

ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΔΑΠΕΔΑ

Ιωάννα Παπαγιάννη

Καθηγήτρια, Εργαστήριο Δομικών Υλικών Α.Π.Θ.

Ελευθέριος Αναστασίου

Πολιτικός Μηχανικός MSc, Εργαστήριο Δομικών Υλικών Α.Π.Θ.

Μιχάλης Παπαχριστοφόρου

Πολιτικός Μηχανικός, Εργαστήριο Δομικών Υλικών Α.Π.Θ.

Ιωάννης Τσιπτσής

Πολιτικός Μηχανικός, Εργαστήριο Δομικών Υλικών Α.Π.Θ.

Μαρία Μπέλλα

Πολιτικός Μηχανικός, Εργαστήριο Δομικών Υλικών Α.Π.Θ.

Λέξεις κλειδιά: Βιομηχανικά παραπροϊόντα, αδρανή σκωρία, σκωρία κάδου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία προτείνεται ένα ανθεκτικό, οικονομικό σκυρόδεμα, χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις για την εφαρμογή του με τη χρήση σκωριών χαλυβουργίας τόσο ως αδρανή όσο και ως κονία. Λόγω των χαρακτηριστικών των αδρανών της σκωρίας (μεγάλο ειδικό βάρος, μεγάλη ειδική επιφάνεια) παράγεται ένα βαρύ, συνεκτικό, υψηλής αντοχής σκυρόδεμα, ανθεκτικό στην επιφανειακή φθορά. Με ταυτόχρονη αντικατάσταση των χονδρόκοκκων ασβεστολιθικών αδρανών με αδρανή σκωρίας και μέρους του τσιμέντου με σκωρία κάδου επιτυγχάνονται ικανοποιητικές αντοχές και οικονομία πρώτων υλών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα βιομηχανικά δάπεδα παρουσιάζουν ειδικές απαιτήσεις σχετικά με την αντοχή σε τριβή και την ανθεκτικότητά τους και οι λύσεις που επιλέγονται αφορούν συνήθως σκυροδέματα υψηλού κόστους με την εφαρμογή εξειδικευμένων τεχνικών (Neville, 1996). Στους βιομηχανικούς και στους αποθηκευτικούς χώρους η απαίτηση για βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες και ανθεκτικότητα σε χημική προσβολή, σε συνδυασμό με το συνολικό κόστος, αποτελούν τις βασικότερες παραμέτρους σχεδιασμού των δαπέδων (Mehta, 2006). Στους χώρους αυτούς οι μετακινήσεις φορτίων, οι πτώσεις αντικειμένων, οι κινήσεις τροχήλατου εξοπλισμού και οχημάτων, οι διαρροές κάθε είδους υγρών (νερό, λιπαντικά, καύσιμα, διαλύτες, οξέα κτλ.) ή η ανάγκη συχνής χρήσης χημικών καθαριστικών και απολυμαντικών και η τριβή κατά τη μετακίνηση αντικειμένων με ολίσθηση, αποτελούν

καθημερινή πρακτική και δημιουργούν ποικίλα προβλήματα στα δάπεδα (Cook, 2001). Η χρήση βιομηχανικών παραπροϊόντων στα δάπεδα από σκυρόδεμα μπορεί να δώσει τεχνικοοικονομικές λύσεις (Dumitru et al, 2000) σε αυτές τις ειδικές απαιτήσεις και να συμβάλλει στην αειφόρο ανάπτυξη της κατασκευαστικής βιομηχανίας (Motz and Geiseler, 2001).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η πρόταση ενός ανθεκτικού, οικονομικού σκυροδέματος, χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις για την εφαρμογή του, ως μια εναλλακτική πρόταση στις συνήθεις πρακτικές. Το προτεινόμενο σκυρόδεμα θα πρέπει να είναι σε θέση να αποτελέσει βιομηχανικό δάπεδο από μόνο του χωρίς μέσου ή μικρού πάχους επιστρώσεις από οργανικά (ρητίνες) ή ανόργανα (τσιμεντούχα) υλικά ως τελείωμα.

