

Διεργασίες Ελάττωσης Μεγέθους & Διαλογής Σκυροδέματος στη Διαχείριση Αποβλήτων Κατασκευών από Σκυρόδεμα

Κωνσταντίνος Τσακαλάκης

Καθηγητής Ε.Μ.Π., kostsakg@metal.ntua.gr

Κυριάκος Συρμακέζης

Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π., kcs@metal.ntua.gr

Ηλίας Σαμμάς

Ειδικό Τεχνικό Εργαστηριακό Προσωπικό (Ε.Τ.Ε.Π.) Ε.Μ.Π., mmmpec@central.ntua.gr

1. Εισαγωγή

Η διαχείριση των πάσης φύσεως αποβλήτων αποτελεί ένα από τα κυρίαρχα περιβαλλοντικά ζητήματα που απασχολούν σήμερα την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα. Τόσο σε διεθνές όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διαχείριση των παραγόμενων αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (Α.Ε.Κ.Κ.). Και τούτο διότι το συγκεκριμένο ρεύμα αποβλήτων αποτελεί το μεγαλύτερο ρεύμα τόσο ως προς τον όγκο του όσο και ως προς τη παραγόμενη ποσότητα του. Εκτιμάται ότι 896 εκατομμύρια τόνοι αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων παράγονται ετησίως στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Menard et al. 2013), ποσότητα που αντιστοιχεί στο 25-30% του συνολικού όγκου των αποβλήτων, σύμφωνα με τα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

Το συγκεκριμένο ρεύμα αποβλήτων περιλαμβάνει απόβλητα, τα οποία προκύπτουν από δραστηριότητες όπως η κατασκευή των κτιρίων και των δημοσίων υποδομών, ολική ή μερική κατεδάφιση κτιρίων και υποδομών, ανακαινίσεις κτηρίων ή διαμερισμάτων και η κατασκευή και συντήρηση των οδοστρωμάτων. Αποτελείται από μία σειρά διαφόρων δομικών υλικών όπως είναι σίδηρος, τούβλα, μέταλλα, γύψος, πλαστικά, αμίαντος, χώμα καθώς και διάφορα άλλα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν. Ωστόσο, το δομικό υλικό, του οποίου η παρουσία κυριαρχεί, είναι αυτή του σκυροδέματος. Από στοιχεία του Παγκοσμίου Συμβουλίου για την Βιώσιμη Ανάπτυξη, εκτιμάται ότι τα απόβλητα σκυροδέματος που περιέχονται στο σύνολο των αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων κυμαίνεται από 20% έως 80% για τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, την Ιαπωνία και τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επίσης, από βιβλιογραφική έρευνα, εντοπίστηκε ότι, στο Ηνωμένο Βασίλειο και τη Δανία, τα απόβλητα σκυροδέματος αποτελούν το 50 -55% των αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων ενώ στο Hong Kong, το αντίστοιχο ποσοστό είναι 53% (Tam et al., 2006).

Τα στοιχεία αυτά, επιβεβαιώνουν την ορθότητα του συμπεράσματος της αναφοράς της Cement Sustainability Initiative (WBCDS, 2009) ότι δηλαδή, το σκυρόδεμα αποτελεί το υλικό με την υψηλότερη κατανάλωση στον κατασκευαστικό τομέα και το δεύτερο υλικό σε παγκόσμια κλίμακα, μετά το νερό (ISO 2005, Weil et al. 2006, CSI).

Επιπρόσθετα, ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των αποβλήτων σκυροδέματος είναι ότι, σε συνδυασμό με τη χρήση κατάλληλων τεχνολογικών διεργασιών, η δυνατότητα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης των συγκεκριμένων υλικών φθάνει σε υψηλά ποσοστά ακόμα και μέχρι το 100%, σε ορισμένες περιπτώσεις. Με τη χρήση των συγκεκριμένων διεργασιών, τα παραγόμενα υλικά

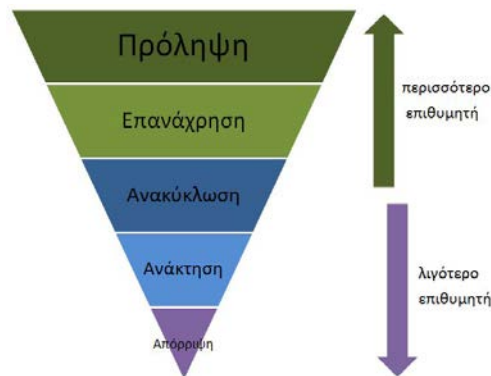
μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκ νέου σε δομικές και κατασκευαστικές εργασίες. Επίσης, τελευταία σημαντικές έρευνες έχουν επικεντρωθεί στην επίτευξη ανάκτησης του περιεχόμενου στο σκυρόδεμα τσιμέντου, ούτως ώστε να μπορεί αυτό να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για τη παραγωγή νέου σκυροδέματος, χαμηλότερης ποιότητας.

Η παρούσα εργασία, εστιάζει στις προοπτικές επαναχρησιμοποίησης του σκυροδέματος, με σκοπό τη παραγωγή νέου σκυροδέματος. Στην κατεύθυνση αυτή, γίνεται μία συγκριτική παρουσίαση των διεργασιών και των τεχνικών που πρέπει να εφαρμόζονται, κατά περίπτωση κατά την υλοποίηση των παραπάνω μεθόδων, και προτείνεται το γενικό τεχνικό πλαίσιο, το οποίο θα πρέπει να διέπει τη δημιουργία μίας νέας βιομηχανίας παραγωγής σκυροδέματος από απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων.

Η προτεινόμενη μέθοδος εξηγείται και καταγράφονται τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη με τη βοήθεια ενός παραδείγματος επαναχρησιμοποίησης υλικών κατεδάφισης παλαιών κτιρίων ενός τυπικού οικοδομικού τετραγώνου στην Αθήνα. Το παράδειγμα αυτό καταδεικνύει ότι η διαχείριση των παραγόμενων Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών & Κατεδαφίσεων μέσω της ανακύκλωσης και της ανάκτησης χρήσιμων υλικών αποτελεί τον ενδεδειγμένο τρόπο διαχείρισης των προϊόντων της κατεδάφισης των κατασκευών από σκυρόδεμα.

2. Διαχείριση αποβλήτων κατασκευών από σκυρόδεμα

Για την αντιμετώπιση του κυρίαρχου περιβαλλοντικού ζητήματος της διαχείρισης των πάσης φύσεως αποβλήτων, έχει θεσπιστεί τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε εθνικό επίπεδο μία ιεράρχηση των διαδικασιών διαχείρισης αποβλήτων, η οποία ισχύει για όλα τα ρεύματα των παραγόμενων αποβλήτων περιλαμβανομένου και του ρεύματος των Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (Α.Ε.ΕΚ.).



