

Οικονομικό σκυρόδεμα δαπέδων και οδοστρωμάτων

Ε. Αναστασίου, Ι. Παπαγιάννη

Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Λέξεις κλειδιά: αξιοποίηση βιομηχανικών παραπροϊόντων, κυβερνητική πολιτική, κανονιστικό πλαίσιο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η αξιοποίηση των βιομηχανικών παραπροϊόντων είναι ένα ζήτημα που αντιμετωπίζεται με αυξημένο ενδιαφέρον από την επιστημονική κοινότητα τις τελευταίες δεκαετίες. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται οι παράμετροι που αφορούν την απορρόφηση των παραπροϊόντων στον κατασκευαστικό τομέα και ειδικότερα το περιβαλλοντικό πρόβλημα ως αφετηρία της έρευνας και οι τεχνικοί, οικονομικοί και κοινωνικοί παράγοντες που επηρεάζουν τον τρόπο και το βαθμό αξιοποίησης, ενώ ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στο ρόλο της τυποποίησης και της θεσμοθέτησης κανονισμών. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο εξετάζεται ο μηχανισμός της αγοράς και προτείνονται παράμετροι ελέγχου για τη μεγιστοποίηση της χρήσης βιομηχανικών παραπροϊόντων στον κατασκευαστικό τομέα.

Low-cost concrete for pavements

E. Anastasiou , I. Papayianni

Laboratory of Building Materials, Aristotle University of Thessaloniki

Keywords: by-product utilization, governmental policies, regulatory framework

ABSTRACT:. Industrial by-product utilization is an issue that attracts increased scientific interest over the past decades. In this paper, the factors affecting the by-product utilization rate in the construction sector are discussed and, especially, the environmental, economical, technical and social issues that pertain by-product applications, while the role of standardization and legislation is also examined. Within this framework, some key factors are proposed regarding the maximization of by-product utilization by the construction market.

1 ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Στον κατασκευαστικό τομέα παρατηρείται μεγάλη κατανάλωση ενέργειας και κατ' επέκταση σημαντικές εκπομπές αερίων, όπως επίσης και σημαντική κατανάλωση φυσικών πόρων κατά την παρασκευή τσιμέντου Portland και σκυροδέματος. Η βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου ευθύνεται περίπου για το 7% των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η παρασκευή 1 τόνου κλίνκερ τσιμέντου συνεπάγεται την απόρριψη περίπου 1 τόνου CO₂ στην ατμόσφαιρα και την κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων φυσικών πετρωμάτων (περίπου 1,5 τόνος ασβεστόλιθου απαιτείται για την παραγωγή 1 τόνου τσιμέντου), καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας (Glavind κ.α, 2005). Κατά την παραγωγή σκυροδέματος καταναλώνονται, επίσης, μεγάλες ποσότητες φυσικών πρώτων υλών (πετρώματα, νερό).

Η Ελλάδα συμμετέχει στο πρωτόκολλο του Κιότο και στοχεύει στη μείωση των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα, ενώ ήδη είναι σε εφαρμογή το μέτρο των δικαιωμάτων εκπομπών και σε κάθε υπέρβαση θα καταβάλλεται πρόστιμο προς την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η παραγωγή τσιμέντου ως τελικό προϊόν στην Ελλάδα υπολογίζεται σε 15,4 εκατομμύρια τόνους το 2005, από τα οποία τα 12,5 εκατομμύρια τόνοι είναι κλίνκερ Πόρτλαντ (British Geological Survey, 2008). Η χρήση μεγαλύτερων ποσοτήτων βιομηχανικών παραπροϊόντων από την τσιμεντοβιομηχανία, όπως η ιπτάμενη τέφρα, μπορεί να διατηρήσει τα επίπεδα παραγωγής τσιμέντου με ταυτόχρονη μείωση του ενεργοβόρου κλίνκερ Πόρτλαντ.

Τρεις από τους κύριους άξονες της περιβαλλοντικής πολιτικής για την επίτευξη των στόχων του πρωτοκόλλου του Κιότο είναι η μείωση των εκπομπών αερίων στην ατμόσφαιρα, η διατήρηση των φυσικών πόρων και η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των παραγόμενων αποβλήτων.

