

Νέες τάσεις στην τεχνολογία σκυροδέματος

Παναγιώτα Π. Μπαντή

Πολιτικός Μηχανικός –

Μεταπτ. Φοιτήτρια ΔΧΤ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ

pbanti@hotmail.gr, std096243@ac.eap.gr

Σοφία Δ. Μαυρίδου

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΑΠΘ –

Μέλος ΣΕΠ ΔΧΤ/ΣΘΕΤ ΕΑΠ

smavrido@gmail.com

Περίληψη – Το σκυρόδεμα, αν και είναι ένα υλικό που εμφανίστηκε πριν από χιλιάδες χρόνια, έγινε ευρέως γνωστό και αποδεκτό λόγω της ραγδαίας αστικοποίησης της δεκαετίας του 1960. Από τότε μέχρι σήμερα η τεχνολογία σκυροδέματος παρουσίασε εντυπωσιακή εξέλιξη όχι μόνο από τεχνική αλλά και από αισθητική άποψη.

Η τεχνολογία σκυροδέματος αλλάζει και εξελίσσεται διαρκώς, τόσο λόγω της παρουσίας νέων υλικών που του προσδίδουν νέες ιδιότητες, όσο και λόγω της ανάγκης χρήσης εναλλακτικών υλικών για την παρασκευή του, εξαιτίας της σταδιακής ελάττωσης των συστατικών του που προέρχονται απ' ευθείας από τη φύση (αδρανή υλικά). Επιπροσθέτως, αν ληφθεί υπόψη και το γεγονός ότι οι τσιμεντοβιομηχανίες ευθύνονται για ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής ποσότητας CO₂ που εκλύεται στην ατμόσφαιρα, διαπιστώνεται ότι οι μηχανικοί είναι πλέον αναγκασμένοι να αναζητήσουν πιο βιώσιμες λύσεις παραγωγής του σκυροδέματος με υποκατάστατα του τσιμέντου. Το ζητούμενο της τεχνολογίας σκυροδέματος εκτός από την αντοχή, είναι και η ανθεκτικότητα στο χρόνο με ταυτόχρονη μέριμνα για την προστασία του περιβάλλοντος. Προς αυτή την κατεύθυνση, έχουν αναπτυχθεί νέα είδη σκυροδεμάτων με πολύ ενδιαφέρουσες ιδιότητες και χαρακτηριστικά.

Στόχος της συγκεκριμένης διατριβής είναι η παρουσίαση των σπουδαιότερων τύπων σκυροδεμάτων που έχουν εμφανιστεί διεθνώς τα τελευταία χρόνια, έτσι ώστε να γίνουν αντιληπτές οι τάσεις και οι ανάγκες της σύγχρονης εποχής

Λέξεις-Κλειδιά: τεχνολογία σκυροδέματος, περιβάλλον, δομικά υλικά, καινοτομία, αειφορία

Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σκυρόδεμα αποτελεί ένα υλικό που έχει εξελιχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Η χρήση νέων υλικών ως υποκατάστατα του τσιμέντου ή των αδρανών, καθώς η προσθήκη νέων συστατικών στο μείγμα, έχουν προσδώσει στο σκυρόδεμα ιδιότητες και εμφάνιση που θα ήταν ασύλληπτες πριν από μερικά χρόνια. Πλέον, δεν είναι το βαρύ, γκρι υλικό του παρελθόντος αλλά ένα υλικό πιο ελαφρύ, πιο φιλικό προς το περιβάλλον και αναβαθμισμένο αισθητικά. Στην παρούσα διατριβή παρουσιάζονται οι σπουδαιότεροι τύπων σκυροδεμάτων που έχουν εμφανιστεί διεθνώς τα τελευταία χρόνια, έτσι ώστε να γίνουν αντιληπτές οι τάσεις και οι ανάγκες της σύγχρονης εποχής.

