

Πειραματική διερεύνηση των μηχανικών χαρακτηριστικών του φέροντος κισηροδέματος

Βασίλης Καλοϊδίας

Προϊστάμενος ποιότητας αδρανών και σκυροδέματος, ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ,
vasilis.kaloidas@lafargeholcim.com

Χαράλαμπος Κουρής

Διευθυντής Τεχνικής Υποστήριξης Πωλήσεων, ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ,
charalampos.kouris@lafargeholcim.com

Γιώργος Μάνος

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., gmanos007@gmail.com

Χρήστος Ζέρης

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π., zeris@central.ntua.gr

Εκτενής περίληψη

Το ελαφροσκυρόδεμα (ΕΔ) είναι ένα ελαφροβαρές κατασκευαστικό υλικό γνωστό που παράγεται με μερική έως ολική αντικατάσταση των αδρανών με φυσικά ή τεχνητά ελαφρά αδρανή (ΕΑ). Στην Ελλάδα, το ΕΔ παράγεται με αντικατάσταση των ασβεστολιθικών αδρανών με κίσηρη (κισηρόδεμα, ΚΔ), διογκωμένη πολυστερίνη, διογκωμένο περλίτη (περλομπετόν), ενώ ερευνώνται και άλλα ΕΑ, όπως η διογκωμένη άργιλος και η ιπτάμενη τέφρα. Σε αντίθεση με τα άλλα τεχνητά ΕΑ, η κίσηρη είναι φυσικό ηφαιστειογενές υλικό που εξορύσσεται στη χώρα, για την διόγκωση του οποίου δεν απαιτείται θερμική ενέργεια.

Αν και η χρήση του ΕΔ σε κατασκευές είναι γνωστή από την αρχαιότητα, οι πρώτες σύγχρονες εφαρμογές φέροντος οπλισμένου ΕΔ αναφέρονται κατά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο στις ΗΠΑ για τη ναυπήγηση πλοίων, τμήματα των οποίων υπάρχουν ακόμη σε κοινή πρόσβαση και έλεγχο για ανθεκτικότητα στα χλωριόντα (Fidjestol, 2004). Οι επιδόσεις του δομικού ΕΔ σε αυτή την εφαρμογή οδήγησαν στη συνέχεια στην εκτεταμένη χρήση του για την κατασκευή κτηρίων και γεφυρών. Σημαντικές μελέτες για τις εφαρμογές του δομικού ΕΔ, κυρίως με ορυκτής προέλευσης τεχνητά ΕΑ, έχουν γίνει από χώρες της ΕΕ και από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα EuroLightCon (1988).

Η χρήση του ΕΔ στην Ελλάδα είναι διαδεδομένη για μη φέρουσες εφαρμογές (γεμίσματα, σκυροδέματα ρύσεων) όπου δεν απαιτείται φέρουσα ικανότητα ενώ απαιτούνται χαμηλά ειδικά βάρη. Η χρήση του ΚΔ για δομική χρήση έχει διερευνηθεί σε διάφορες ερευνητικές εργασίες τμηματικά, μέσω της διερεύνησης εναλλακτικών συνθέσεων είτε μέσω μεμονωμένων πειραματικών αποτελεσμάτων σε δομικά στοιχεία, σε ΚΔ σχετικά μικρού ποσοστού αντικατάστασης και, άρα, αντίστοιχης μείωσης του ειδικού του βάρους. Εν τούτοις, η χρήση ΚΔ με μειωμένο ίδιο βάρος, σε μια χώρα όπου η σεισμική καταπόνηση των δομημάτων, σε μεγάλο αριθμό περιπτώσεων, είναι ο κύριος παράγων διαστασιολόγησης αυτών, δεν έχει διερευνηθεί συστηματικά με αποτέλεσμα να υπάρχουν ουσιαστικά κενά που δεν διευκολύνουν την ευρεία εφαρμογή του στη δόμηση.

Για τη διευκόλυνση της δυνατότητας εφαρμογής του ΚΔ στη δόμηση εκπονήθηκε ένα ευρύ Ερευνητικό πρόγραμμα από την ΑΓΕΤ Ηρακλής ΑΕ σε συνεργασία με το Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος ΕΜΠ (ΕΟΣ ΕΜΠ) και χρηματοδότηση από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΠΑΒΕ 2013). Μέρος του αντικειμένου του ερευνητικού έργου, το οποίο και παρουσιάζεται στην παρούσα ερευνητική εργασία, είναι: α) η εκπόνηση εναλλακτικών συνθέσεων ΚΔ με χαμηλό ειδικό βάρος, β) η παραγωγή τους σε εργαστηριακή και βιομηχανική κλίμακα και γ) η διερεύνηση των μηχανικών χαρακτηριστικών και της ανθεκτικότητας του ΚΔ (716 ΒΕΤ-2013, 2015).

Στα πλαίσια αυτά, καθώς η μέχρι τώρα εμπειρία αφορά ΕΔ ή ΚΔ ειδικότερα μέσου ειδικού βάρους (περίπου στα 1800 Kg/m^3), παρασκευάζονται και διερευνώνται στο ΕΚΕΤ και/ή στο ΕΟΣ ΕΜΠ εναλλακτικές εργαστηριακές συνθέσεις από ΚΔ με ξηρό ειδικό βάρος 1400 έως 1600 Kg/m^3 , και κατηγορίες αντοχής (κατά EN1992-1 και EN206) LC22 και LC35, αντίστοιχα. Από την ομάδα αυτή προκρίνονται και διερευνώνται εργαστηριακά και σε βιομηχανική παραγωγή τέσσερις συνθέσεις ΚΔ: α) ΚΔ με πλήρη αντικατάσταση των ασβεστολιθικών αδρανών, β) ΚΔ με μερική προσθήκη ασβεστολιθικής άμμου, γ) –δ) ως άνω, με προσθήκη χαλύβδινων ινών (40 και 60 Kg/m^3 , αντίστοιχα). Όλες οι εν λόγω συνθέσεις χρησιμοποιήθηκαν για τη βιομηχανική παραγωγή σε μονάδα εργοστασιακού σκυροδέματος της ΑΓΕΤ ΑΕ, δομικών στοιχείων φυσικής κλίμακας (δοκοί, υποστυλώματα, στοιχεία ελέγχου διεπιφάνειας), τα οποία και δοκιμάστηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού έργου στο ΕΟΣ ΕΜΠ και δεν αποτελούν αντικείμενο της παρούσης.