1.1 Μείωση των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα

Το τσιμέντο Portland και το σκυρόδεμα αναμένεται να συνεχίσουν να είναι τα κυρίαρχα δομικά υλικά στο μέλλον και η αυξανόμενη ζήτησή τους σε δύο μεγάλες χώρες (Κίνα και Ινδία) που αναπτύσσονται ταχύτατα θα αυξήσει σημαντικά την παγκόσμια κατανάλωσή τσιμέντου (Bilodeau & Malhotra, 2000). Η αυξημένη παραγωγή αποτελεί πρόβλημα τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και σε τοπικό για πολλές χώρες με περιορισμένη διαθεσιμότητα πρώτων υλών. Στην προσπάθεια για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως πρέπει να μειωθεί και η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την παραγωγή τσιμέντου και σκυροδέματος.

Έτσι, αναμένεται από την κατασκευαστική βιομηχανία να δίνεται όλο και μεγαλύτερη έμφαση στην προσπάθεια εισαγωγής εναλλακτικών υλικών στην παραγωγική διαδικασία, όπως επίσης και στην ανακύκλωση υλικών. Τα εναλλακτικά αυτά υλικά μπορεί να είναι απόβλητα ή και παραπροϊόντα άλλων παραγωγικών διαδικασιών και απαιτούν σημαντικά λιγότερη κατανάλωση ενέργειας (και κατά συνέπεια εκπέμπουν σημαντικά μικρότερες ποσότητες CO₂ στην ατμόσφαιρα). Η χρησιμοποίηση μεγάλου όγκου βιομηχανικών παραπροϊόντων στο σκυρόδεμα μπορεί να μειώσει μέχρι και 50% την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα που σχετίζεται με την παραγωγή τσιμέντου και σκυροδέματος (Jahren, 2004), όπως και η συνδυασμένη χρήση διαφορετικών εναλλακτικών υλικών.

1.2 Διατήρηση των φυσικών πόρων

Μεγάλο περιβαλλοντικό ζήτημα αποτελεί η κατανάλωση φυσικών πόρων και ειδικότερα η εξόρυξη αδρανών και πρώτων υλών για την παρασκευή σκυροδέματος. Η ετήσια παραγωγή ασβεστολιθικών αδρανών στον ελληνικό χώρο υπολογίστηκε σε 100 εκατομμύρια τόνους το 2006 και 90 εκατομμύρια τόνους το 2007 (ΣΜΕ, 2008), ενώ η αδειοδότηση και οι όροι λειτουργίας των λατομείων καθορίζονται μέσα από ιδιαίτερα αυστηρά πλαίσια με σκοπό τη μείωση της υποβάθμισης του φυσικού τοπίου.

Επίσης, η εξόρυξη λιγνίτη στην Ελλάδα το 2006 υπολογίζεται σε 71,5 εκατομμύρια τόνους (British Geological Survey, 2008). Τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν πολύ μεγάλες ποσότητες φυσικών πόρων και η κατανάλωσή τους πρέπει να γίνεται με τη δέουσα προσοχή και με τον έλεγχο των πιθανών λύσεων με τη χρήση εναλλακτικών υλικών.

Τα βιομηχανικά απόβλητα λόγω της φύσης της βιομηχανικής παραγωγής πολλές φορές έχουν τέτοια σύσταση ώστε να αποτελούν χρήσιμα υλικά για την κατασκευαστική βιομηχανία και θα μπορούσαν να αποτελέσουν εναλλακτικά αδρανή σκυροδέματος. Επίσης, έχουν τα πλεονεκτήματα να είναι συγκεντρωμένα σε λίγα σημεία παραγωγής, κάτι που καθιστά ευκολότερη τη συλλογή τους, να έχουν σχετικά σταθερή σύσταση και να υπάρχει σταθερή ροή παραγωγής.

1.3 Περιορισμός της απόρριψης υλικών στο περιβάλλον

Για την επίτευξη των στόχων της αειφόρου ανάπτυξης είναι απαραίτητο να αντιμετωπιστεί το θέμα της ανεξέλεγκτης εναπόθεσης αποβλήτων που προέρχονται τόσο από τα νοικοκυριά όσο και από τη βιομηχανική δραστηριότητα. Το νομικό πλαίσιο της διαχείρισης των αποβλήτων (1999/31/EC Landfill Directive (European Council, 2002)) καθιστά, πλέον, δυσχερή και αναποτελεσματική εναπόθεσή τους στο έδαφος και απαιτείται η λήψη μέτρων για κάθε δυνατή αξιοποίησή τους. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η κατασκευαστική βιομηχανία οφείλει να εξετάσει όλες τις εναλλακτικές για μείωση τόσο της κατανάλωσης ενέργειας όσο και των φυσικών πρώτων υλών.