Διακρίνουμε τρεις βασικές ομάδες σκυροδεμάτων :

Α. Σκυροδέματα με χρήση προϊόντων ανακύκλωσης και βιομηχανικών παραπροϊόντων

Πρόκειται για σκυροδέματα που περιέχουν στη σύνθεσή τους προϊόντα ανακύκλωσης ή βιομηχανικά παραπροϊόντα, ως υποκατάστατο των αδρανών, του τσιμέντου ή ως πρόσθετο υλικό στο μείγμα του σκυροδέματος. Αναλύονται τα σκυροδέματα με χρήση ΑΕΚΚ, φθαρμένων ελαστικών, υαλοθραύσματος, σκωρίας, ιπτάμενης τέφρας, τέφρας από φλοιό ρυζιού καθώς και τα σκυροδέματα με χρήση παραπροϊόντων χαρτοβιομηχανίας, βιομηχανίας ταπήτων, και βιομηχανίας πουλερικών. Παράλληλα παρουσιάζονται και περιπτώσεις χρήσης κάποιων εκ των προαναφερόμενων αποβλήτων /παραπροϊόντων στην παραγωγή του τσιμέντου.

Β. Ειδικά σκυροδέματα

Περιγράφονται πέντε κατηγορίες ειδικών σκυροδεμάτων με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται το σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, το ελαφροσκυρόδεμα, τα σκυροδέματα εξαιρετικά υψηλής απόδοσης, το διαπερατό σκυρόδεμα και το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.

Γ. Τα «έξυπνα» σκυροδέματα

Αναλύονται πέντε είδη «έξυπνων» σκυροδεμάτων, τα οποία αναπτύχθηκαν τα τελευταία χρόνια και αναπτύσσουν πολύ ιδιαίτερες και ενδιαφέρουσες ιδιότητες. Τα σκυροδέματα αυτά είναι: το αυτοϊάσιμο σκυρόδεμα, το φωτοδιαπερατό, το φωτοκαταλυτικό ή αυτοκαθαριζόμενο, το ηλεκτρικά αγώγιμο και τέλος το σκυρόδεμα που αντανακλά το φως.

II. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Σκυρόδεμα με χρήση ΑΕΚΚ

Η ανάγκη για αποτελεσματική διαχείριση του σκυροδέματος που αποτελεί το βασικό όγκο των αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) οδήγησαν αρχικά τους επιστήμονες στην ανακύκλωσή του με σκοπό την παρασκευή αδρανών. Τα ανακυκλωμένα αδρανή μπορούν να υποκαταστήσουν τα φυσικά αδρανή του σκυροδέματος. Χρησιμοποιούνται *ως υποκατάστατο των χονδρόκοκκων αδρανών* (Mehta & Monteiro, 2009; Μαυρίδου κ.ά, 2009) και μπορεί να είναι

είτε γνωστής (Σάββα, 2010) είτε άγνωστης προέλευσης, σύστασης και ηλικίας (Μαυρίδου κ.ά., 2009, 2010). Επίσης, για την παραγωγή κλίνκερ τσιμέντου, **η φαρίνα του τσιμέντου μπορεί να αντικατασταθεί από ανακυκλωμένα υλικά που προέρχονται από κατεδαφίσεις κτιρίων**. Τα ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος και τοιχοποιίας κρίνονται καταλληλότερα διότι η χημική και ορυκτολογική σύσταση τους παρουσιάζει ομοιότητα με τη σύσταση της φαρίνας του τσιμέντου (Γκαλμπένης, 2008).

Σκυρόδεμα με χρήση φθαρμένων ελαστικών αυτοκινήτων

Πολλές μελέτες έχουν γίνει με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση των ελαστικών στην τσιμεντοβιομηχανία και την παραγωγή σκυροδέματος. Από τις πρώτες προσπάθειες αξιοποίησης των φθαρμένων ελαστικών υπήρξε η **θερμική αξιοποίησή τους ως συμπληρωματικό καύσιμο στις τσιμεντοβιομηχανίες**.

Επιπλέον, το ανακυκλωμένο ελαστικό, παρουσιάζει ιδιαίτερα ικανοποιητικές ιδιότητες αν προστεθεί στο σκυρόδεμα σε κατάλληλη κοκκομετρία και ποσοστό, **ως μερικό υποκατάστατο των φυσικών αδρανών** (Zheng et al., 2008).