Λαμβάνοντας υπόψη τις φυσικομηχανικές ιδιότητες των υλικών, αλλά και τις φυσικομηχανικές ιδιότητες των υλικών επιλέχθηκε αντικατάσταση μέρους των πρώτων υλών της σύνθεσης σκυροδέματος με βιομηχανικά παραπροϊόντα και συγκεκριμένα με σκωρίες χαλυβουργίας ως αδρανή (EAF slag) και ως κονία (ladle furnace slag). Τα αδρανή σκωρίας συμμετείχαν είτε σε αντικατάσταση του χονδρόκοκκου κλάσματος του μίγματος αδρανών είτε σε αντικατάσταση όλων των κλασμάτων του μίγματος, ενώ η κονία σκωρίας κάδου σε ποσοστό αντικατάστασης 30% του τσιμέντου Portland I42.5.

2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Για την ορθή ενσωμάτωση των νέων υλικών στο σκυρόδεμα είναι απαραίτητο να ελεγχθούν αρχικά κάποιες από τις ιδιότητές τους. Σημειώνεται ότι η καταλληλότητα των υλικών ως αδρανών είχε προηγουμένως ελεγχθεί στο Εργαστήριο Δομικών Υλικών Α.Π.Θ. (Αναστασίου & Παπαγιάννη, 2005).

2.1 Αδρανή υλικά

Τα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν για τις συνθέσεις σκυροδέματος ήταν αδρανή σκωρίας (EAF steel slag, προερχόμενα από τη χαλυβουργία ΣΙΔΕΝΟΡ), θραυστά ασβεστολιθικά και φυσικά αδρανή (άμμος ποταμού).

Πίνακας 1. Εργαστηριακοί έλεγχοι λεπτόκοκκων αδρανών

Υλικό	Ποσοστό Παιπάλης (%)	Μέτρο λεπτότητας	Υδαταποροφητικότητα (%)	Φαιν. ειδικό βάρος (kg/m ³)
Ασβεστολιθική άμμος	4.5	3.4	0.71	2650
Άμμος ποταμού	2.0	2.8	1.35	2680
Άμμος σκωρίας	0.5	4.2	3.16	3358

Πίνακας 2. Εργαστηριακοί έλεγχοι χονδρόκοκκων αδρανών

Υλικό	Πυκνότητα μονάδας όγκου (kg/m ³)	Φαιν. ειδικό βάρος (kg/m ³)
Σκωρία	1532	3333
Θραυστά ασβεστολιθικά	1448	2650

Για την ορθή σύνθεση των αδρανών έγινε σειρά εργαστηριακών ελέγχων για τον προσδιορισμό κάποιων φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των αδρανών και συγκεκριμένα του ποσοστού παιπάλης, του μέτρου λεπτότητας, της υδαταπορροφητικότητας και του φαινόμενου ειδικού βάρους των λεπτόκοκκων, και της πυκνότητας μονάδας όγκου και του φαινόμενου ειδικού βάρους των χονδρόκοκκων (Πίνακες 1 & 2).

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η άμμος της σκωρίας είναι σχετικά χονδρόκοκκη οπότε και επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με φυσική άμμο σε αναλογία 50%. Η μεγάλη τιμή της απορροφητικότητας της σκωρίας οφείλεται στην πορώδη μορφή της σκωρίας και οδηγεί σε κατάλληλη αναπροσαρμογή της σύνθεσης σκυροδέματος ώστε να μη μειωθεί ο επιθυμητός λόγος νερού προς κονία.

2.2 Κονίες

Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε ήταν κατηγορίας CEM I42.5 N, σύμφωνα με τον EN 197-1, με φαινόμενο ειδικό βάρος 3140 kg/m³, ενώ σε κάποιες συνθέσεις χρησιμοποιήθηκε σκωρία κάδου (ladle furnace slag) ως κονία, με φαινόμενο ειδικό βάρος 2590 kg/m³.