Ο διαχωρισμός μεταξύ απόβλητων και παραπροϊόντων είναι ιδιαίτερα λεπτός μια και ο χαρακτηρισμός ενός υλικού ως απόβλητο εξαρτάται από τυχόν χρησιμότητά του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πυριτική παιπάλη, που ως βιομηχανικό παραπροϊόν της μεταλλουργίας, χαρακτηριζόταν απόβλητο μέχρι πριν από μερικές δεκαετίες. Η ανακάλυψη ότι η χρήση του ως συμπληρωματική κονία δίνει κάποιες ιδιαίτερα επιθυμητές ιδιότητες στο σκυρόδεμα, σε συνδυασμό με τη σχετικά χαμηλή διαθεσιμότητά του, εκτόξευσε την τιμή του έως και στο διπλάσιο της τιμής του τσιμέντου (Malhotra & Carette, 1982). Θα ήταν άτοπο, επομένως, να διατηρεί το χαρακτηρισμό ως απόβλητο από τη στιγμή που κατέκτησε εξέχουσα θέση στην κατασκευαστική αγορά.

Έτσι, βλέπουμε ότι όταν ένα απόβλητο βρίσκει χρήση σε κάποια εφαρμογή μέσω της σχετικής έρευνας, τότε παύει να είναι απόβλητο και χαρακτηρίζεται είτε ως παραπροϊόν, είτε ως εναλλακτικό υλικό. Θα μπορούσαμε, λοιπόν, να δούμε το σύνολο των αποβλήτων οποιασδήποτε παραγωγικής διαδικασίας ως πιθανά παραπροϊόντα, κάποια από τα οποία δεν έχουν ακόμα βρει κατάλληλη εφαρμογή ή επεξεργασία ώστε να αποτελέσουν χρήσιμα υλικά.

Η έλλειψη περιορισμών στην απόρριψή υλικών οδήγησε στην ανεξέλεγκτη εναπόθεση του μεγαλύτερου μέρους αυτών των αποβλήτων στο φυσικό περιβάλλον, με συνέπεια την υποβάθμισή του σε μεγάλο βαθμό. Υπάρχει, επομένως, ισχυρό περιβαλλοντικό και κοινωνικό κίνητρο για την απορρόφηση βιομηχανικών αποβλήτων από την κατασκευαστική βιομηχανία, η οποία αποτελεί, ουσιαστικά, τον ιδανικό τόπο ασφαλούς και επωφελούς διάθεσης εκατομμυρίων τόνων παραπροϊόντων (Mehta, 1999).

2 ΤΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Η προσφορά και η ζήτηση βιομηχανικών παραπροϊόντων υπόκειται στους νόμους της αγοράς, όπως κάθε άλλο προϊόν, και για την επιτυχημένη εισαγωγή τους σε αυτήν είναι απαραίτητη η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της, ως προς τη χρήση υλικών στον κατασκευαστικό τομέα. Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να εξηγήσουμε τους μηχανισμούς της αγοράς που επηρεάζουν την απορρόφηση των βιομηχανικών παραπροϊόντων και των εναλλακτικών υλικών εν γένει.

2.1 Πρακτικά προβλήματα στην αγορά

Ο παραγωγός, πριν προχωρήσει στη διάθεση των βιομηχανικών παραπροϊόντων πρέπει να αντιμετωπίσει κάποια προβλήματα. Πρώτα από όλα, πρέπει η έρευνα να υποδείξει κατάλληλες χρήσεις για τα υλικά, ώστε να δημιουργηθεί σχετική ζήτηση. Στη συνέχεια πρέπει να αντιμετωπιστεί το κόστος μεταφοράς, επεξεργασίας και ενδεχόμενης αλλαγής της παραγωγικής διαδικασίας για τη διάθεση παραπροϊόντων με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Όσο η αξία και η ζήτηση του παραπροϊόντος αυξάνεται τόσο πιέζεται και το παραπάνω κόστος προς τα κάτω. Τελικά, μπορούν να δημιουργηθούν νέες αγορές, αλλά υπάρχει μια ανώμαλη μεταβατική περίοδος μέχρι την εξομάλυνση της αγοράς γιατί:

- το αρχικό κόστος επεξεργασίας πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μικρό
- τα παραπροϊόντα πρέπει να εμφανίζουν σταθερή ποιότητα και ομοιογένεια
- οι πρώτες χρήσεις των παραπροϊόντων μπορεί να είναι πολύ χαμηλής αξίας
- η απότομα πολύ μεγάλη προσφορά μπορεί να κατακρημνίσει τις τιμές

Είναι προφανές ότι στα προϊόντα με το μεγαλύτερο κόστος ή τη μεγαλύτερη σπανιότητα είναι πιο δεκτική η εφαρμογή των νόμων προσφοράς-ζήτησης και της δημιουργίας νέων αγορών για βιομηχανικά παραπροϊόντα (Anderson, 2006). Στον κατασκευαστικό τομέα τέτοια θέση έχουν τα προϊόντα τσιμέντου και σκυροδέματος, όπου έχει παρατηρηθεί και η μεγαλύτερη διείσδυση εναλλακτικών υλικών.