Τέλος, η Μαυρίδου (2010), μελέτησε τη χρήση του ανακυκλωμένου ελαστικού ως **πρόσθετο υλικό σε μίγματα σκυροδέματος**. Η προσθήκη λεπτόκοκκου ελαστικού έδωσε καλύτερα αποτελέσματα για το σύνολο των εξεταζόμενων ιδιοτήτων συγκριτικά με τις συνθέσεις που περιείχαν χονδρόκοκκο ελαστικό ειδικά ως προς τη διεύθυνση CI.

Σκυρόδεμα με χρήση υαλοθραύσματος: Το υαλόθραυσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως **υποκατάστατο των λεπτόκοκκων αδρανών στο σκυρόδεμα**. Σχετικές μελέτες έχουν δείξει ότι παρουσιάζονται πολύ καλύτερα αποτελέσματα ως προς την αναστολή της αλκαλοπυριτικής αντίδρασης με μερική αντικατάσταση των λεπτόκοκκων αντί των χονδρόκοκκων αδρανών. Ο Adaway (2015) παρατήρησε ότι η μεγαλύτερη θλιπτική αντοχή παρουσιάστηκε σε δοκίμια που περιείχαν έως 30% υαλόθραυσμα ως υποκατάστατο των λεπτόκοκκων αδρανών.

Επιπλέον, η σκόνη υαλοθραύσματος παρουσιάζει ποζολανικές ιδιότητες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως **υποκατάστατο του τσιμέντου**. Μελέτες έδειξαν ότι όταν το γυαλί αλέθεται μέχρι το μέγεθος των κόκκων του να γίνει ίδιο με το μέγεθος των κόκκων του τσιμέντου (15μm) (Peyvandi et al, 2013) και η σκόνη αυτή χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του τσιμέντου σε ποσοστό μεγαλύτερο από το 20% της μάζας του τσιμέντου, οι ποζολανικές αντιδράσεις καταστέλλουν την αλκαλοπυριτική αντίδραση (<http://www.concrete.org.uk/>, 2016).

Σκυρόδεμα με χρήση σκωρίας: Η σκωρία αποτελεί παραπροϊόν της μεταλλουργικής βιομηχανίας. Η αξιοποίηση της στις συνθέσεις σκυροδέματος, με τη **χρήση αδρανών σκωρίας**, επιφέρει προστασία των φυσικών πόρων. Επιπλέον, η **χρήση της σκωρίας ως συνδετικής κονίας** επιφέρει μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Χρησιμοποιείται επιτυχώς γιατί παρουσιάζει

ποζολανικές ιδιότητες και τα καλύτερα αποτελέσματα προέκυψαν για ποσοστό υποκατάστασης του τσιμέντου 20-30% (Παπαγιάννη & Αναστασίου, 2005).

Σκυρόδεμα με χρήση ιπτάμενης τέφρας

Η ιπτάμενη τέφρα (Εικόνα 1), λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε πυρίτιο και αργίλιο, **κρίνεται κατάλληλη για πρώτη ύλη στην παραγωγή τσιμέντου** και μπορεί να αντικαταστήσει την άργιλο ή το σχιστόλιθο προσφέροντας σημαντικά πλεονεκτήματα (Γκαλμπένης, 2008).

Επιπλέον, έχουν γίνει προσπάθειες για τη χρήση της ιπτάμενης τέφρας στην **παραγωγή αδρανών**. Η χρήση αυτών των αδρανών έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των ιδιοτήτων του σκυροδέματος (Mehta & Monteiro, 2009).

Η ιπτάμενη τέφρα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή σκυροδέματος ως **υποκατάστατο των αδρανών**. Με την αντικατάσταση αδρανών προκύπτει αύξηση της εργασιμότητας και το σκυρόδεμα είναι εύκολα αντλήσιμο (Γκαλμπένης, 2008).



