

## Αξιοποίηση σκωριών EAFS ως πρόσθετο υλικό για την παραγωγή τσιμέντων τύπου Portland

**Δ. Κουμπούρη, Α. Χριστογέρου, Γ. Ν. Αγγελόπουλος\***

Εργαστήριο Υλικών και Μεταλλουργίας, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή  
Πανεπιστημίου Πατρών, 26500 Ρίο, [\\*angel@chemeng.upatras.gr](mailto:angel@chemeng.upatras.gr)

Λέξεις κλειδιά: Μεταλλουργικές σκωρίες, χαρακτηρισμός, blended τσιμέντα, εκπλυσιμότητα

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Στην παρούσα εργασία παρασκευάστηκαν “blended” τσιμέντα με ανάμειξη τσιμέντου τύπου Portland και σκωρίας κλιβάνου ηλεκτρικού τόξου (παραπροϊόν μεταλλουργικών διεργασιών) σε ποσοστό 5%κβ (M1) και 15%κβ (M2). Πραγματοποιήθηκε φυσικοχημικός χαρακτηρισμός της σκωρίας ως προς τη χημική και ορυκτολογική σύσταση, καθώς και παρατήρηση της μικροδομής της. Στα παραγόμενα τσιμέντα προσδιορίστηκαν η ειδική επιφάνεια (Blaine) (EN 196-6), ο χρόνος πήξης και η απαίτηση σε νερό (EN 196-3), καθώς και οι αντοχές που αναπτύχθηκαν (EN 196-1). Για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς των παραπάνω τσιμέντων πραγματοποιήθηκαν δύο διαφορετικές δοκιμές εκπλυσιμότητας βάσει των προτύπων NEN 7375 και prEN 14429.

## Valorisation of EAF slag as pozzolanic material for the production of Portland cement

**D. Koumpouri, A. Christogerou, G.N. Angelopoulos\***

Laboratory of Materials and Metallurgy, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering  
University of Patras, 26500 Rio, [\\*angel@chemeng.upatras.gr](mailto:angel@chemeng.upatras.gr)

Keywords: Metallurgical slag, characterisation, blended cements, leaching

**ABSTRACT:** Two blended cements were manufactured by adding electric arc furnace slag (metallurgical byproduct) as pozzolanic material at 5wt% (M1) and 15wt% (M2) to Portland cement clinker and gypsum. The physico-chemical properties of the slag involved mineralogical and chemical analysis, as well as microstructural observation. For the produced cements, specific surface (Blaine), water demand, setting time and compressive strength were determined according to EN-196. Moreover, two types of leaching tests were performed according to NEN 7375 and prEN 14429 in order to estimate the environmental behaviour of the slag containing cements.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκόσμια παραγωγή σε σκωρία χάλυβα ανέρχεται στους 50 Mt ετησίως ενώ στην Ευρώπη η ετήσια παραγωγή είναι 12 Mt (I. Akln Altun, κ.α, 2002). Σήμερα περισσότερο από το 40% της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα πραγματοποιείται σε κλιβάνους ηλεκτρικού τόξου (ISI Steel Statistical Yearbook, 2004) η ετήσια παραγωγή των οποίων είναι 20 Mt. Στην Ελλάδα η ετήσια παραγωγή σκωρίας EAF (Electric Arc Furnace Slag) κυμαίνεται από 0.3 Mt έως 0.4 Mt. Τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα, που σχετίζονται με την απόθεση και τη διάθεση των σκωριών, είναι η κονιοποίηση (dusting) τους καθώς και η απελευθέρωση εκλουσμάτων.

Επιπλέον οι βιομηχανίες τσιμέντου παγκοσμίως παρήγαγαν 3.3 Gt τσιμέντου το 2010. Στην Ελλάδα λειτουργούν 8 εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου η συνολική παραγωγή των οποίων το 2008 ανήλθε στους 14.6 Mt από περίπου 21Mt A! υλών. Παγκοσμίως οι βιομηχανίες τσιμέντου συμμετέχουν σε ποσοστό 5% στις συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές CO<sub>2</sub> στο περιβάλλον (E. Wortell, κ.α, 2001.). Αυτό οφείλεται τόσο στη χρήση καυσίμων για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας, όσο και στη βασική αντίδραση που λαμβάνει χώρα κατά την παραγωγή τσιμέντου, δηλαδή την διάσπαση του ανθρακικού ασβεστίου.