Σε κάθε περίπτωση, η περαιτέρω επεξεργασία ενός παραπροϊόντος σημαίνει επιπλέον κατανάλωση ενέργειας και έκλυση CO₂, οπότε πρέπει να προηγείται η χρήση αντικειμενικών εργαλείων, όπως η ανάλυση κύκλου ζωής (life cycle assessment) και η ανάλυση κόστους-οφέλους (cost-benefit analysis), για τη σωστή εκτίμηση του συνολικού κόστους και τη λήψη αποφάσεων.

3 ΤΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

3.1 Ιδιωτική πρωτοβουλία

Στις περισσότερες χώρες όπου παρατηρείται μεγάλο ποσοστό αξιοποίησης βιομηχανικών παραπροϊόντων η διαδικασία εισαγωγής τους στην αγορά βοηθήθηκε στο μέγιστο βαθμό από συντονισμένες προσπάθειες του ιδιωτικού τομέα. Οι προσπάθειες αυτές ξεκινούν με την ίδρυση οργανισμών για την προώθηση των υλικών από τις ενώσεις των σχετικών βιομηχανιών σε κάθε χώρα, ενώ πολλές φορές συμμετέχουν και άλλοι φορείς όπως ερευνητικά κέντρα (πανεπιστημιακά ή μη) και εταιρείες διαχείρισης βιομηχανικών παραπροϊόντων. Μία λίστα των σημαντικότερων οργανισμών στους τομείς της ιπτάμενης τέφρας και της σκωρίας χαλυβουργίας φαίνεται στον Πίνακα 1.

3.2 Ο ρόλος των πιλοτικών εφαρμογών

Σημαντικό ρόλο για την αποδοχή νέων προϊόντων από την κατασκευαστική βιομηχανία είναι η επίδειξη της εφικτότητας των ερευνητικών αποτελεσμάτων σε έργα, τα οποία συνήθως ονομάζονται πιλοτικές εφαρμογές. Οι πιλοτικές εφαρμογές μπορεί να προέρχονται από ιδιωτική πρωτοβουλία ή με τη συμβολή του κράτους και είναι τέτοιες που αναδεικνύουν τα πλεονεκτήματα από τη χρήση εναλλακτικών υλικών με τον καλύτερο τρόπο.

Στη συνέχεια, βέβαια, κρίσιμη σημασία έχει η ανάδειξη των εφαρμογών, ρόλο που αναλαμβάνουν συνήθως κρατικά προγράμματα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων προγραμμάτων είναι το Green Building και το Green Points, που υιοθετήθηκαν αρχικά από τις ΗΠΑ και στη συνέχεια από πολλές άλλες χώρες –συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας

μέσω του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας– και σκοπό έχουν να αναδείξουν κτίρια και κατασκευαστικά έργα στο πνεύμα της αειφόρου ανάπτυξης.

Πίνακας.1 Οργανισμοί για την προώθηση των βιομηχανικών παραπροϊόντων

Ονομασία	Περιοχή δράσης	Κύριο προϊόν	Έτος ίδρυσης	Κύρια μέλη
NSA (National Slag Association)	ΗΠΑ	Σκωρία	1918	Χαλυβουργίες, εταιρείες πώλησης, ερευνητικά κέντρα
FVEhS (Trade Association for Iron and Steel Slags)	Γερμανία	Σκωρία	1935	Χαλυβουργίες
ACAA (American Coal Ash Association)	ΗΠΑ	Ιπτάμενη τέφρα	1968	Παραγωγοί ενέργειας
Nippon Slag Association	Ιαπωνία	Σκωρία	1978	Χαλυβουργίες
EPRI (Electric Power Research Institute)	ΗΠΑ	Ιπτάμενη τέφρα	1979	Παραγωγοί ενέργειας
SCA (Slag Cement Association)	ΗΠΑ	Σκωρία	1986	Τσιμεντοβιομηχανίες
ECOBAs (European Coal Combustion Products Association)	Ευρώπη	Ιπτάμενη τέφρα	1990	Παραγωγοί ενέργειας
ASA (Australasian Slag Association)	Αυστραλία, Ωκεανία	Σκωρία	1990	Χαλυβουργίες, τσιμεντοβιομηχανίες
ADAA (Ash Development Association of Australia)	Αυστραλία	Ιπτάμενη τέφρα	1991	Παραγωγοί ενέργειας, τσιμεντοβιομηχανίες
UKQAA (United Kingdom Quality Ash Association)	Μεγάλη Βρετανία	Ιπτάμενη τέφρα	1997	Παραγωγοί ενέργειας, τσιμεντοβιομηχανίες
Euroslag	Ευρωπαϊκή Ένωση	Σκωρία	2000	Χαλυβουργίες και εταιρείες διαχείρισης παραπροϊόντων
ΕΒΙΠΑΡ (Εταιρεία Έρευνας Ανάπτυξης Εφαρμογών Βιομηχανικών Παραπροϊόντων)	Ελλάδα	Ιπτάμενη τέφρα, σκωρία	2002	Χαλυβουργίες, τσιμεντοβιομηχανίες, ερευνητικά κέντρα