Σχήμα 1: Ιεράρχηση μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων

Σύμφωνα με την ιεράρχηση αυτή, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 1, η ορθότερη διαδικασία είναι η πρόληψη παραγωγής αποβλήτων, η επανάχρηση και ανακύκλωση τους, η ανάκτηση των αποβλήτων, κυρίως για τη παραγωγή ενέργειας και, τέλος, η απόρριψη τους μέσω της ταφής.

Για την περίπτωση των Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων και ειδικότερα για τα απόβλητα σκυροδέματος είναι δυνατή η εφαρμογή όλων των παραπάνω σταδίων, με εξαίρεση αυτής της ανάκτησης για την παραγωγή ενέργειας.

Ωστόσο, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων σκυροδέματος που παράγονται σε συνδυασμό με τις μεγάλες δυνατότητες ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης που προσφέρει από τη φύση του το σκυρόδεμα, οι προτιμότερες μέθοδοι είναι αυτές της επανάχρησης και της ανακύκλωσής τους.

Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια ενός έργου κατασκευής ή κατεδάφισης, μία μεγάλη ποικιλία από επαναχρησιμοποιούμενα ή και μη-χρησιμοποιημένα τεμάχια μπορούν να προκύψουν, περιλαμβανομένων μεγάλων θραυσμένων τεμαχίων από σκυρόδεμα, τα οποία μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για μία σειρά εφαρμογών (π.χ. ως πληρωτικό υλικό). (Tchobanoglous et al., 2002). Τα συγκεκριμένα τεμάχια μπορούν να αξιοποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν ως νέα δομικά ή κατασκευαστικά προϊόντα.

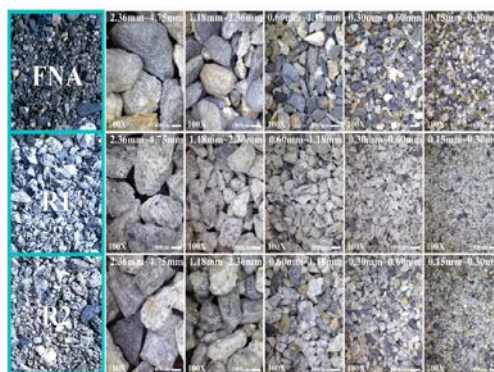
Δηλαδή, η ανακύκλωση αποτελεί μία από τις «στρατηγικές» ελαχιστοποίησης των απορριμμάτων και περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες διεργασίες που απαιτούνται για το διαχωρισμό των επιμέρους υλικών που περιλαμβάνονται σε ανάμεικτα απορρίμματα καθώς και η μετατροπή των απορριμμάτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων σε χρήσιμα νέα προϊόντα, κατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση.

3. Προϊόντα Επανάχρησης και Ανακύκλωσης Αποβλήτων Σκυροδέματος:

Η φύση και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος δίνουν μεγάλες δυνατότητες ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης του. Ως εκ τούτου, με την εφαρμογή των μεθόδων επανάχρησης και ανακύκλωσης και με τη χρήση συγκεκριμένων διεργασιών, επιτυγχάνεται η μετατροπή των αποβλήτων σκυροδέματος σε νέα προϊόντα, ικανά να χρησιμοποιηθούν σε δομικές ή κατασκευαστικές εργασίες.

Αξιοποιώντας την εξέλιξη της έρευνας και της τεχνολογίας στο πεδίο αυτό, έχει επιτευχθεί η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των παραγόμενων αποβλήτων από οπλισμένο σκυρόδεμα σε ποσοστό που μπορεί να προσεγγίσει το 100%. Τα προϊόντα που προκύπτουν από την επεξεργασία τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δευτερογενή αδρανή υλικά, τα οποία θα μπορούν να αξιοποιηθούν είτε ως υλικά πλήρωσης για έργα υποδομών (π.χ. κατασκευή δρόμων) είτε ως αδρανή για τη παραγωγή νέου σκυροδέματος.

Τα ανακυκλωμένα αδρανή υλικά σκυροδέματος, ανάλογα με το μέγεθος και την ποιότητα τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπου απαιτούνται χαμηλότερης ποιότητας προϊόντα, όπως για παράδειγμα για τη δημιουργία υποβάθρων δρόμων (Tsakalakis et al., 2001).



Εικόνα 1: Αδρανή Υλικά που παρήχθησαν από απόβλητα σκυροδέματος

Επιπρόσθετα, με δεδομένο ότι τα μέχρι τώρα ερευνητικά αποτελέσματα και η ανάπτυξη κατάλληλων τεχνολογιών επεξεργασίας έχουν δώσει τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης σε ποσοστό που προσεγγίζει το 100%, το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει αρχίσει να εστιάζεται σε έρευνες για την ανακύκλωση των απορριμμάτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων, η οποία και αποτελεί το

επόμενο επίπεδο διαχείρισης αποβλήτων, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή και Εθνική Νομοθεσία για τη διαχείριση των απορριμμάτων.

Οι ερευνητικές αυτές προσπάθειες εστιάζονται στη βελτίωση της απόδοσης των διεργασιών επεξεργασίας των αποβλήτων σκυροδέματος με σκοπό την ανάκτηση και του - περιεχόμενου στο σκυρόδεμα -τσιμέντου, το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή νέου σκυροδέματος, έστω και χαμηλότερης ποιότητας.