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά σκωρίας κάδου

	Διαλυτά σε οξέα	Διαλυτά σε HCl 0.1 N	
Na ₂ O	0.34	0,03	
K ₂ O	0.04	0,01	
CaO	54.1	52,7	
MgO	5.55	5,12	
FeO	1.72	1,25	
Al ₂ O ₃	2.50	2,47	
SiO ₂	32.5	26,4	
Υδατοδιαλυτά άλατα (% κ.β.)	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻
	0.03	0	0,21
Απώλεια Πύρωσης (950°C) (%)	3.19		
Απώλεια Πύρωσης (550°C) (%)	2.62		
Λεπτότητα άλεσης	<75μm		
Φαιν. ειδικό βάρος (kg/m ³)	2590		

Η σκωρία κάδου είναι επίσης προϊόν της παραγωγικής διαδικασίας παραγωγής χάλυβα, κατά τη δεύτερη φάση επεξεργασίας της πρώτης ύλης, και έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά από τη σκωρία που χρησιμοποιείται ως αδρανές (Παπαγιάννη & Αναστασίου, 2005), όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.

3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Οι βασικές παράμετροι στο σχεδιασμό των συνθέσεων σκυροδέματος είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο ($\leq 300 \text{ kg/m}^3$), ο χαμηλός λόγος νερού προς κονία (≤ 0.50) και ο μέγιστος κόκκος αδρανών ($=31.5\text{mm}$). Αρχικά έγιναν δύο δοκιμαστικές συνθέσεις (Α με ασβεστολιθικά αδρανή και Β με αδρανή σκωρίας) με περιεκτικότητα σε τσιμέντο 300 kg/m^3 και λόγο νερού προς τσιμέντο 0.40. Τα χαρακτηριστικά των συνθέσεων αυτών φαίνονται στον Πίνακα 4, όπως και κάποιες ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος.

Πίνακας 4. Δοκιμαστικές συνθέσεις σκυροδέματος

Υλικό	Σύνθεση Α (kg/m^3)	Σύνθεση Β (kg/m^3)
Τσιμέντο CEM I 42.5 N	300	300
Άμμος ποταμού	-	452
Άμμος σκωρίας	-	452
Ασβεστολιθική άμμος	626	-
Χονδρόκοκκα ασβεστολιθικά	1461	-
Χονδρόκοκκα σκωρίας	-	1607
Νερό	120	120
Ρευστοποιητής	2.1	3.0
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Λόγος Ν/Τ	0.40	0.40
Ρευστοποιητής κ.β. του τσιμέντου	0.71%	1.00%
Εργασιμότητα κατά Vebe	17s	15s

Με βάση τη συνεκτικότητα και τα αποτελέσματα των αντοχών των δοκιμαστικών συνθέσεων και παλαιότερων αντίστοιχων συνθέσεων (Papayianni & Anastasiou, 2005), αποφασίστηκε στις επόμενες συνθέσεις η περιεκτικότητα της κονίας να μειωθεί σε 270 kg/m^3 (λόγω ικανοποιητικών αντοχών) και ο λόγος νερού προς κονία να αυξηθεί σε 0.52 (λόγω μειωμένης εργασιμότητας). Επίσης, λόγω της μειωμένης συνεκτικότητας των μιγμάτων με αδρανή σκωρίας αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί μόνο το χονδρόκοκκο κλάσμα αδρανών σκωρίας.

Πίνακας 5. Τελικές εργαστηριακές συνθέσεις σκυροδέματος

Υλικό	Σύνθεση ΑΣΒ (kg/m ³)	Σύνθεση ΣΚΩ (kg/m ³)	Σύνθεση ΤΣΙΜ (kg/m ³)
Τσιμέντο CEM I 42.5 N	270	270	190
Σκωρία κάδου	-	-	80
Ασβεστολιθική άμμος	614	702	698
Ασβεστολιθικά χονδρόκοκκα	1433	-	-
Χονδρόκοκκα σκωρίας	-	1,638	1630
Νερό	140	140	140
Ρευστοποιητής	1.35	1.80	2.15
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος			
Αντικατάσταση τσιμέντου	-	-	30%
Λόγος Ν/Τ	0.52	0.52	0.52
Ρευστοποιητής κ.β. του τσιμέντου	0.50%	0.67%	0.80%
Εργασιμότητα κατά Vebe	10s	12s	9s

Τέλος, επιλέχθηκε να γίνει μια επιπλέον σύνθεση όπου ποσοστό 30% του τσιμέντου της κονιάς αντικαθίσταται με σκωρία κάδου ώστε να μεγιστοποιηθεί η ωφέλεια από τη χρήση παραπροϊόντων. Έτσι, προέκυψαν τρεις νέες εργαστηριακές συνθέσεις που φαίνονται στον Πίνακα 5, όπως και τα χαρακτηριστικά του νωπού σκυροδέματος.