Η σκωρία κλιβάνου ηλεκτρικού τόξου που παράγεται στην Ελλάδα από την χαλυβουργία «SOVEL» (θυγατρική της «ΣΙΔΕΝΟΡ») ανέρχεται σε 97.5 kt ετησίως. Μια πιθανή χρήση της είναι στην παραγωγή blended τσιμέντων. Τα τσιμέντα αυτού του τύπου παράγονται έπειτα από ανάμιξη κοινού τσιμέντου Portland με διάφορα υλικά, όπως ιπτάμενη τέφρα, σκωρία και πυριτική παιπάλη (Concrete Technology, India, 2007). Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση των blended τσιμέντων είναι κυρίως τεχνικά και περιβαλλοντικά. Πιο αναλυτικά, (α) μειώνεται η απαίτηση σε νερό με αποτέλεσμα να μπορεί να μειωθεί και ο λόγος w/c, (β) βελτιώνεται η εργασιμότητα (workability) για την ίδια περιεκτικότητα σε νερό και (γ) μειώνεται η περατότητα (permeability) του τσιμέντου που οδηγεί σε βελτιωμένο durability. Από περιβαλλοντικής άποψης τα οφέλη είναι (α) εξοικονόμηση ενέργειας, (β) διατήρηση φυσικών πόρων (π.χ.ασβεστόλιθος, άργιλος, σίλικα κλπ.) καθώς και (γ) καταπολέμηση της ρύπανσης.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η αξιοποίηση της σκωρίας (EAF) ως πρόσθετο υλικό για την παρασκευή blended τσιμέντων.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Για την παρασκευή των blended τσιμέντων, χρησιμοποιήθηκαν κλίνκερ τσιμέντου Portland (OPC\_42.5N) από τη βιομηχανία «TITAN» στο Δρέπανο Αχαΐας και σκωρία κλιβάνου ηλεκτρικού τόξου (EAF) από τη χαλυβουργία «SOVEL».

Η χημική σύσταση της σκωρίας προσδιορίστηκε με χρήση φθορισμομετρίας ακτίνων X (XRF, Philips PW 2400). Η ορυκτολογική της ανάλυση πραγματοποιήθηκε με περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD, Siemens, D5000), ενώ ο ημιποσοτικός προσδιορισμός έγινε με το λογισμικό TOPAS® (Bruker-AXS) που βασίζεται στον αλγόριθμο Rietveld. Η μικροδομή της εξετάστηκε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM, JSM-6300, Jeol) και η μικροανάλυση έγινε με EDX (LINK PentaFET 6699, Oxford Instruments).

Το κλίνκερ τσιμέντου Portland και η σκωρία ξηράθηκαν και λειοτριβήθηκαν ξεχωριστά σε πλανητικό μύλο και κατόπιν αναμίχθηκαν για την παρασκευή δύο blended τσιμέντων, M1 και M2. Το μίγμα M1 προκύπτει από ανάμιξη 95%κβ OPC και 5% σκωρία, ενώ το M2 από 85%κβ OPC και 15%κβ σκωρία. Τα παραπάνω μίγματα συναλέστηκαν στη συνέχεια με 5%κβ βιομηχανικό γύψο προκειμένου να παρασκευαστούν τσιμέντα τύπου Portland.

Η ειδική τους επιφάνεια (Blaine) μετρήθηκε σύμφωνα με το EN 196-6, ενώ ο χρόνος πήξης και η απαίτηση σε νερό σύμφωνα με το πρότυπο EN 196-3. Οι αντοχές 2, 7 και 28 ημερών προσδιορίστηκαν με βάση το πρότυπο EN 196-1. Για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς των παραπάνω τσιμέντων πραγματοποιήθηκαν δοκιμές εκπλυσιμότητας βάση δύο προτύπων: του NEN 7345-tank test που αναφέρεται σε μονολιθικά υλικά και του prEN 14429-pH dependence test που αναφέρεται σε κοκκώδη υλικά. Τα διηθήματα που συλλέχθηκαν μετά την διεξαγωγή των παραπάνω δοκιμών αναλύθηκαν με συσκευή Ατομικής

Απορρόφησης (AAAnalyst 200 Atomic Absorption Spectrometer-Perkin Elemer Instruments/ όριο μέτρησης > 0.002 mg/l) προκειμένου να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα τους σε Cr, Ni και V.

