση

Οι ορυκτολογικές φάσεις των δειγμάτων ΑΑΣ, ΑΑΤ και της ΒΦ που ανιχνεύτηκαν, παρουσιάζονται στα ακτινογραφήματα του Σχήματος 1.

Σχήμα 1  
Ακτινογραφήματα δειγμάτων ΑΑΣ, ΑΑΤ και ΒΦ



Η ορυκτολογική ανάλυση του δείγματος ΑΑΣ, φανέρωσε την κυρίαρχη παρουσία του καλσίτη (CaCO<sub>3</sub>), επιβεβαιώνοντας την ασβεστολιθική του προέλευση. Η παρουσία του πορτλαντίτη στο ίδιο δείγμα καταδεικνύει την παρουσία της τσιμεντόπαστας, καθώς ο πορτλαντίτης αποτελεί μία από τις κυριότερες ορυκτολογικές φάσεις κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου Πόρτλαντ [9,10]. Στο δείγμα ΑΑΤ δεσπόζει η παρουσία του χαλαζία (SiO<sub>2</sub>), γεγονός που επαληθεύει την πυριτική σύσταση του εν λόγω δείγματος. Η παρουσία του γκελενίτη και του διοψίδιου φανερώνει την ασβεστολιθική προέλευση της πάστας του κονιάματος που χρησιμοποιήθηκε στο δείγμα ΑΑΤ [9,10]. Τέλος, η ασβεστολιθική και πυριτική σύσταση της φαρίνας επιβεβαιώνεται από την ισχυρή παρουσία του καλσίτη και του χαλαζία αντίστοιχα.

### 3.3 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Από τα αποτελέσματα της χημικής και ορυκτολογικής ανάλυσης των εξεταζόμενων πρώτων υλών, φαίνεται ότι η σύσταση των ανακυκλωμένων αδρανών (ΑΑΣ, ΑΑΤ) παρουσιάζει χαρακτηριστικές ομοιότητες με την σύσταση της φαρίνας του τσιμέντου βιομηχανικής προέλευσης. Πράγματι, το

υψηλό ποσοστό οξειδίων όπως το CaO και το SiO<sub>2</sub> και η ισχυρή παρουσία ορυκτολογικών φάσεων όπως ο καλσίτης και ο χαλαζίας τόσο στη φαρίνα τσιμέντου βιομηχανικής προέλευσης όσο και στα ανακυκλωμένα αδρανή, πιστοποιούν αυτήν την ομοιότητα. Επιπλέον, η ασβεστολιθική και πυριτική προέλευση των δειγμάτων ΑΑΣ και ΑΑΤ αντίστοιχα, αποτελεί σημαντικό κριτήριο προκειμένου τα υλικά αυτά να μπορούν να υποκαταστήσουν την φαρίνα αναφοράς (ΒΦ).

#### 4. ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΦΑΡΙΝΑΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Για τον προσδιορισμό των αναλογιών ανάμιξης της φαρίνας τσιμέντου βιομηχανικής προέλευσης με τα ΑΑΣ και ΑΑΤ, είναι απαραίτητο οι προκύπτουσες συνθέσεις της φαρίνας να κινούνται μέσα σε συγκεκριμένες τιμές που οριοθετούν τους κύριους δείκτες (Πυριτικός δείκτης Sm, Αργιλικός Δείκτης Am, Βαθμός κορεσμού σε άσβεστο LSF, και Υδραυλικός δείκτης Hm) που έχουν ιδιαίτερη σημασία για την παραγωγή του τσιμέντου [11]. Από τους ανωτέρω δείκτες, ο δείκτης LSF είναι ιδιαίτερα κρίσιμος καθώς καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την ποιότητα του κλίνκερ που προκύπτει από την διαδικασία της έγνησης της φαρίνας. Για τον λόγο αυτό, κρίθηκε σκόπιμο στις συνθέσεις της φαρίνας που περιέχουν τα υπό εξέταση υλικά, ο δείκτης LSF να διατηρείται στα επίπεδα της φαρίνας αναφοράς. Αυτό επιτεύχθηκε διατηρώντας στις φαρίνες που περιέχουν τα ανακυκλωμένα αδρανή, τον λόγο ΑΑΣ/ΑΑΤ στην περιοχή 3-3,5. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται ο υπολογιστικός προσδιορισμός των δεικτών των συνθέσεων της φαρίνας του τσιμέντου που περιέχουν τα υπό εξέταση υλικά. Επίσης, παρατίθενται τα συνήθη και επιθυμητά όρια των ανωτέρω δεικτών [11].