Για τις εν λόγω συνθέσεις, αποτιμώνται πειραματικά τόσο στη φάση της εργαστηριακής μελέτης σύνθεσης όσο και στη βιομηχανική παραγωγή τα χαρακτηριστικά του ΚΔ (ινοπλισμένου ή μη), και τα οποία περιλαμβάνουν: για μεν το νωπό, ελέγχους εργασιμότητας και αντλησιμότητας, για δε το σκληρωμένο, θλιπτική αντοχή και λόγος αντοχής κύβου / κυλίνδρου, πρώιμη θλιπτική αντοχή και εξέλιξη αυτής στο χρόνο, εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη και σε κάμψη, τέμνον μέτρο ελαστικότητας και λόγος του Poisson. Επί πλέον, για τα ινοπλισμένα ΚΔ, αποτιμώνται οι δείκτες δυσθραυστότητας μέσω δοκιμών κάμψης πρισματικών δοκιμίων και πλακών τετράγωνης κάτοψης, υπό εγκάρσια σημειακή φόρτιση. Επί πλέον, γίνεται πειραματική διερεύνηση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος των εν λόγω συνθέσεων, μέσω δοκιμών διείδυσης χλωριόντων, ενανθράκωσης και διαπερατότητας.

Παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα χαρακτηρισμού του υλικού και συγκρίνονται με τα προβλεπόμενα από τις διατάξεις του EN1992-1-1 για το σχεδιασμό και τις Κατηγορίες αντοχής και Έκθεσης του EN206. Επί πλέον, γίνονται συγκρίσεις και με τα αντίστοιχα σκυροδέματος συμβατικού ειδικού βάρους και αντίστοιχης κατηγορίας αντοχής, τόσο άοπλου όσο και ινοπλισμένου. Αποδεικνύεται ότι το ΚΔ συμπεριφέρεται όπως προβλέπεται από τα εν λόγω Κανονιστικά πρότυπα υλικών και σχεδιασμού και έχει πολύ ικανοποιητική συμπεριφορά (έως και καλύτερη) σε ανθεκτικότητα και ενεργειακή απορρόφηση σε κάμψη, παρουσία ινόπλισης.

Ακολούθως, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μίας τεχνο-οικονομικής ανάλυσης, η οποία στοχεύει, με βάση και τις ιδιότητες του ΚΔ (σχέση ειδικού βάρους, αντοχής και μέτρου ελαστικότητας), να διερευνήσει τα όρια εφαρμογής του υλικού στη δόμηση, για μια συνήθη πενταώροφη κατασκευή χρήσης κατοικίας από ΚΔ και σκυρόδεμα κανονικού βάρους (ΣΚΒ) σε σεισμική ζώνη II. Το κτίριο μελετάται σύμφωνα με τους ισχύοντες Κανονισμούς (EN1992-1-1, 2004 και EN1998-1, 2004) θεωρώντας ΚΔ με διαφορετικό βάρος και αντοχή, σύμφωνα με τον EN 1992-1-1.

Συμπεραίνεται ότι σε κατασκευές ΚΔ με μικρά σχετικά κινητά φορτία κατοικίας, η διαστασιολόγηση του φορέα είναι σε μεγάλο βαθμό ένα πρόβλημα ελέγχων βέλους (λόγω μείωσης του μέτρου

ελαστικότητας). Αντίθετα με το ΣΚΒ, όπου ο σχεδιασμός ελέγχεται πρωτίστως από την αστοχία, στο ΚΔ ο έλεγχος αστοχίας δεν αποτελεί για συνήθη ανοίγματα και ύψη ουσιαστικό παράγοντα στην επιλογή των διατομών. Επί πλέον, η μελέτη ευαισθησίας έδειξε ότι υπάρχει ένα κάτω όριο του ειδικού βάρους του ΚΔ που μπορεί να επιλεγεί για δεδομένη διάσταση (άνοιγμα), κάτω από το οποίο ο φορέας από ΚΔ παύει να ικανοποιεί τους ελέγχους βέλους λειτουργίας, και άρα δεν προκύπτει περαιτέρω μείωση διατομής

Βιβλιογραφία

- EN1992-1-1 Ευρωκώδικας 2. Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα. Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια, CEN, Βρυξέλλες, 2004.
- EN1998-1-1 Ευρωκώδικας 8. Σχεδιασμός κατασκευών για σεισμό. Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια, CEN, Βρυξέλλες, 2004.
- 716 BET-2013, (2015), Δομικό ελαφροσκυρόδεμα υψηλής επιτελεστικότητας με κίσηρη, Τελικές Εκθέσεις των Ερευνητικών εργασιών.
- EuroLightCon, (1998), Definitions and International Consensus Report, in Economic Design and Construction with Light Weight Aggregate Concrete.
- Fidjestol P., (2004), Lightweight Concrete in the Marine Environment, in: J. Ries and T. Holm eds., High-Performance Structural Lightweight Concrete, ACI SP 218, Farmington Hills, MI.