4 ΤΟ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ

Το κανονιστικό πλαίσιο που καθορίζει τον τρόπο λειτουργίας της κατασκευαστικής βιομηχανίας διακρίνεται σε τέσσερα επίπεδα: τους νόμους του κράτους, τις κοινοτικές οδηγίες, τις τεχνικές προδιαγραφές και τις τεχνικές οδηγίες. Η κρατική νομοθεσία έχει τη μεγαλύτερη νομική ισχύ, ενώ οι κοινοτικές οδηγίες έχουν συνήθως συμβουλευτικό χαρακτήρα. Οι τεχνικές προδιαγραφές αντιπροσωπεύουν την πρότυπη χρήση υλικών και πρακτικών στις κατασκευές και έχουν δεσμευτικό χαρακτήρα, ενώ οι τεχνικές οδηγίες παρέχουν πληροφορίες για την αντιμετώπιση πρακτικών προβλημάτων στην εφαρμογή νέων τεχνολογιών.

Το τελικό στάδιο για την καθιέρωση ενός παραπροϊόντος στην αγορά περιλαμβάνει την έκδοση προδιαγραφών και τεχνικών οδηγιών για την εφαρμογή του. Στη Μεγάλη Βρετανία η πρώτη προδιαγραφή για τη χρήση της ιπτάμενης τέφρας ως αδρανές στο σκυρόδεμα (BS 3892) εμφανίζεται το 1965, ενώ το 1982 τροποποιείται για να συμπεριλάβει και τη χρήση της ως συνδετική κονία (McCarthy & Dhir, 1999). Το αντίστοιχο ευρωπαϊκό πρότυπο τίθεται σε ισχύ το 1995 (EN 450).

Κάποιες από τις σημαντικότερες σε σχέση με τη χρήση ιπτάμενων τεφρών και εναλλακτικών κονιών στο σκυρόδεμα είναι:

- ΕΛΟΤ EN 450: Ιπτάμενη τέφρα για σκυρόδεμα – Μέρος 1 & 2 (2005)
- ΕΛΟΤ EN 451: Μέθοδος δοκιμής ιπτάμενης τέφρας – Μέρος 1 & 2 (2004)
- ΕΛΟΤ EN 14227-2: Μίγματα κατεργασμένα με υδραυλικές κονίες - Προδιαγραφές - Μέρος 2: Μίγματα κατεργασμένα με σκωρίες (2005)
- ΕΛΟΤ EN 14227-3: Μίγματα κατεργασμένα με υδραυλικές κονίες - Προδιαγραφές - Μέρος 3: Μίγματα κατεργασμένα με ιπτάμενη τέφρα (2005)
- ΕΛΟΤ EN 15167: Λειοτριβημένη κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνων για χρήση σε σκυρόδεμα, κονιάματα και ενέματα – Μέρος 1 & 2 (2007)
- ASTM C 311: Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete (2002)
- ASTM C 593: Fly Ash and Other Pozzolans for Use With Lime (1995)
- ASTM C 618: Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete (2008)
- ASTM C 989: Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars (2009)
- ASTM D 5759: Standard Guide for Characterization of Coal Fly Ash and Clean Coal Combustion Fly Ash for Potential Uses (1995)
- BS 3892: Pulverized-fuel ash. Specification for pulverized-fuel ash for use with Portland cement (1997)

Επίσης, κάποια από τα σημαντικότερα πρότυπα για τη χρήση αδρανών σκωρίας είναι τα παρακάτω:

- ΕΛΟΤ EN 12620: Αδρανή για σκυρόδεμα (2008)
- ΕΛΟΤ EN 13043: Αδρανή ασφαλτομιγμάτων και επιφανειακών επιστρώσεων οδών, αεροδρομίων και άλλων περιοχών κυκλοφορίας οχημάτων (2002)
- ASTM D 4792: Potential Expansion of Aggregates from Hydration Reactions (2000)
- ASTM D 5106: Standard Specification for Steel Slag Aggregates for Bituminous Paving Mixtures (2008)
- BS 1047: Air-cooled blastfurnace slag for use in construction (1983)
- JIS A 5011: Slag Aggregate for Concrete (2003)
- JIS A 5015: Iron and Steel Slag for Road Construction (2008)

5 ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

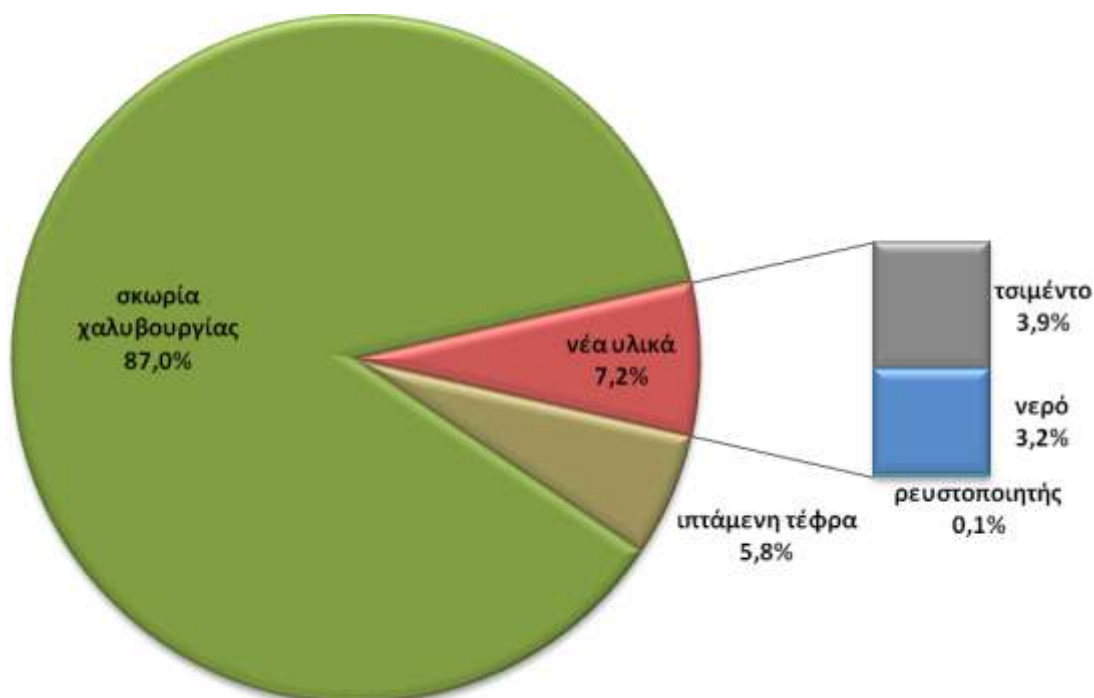
Με βάση τα παραπάνω δεδομένα παρασκευάστηκαν αρχικά εργοταξιακά και στη συνέχεια μεταφέρθηκαν σε πιλοτική εφαρμογή συνθέσεις σκυροδέματος με μεγάλο ποσοστό βιομηχανικών παραπροϊόντων. Η πιλοτική εφαρμογή επιλέχθηκε να γίνει σε βοηθητικό δρόμο στο Κασσανδρινό Χαλκιδικής που εξυπηρετεί την πρόσβαση σε εργοστάσιο έτοιμου σκυροδέματος και η αντοχή του σκυροδέματος ελέγχθηκε σε κυβικά δοκίμια τα οποία συντηρήθηκαν κατάλληλα για 28 ημέρες. Για την παραγωγή των συνθέσεων χρειάστηκε να ληφθούν μέτρα ως προς την κοκκομετρική διαβάθμιση και το λόγο νερού προς κονία, ώστε να ληφθούν υπόψη οι ιδιαιτερότητες των βιομηχανικών παραπροϊόντων. Επίσης, ιδιαίτερη σημασία είχαν οι δοκιμαστικές συνθέσεις στο εργοτάξιο ώστε να διαπιστωθεί η δυνατότητα εφαρμογής των συνθέσεων σε πραγματική κλίμακα.