Όπως προκύπτει από την αξιολόγηση του Πίνακα 2, η υποκατάσταση της φαρίνας τσιμέντου βιομηχανικής προέλευσης από τα ανακυκλωμένα αδρανή μπορεί να γίνει ακόμη και σε ποσοστό 100% καθώς οι τιμές των δεικτών βρίσκονται εντός των ορίων τους. Παρατηρούμε, όμως, ότι όσο μεγαλώνει η υποκατάσταση της φαρίνας αναφοράς από τα ανακυκλωμένα αδρανή τόσο οι τιμές των δεικτών Sm και Am απομακρύνονται από τα επιθυμητά τους όρια. Οι τιμές των δεικτών Hm και LSF δεν επηρεάζονται σημαντικά από το ποσοστό της υποκατάστασης της φαρίνας αναφοράς.

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 2 αποτελούν μία αρχική ένδειξη ότι τα ανακυκλωμένα αδρανή θα μπορούσαν να υποκαταστήσουν τις φυσικές πρώτες ύλες του τσιμέντου. Περαιτέρω έρευνες οι οποίες σχετίζονται α) με την μελέτη εψησιμότητας των συνθέσεων της φαρίνας του τσιμέντου για την παραγωγή κλίνκερ, β) με τα πιθανά ενεργειακά οφέλη που προκύπτουν από αυτή την υποκατάσταση και γ) με τον έλεγχο των μηχανικών χαρακτηριστικών των τσιμέντων που θα προκύψουν, θα πρέπει να γίνουν προκειμένου να αξιολογηθεί η καταλληλότητα των υλικών αυτών για την συγκεκριμένη χρήση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 Υπολογιστικός προσδιορισμός δεικτών Sm, Am, LSF και Hm των συνθέσεων της φαρίνας του τσιμέντου

Δείκτες	Διακύμανση Συνήθη Όρια (Επιθυμητά όρια)	Συνθέσεις Φαρίνας				
		Βιομηχανική Φαρίνα (ΒΦ)	75% ΒΦ 19% ΑΑΣ 7% ΑΑΤ	50% ΒΦ 38% ΑΑΣ 12% ΑΑΤ	25% ΒΦ 58% ΑΑΣ 17% ΑΑΤ	0% ΒΦ 77% ΑΑΣ 23% ΑΑΤ
Sm	1,9-3,2 (2,3-2,7)	2,31	2,44	2,58	2,72	2,89
Am	1,3-2,5 (1,3-1,7)	1,3	1,43	1,60	1,79	2,07
Hm	1,7-2,3 (~2)	2,16	2,16	2,16	2,23	2,23
LSF	0,66-1,02 (0,92-0,96)	0,96	0,95	0,94	0,96	0,95

Οι τιμές των δεικτών της ΒΦ που χρησιμοποιήθηκε ως φαρίνα αναφοράς στους ανωτέρω υπολογισμούς, δεν θα πρέπει να θεωρούνται μονοσήμαντες. Σε βιομηχανική κλίμακα, παρατηρείται διακύμανση των τιμών των δεικτών ανάλογα με τις απαιτήσεις της παραγωγικής διαδικασίας. Σε κάθε περίπτωση όμως, η διακύμανση αυτή δεν διαφοροποιεί σημαντικά τις τιμές των δεικτών της φαρίνας που χρησιμοποιήθηκε στους ανωτέρω υπολογισμούς.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αξιοποίηση των οικοδομικών απορριμμάτων εμφανίζεται στις μέρες μας ιδιαίτερα ελκυστική εξαιτίας των περιβαλλοντικών οφελών που προκύπτουν από την χρήση των εν λόγω απορριμμάτων. Ειδικότερα στην Ελλάδα όπου η σύσταση οργανωμένων συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης οικοδομικών απορριμμάτων βρίσκεται προ των πυλών, διαφαίνεται η τάση δυναμικής διεξόδου των προϊόντων ανακύκλωσης στις υφιστάμενες αγορές αδρανών υλικών.

Η δυνατότητα χρησιμοποίησης των ΑΑΣ και ΑΑΤ που προέρχονται από εργασίες κατεδάφισης κτιρίων, ως πρώτων υλών στην τσιμεντοβιομηχανία, αποτέλεσε σημείο προβληματισμού της παρούσας εργασίας. Δεδομένου ότι οι βιομηχανίες τσιμέντου αντιμετωπίζουν ή πρόκειται να αντιμετωπίσουν στο μέλλον προβλήματα που αφορούν στην εξεύρεση πρώτων υλών και στην εξοικονόμηση ενέργειας, τα υλικά αυτά θα μπορούσαν να αποτελέσουν μία πιθανή λύση στο πρόβλημα.