Η μέτρηση της εργασιμότητας έγινε με τη δοκιμή Vebe, κατάλληλη για ύφυγρα σκυροδέματα και στόχος ήταν ένας χρόνος μεταξύ 10 και 20 δευτερολέπτων. Ο ρευστοποιητής που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις συνθέσεις ήταν GLENIUM 51 και η χρήση του προσαρμόστηκε ώστε να επιτευχθεί σε κάθε περίπτωση ο στόχος της εργασιμότητας.

Από τις τρεις τελικές συνθέσεις κατασκευάστηκαν κυβικά (15x15x15 cm), κυλινδρικά (15x30 cm) και πρισματικά δοκίμια (10x10x40 cm), καθώς και πλάκες σκυροδέματος (10x40x45 cm) για τους εργαστηριακούς ελέγχους.

4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

Αρχικά μετρήθηκαν οι μηχανικές αντοχές των δύο δοκιμαστικών συνθέσεων (Α και Β) και συγκεκριμένα η αντοχή σε θλίψη και η αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη (Πίνακας 6).

Πίνακας 6. Εργαστηριακοί έλεγχοι λεπτόκοκκων αδρανών

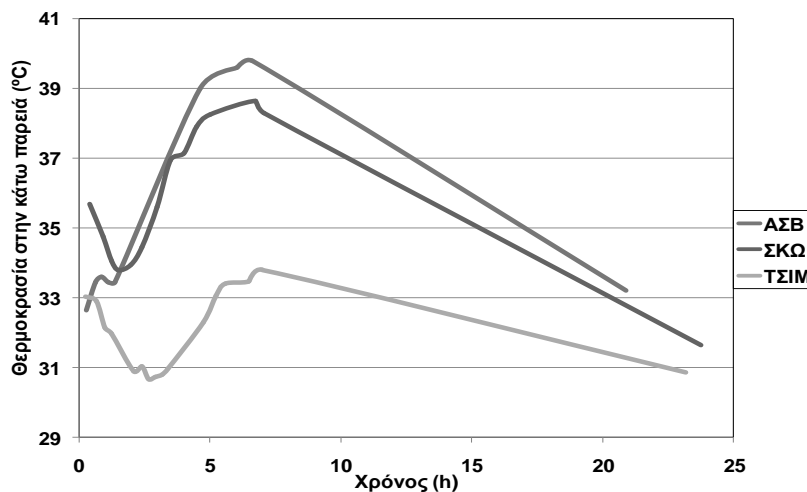
Σύνθεση	Θλιπτική αντοχή (MPa)	Αντοχή σε διάρρηξη (MPa)	Φαιν. ειδικό βάρος (kg/dm ³)
A (ασβεστολιθικά αδρανή)	51.8	4.44	2552
B (αδρανή σκωρίας)	68.2	3.92	2824

Οι τιμές της θλιπτικής αντοχής και στις δύο περιπτώσεις είναι μεγαλύτερες από 50 MPa, δηλαδή ουσιαστικά πρόκειται για σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, κι επομένως ήταν δυνατή μια μείωση της τελικής αντοχής με το σχεδιασμό ενός περισσότερο οικονομικού μίγματος. Έτσι, στις τελικές συνθέσεις αποφασίστηκε η μείωση της περιεκτικότητας σε τσιμέντο σε 270 kg/m³, και ειδικά στην τρίτη σύνθεση (ΤΣΙΜ) επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί σκωρία κάδου σε αντικατάσταση 30% κ.β. του τσιμέντου, στοχεύοντας στο μέγιστο δυνατό οικονομοτεχνικό όφελος.

Τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν από τις τρεις τελικές συνθέσεις ελέγχθηκαν εργαστηριακά ως προς τη θερμότητα ενυδάτωσής τους, τις φυσικομηχανικές ιδιότητές τους (αντοχή σε θλίψη, κάμψη, και διάρρηξη, αντοχή σε απότριψη) και τη μικροδομή τους.