Πιο συγκεκριμένα, στις δοκιμαστικές συνθέσεις χρησιμοποιήθηκαν αδρανή σκωρίας χαλβουργίας στο σύνολο ή στο μεγαλύτερο μέρος των αδρανών του σκυροδέματος και ιπτάμενη τέφρα σε ποσοστό έως 60% του συνόλου της κονίας. Οι αναλογίες σύνθεσης και οι μηχανικές αντοχές τόσο των δοκιμαστικών συνθέσεων όσο και των συνθέσεων της πιλοτικής εφαρμογής φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Αναλογίες σύνθεσης και ιδιότητες νωπού σκυροδέματος

Σύνθεση	1 ^η	2 ^η
Υλικά (Περιεκτικότητα)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
Τσιμέντο CEM I42,5	140	112
Κατεργασμένη ιπτάμενη τέφρα	140	168
Άμμος ποταμού Αξιού 0-4mm	645	-
Άμμος σκωρίας 0-4mm	-	879
Αδρανή σκωρίας 4-16mm	615	628
Αδρανή σκωρίας 16-31,5mm	1034	1005
Νερό	88,4	92,6
Ρευστοποιητής (2% κ.β. της κονίας)	2,8	2,8
Ιδιότητες νωπού μίγματος		
Εργασιμότητα (κάθιση) (cm)	1,0	0,5
Λόγος νερού προς κονία	0,63	0,66
Φαινόμενη πυκνότητα νωπού (kg/m ³)	2757	2983
Θλιπτική αντοχή κυβικού δοκιμίου δοκιμαστικής σύνθεσης 28 ημερών (MPa) (μ.ο. 8 δοκιμίων)	27,4	30,6
Θλιπτική αντοχή κυβικού δοκιμίου σύνθεσης πιλοτικής εφαρμογής 28 ημερών (MPa) (μ.ο. 8 δοκιμίων)	31,5	40,3

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι στην πραγματική κλίμακα επιτυγχάνονται καλύτερες αντοχές, κάτι που αποδίδεται στην καλύτερη ανάμιξη και επίτευξη ομοιογένειας του μίγματος. Επίσης, η 2^η σύνθεση, με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε παραπροϊόντα, παρόλο που απαιτούσε μεγαλύτερη προσοχή κατά την επιλογή των αναλογιών ανάμιξης και στην περιεκτικότητα σε νερό, έδωσε τελικά μεγαλύτερες τιμές αντοχής, φτάνοντας την κατηγορία C25/30. Το σημαντικότερο στοιχείο, όμως, είναι ότι με αυτήν τη σύνθεση επιτυγχάνεται μέγιστη χρησιμοποίηση βιομηχανικών παραπροϊόντων (92,8%), όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 1, και παρασκευάζεται ένα οικονομικό άοπλο σκυρόδεμα, κατάλληλο για δάπεδα και συναφείς εφαρμογές, με ικανοποιητικές αντοχές.



Διάγραμμα 1. Αναλογίες σύνθεσης κ.β. σκυροδέματος πιλοτικής εφαρμογής με μέγιστη χρήση βιομηχανικών παραπροϊόντων

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη των παραπάνω στοιχείων προκύπτει ότι, παρόλο που απαιτεί τροποποίηση της μελέτης σύνθεσης, η τεχνολογία για την αξιοποίηση μεγάλων ποσοτήτων βιομηχανικών παραπροϊόντων μέσα από εφαρμογές υψηλής προστιθέμενης αξίας, όπως το άοπλο σκυρόδεμα για δάπεδα και οδοστρώματα είναι διαθέσιμη και μπορεί να δώσει πολύ καλά αποτελέσματα από τεχνική, οικονομική και περιβαλλοντική άποψη.

Επιπρόσθετα, διαπιστώνεται ότι είναι δυνατή η αλλαγή του τρόπου που λειτουργεί η αγορά και η εισαγωγή των βιομηχανικών παραπροϊόντων σε αυτή μέσω:

- Καλής γνώσης των ιδιοτήτων του υλικού
- Κατεύθυνσης σε κατάλληλες εφαρμογές μέσω ερευνητικών προγραμμάτων
- Εφαρμογής των ευρημάτων της έρευνας σε πιλοτικές εφαρμογές
- Συναίνεσης του βιομηχανικού κλάδου για κοινή προώθηση των παραπροϊόντων
- Παροχής κινήτρων για τη χρήση εναλλακτικών υλικών μέσω κρατικών προγραμμάτων
- Θέσπισης προδιαγραφών και τεχνικών οδηγιών για την κατάλληλη χρήση των υλικών

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

British Geological Survey (2008). *European Minerals Statistics 2002-2006*. Nottingham: Keyworth.