Εικόνα 2: Περιεχόμενος Χάλυβας Οπλισμού σε Απόβλητα Σκυροδέματος

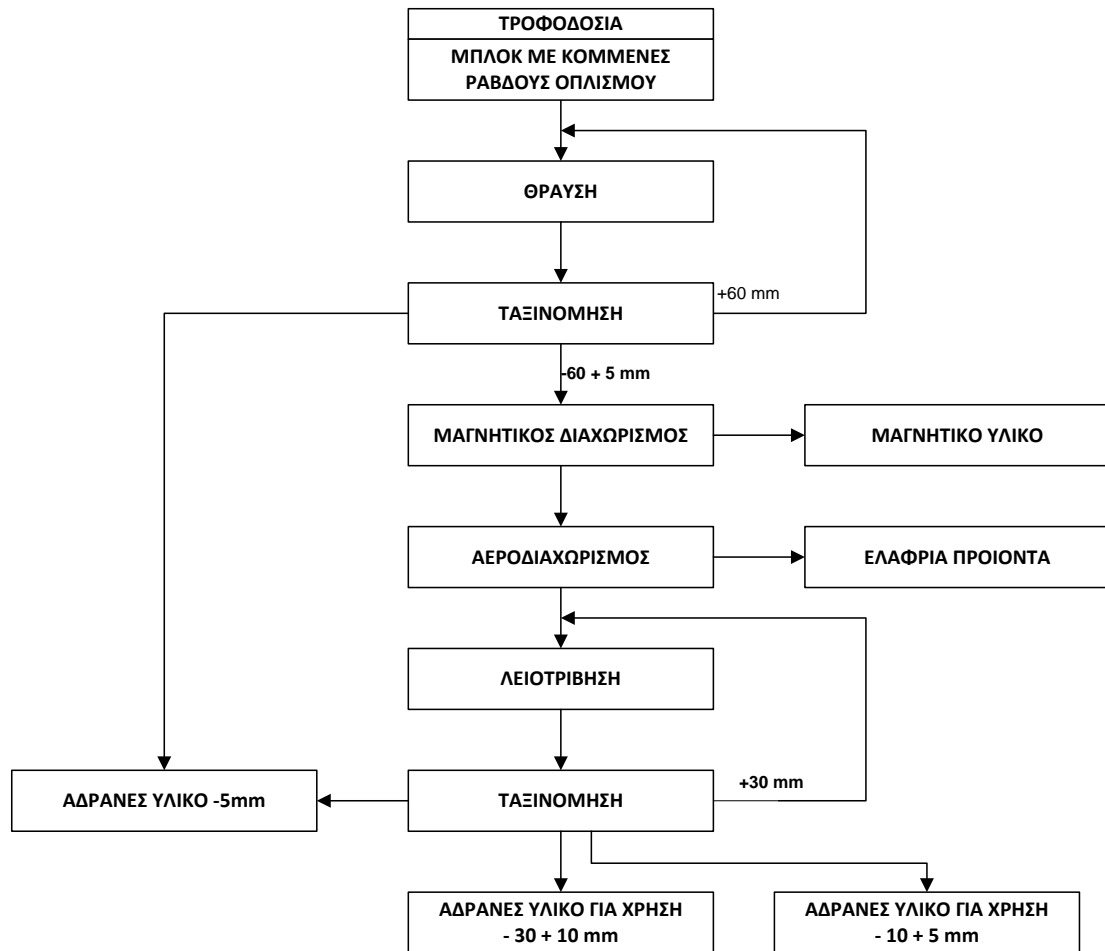
Τέλος, ένα ιδιαίτερα σημαντικό προϊόν, το οποίο προκύπτει από την επεξεργασία των αποβλήτων του σκυροδέματος είναι ο χάλυβας-οπλισμού του σκυροδέματος (Εικόνα 2). Με τη χρήση κατάλληλων διεργασιών (τεμαχισμός ράβδων, ελάττωση μεγέθους τεμαχίων σκυροδέματος για αποδέσμευση του χάλυβα, μαγνητικός διαχωρισμός), δίνεται η δυνατότητα ανάκτησης του περιεχόμενου χάλυβα.

3.1. Εφαρμοζόμενες Διεργασίες στις Μεθόδους Διαχείρισης των Αποβλήτων:

Η μετατροπή των αποβλήτων σκυροδέματος σε νέα προϊόντα πραγματοποιείται σε ειδικές μονάδες επεξεργασίας, όπου τα απόβλητα υποβάλλονται σε συγκεκριμένες διεργασίες μηχανικής προπαρασκευής. Οι μονάδες αυτές μπορεί να είναι είτε σταθερές είτε κινητές και φαίνονται στο Σχήμα 2.

Ανεξάρτητα από τον τύπο και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας επεξεργασίας, οι κύριες διεργασίες μηχανικής προπαρασκευής, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη περίπτωση των αποβλήτων σκυροδέματος, είναι η θραύση συνήθως σε διαδοχικά στάδια, η κοσκίνιση των προϊόντων θραύσης (Tchobanoglous et al., 2002) καθώς και ο μαγνητικός διαχωρισμός για την ανάκτηση των χαλύβδινων ράβδων, οι οποίες περιέχονται στο οπλισμένο σκυρόδεμα.

Όλες οι παραπάνω διεργασίες βασίζονται σε αντίστοιχες διεργασίες, οι οποίες εφαρμόζονται για τη Μηχανική Προπαρασκευή και τον Εμπλουτισμό των Μεταλλευμάτων και των Βιομηχανικών Ορυκτών και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες: τις διεργασίες μείωσης μεγέθους, τις διεργασίες διαχωρισμού κατά μέγεθος και τις διεργασίες διαχωρισμού (απόληψης) των διαφόρων υλικών.



Σχήμα 2: Προτεινόμενο Διάγραμμα Ροής Μονάδας Επεξεργασίας Αδρανών Υλικών (Ε.Μ.Π.).

3.1. Μείωση Μεγέθους-Τεμαχισμός

Κύριο χαρακτηριστικό των αποβλήτων σκυροδέματος είναι ο μεγάλος όγκος που καταλαμβάνουν. Το γεγονός αυτό δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στην επεξεργασία τους, δημιουργώντας την ανάγκη για μείωση του όγκου τους, είτε για περαιτέρω επεξεργασία είτε ακόμη και για την κατ' ευθείαν παραγωγή νέων προϊόντων (π.χ. δευτερογενή αδρανή υλικά). Η συγκεκριμένη ανάγκη αντιμετωπίζεται με τη βοήθεια της κατάτμησης και τεμαχισμού των αποβλήτων σκυροδέματος, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του μεγέθους των παραγόμενων αποβλήτων.



Εικόνα 3: Ογκώδη Τεμάχια Αποβλήτων που προέκυψαν από καθαίρεση κτιρίου

Με τον όρο κατάτμηση εννοούνται οι διεργασίες της θραύσης και της λειοτριβίσης, οι οποίες

περιλαμβάνουν σχεδόν όλα τα στάδια ελάττωσης μεγέθους των υλικών ανεξάρτητα από το αρχικό και τελικό μέγεθος των τεμαχίων.

Η εφαρμογή των συγκεκριμένων διεργασιών αποσκοπεί στη μείωση του αρχικού μεγέθους των αποβλήτων σκυροδέματος σε συγκεκριμένα μεγέθη, προκειμένου να εξασφαλιστεί η αποδέσμευση (αποχωρισμός) των περιεχόμενων διαφορετικών υλικών, είτε η ομοιόμορφη τροφοδοσία του υλικού για περαιτέρω επεξεργασία, είτε η παραγωγή προϊόντων για απευθείας χρήση, όπως είναι τα δευτερογενή αδρανή υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται ως πληρωτικά υλικά ή ως αδρανή υλικά για τη παραγωγή σκυροδέματος.

Η μείωση του μεγέθους, τόσο κατά τη διεργασία της θραύσης όσο και κατά τη διεργασία της λειοτριβίσης, επιτυγχάνεται μέσω της εφαρμογής δυνάμεων που παράγουν τάσεις μεγαλύτερες από το όριο αντοχής του υλικού (Σταμπολτζής, 1994), επιτυγχάνοντας τη θραύση των αποβλήτων σκυροδέματος σε μικρότερα τεμάχια.