Εικόνα 1 : Ιπτάμενη τέφρα (www.flyash.com, 2016)

Τέλος, η πιο διαδεδομένη χρήση της ιπτάμενης τέφρας είναι η **μερική αντικατάσταση του τσιμέντου Portland στην παραγωγή σκυροδέματος**. Τα ποσοστά αναπλήρωσης συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 20% έως 30%, αλλά μπορεί να είναι και πολύ υψηλότερα. Η ιπτάμενη τέφρα, καθώς ενυδατώνεται, αντιδρά ως ποζολάνη με τον ασβέστη του τσιμέντου και δημιουργεί ένα πολύ ανθεκτικό συνδετικό υλικό (<http://www.flyash.com>, 2016).

Σκυρόδεμα με χρήση τέφρας από φλοιό ρυζιού

Η τέφρα από φλοιό ρυζιού (ΤΦΡ), λόγω της λεπτότητας αλλά και της περιεκτικότητας της σε άμορφο πυρίτιο, οδήγησε τους επιστήμονες να μελετήσουν τη χρήση της και στον κατασκευαστικό τομέα (Αντίοχος κ.ά, 2009).

Οι πρώτες απόπειρες έγιναν από τον Mehta, ο οποίος χρησιμοποίησε την ΤΦΡ ως **υποκατάστατο του τσιμέντου** σε ποσοστό 30-50% και διαπίστωσε ότι το παραγόμενο σκυρόδεμα είχε αντοχή ίση ή και μεγαλύτερη από το δοκίμιο αναφοράς (Αντίοχος κ.ά, 2009). Επιπλέον και η **υποκατάσταση των αδρανών** από την τέφρα παρουσίασε ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα.

Επίσης, **με την προσθήκη της τέφρας απ'ευθείας στο σκυρόδεμα** σε ποσοστά από 10-30% κατά βάρος τσιμέντου, οι αντοχές άγγιζαν τα 70 MPa (Ampadu et al, 1999).

Σκυρόδεμα με χρήση παραπροϊόντων γαρτοβιομηχανίας

Ο Naik et al (2005), χρησιμοποίησαν ένα από τα βασικά

συστατικά της λάσπης των αποβλήτων που είναι οι ίνες κυτταρίνης ξύλου, ως **πρόσθετο στο μείγμα του σκυροδέματος**, με σκοπό να εκμεταλλευτούν την υψηλή εφελκυστική αντοχή τους, η οποία κυμαίνεται από 300 έως 900 MPa. Το σκυρόδεμα με τα ινώδη υπολείμματα παρουσίασε υψηλή αντίσταση σε ψύξη-απόψυξη και γι αυτό κρίθηκε κατάλληλο για περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες.

Επίσης, η χρήση της τέφρας ανακυκλωμένου χαρτιού σε συνδυασμό με σκωρία υψικαμίνου ως **υποκατάστατο του τσιμέντου** στο μείγμα του σκυροδέματος σε ποσοστό 20%, επέφερε ικανοποιητικά αποτελέσματα (Συγγούνας & Ματίκας, 2008).

Σκυρόδεμα με ίνες από απόβλητα βιομηχανιών ταπήτων
Έχουν γίνει μελέτες για χρήση των ινών από απόβλητα βιομηχανιών ταπήτων ως **πρόσθετο στο μείγμα του σκυροδέματος**. Για ποσοστά ινών που κυμαίνονται από 0.5 έως 2% αν και μειώνεται η θλιπτική αντοχή, τόσο η εφελκυστική όσο και η καμπτική αντοχή αυξάνονται (Mohammadhosseini & Abdul Awal, 2013).