4.1 Θερμότητα ενυδάτωσης

Για τη μέτρηση της θερμότητας ενυδάτωσης των σκυροδεμάτων χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια σκυροδέματος σε μορφή πλακών (10x40x45 cm), όπου καταγράφηκαν οι θερμοκρασιακές μεταβολές στην κάτω παρειά της κάθε πλάκας πλάκας.



Εικόνα 1. Θερμοκρασιακή μεταβολή στην κάτω παρειά πλάκας σκυροδέματος.

Οι θερμοκρασίες που αναπτύχθηκαν για κάθε σύνθεση φαίνονται στην Εικόνα 1, όπου είναι εμφανές, όσο και αναμενόμενο ότι με τη χρήση της σκωρίας κάδου, μιας εναλλακτικής κονιάς που αντιδρά με βραδύτερο ρυθμό από το τσιμέντο, σε ποσοστό 30% (σύνθεση ΤΣΙΜ) μειώνεται η θερμότητα ενυδάτωσης στο μίγμα σκυροδέματος.

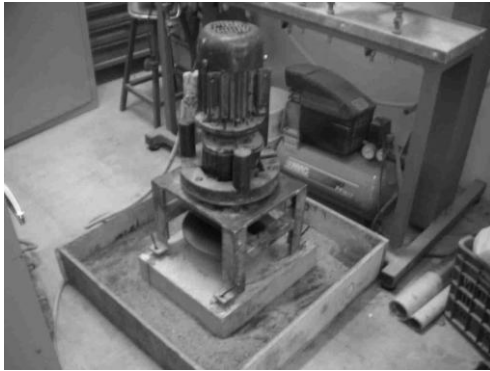
4.2 Φυσικομηχανικές ιδιότητες

Ο έλεγχος αντοχής σε θλίψη διενεργήθηκε σε κυβικά δοκίμια ακμής 15 cm (4 για κάθε σύνθεση), ο έλεγχος αντοχής σε διάρρηξη σε κυλινδρικά διαστάσεων 15x30 cm (τρία για κάθε σύνθεση) και ο έλεγχος αντοχής σε κάμψη σε πρισματικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x40 cm (3 για κάθε σύνθεση). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον Πίνακα 7. Από τα αποτελέσματα είναι εμφανές ότι η αντικατάσταση των χονδρόκοκκων ασβεστολιθικών αδρανών με αδρανή σκωρίας επιφέρει σημαντική αύξηση στις μηχανικές αντοχές του σκυροδέματος (πάνω από 40%), ενώ η ταυτόχρονη αντικατάσταση 30% του τσιμέντου της κονιάς με σκωρία κάδου δίνει ένα σκυρόδεμα αντίστοιχης αντοχής με το αρχικό.

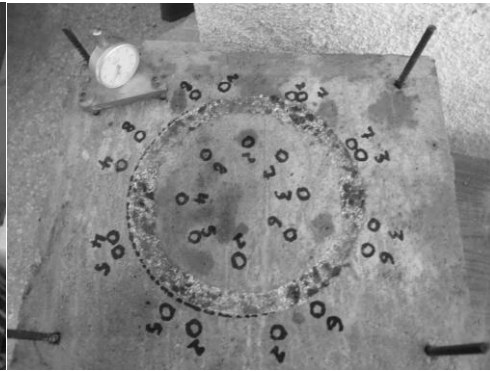
Οι εργαστηριακές συνθέσεις ελέγχθηκαν, επίσης, ως προς την αντοχή τους σε απότριψη σύμφωνα με την τροποποιημένη προδιαγραφή ASTM C779 (Εικόνα 2). Η δοκιμή διενεργήθηκε σε πλάκες σκυροδέματος διαστάσεων 10x40x45 cm, όπου μετρήθηκε το βάθος της αυλάκωσης μετά από 20' απότριψης (Εικόνα 3). Τα αποτελέσματα της δοκιμής παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7. Μηχανικές αντοχές τελικών εργαστηριακών συνθέσεων