Η διεργασία της θραύσης πραγματοποιείται σε ισχυρούς θραυστήρες (Εικόνα 4), οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ασκούνται θλιπτικές τάσεις στα ογκώδη τεμάχια σκυροδέματος προκειμένου να μειωθεί το αρχικό τους μέγεθος σε μικρότερα τεμάχια. Ο συνηθέστερος τύπος μηχανήματος που χρησιμοποιείται για τις διάφορες εφαρμογές επεξεργασίας αποβλήτων σκυροδέματος είναι ο θραυστήρας σιαγόνων (jaw crusher) λόγω της ισχυρής τους κατασκευής, της εύκολης λειτουργίας, των μεγάλων ανοιγμάτων τροφοδοσίας και του χαμηλού κόστους συντήρησης (Jadovski, 2005).



Εικόνα 5: Σιαγονωτός θραυστήρας

Ανάλογα με το επιδιωκόμενο μέγεθος του τελικού προϊόντος, η διεργασία της θραύσης γίνεται σε διαδοχικά στάδια, όπου πραγματοποιείται η πρωτογενής και η δευτερογενής θραύση. Για τις περιπτώσεις όπου απαιτείται η παραγωγή ακόμη μικρότερων τεμαχίων σκυροδέματος, λεπτομερούς μεγέθους προϊόντος, όπως απαιτείται για την ανακύκλωση του περιεχόμενου τσιμέντου, τότε τα απόβλητα είναι απαραίτητο να υποβάλλονται και στη διεργασία της λειοτριβίσης, (Εικόνα 6) με τη χρήση μύλων κυλιόμενου φορτίου ραβδόμυλοι, κυλινδρόμυλοι, σφαιρόμυλοι).



Εικόνα 6: Εργαστηριακός δονητικός μύλος
- Λειοτριβέας



Εικόνα 7: Μύλος Βιομηχανικής Χρήσης

Η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού για τη μείωση του μεγέθους αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην επιδιωκόμενη μείωση του μεγέθους των αποβλήτων και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, ανάμεσα στους οποίους περιλαμβάνονται: οι ιδιότητες του σκυροδέματος που περιέχεται στα- υπό επεξεργασία- απόβλητα, οι απαιτήσεις του μεγέθους του προϊόντος που προκύπτει καθώς και οι διεργασίες του υλικού που ακολουθούν μετά τη θραύση.

3.2. Διεργασίες διαχωρισμού κατά μέγεθος

Ιδιαίτερα σημαντική διεργασία για την επεξεργασία των αποβλήτων σκυροδέματος και τη μετατροπή τους σε νέα, χρήσιμα δομικά προϊόντα αποτελεί η διεργασία του διαχωρισμού των προϊόντων κατά μέγεθος και σχήμα. Η διεργασία αυτή επιτυγχάνεται μέσω της ταξινόμησης (κοσκίνιση). Και στις δύο περιπτώσεις, χρησιμοποιείται κατάλληλος μηχανολογικός εξοπλισμός, ο οποίος διαχωρίζει τα υλικά σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος και το σχήμα τους.

Ο συνηθέστερος τύπος μηχανήματος που χρησιμοποιείται για τη συγκεκριμένη κατεργασία είναι τα μηχανικά (δονούμενα) κόσκινα, τα οποία τοποθετούνται σε οριζόντια ή κεκλιμένη θέση. Η πιο διαδεδομένη μορφή είναι αυτή των κεκλιμένων κοσκίνων ενώ τα οριζόντια κόσκινα αποτελούν κατάλληλη εναλλακτική για την επεξεργασία αποβλήτων, τα οποία περιέχουν υψηλά ποσοστά υγρασίας ή μεγάλες ποσότητες σαθρών υλικών, επειδή τα οριζόντια κόσκινα έχουν καλύτερη απόδοση (διαχωριστική ικανότητα).

Τα συγκεκριμένα μηχανήματα αποτελούν βαρέος τύπου μηχανήματα. Διαθέτουν τουλάχιστον δύο καταστρώματα, τα οποία δονούνται με τη βοήθεια έκκεντρων μηχανισμών. Το κατάστρωμα κάθε κοσκίνου αποτελείται από ένα πλέγμα ανοιγμάτων συγκεκριμένων διαστάσεων. Με την τροφοδοσία του κοσκίνου, δημιουργείται μία ροή υλικού, η οποία καταλήγει στην επιφάνεια του πλέγματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να επιτρέπεται η διέλευση των τεμαχίων του υλικού που έχει μέγεθος μικρότερο από τα ανοίγματα του πλέγματος. Τα υπερμεγέθη τεμάχια απομακρύνονται και μεταφέρονται είτε για περεταίρω επεξεργασία (ελάττωση μεγέθους) είτε για να αποτελέσουν ένα νέο δομικό υλικό (δευτερογενή αδρανή υλικά ή υπόστρωμα για βάση οδοστρωμάτων).



Εικόνα 8: Δονούμενο Κόσκινο



Εικόνα 9: Απεικόνιση Λειτουργίας Δονούμενου Κόσκινου Τριών Καταστρωμάτων

Με τη διεργασία αυτή επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των τεμαχίων σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος και το σχήμα, συμβάλλοντας στην ομοιόμορφη τροφοδοσία του υλικού για περαιτέρω επεξεργασία (δευτερογενή θραύση και λειοτριβίση) καθώς και στην παραγωγή ομοιόμορφων δευτερογενών προϊόντων, τα οποία θα είναι σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές που διέπουν τα συγκεκριμένα προϊόντα.

Επίσης, με τη διεργασία του διαχωρισμού των τεμαχίων κατά μέγεθος και σχήμα επιτυγχάνεται η απομάκρυνση λεπτομερών (μικρότερα από 5mm) τεμαχίων καθώς και άλλων προσμίξεων, άσχετων με το σκυρόδεμα, οι οποίες ενδέχεται να επηρεάσουν την ποιότητα των προϊόντων που θα προκύψουν είτε πρόκειται για αδρανή υλικά είτε για ανακτημένο τσιμέντο.

Η επιλογή των κατάλληλων τεχνικών παραμέτρων του εξοπλισμού για το διαχωρισμό των τεμαχίων των αποβλήτων κατά μέγεθος και σχήμα εξαρτάται από συγκεκριμένες παραμέτρους, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα την απόδοση των κοσκίνων (ρυθμός τροφοδοσίας, κατανομή μεγέθους υλικού τροφοδοσίας, υγρασία, χρόνος κοσκινίσματος κλπ.).