Σκυρόδεμα με απόβλητα από βιομηχανίες πουλερικών
Οι Hamoush & El. Hawary (1994), προσπαθώντας να βελτιώσουν την ανθεκτικότητα και την αντοχή του σκυροδέματος, χρησιμοποίησαν ίνες από πούπουλα κότας σε ποσοστό 1, 2 και 3% κ.ό. ως **πρόσθετο στο μείγμα του σκυροδέματος**. Προέκυψε σκυρόδεμα ελαφρύτερο και ισχυρότερο σε κάμψη αλλά ασθενέστερο σε θλίψη και εφελκυσμό σε σύγκριση με το συμβατικά οπλισμένο σκυρόδεμα.
Επίσης, οι Manginsay & Guinita-Cabahug (2015), μελέτησαν την **αντικατάσταση μέρους των λεπτόκοκκων αδρανών του σκυροδέματος από πούπουλα κότας**. Μελετήθηκε η υποκατάσταση των λεπτόκοκκων αδρανών σε ποσοστό 5-40%. Για περιεκτικότητα μέχρι 10% προέκυψαν μείγματα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε μη δομικές εφαρμογές.

III. ΕΙΔΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ

Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής

Αυτού του είδους το σκυρόδεμα παρουσιάζει θλιπτική αντοχή μεγαλύτερη από 70MPa (<http://www.memphis.edu/ce/>, 2016). Παρασκευάζεται με την προσθήκη κατάλληλων προσμίκτων και το κύριο πλεονέκτημα που προκύπτει από τη χρήση του είναι η μείωση της ποσότητας του απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού (<http://www.concrete.org.uk>, 2016).

Ελαφροσκυρόδεμα

Αυτού του είδους το σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται από το χαμηλό του βάρος ενώ η αντοχή του αυξάνει ανάλογα με την πυκνότητα (Ρηγοπούλου κ.ά, 2003). Το βασικό του πλεονέκτημα είναι το μειωμένο βάρος της ανωδομής το οποίο οδηγεί σε χαμηλότερο κόστος θεμελίωσης και χάλυβα οπλισμού. Με βάση τα συστατικά που περιέχει και τον τρόπο παρασκευής του, διακρίνονται τρεις τύποι ελαφροσκυροδέματος:

- **Ελαφροσκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή**, στο οποίο τα φυσικά αδρανή αντικαθίστανται μερικώς ή στο

σύνολό τους από αδρανή με αυξημένο πορώδες και σχετικά μικρό ειδικό βάρος (Ρηγοπούλου κ.ά, 2003).

- **κνυελωτό ελαφροσκυρόδεμα**, το οποίο περιέχει εγκλωβισμένο αέρα ή αέριο και παρασκευάζεται με την εισαγωγή φυσαλίδων διαμέτρου 0.1-1mm στο τσιμεντοκονίαμα (<http://theconstructor.org/>, 2016).
- **ελαφροσκυρόδεμα χωρίς λεπτόκοκκα αδρανή**, το οποίο περιέχει αποκλειστικά χονδρόκοκκα αδρανή (μεγέθους 9-19mm) (<http://theconstructor.org/>, 2016).

Ινοπλισμένα σκυροδέματα εξαιρετικά υψηλής απόδοσης

Στα συγκεκριμένα σκυροδέματα η αντοχή, η πλαστικότητα και η ανθεκτικότητα είναι σημαντικά βελτιωμένες σε σχέση με τα απλά ινοπλισμένα σκυροδέματα (Mehta & Monteiro, 2009). Η βελτίωση αυτών των ιδιοτήτων μπορεί να επιτευχθεί είτε:

α) με την **αύξηση του ποσοστού των περιεχόμενων ινών**, όπως:

- **Σκυρόδεμα Ινοπλισμένου Τσιμεντοπολτού (SIFCON)**
- **Σκυρόδεμα Ινοπλισμένου «Τάπητα» (SIMCON)**
- **Μικρο-Οπλισμένο Σκυρόδεμα (DUCON)**
- **Συμπαγή Ενισχυμένα Σύνθετα Υλικά (CRC)**
- **Πολλαπλώς ενισχυμένο με ίνες σκυρόδεμα (MSFRC)**

β) με την **προσθήκη ειδικών κονιών** που μπορούν να επιφέρουν τα ίδια αποτελέσματα περιορίζοντας το ποσοστό των περιεχόμενων ινών. Το **σκυρόδεμα υπερδραστικής κονιάς (RPC)** χαρακτηρίζεται από την χρήση λεπτόκοκκων «ενεργών» κονιών, οι οποίες αντιδρούν χημικά με κάποιον τρόπο (Mehta & Monteiro, 2009).