Σύνθεση	Θλιπτική αντοχή (MPa)	Αντοχή σε διάρρηξη (MPa)	Αντοχή σε κάμψη (MPa)	Αντοχή σε απότριψη (mm)
ΑΣΒ (ασβεστολιθικά αδρανή, 100% τσιμέντο)	42.2	3.35	6.95	2.401
ΣΚΩ (χονδρ. αδρανή σκωρίας, 100% τσιμέντο)	60.1	4.58	9.40	1.002
ΤΣΙΜ (χονδρ. αδρανή σκωρίας, 70% τσιμέντο+30% σκωρία)	45.5	3.67	6.98	1.199



Εικόνα 2. Έλεγχος αντοχής σε απότριψη.



Εικόνα 3. Μέτρηση βάθους αλάκωσης

Από τα αποτελέσματα της δοκιμής απότριψης φαίνεται ότι τα σκληρά αδρανή σκωρίας βελτιώνουν σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος, ενώ η προσθήκη της κονιάς σκωρίας δε διαφοροποιεί σημαντικά το θετικό αποτέλεσμα, κάτι αναμενόμενο άλλωστε, αφού η ανθεκτικότητα σε απότριψη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα χονδρόκοκκα αδρανή.

Τέλος, έγινε μικροσκοπική παρατήρηση του σκυροδέματος με αδρανή σκωρίας με σκοπό τον έλεγχο της μικροδομής του. Γενικά δεν παρατηρήθηκαν αποκολλήσεις αδρανών και εμφανίστηκε ισχυρή πρόσφυση με την τσιμεντόπαστα κυρίως για τα σκωριούχα αδρανή (Εικόνα 4). Παρατηρήθηκαν κατά τόπους χρωματικές αλλοιώσεις (κηλίδες) στην επιφάνεια των αδρανών σκωρίας και συγκεντρώσεις αλάτων μέσα στα κενά της δομής (Εικόνα 5). Τέλος, τα κενά γενικά ήταν σε μικρό ποσοστό (1-3%) και με διάμετρο 700-900μm.



Εικόνα 4. Καλή πρόσφυση αδρανών σκωρίας-τσιμεντόπαστας



Εικόνα 5. Συγκεντρώσεις αλάτων σε κενά των αδρανών σκωρίας

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η ερευνητική αυτή εργασία στοχεύει στην πρόταση ενός εναλλακτικού βιομηχανικού δαπέδου με τη χρήση χονδρόκοκκων αδρανών σκωρίας (EAF slag) και/ή την αντικατάσταση μέρους του τσιμέντου της κονιάς από σκωρία κάδου (ladle furnace slag). Η αντικατάσταση των ασβεστολιθικών αδρανών με αδρανή σκωρίας φαίνεται ότι αυξάνει σημαντικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος. Συγκεκριμένα, η αντικατάσταση των χονδρόκοκκων ασβεστολιθικών αδρανών με σκωρία αύξησε σε ποσοστό μεγαλύτερο του 40% τις αντοχές του σκυροδέματος τόσο σε θλίψη όσο και σε εφελκυσμό σε σχέση με το σκυρόδεμα αναφοράς, παρασκευασμένο μόνο με ασβεστολιθικά αδρανή.

Η ταυτόχρονη αντικατάσταση και μέρους του τσιμέντου (30%) με σκωρία κάδου δίνει σκυρόδεμα με αντοχές εφάμιλλες με το σκυρόδεμα αναφοράς, το οποίο όμως περιέχει σημαντικό ποσοστό παραπροϊόντων και, επομένως, αποτελεί μια ιδιαίτερα οικονομική λύση ως γνωστόν συνεπάγεται και περιβαλλοντικά οφέλη. Η αντοχή σε απότριψη του προτεινόμενου σκυροδέματος αυξάνεται, επίσης, σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% σε σχέση με το σκυρόδεμα αναφοράς, κάτι που αποδίδεται στην αυξημένη σκληρότητα των αδρανών σκωρίας σε σχέση με τα ασβεστολιθικά αδρανή.