3.3. Διεργασίες διαχωρισμού και απόληψης διαφόρων υλικών

Κατά την επεξεργασία των αποβλήτων σκυροδέματος, υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου, εκτός από τις διεργασίες ελάττωσης μεγέθους των αποβλήτων και το διαχωρισμό τους σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος και το σχήμα τους, απαιτούνται και συγκεκριμένες διεργασίες, οι οποίες έχουν ως στόχο το διαχωρισμό και απόληψη των διαφόρων υλικών, τα οποία εμπεριέχονται στα απόβλητα του σκυροδέματος.

Η πλέον συνηθισμένη περίπτωση είναι αυτή της ανάκτησης του χάλυβα οπλισμού από το σκυρόδεμα. Ωστόσο, παρόμοιες εργασίες απαιτούνται για την απομάκρυνση και άλλων προσμίξεων, οι οποίες ενδέχεται να επηρεάζουν την ποιότητα και τη καθαρότητα των παραγόμενων προϊόντων. Ειδικά, στις περιπτώσεις όπου επιδιώκεται η ανακύκλωση ή απομάκρυνση του περιεχόμενου στο σκυρόδεμα τσιμέντου, τέτοιου είδους διεργασίες είναι απαραίτητες.

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των διεργασιών, οι οποίες αφορούν στο διαχωρισμό των διαφόρων υλικών, είναι ότι εκμεταλλεύονται τις διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες των υλικών που περιέχονται μέσα στα απόβλητα σκυροδέματος. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των διαφόρων υλικών, χωρίς να αλλοιώνεται η χημική τους σύσταση.

3.3.1. Μαγνητικός διαχωρισμός

Σε όλες τις μονάδες, οι οποίες δημιουργούνται για την επεξεργασία αποβλήτων οπλισμένου

σκυροδέματος, περιλαμβάνεται ως απολύτως απαραίτητη η διεργασία του μαγνητικού διαχωρισμού, με την οποία επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των χαλύβδινων ράβδων, οι οποίες αποτελούν τον οπλισμό του σκυροδέματος.

Η συγκεκριμένη διεργασία βασίζεται στις ισχυρές μαγνητικές ιδιότητες που παρουσιάζει ο χάλυβας, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα υλικά που περιέχονται στα απόβλητα σκυροδέματος και πραγματοποιείται με τη χρήση ταινιοφόρων μαγνητικών διαχωριστών εγκάρσια τοποθετημένων ως προς τη μεταφορική ταινία.



Εικόνα 10: Ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής

Τα μηχανήματα αυτά διαθέτουν ηλεκτρομαγνήτες ή μόνιμους μαγνήτες, οι οποίοι τοποθετούνται εγκάρσια υπεράνω του κινούμενου ρεύματος των μεταφορικών ταινιών. Οι μαγνήτες αυτοί, είτε λόγω των φυσικών τους ιδιοτήτων είτε με τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος, δημιουργούν ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Το πεδίο αυτό έλκει και διαχωρίζει το χάλυβα από τα υπόλοιπα υλικά των αποβλήτων, τα οποία είτε συνεχίζουν την επεξεργασία τους είτε προορίζονται για απευθείας χρήση ως προϊόντα.

3.3.2. Συμπληρωματικές διεργασίες

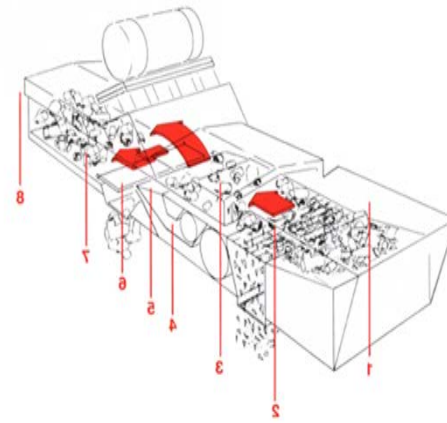
Πέραν των απαραίτητων διεργασιών που απαιτούνται για την επεξεργασία των αποβλήτων σκυροδέματος, σε πολλές μονάδες παρατηρούνται επιπρόσθετες διεργασίες. Οι διεργασίες αυτές έχουν ως στόχο το υλικό, το οποίο είτε θα επαναχρησιμοποιηθεί είτε θα ανακυκλωθεί, να είναι «ελεύθερο» από προσμίξεις. Αυτό κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό αν το υλικό προορίζεται για την παραγωγή τσιμέντου. Στην περίπτωση αυτή το υλικό θα πρέπει να υποβληθεί σε ειδική επεξεργασία προκειμένου να απομακρυνθούν αλλά υλικά όπως χαρτί, κομμάτια γυαλιού, γύψος, σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα καθώς και ξύλο ή πλαστικό.

Για την επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου, χρησιμοποιούνται διάφορα μηχανήματα, όπως οι μαγνητικοί διαχωριστές δινορευμάτων (eddy current separators) για μη σιδηρούχα μέταλλα καθώς και διαφόρων ειδών αερο-διαχωριστές. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει συμβάλει σημαντικά στην απομάκρυνση των προσμίξεων, με εκτιμώμενη απόδοση 98% (Mulder, 2007) και κατά συνέπεια στην υψηλή καθαρότητα των παραγόμενων προϊόντων.

Η χρήση των μαγνητικών διαχωριστών δινορευμάτων βασίζεται περίπου στην ίδια αρχή λειτουργίας των συμβατικών μαγνητικών διαχωριστών, όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Με τη χρήση ειδικών μαγνητών αναπτύσσονται δυνάμεις κάθετες ως προς τον άξονα του μαγνήτη, οι οποίες έλκουν τα μέταλλα που περιέχονται στα-προς επεξεργασία- απόβλητα σκυροδέματος, ενώ τα υπόλοιπα (μη μαγνητικά) υλικά συνεχίζουν τη ροή τους για τα επόμενα στάδια της κατεργασίας τους.



Εικόνα 11: Βιομηχανικός Αεροδιαχωριστής σε λειτουργία

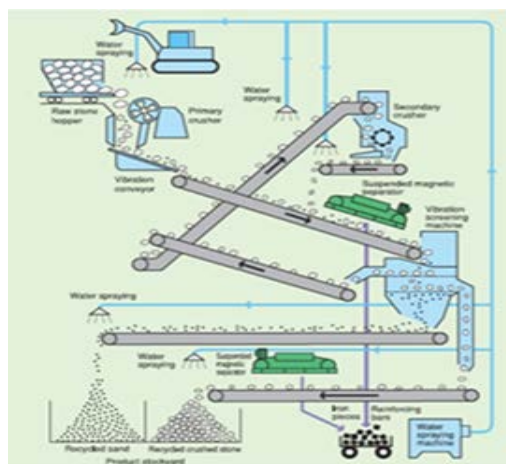


Σχήμα 3: Αναπαράσταση τρόπου λειτουργίας Αεροδιαχωριστή (Cdworldmag.com, Metaltechsystems.com)

Η χρήση των διαφόρων αερο-διαχωριστών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση ελαφρών υλικών (χαρτί, μη-μεταλλικά υλικά, ξύλο κλπ.), βασίζεται στη διαφορά του ειδικού βάρους που παρουσιάζεται μεταξύ των διαφόρων προσμίξεων που εμπεριέχονται στο «ρεύμα» των αποβλήτων και στα βασικότερα υλικά των αποβλήτων (σκυρόδεμα, αδρανή, χάλυβας). Με τον τρόπο αυτό έχουν κατασκευαστεί διάφορων τύπων μηχανήματα, τα οποία «χρησιμοποιούν» το ρεύμα αέρα για να απομακρύνουν τις διάφορες προσμίξεις από το- προς επεξεργασία – ρεύμα των αποβλήτων.