Διαπερατό σκυρόδεμα

Χαρακτηριστικό του διαπερατού σκυροδέματος (Εικόνα 2) είναι το μεγάλο πορώδες, το οποίο επιτρέπει τη διαχείριση των ομβρίων υδάτων, την αποφυγή των πλημμυρικών απορροών καθώς και την αποφυγή της μόλυνσης των φυσικών υδατικών πόρων (Βαρδάκα, 2013).



Εικόνα 2: Διαπερατό σκυρόδεμα (www.tececo.com, 2016)

Αυτοσυμπακνόμενο σκυρόδεμα (SCC)

Το αυτοσυμπακνόμενο σκυρόδεμα έχει την ικανότητα να ρέει με μεγάλη ευκολία ανάμεσα από τους οπλισμούς και να εγχύεται σε οποιοδήποτε καλούπι (<http://www.selfconsolidatingconcrete.org>, 2016).

IV. Τα «έξυπνα» σκυροδέματα

Αυτοϊάσιμο σκυρόδεμα

Αυτού του είδους το σκυρόδεμα έχει την ικανότητα να επιδιορθώνει τις βλάβες που εμφανίζονται σε αυτό χωρίς να χρειάζεται εξωτερική παρέμβαση. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με τη βελτίωση του φυσικού μηχανισμού της αυτογενούς επουλωσης των ρωγμών (ECC) είτε με την προσθήκη σε αυτό κατάλληλων θεραπευτικών παραγόντων όπως: α) υδρογέλης β) καψουλών που περιέχουν θεραπευτικό παράγοντα και γ) βακτηρίων, έτσι ώστε οι ρωγμές να θεραπεύονται με αυτόνομο τρόπο μετά την εμφάνισή τους (Van Tittelboom & De Belie, 2013).

Φωτοδιαπερατό σκυρόδεμα

Στη μάζα του συγκεκριμένου σκυροδέματος (Εικόνα 3) προστίθενται οπτικές ίνες (γυάλινες ή πλαστικές) ή ρητίνες έτσι ώστε να επιτρέπεται η διέλευση του φωτός και να επιτυγχάνεται εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με σκοπό τη μείωση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας από άλλες πηγές. Επιπλέον, πρόκειται για ένα υλικό υψηλής αισθητικής σε αντίθεση με το γκρι αδιαφανές σκυρόδεμα (Paul & Dutta, 2013; Μαυρίδου και Σάββα, 2015).



Εικόνα 3 : Φωτοδιαπερατό σκυρόδεμα α) με οπτικές ίνες και β) με ρητίνες
α) www.Litracon.hu, β) www.italcementigroup.com

Φωτοκαταλυτικό ή αυτοκαθαριζόμενο σκυρόδεμα

Το συγκεκριμένο σκυρόδεμα περιέχει ως χρωστική ουσία διοξείδιο του τιτανίου TiO_2 , το οποίο του αποδίδει λευκό χρώμα και ταυτόχρονα έχει την ιδιότητα να αυτοκαθαρίζεται, μειώνοντας έτσι την ανάγκη συντήρησης. Ταυτόχρονα, αλλάζει και τη σύσταση των ρυπογόνων ρύπων της ατμόσφαιρας (<http://www.italcementigroup.com>, 2016).

Ηλεκτρικά αγωγήμο σκυρόδεμα

Αυτό το σκυρόδεμα περιέχει ένα ποσοστό ηλεκτρικά αγωγήμων συστατικών στο μείγμα του με σκοπό την επίτευξη σταθερής και σχετικά υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Λόγω της διαπερατότητας του ηλεκτρικού ρεύματος παράγεται θερμότητα. Βασικός λόγος επιπόησης του ήταν η απόψυξη των καταστρωμάτων των γεφυρών (<http://www.cement.org/>, 2016).