Στο σκυρόδεμα που αντικαθίσταται μέρος του τσιμέντου με την εναλλακτική κονία σκωρίας κάδου παρουσιάζεται σημαντικά χαμηλότερη θερμότητα ενυδάτωσης (μέγιστη θερμοκρασία 33.8°C έναντι 39.8°C του σκυροδέματος αναφοράς), κάτι που αποδίδεται στη μικρότερη ταχύτητα ενυδάτωσης της εναλλακτικής κονιάς. Η χαμηλότερη θερμότητα ενυδάτωσης είναι ένα σημαντικό στοιχείο στα δάπεδα από σκυρόδεμα για την αποφυγή ρηγματώσεων από θερμοκρασιακές μεταβολές.

Με την ταυτόχρονη χρήση αδρανών και κονιάς σκωρίας είναι δυνατή η παραγωγή σκυροδέματος με την απαιτούμενη αντοχή για βιομηχανικά δάπεδα (C25/30 τουλάχιστον) με την χρήση πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε τσιμέντο (190 kg/m³). Η χρήση μικρής ποσότητας τσιμέντου μειώνει σημαντικά το κόστος του προτεινόμενου σκυροδέματος, ενώ με την εισαγωγή μεγάλων ποσοτήτων βιομηχανικών παραπροϊόντων (σκωρίες χαλυβουργίας ως κονία και ως αδρανή) στο σκυρόδεμα επιτυγχάνεται η κατανάλωση όσο το δυνατόν λιγότερων φυσικών πόρων και κατ' επέκταση η μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή αποτελεί τμήμα μιας ευρύτερης εφαρμοσμένης έρευνας που έχει ξεκινήσει από το 2000 σε συνεργασία με τη χαλυβουργία ΣΙΔΕΝΟΡ και την ΑΕΙΦΟΡΟ Α.Ε. και εντάσσεται στο πλαίσιο δραστηριοτήτων που προωθούνται από τη μη κερδοσκοπική εταιρεία ΕΒΙΠΑΡ για την προώθηση

των βιομηχανικών παραπροϊόντων στη δόμηση. Εκ μέρους των συγγραφέων εκφράζονται ευχαριστίες για τη συνεργασία και την υποστήριξη της έρευνας αυτής.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ASTM Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces, ASTM C779/C779M-00 (2000)

Cook D., "Industrial Floor – Durability Considerations", CCANZ, Auckland, New Zealand (2001), 19-20

Dumitru, I., Munna, R. & Smorchevsky, G., "Progress towards achieving ecologically sustainable concrete and road pavements in Australia". Waste Management Series, Vol. 1 (2000), 107-120

Mehta, P.K. & Monteiro, P.J., "Concrete; Microstructure, Properties, and Materials (Third ed.)", Mc Graw Hill, New York (2006)

Motz, H., & Geiseler, J. "Products of steel slags, an opportunity to save natural resources". Waste Management, Vol. 21, No 3 (2001), 285-293

Neville, A., "Properties of Concrete (Fourth ed.)", Wiley, London (2001)

Papayianni, I. & Anastasiou, E., "Heavyweight concrete with steel slag aggregates" in Proceedings of the International Symposium on Global Construction: Ultimate Concrete Opportunities – Role of Concrete in Nuclear Facilities (Dundee Scotland July 5-7, 2005), Thomas Thelford, London, UK (2005) 25-32

Αναστασίου, Ε. & Παπαγιάννη, Ι., "Παραγωγή ειδικών σκυροδεμάτων υψηλού οικολογικού προφίλ με τη χρήση βιομηχανικών παραπροϊόντων" στο 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο για την αξιοποίηση βιομηχανικών παραπροϊόντων στη δόμηση (Θεσσαλονίκη Νοέμβριος 24-26, 2005), ΕΒΙΠΑΡ, Θεσσαλονίκη (2005) 101-110

Παπαγιάννη, Ι. & Αναστασίου, Ε., "Έλεγχος καταλληλότητας σκωρίας κάδου (ladle furnace slag) σαν συμπληρωματική κονία για την παρασκευή σκυροδέματος" στο 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο για την αξιοποίηση βιομηχανικών παραπροϊόντων στη δόμηση (Θεσσαλονίκη Νοέμβριος 24-26, 2005), ΕΒΙΠΑΡ, Θεσσαλονίκη (2005) 73-81