4. Συμβολή των μεθόδων ανακύκλωσης και επανάχρησης αποβλήτων σκυροδέματος

Όλες οι διεργασίες, που παρουσιάζονται στη παρούσα εργασία, αποτελούν τις βασικές λειτουργίες μίας μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων σκυροδέματος, όπως αυτές που απεικονίζονται στα Σχήματα 2 και 4. Με τη λειτουργία των συγκεκριμένων μονάδων και την εφαρμογή των συγκεκριμένων διεργασιών επιδιώκεται η μετατροπή των αποβλήτων σκυροδέματος σε νέα προϊόντα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άλλες κατασκευαστικές και δομικές εργασίες.



Σχήμα 4: Διάγραμμα Ροής Μονάδας Επεξεργασίας και Ανακύκλωσης Αποβλήτων Σκυροδέματος (http://www.kanetec.co.jp/en/pdf/120_138.pdf)

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση των αποβλήτων σκυροδέματος, γεγονός που προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Συγκεκριμένα, επιτυγχάνεται η επιμήκυνση του κύκλου ζωής των υλικών που περιέχονται στα απόβλητα, εξοικονομούνται φυσικοί και ενεργειακοί πόροι, μειώνεται η ποσότητα των αποβλήτων που προορίζονται για ταφή και ως εκ τούτου, μειώνονται οι ανάγκες για εκτάσεις που θα χρησιμοποιηθούν ως χώροι απόθεσης.

Πέραν των περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων που προσφέρουν οι μέθοδοι επανάχρησης και ανακύκλωσης των αποβλήτων σκυροδέματος, ιδιαίτερα σημαντικά είναι και τα οικονομικά οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την υιοθέτηση τέτοιων πρακτικών διαχείρισης. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, αν αναλογιστεί ότι πολλά κτίρια, τα οποία έχουν κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα, στα μεγάλα αστικά κέντρα της Ελλάδας, βρίσκονται κοντά στο τέλος του κύκλου ζωής.

Στην προσπάθεια να αναδειχθούν τα συγκεκριμένα οφέλη, παρουσιάζεται μία μελέτη περίπτωσης, η οποία έχει ως στόχο να αναδείξει τα οικονομικά οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την αξιοποίηση των μεθόδων επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης των αποβλήτων σκυροδέματος και κατά συνέπεια από την εφαρμογή των διεργασιών Ελάττωσης Μεγέθους και Διαλογής Σκυροδέματος στη Διαχείριση Αποβλήτων Κατασκευών από Σκυρόδεμα.

4.1. Παρουσίαση Μελέτης Περίπτωσης:

Η συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης αναλύει τα οικονομικά οφέλη, τα οποία μπορούν να προκύψουν από τη διαχείριση των αποβλήτων που μπορούν να προκύψουν από την κατάρρευση ενός οικοδομικού τετραγώνου στο κέντρο της Αθήνας.

Η επιλογή αυτή έγινε λόγω του γεγονότος ότι η Αθήνα αποτελεί μία πόλη με πολλά παλιά κτίρια, η διάρκεια ζωής των οποίων ξεπερνά τα πενήντα χρόνια και πολλοί είναι αυτοί, οι οποίοι προβλέπουν ότι στο άμεσο μέλλον θα χρειαστεί να δημιουργηθεί ένα πλάνο για τη διαχείριση των κτιρίων, τα οποία αναμένεται να ολοκληρώσουν τον κύκλο ζωής τους.

Επίσης, σημειώνεται ότι για τη συγκεκριμένη μελέτη, λαμβάνεται υπόψη ότι μέσω της επεξεργασίας των αποβλήτων σκυροδέματος προκύπτει, μόνον, παραγωγή δευτερογενών αδρανών υλικών και ανάκτηση του χάλυβα οπλισμού και όχι ανάκτηση ανακυκλωμένου τσιμέντου, δεδομένου ότι η ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο.

Ως εκ τούτου, η συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης αναλύει τις οικονομικές αποδόσεις από τη διαχείριση των αποβλήτων σκυροδέματος, από τη κατεδάφιση ενός τυπικού οικοδομικού τετραγώνου, βασιζόμενη στα - μέχρι σήμερα- τεχνολογικά επιτεύγματα στον τομέα διαχείρισης αποβλήτων σκυροδέματος.

4.2. Παραδοχές Μελέτης Περίπτωσης

Για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης μελέτης, υιοθετήθηκαν συγκεκριμένες, ρεαλιστικές παραδοχές προκειμένου να διευκολυνθούν οι απαιτούμενοι υπολογισμοί για το προσδιορισμό των οικονομικών πλεονεκτημάτων, τα οποία μπορούν να προκύψουν από την επεξεργασία των αποβλήτων σκυροδέματος.

Οι παραδοχές αυτές σχετίζονται με το μέγεθος των κτιρίων, με την επεξεργασία των αποβλήτων σκυροδέματος που θα παραχθούν, σε περίπτωση κατάρρευσης του οικοδομικού τετραγώνου και, τέλος, με τις τιμές των προϊόντων που θα προκύψουν από την επεξεργασία των αποβλήτων.

Συγκεκριμένα, για τη συγκεκριμένη μελέτη, θεωρήθηκε ότι το τετράγωνο αποτελείται από τετραόροφες πολυκατοικίες και η συνολική οικοδομήσιμη έκταση του είναι 15.000 m². Επίσης, όσον

αφορά την επεξεργασία των παραγομένων αποβλήτων σκυροδέματος, η μελέτη βασίστηκε στο γεγονός ότι η μονάδα επεξεργασίας που θα χρησιμοποιηθεί θα έχει δυναμικότητα 350 t/h, επιτρέποντας την ανάκτηση του 50% των αδρανών υλικών.

Τέλος, προκειμένου να προσδιοριστεί το όφελος από την επεξεργασία των παραγόμενων αποβλήτων, θεωρήθηκε ότι η τιμή των δευτερογενών αδρανών υλικών είναι 3,5 €/t και του χάλυβα 120 €/t.