Σκυρόδεμα που αντανακλά το φως

Το σκυρόδεμα αυτό παράγεται με την ενσωμάτωση μικροσφαιριδίων γυαλιού στο σώμα του, επιτυγχάνοντας έτσι το συγκεκριμένο οπτικό φαινόμενο (<http://www.blingcrete.com>, 2016).

V. Συμπεράσματα

Ζητούμενο της τεχνολογίας σκυροδέματος σήμερα, εκτός από την αντοχή, είναι η ανθεκτικότητα στο χρόνο με ταυτόχρονη μέριμνα για την προστασία του περιβάλλοντος. Με αυτό το κριτήριο θα πρέπει πλέον οι μηχανικοί να επιλέγουν το τύπο σκυροδέματος που θα χρησιμοποιήσουν στην κατασκευή. Απαραίτητη προϋπόθεση βέβαια, αποτελεί η σωστή ενημέρωση για τα νέα σκυροδέματα, έτσι ώστε να χρησιμοποιείται το κατάλληλο είδος για κάθε περίπτωση. Ακόμη κι αν το αρχικό κόστος είναι μεγαλύτερο, θα πρέπει να εξετάζεται συνολικά ο κύκλος ζωής του σκυροδέματος, γιατί σε πολλές περιπτώσεις τα οφέλη που προκύπτουν αντισταθμίζουν την αρχική δαπάνη.

Στην Ελλάδα, δε συναντούμε όλα τα σκυροδέματα που παρουσιάστηκαν στην παρούσα διατριβή και δυστυχώς η οικονομική κρίση και η ύφεση του κατασκευαστικού τομέα δεν ευνοεί την ανάπτυξή τους. Παρόλα αυτά θα μπορούσε, τουλάχιστον σε επίπεδο εργαστηριακής έρευνας, να μελετηθεί η δυνατότητα ανάπτυξης και εφαρμογής τους στην χώρα μας, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη διαθεσιμότητα των υλικών όσο και τις απαιτήσεις των κατασκευών στον Ελλαδικό χώρο.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αντίοχος Σ., Φίλη Δ., Παπαδάκης Ε., Κυρίτση Α., Τζίμας Μ., Γκαλμπένης Χ. & Τσίμας Σ., (2009) “Παραγωγή σκυροδέματος με Ελληνική τέφρα φλοιού ρυζιού (ΤΦΡ). Προσεγγίσεις και προοπτικές, 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο-Αξιοποίηση βιομηχανικών παραπροϊόντων στη δόμηση, Αιανή Κοζάνης, ΤΕΕ-ΕΒΙΠΑΡ-ANKO A.E., 1-3 Ιουνίου.
- Βαρδάκα Γ., (2013). “Διαπερατό σκυρόδεμα : Ανάπτυξη, σχεδιασμός, μελέτη ιδιοτήτων και περιβαλλοντικά οφέλη”, Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ.
- Γκαλμπένης Χ., (2009). “Διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησης οικοδομικών απορριμμάτων στην παραγωγή κλίνκερ τσιμέντου”, Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ.
- Μαυρίδου Σ., Οικονόμου Ν., Γιάνναρης Κ & Παντούλα Σ., (2009). “Πειραματική προσέγγιση της χρήσης ανακυκλωμένων αδρανών βιομηχανικής επεξεργασίας στην παραγωγή νέου σκυροδέματος, Μέρος Γ”, 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο-Αξιοποίηση βιομηχανικών παραπροϊόντων στη δόμηση, Αιανή Κοζάνης, ΤΕΕ-ΕΒΙΠΑΡ-ANKO A.E., 1-3 Ιουνίου.
- Μαυρίδου Σ., (2010). “Αξιοποίηση ανακυκλωμένων ελαστικών αυτοκινητών σε ειδικών εφαρμογών κονιάματα και σκυροδέματα τσιμέντου ή ασφάλτου”, Διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ.
- Μαυρίδου Σ. & Σάββα Α., (2015). «Μηχανική αντοχή και ανθεκτικότητα φωτοδιαπερατού σκυροδέματος με συμβατικά και ανακυκλωμένα αδρανή», Πρακτικά 4^ο Πανελλήνιο Συνεδρίου Αξιοποίησης Βιομηχανικών Παραπροϊόντων στη Δόμηση (Ε.ΒΙ.ΠΑΡ.), Θεσσαλονίκη, 11-12 Ιουνίου
- Mehta K. & Monteiro P.,(2009). “Σκυροδέμα : Μικροδομή, ιδιότητες και υλικά”, Αθήνα, Κλειδάριθμος.
- Παπαγιάννη Ι. & Αναστασίου Ε. (2005). “Έλεγχος καταλληλότητας σκωρίας κάδου (ladge furnace slag) σαν συνδετική κονία για την παραγωγή σκυροδέματος”, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο για την Αξιοποίηση των Βιομηχανικών Παραπροϊόντων στη Δόμηση, ΕΒΙΠΑΡ, Θεσσαλονίκη, 24-26 Νοεμβρίου.
- Ρηγοπούλου-Κασελούρη Β., Φτίκος Χ. & Σχίζας Α., (2003). “Οδηγός Δομικών Υλικών-Πυράντοχα Υλικά και Πυράντοχα Συστήματα Δόμησης”, Αθήνα, ΤΕΕ.
- Σάββα Α., (2010). “Σκυροδέμα με ανακυκλωμένα αδρανή : Επίδραση της ομοιογένειας του σκυροδέματος προέλευσης”, Τεχνικά Χρονικά. Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, Νο 2.
- Συγγώνας Γ. & Ματίκας Θ., (2008). “Δημιουργία σκυροδέματος με τέφρα ανακυκλωμένου χαρτιού”, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου.
- Adaway M. & Wang Y., (2015), “Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in structural concrete – Effects on compressive strength”, *Electronic Journal of Structural Engineering*, Vol. 14, No 1, 116-122.