Τα αποτελέσματα της μέχρι τώρα έρευνας έδειξαν ότι τα εξεταζόμενα υλικά παρουσίασαν χαρακτηριστικές ομοιότητες στη σύστασή τους σε σχέση με την σύσταση της φαρίνας του τσιμέντου. Η ασβεστολιθική και πυριτική προέλευση των ΑΑΣ και ΑΑΤ είναι συμβατή με την προέλευση της ΒΦ. Επιπλέον, από τις συνθέσεις της φαρίνας που πραγματοποιήθηκαν προέκυψε το συμπέρασμα ότι τα εξεταζόμενα υλικά θα μπορούσαν να υποκαταστήσουν τις φυσικές πρώτες ύλες ακόμη και σε ποσοστό 100%. Τα ανωτέρω αποτελέσματα αποτελούν μία αρχική ένδειξη αναφορικά με τον επιθυμητό στόχο της εργασίας. Περαιτέρω έρευνες οι οποίες σχετίζονται α) με την μελέτη ενησιμότητας των διαφόρων συνθέσεων της φαρίνας που περιέχουν τα υπό εξέταση υλικά και β) με τα ενεργειακά οφέλη αυτής της υποκατάστασης και γ) με τον έλεγχο των μηχανικών χαρακτηριστικών των τσιμέντων που θα προκύψουν, είναι απαραίτητες να γίνουν για την καλύτερη αξιολόγηση της καταλληλότητας των ανακυκλωμένων αδρανών για τη συγκεκριμένη χρήση.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η καταλληλότητα των ανακυκλωμένων αδρανών ως πρώτων υλών στη βιομηχανία τσιμέντου δεν θα πρέπει να αντιμετωπιστεί μόνο από τεχνολογικής απόψεως. Ζητήματα όπως η συνεχής διαθεσιμότητα των υλικών αυτών σε συνδυασμό με την οικονομικότητα της χρήσης τους, είναι εξίσου σημαντικά για μία ολοκληρωμένη εικόνα του θέματος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Περιοδικό «Ανακύκλωση» (Οκτώβριος-Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2002) Τεύχος 44, «**Απόβλητα από κατασκευές, κατεδαφίσεις και εσκαφές**».
2. Fatta D., A. Papadopoulos, E. Avramikos, E. Sgourou, K. Moustakas, F. Kourmoussis, A. Mentzis and M. Loizidou (2003) “**Generation and management of Construction and Demolition waste in Greece - An existing challenge**”, Resources, Conservation and Recycling, Volume 40, pp81-91.
3. LIFE 00 ENV/GR/000739, «**Μονάδα Ανακύκλωσης Αδρανών Υλικών**», Πρόγραμμα LIFE – Περιβάλλον της Ε.Ε.
4. Oikonomou N. (2004) “**Recycled concrete aggregates**”, Cement and Concrete Composites, Article in Press, Corrected Proof.

5. Symonds Group Ltd (1999) **“Construction and Demolition management practices and their economic impacts”**, Brussels.
6. Καλδέλλης Ι.Κ. και Π. Κωνσταντινίδης (2003) **«Σύγχρονες εξελίξεις στον τομέα ανακύκλωσης οικοδομικών υλικών στην Ευρωπαϊκή Ένωση»**, Πρακτικά συνεδρίου HELECO '03, σελ. 255-263, Αθήνα
7. Σχέδιο Προεδρικού Διατάγματος με θέμα **«Μέτρα και όροι για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις. Πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση τους»** (2003) Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.
8. Cuperus J.G. and J. Boone (2003) **“International experiences in the use of recycled aggregates”**, Recycling and Reuse of Waste Materials, Proceedings of International Symposium, Dundee, pp383-387.
9. Galbenis C.-T. and S.Tsimas (2004) **“Applicability study of recycled aggregates as raw materials in cement clinker manufacturing”**, AMIREG 2004, Proceedings of International Conference, Chania, Greece.
10. Galbenis C.-T. and S. Tsimas (2004) **“Characterization of recycled aggregates obtained from demolished buildings in Greece”**, Sustainable Waste Management and Recycling: Challenges and Opportunities, Proceedings of International Conference, London.
11. Τσίμας Σ. και Σ. Τσιβιλής (2004) **«Επιστήμη και τεχνολογία τσιμέντου»**, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.