4.3. Υπολογισμοί μελέτης περίπτωσης

Αρχικά, υπολογίζεται η ποσότητα του σκυροδέματος, η οποία περιέχεται στα κτίρια του οικοδομικού τετραγώνου που μελετάται. Θεωρώντας ότι ο όγκος του περιεχόμενου οπλισμένου σκυροδέματος είναι 0,35 m³ για κάθε τετραγωνικό μέτρο (m²), υπολογίζεται ότι ο συνολικός όγκος του οπλισμένου σκυροδέματος είναι:

$$V_{\text{οπλ.σκ.}} = 15.000\text{m}^2 * 0,35 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * 4 = 21.000\text{m}^3$$

Με δεδομένο ότι η πυκνότητα του οπλισμένου σκυροδέματος είναι 2,4 t/m³, η συνολική ποσότητα του οπλισμένου σκυροδέματος, υπολογίζεται ότι είναι:

$$m_{\text{οπλ.σκυρ.}} = 21.000\text{m}^3 * 2,4\text{t} / \text{m}^3 = 50.400\text{t}$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι για κάθε m³ σκυροδέματος απαιτούνται 100 kg χάλυβα, εκτιμάται ότι στη συγκεκριμένη ποσότητα, περιλαμβάνονται 2.100 t. Χάλυβα.

Σε περίπτωση κατεδάφισης, συγκεκριμένη ποσότητα θα μετατραπεί σε απόβλητα. Ωστόσο, ο όγκος των αποβλήτων δεν θα παραμείνει ο ίδιος με τον όγκο του σκυροδέματος, που υπολογίστηκε προηγουμένως.

Με συντελεστή επιπλήσματος 1.4 (αύξηση όγκου κατά 40%), ο συνολικός όγκος των παραγόμενων αποβλήτων αναμένεται να είναι:

$$V_{\text{αποβλ.σκ.}} = V_{\text{οπλ.σκυρ.}} * 1,4 = 21.000 * 1,4 = 29.400\text{m}^3$$

Συνεπώς, η εκτιμώμενη ποσότητα και ο εκτιμώμενος όγκος του οπλισμένου σκυροδέματος υπολογίστηκαν ότι είναι:

Πίνακας 1. Εκτιμώμενη ποσότητα (t) και εκτιμώμενος όγκος (m³) του οπλισμένου σκυροδέματος

Συνολική Ποσότητα Παραγόμενων Αποβλήτων:	50.400 t
Περιεχόμενη Ποσότητα χάλυβα:	2.100 t
Περιεχόμενη Ποσότητα Σκυροδέματος:	48.300 t
Συνολικός Όγκος Παραγόμενων Αποβλήτων:	29.400 m ³

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ότι στη περίπτωση όπου δεν υπάρχει καμία επεξεργασία της συγκεκριμένης ποσότητας αποβλήτων, η συγκεκριμένη ποσότητα θα πρέπει να ταφεί καταλαμβάνοντας ένα χώρο ταφής απορριμμάτων, όγκου 29.400 m³.

Αντίθετα, αν τα απόβλητα υποβληθούν σε επεξεργασία, με τη χρήση των διεργασιών, οι οποίες περιγράφονται στην παρούσα εργασία, δίνεται η δυνατότητα μετατροπής σε διάφορα νέα προϊόντα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να αξιοποιηθούν εμπορικά, μειώνοντας σημαντικά τις ποσότητες των αποβλήτων, οι οποίες προορίζονται για ταφή.

Για την επεξεργασία της συγκεκριμένης ποσότητας αποβλήτων σκυροδέματος, σε μονάδα δυναμικότητας 350 t/h, η διάρκεια της επεξεργασίας της αναμένεται να διαρκέσει περίπου 144 h, ενώ

τα λειτουργικά κόστη επεξεργασίας αναμένεται να είναι (Syrmakezis και Tsakalakis, 2016):

Πίνακας 2. Λειτουργικά κόστη επεξεργασίας.

Επιμέρους Λειτουργικά Κόστη	Κόστος Επεξεργασίας (€/t)
Ενεργειακό Κόστος	0,066
Κόστος Συντήρησης	0,024
Κόστος Προσωπικού	0,090
Λειτουργικό Κόστος	0,180

Από την επεξεργασία αναμένεται η ανάκτηση του περιεχόμενου χάλυβα σε ποσοστό σχεδόν 100% και η παραγωγή δευτερογενών αδρανών υλικών σε ποσοστό 50%. Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των προϊόντων, όπως έχουν αναφερθεί στην παράγραφο 4.2, τα εκτιμώμενα έσοδα που θα προκύψουν είναι τα εξής:

Πίνακας 3. Εκτιμώμενα έσοδα από την κατεργασία του υλικού της μελέτης περίπτωσης

Είδος Προϊόντος	Περιεχόμενη Ποσότητα	Ποσοστό Ανάκτησης	Συνολική Ποσότητα Προϊόντος	Εκτιμώμενη Τιμή Προϊόντος	Εκτιμώμενα Έσοδα
Χάλυβας	2.100 t	100%	2.100 t	120 €/t	252.000 €
Σκυρόδεμα	48.300 t	50%	24.150 t	3,5 €/t	84.525 €
Σύνολο	50.400 t		26.250 t		336.525 €

Συνεπώς, το κέρδος που αναμένεται να προκύψει από την επεξεργασία των αποβλήτων σκυροδέματος είναι:

$$\text{Έσοδα/ τόνο παραγόμενων αποβλήτων} = \frac{336.525}{50.400} = 6,68 \text{ €/t}$$

Συνοπολογίζοντας και το απαιτούμενο λειτουργικό κόστος επεξεργασίας προκύπτει ότι το

$$\text{Όφελος/ τόνο παραγόμενων αποβλήτων} = 6,68 \text{ €/t} - 0,180 \text{ €/t} = 6,5 \text{ €/t}$$

4.4. Ανάλυση αποτελεσμάτων μελέτης περίπτωσης

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, ακολουθεί η ανάλυση των αποτελεσμάτων της Μελέτης Περίπτωσης για την περίπτωση ταφής της συνολικής ποσότητας των αποβλήτων και για την περίπτωση της μερικής αξιοποίησης (50% της συνολικής ποσότητας) του σκυροδέματος προκειμένου να συγκριθούν οι οικονομικές αποδόσεις των δύο «εναλλακτικών».

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4, ο οποίος παρουσιάζει τις δαπάνες για την περίπτωση που επιλεγεί η ταφή των αποβλήτων σκυροδέματος (με κόστος ταφής 40 €/t) και για την περίπτωση όπου τα απόβλητα υποβληθούν σε επεξεργασία για παραγωγή χρήσιμων προϊόντων με σκοπό τη μείωση της ποσότητας των αποβλήτων που προορίζονται για ταφή.