- Ampadu O., Torii, K. & Kawamura, M., (1999). "Beneficial effect of fly ash on chloride diffusivity of hardened cement paste". Cement and Concrete Research, Vol. 29, No.4, 585-590.
- Hamoush A. & El-Hawary M.,(1994). "Feather fiber reinforced concrete", *Concrete International*, Vol.16, No6, 33-35.
- Manginsay G. & Guinita-Cabahug R., (2015). "Chicken Feathers as Substitute for Fine Aggregates in Concrete", *Mindanao Journal of Science and Technology*, Vol 13, 109-131.
- Mohammadhosseini H. & , Abdul Awal A. (2013). "Physical and mechanical properties of concrete containing fibers from industrial carpet waste", *International Journal of Research in Engineering and Technology*, Vol.2, No12, pp.464-468.
- Naik T., Chun Y. & Kraus R., (2005). "Paper Industry Fibrous Residuals in Concrete and CLSM," Report No. CBU-2005-10, UWM Center for By-Products Utilization, Department of Civil Engineering and Mechanics, The University of Wisconsin-Milwaukee.
- Paul S. & Dutta A.,(2013). "Translucent Concrete", *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol 3, No 10.
- Peyvandi A., Soroushian P. & Nassar R. (2013). "Recycled Glass Concrete", *Concrete International*, January, 29-32.
- Van Tittelboom K. & De Belie N. (2013). 'Self-Healing in Cementitious Materials-A Review', *Materials* ,Vol.6, No 6, 2182-2217.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- <http://www.blingcrete.com>, τελευταία πρόσβαση 20/6/2016
- <http://www.cement.org/>, τελευταία πρόσβαση 20/6/2016
- <http://www.concrete.org.uk/>, τελευταία πρόσβαση 20/6/2016
- <http://www.flyash.com>, τελευταία πρόσβαση 20/6/2016
- <http://www.italcementigroup.com>, τελευταία πρόσβαση 20/6/2016
- <http://www.memphis.edu/ce/>, τελευταία πρόσβαση 20/6/2016
- <http://www.selfconsolidatingconcrete.org>, τελευταία πρόσβαση 20/6/2016
- <http://theconstructor.org/>, τελευταία πρόσβαση 20/6/2016