Glavind, M., Mathiesen, D. & Nielsen, C.V. (2005). Sustainable concrete structures a win-win situation for industry and society. *Achieving Sustainability in Construction. Proceedings of the International Conference on Global Construction: Ultimate Concrete Opportunities*. Edited by Dhir, R.K., Dyer, T.D. & Newlands, M.D., 5th-6th July 2005, Dundee, Scotland: Thomas Telford, pp 1-14.

Bilodeau, A. & Malhotra, V.M. (2000). High-Volume Fly Ash System: Concrete Solution for Sustainable Development. *ACI Materials Journal*, Vol. 97, No.1, pp 41-48

Jahren, P. (2004). Greener Concrete – The CO₂ Case – What are the options? *Supplementary papers of the Eighth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete*. Edited by Malhotra, V.M., 23rd-29th May 2004, Las Vegas, USA, pp 299-315.

ΣΜΕ (2008). *Ετήσιος Απολογισμός 2007*. Ανακτήθηκε το Φεβρουάριο του 2009 από Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων: http://66.165.120.21/activities2007_gr.htm

European Council (2002). *EC Directive 1999/31 on the landfill of waste*. Environmental Policy Division, Department of the Environment.

Malhotra, V.M. & Carette, G.G. (1982). Silica fume. A pozzolan of new interest for use in some concretes. *Concrete Construction*, May 1982, pp 443-446.

Mehta, P.K. (1999). Concrete Technology for Sustainable Development – An Overview of Essential Principles. *Proceedings of the International Symposium on concrete for sustainable development in the twenty-first century*. Edited by Mehta, P.K., Hyderabad, India, pp 1-22.

Tietenberg, T. (1999). *Οικονομική του Περιβάλλοντος και των Φυσικών Πόρων, Τόμος Α* (Μετάφραση Παύλου Γρεβενίτη). Αθήνα: Gutenberg.

Anderson, D. (2006). *Environmental Economics and Natural Resource Management*. (2nd ed.) Pensive Press LLC.

Swamy, R.N. (2000). Designing concrete and concrete structures for sustainable development. *Proceedings of the CANMET/ACI International Symposium on Concrete Technology for Sustainable Development*. 19th-20th April 2000, Vancouver, Canada.

- Trezona, J. (2007). Sustainability & Slag. Contractor's Issues. Presented at the 2007 ASA conference on Sustainability and Slag, May 4th 2007, Sydney, Australia.
- Motz, H. (2005). Opening Chairman. *Proceedings of the 4th European Slag Conference: Slag Products-Providing Solutions for Global Construction and other Markets*. 20th-21st June 2005, Oulu, Finland: Euroslag Publication No. 3, pp 7-18.
- Haimi, S. (2005). Slag; product or waste – the present situation. *Proceedings of the 4th European Slag Conference: Slag Products-Providing Solutions for Global Construction and other Markets*. 20th-21st June 2005, Oulu, Finland: Euroslag Publication No. 3, pp 211-220.
- Bech, N. & Feuerborn, J. (2008). Coal ash utilization in Europe. *Proceedings of the International Conference EuroCoalAsh 2008*, 6th-8th October 2008, Warsaw, Poland, pp 9-25.
- McCarthy, M.J. & Dhir, R.K. (1999). Towards maximizing the use of fly ash as a binder. *Fuel*, 78, pp 121-132.
- Swamy, R.N. (1993). Fly ash and slag: standards and specifications – help or hindrance? *Materials and Structures*, Vol. 26, pp 600-613.
- U.K. Highways Agency (2003). *Building Better Roads: Towards Sustainable Construction*. Highways Agency, United Kingdom.
- DETR (2000). *Waste Strategy 2000 England and Wales Part 1*. Department of the Environment, Transport and the Regions, United Kingdom.
- Huang, Y., Bird, R.N. & Heidrich, O. (2007). A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 52, pp 58-73.
- ODPM (2002). *Survey of arisings and use of secondary materials as aggregates: 2001*. Office of the Deputy Prime Minister, United Kingdom.
- UKQAA (2002) Environment & Sustainability Issues Summary. Ανακτήθηκε το Φεβρουάριο του 2009 από United Kingdom Quality Ash Association: <http://www.ukqaa.org.uk>
- ISSB (2008). *UK Steel Key Statistics*. Iron and Steel Statistics Bureau, UK. Ανακτήθηκε το Φεβρουάριο του 2009 από UK Steel: <http://www.eef.org.uk/>
- Dean, Y. (1996). *Mitchell's Materials Technology*. Singapore: Logman.