Από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ότι και οι δύο εναλλακτικές περιπτώσεις διαχείρισης των αποβλήτων σκυροδέματος είναι δαπανηρές. Ωστόσο, αποδεικνύεται ότι η «εναλλακτική» της επεξεργασίας των αποβλήτων σκυροδέματος αποτελεί την πιο συμφέρουσα – οικονομικά

εναλλακτική, με κόστος έως και 68.8% μικρότερο από την περίπτωση της ταφής του συνόλου των παραγόμενων αποβλήτων σκυροδέματος.

Πίνακας 4. Σύγκριση εναλλακτικών περιπτώσεων "διαχείρισης" αποβλήτων μελέτης περίπτωσης.

Εναλλακτικές Περιπτώσεις	Κόστος Ταφής			Έσοδα από Αξιοποίηση Παραγόμενων Προϊόντων (σε €)	Όφελος (σε €)
	Ποσότητα Ταφής (σε t)	Κόστος (σε €/t)	Συνολικό Κόστος (σε €)		
Περίπτωση Ταφής	50.400	40	- 2.016.000	-	-2.016.000
Περίπτωση Εφαρμογής Διεργασιών Ελάττωσης Μεγέθους & Διαλογής	24.150	40	- 966.000	336.525	-629.475

5. Συμπεράσματα

Τα Απόβλητα Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων αποτελούν το βαρύτερο και μεγαλύτερο σε όγκο ρεύμα αποβλήτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης και περιλαμβάνουν το σύνολο των αποβλήτων, τα οποία προκύπτουν από δραστηριότητες όπως η κατασκευή των κτιρίων και των δημοσίων υποδομών, η ολική ή μερική κατεδάφιση κτιρίων και υποδομών, οι ανακαινίσεις κτηρίων ή διαμερισμάτων καθώς και από την κατασκευή και συντήρηση των οδοστρωμάτων.

Στο συγκεκριμένο ρεύμα, κυρίαρχη παρουσία αποτελεί η παρουσία των αποβλήτων σκυροδέματος, καθιστώντας τη διαχείριση τους μία σημαντική τεχνική και περιβαλλοντική πρόκληση. Η πρόκληση αυτή αντιμετωπίζεται από την εφαρμογή των μεθόδων επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης των παραγόμενων αποβλήτων, όπως προβλέπεται και από την ευρωπαϊκή και εθνική ιεράρχηση μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, το ποσοστό ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων σκυροδέματος μπορεί να αγγίξει το 100%, όπως συμβαίνει σε άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (π.χ. Ολλανδία).

Και στις δύο περιπτώσεις, η εφαρμογή των συγκεκριμένων μεθόδων βασίζεται στις διεργασίες ελάττωσης μεγέθους και διαλογής των τεμαχίων που περιέχονται στα απόβλητα σκυροδέματος.

Οι διεργασίες αυτές προέρχονται από τις αντίστοιχες διεργασίες που εφαρμόζονται για τη Μηχανική Προπαρασκευή και τον Εμπλουτισμό των βιομηχανικών πετρωμάτων και μεταλλευμάτων. Με την εφαρμογή και τη χρήση των συγκεκριμένων διεργασιών δημιουργούνται ουσιαστικές προοπτικές επαναχρησιμοποίησης του σκυροδέματος και της ανακύκλωσης του τσιμέντου, με σκοπό τη παραγωγή νέου σκυροδέματος.

Ωστόσο, πέραν της τεχνολογικής διάστασης, ιδιαίτερα σημαντικά είναι και τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, τα οποία μπορούν να προκύψουν από την εφαρμογή των συγκεκριμένων διεργασιών, καταδεικνύοντας ότι η διαχείριση των παραγόμενων Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών & Κατεδαφίσεων μέσω της ανακύκλωσης και της ανάκτησης χρήσιμων υλικών αποτελεί τον ενδεδειγμένο τρόπο διαχείρισης των προϊόντων της κατεδάφισης των κατασκευών από σκυρόδεμα και δημιουργώντας, ταυτόχρονα, τις προϋποθέσεις για τη δημιουργία μίας νέας βιομηχανίας παραγωγής δομικών υλικών και σκυροδέματος από απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων.

Βιβλιογραφία:

1. Menard Y., Bru K., Touze S., Lemoign A., Poirier J.E., Ruffie G., Bonnaudin F., Von Der Weid F. (2013), “Innovative process routes for a high-quality concrete recycling, Waste Management”, 33, 1561–1565.
2. Tam W.Y.V., Tam C.M. (2006), “Economic comparison of recycling over-ordered fresh concrete: A case study approach”, Resources Conservation and Recycling 52: 208-218.
3. WBCDS (2009), “The cement sustainability initiative-concrete recycling”, World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Geneva.
4. ISO (2005), ISO/TC 71-Business plan, “Concrete, reinforced concrete and pre-stressed concrete”, International Organization for Standardization (ISO), Geneva.
5. Weil M., Jeske U., Schebek L.(2006), “Closed-loop recycling of construction and demolition waste in Germany in view of stricter environmental threshold values”, Waste Management Resources 24(3):197–206.
6. Tchobanoglous G., Kreith Fr. (2002), “Handbook of Solid Waste Management”, 2nd Edition, Mc Graw-Hill.
7. Tsakalakis K.G., Frangiskos A.Z., Karka H. (2001), “Recycled Aggregates-An Environmentally Friendly Management for the Athens Urban Area”, IX Balkan Mineral Processing Congress, Istanbul, Turkey, pp. 575-581.
8. Σταμπολτζής Γ.Α.(1994), “Μηχανική Προπαρασκευή Μεταλλευμάτων Βιομηχανικών Ορυκτών και Πετρωμάτων”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
9. Jadovski I. (2005), “Technical and Economic Guidelines for Construction and Demolition Waste Recycling Plants”, MSc Dissertation in Engineering Federal University of Rio Grande do Dul, Brazil.
10. Mulder E., de Jong, T P R and Feenstra L., (2007), “Closed Cycle Construction: an integrated process for the separation and reuse of C&D Waste”, Waste Management Journal, 27 (10), 1408-1415.
11. Συρμακέζης Κ., Τσακαλάκης Κ., Σαμμάς Η. (2016), Οικονομοτεχνική διερεύνηση ανακύκλωσης υλικών κατεδάφισης και ανάκτησης χρήσιμων υλικών, 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εξόρυξης και Εναλλακτικών Μεθόδων Διαχείρισης Αποβλήτων, Life-Reclaim, 15-16 Ιουνίου 2016, Αθήνα
12. Syrmakizis K., Tsakalakis K.G., Sammas I. (2016), “Use of Conventional Mineral Processing Procedures and Equipment on Demolished Concrete Recycling. An Overview”. 5th International Conference on Industrial and Hazardous Waste Management “CRETE 2016”, Chania, Greece.