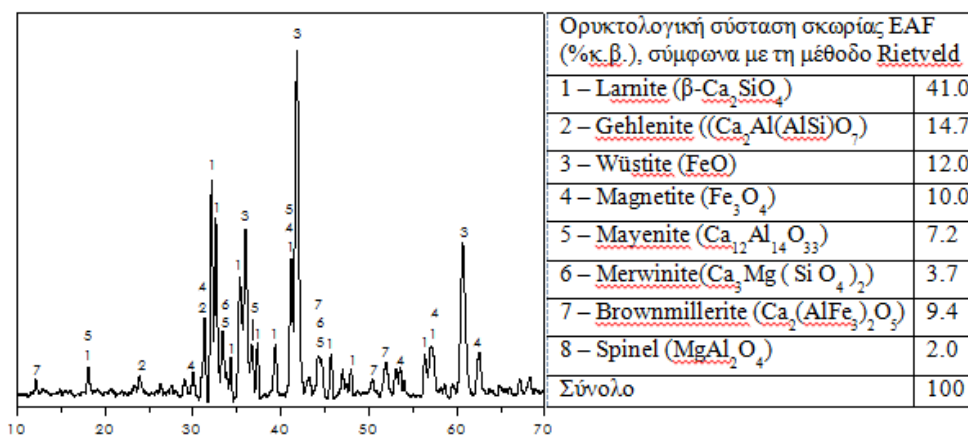
## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η χημική σύσταση της σκωρίας EAF φαίνεται στον Πίνακα 1. Παρατηρείται ότι εμφανίζει παραπλήσια σύσταση με το κοινό τσιμέντο OPC και ότι τα βασικά οξειδία, όπως CaO (32.50%), SiO<sub>2</sub> (18.10%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13.30%) και Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (26.30%) βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα. Τα βαρέα μέταλλα Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> αναλογούν σε 1.38% και 0.06% αντίστοιχα, ενώ τα λοιπά οξειδία ανιχνεύονται σε μικρότερα ποσοστά.

Το φάσμα XRD της σκωρίας και τα αποτελέσματα της ημιποσοτικής ορυκτολογικής ανάλυσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 1. Οι κρυσταλλικές φάσεις που αναγνωρίστηκαν είναι larnite ( $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), gehlenite ((Ca<sub>2</sub>Al(AlSi)O<sub>7</sub>), wüstite (FeO), magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), mayenite (Ca<sub>12</sub>Al<sub>14</sub>O<sub>33</sub>), merwinite (Ca<sub>3</sub>Mg(SiO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>), brownmillerite (Ca<sub>2</sub>(AlFe<sub>3</sub>)<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) και spinel (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Ο ποιοτικός προσδιορισμός είναι σε συμφωνία με την ημιποσοτική ανάλυση, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό αντιστοιχεί στο σχηματισμό του larnite (41.0%κβ). Οι λοιπές ορυκτολογικές φάσεις, εκτός των merwinite και spinel που υπάρχουν σε μικρότερη περιεκτικότητα, κυμαίνονται στο ίδιο ποσοστό περίπου.

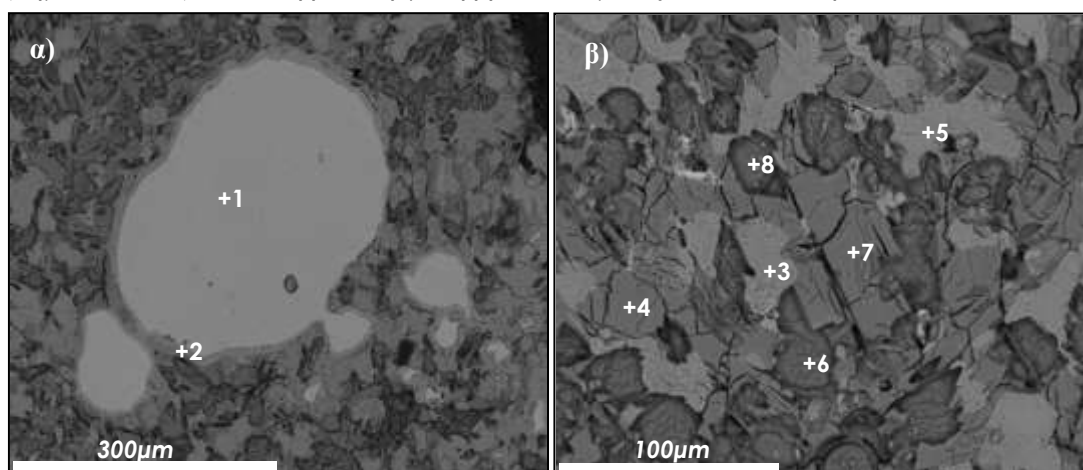
Πίνακας 1. Χημική σύσταση (%κβ) σκωρίας EAF.

Οξειδία	Σκωρία EAF
CaO	32.50
FeO <sub>total</sub>	26.30
SiO <sub>2</sub>	18.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.30
MnO	3.94
MgO	2.53
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.48
TiO <sub>2</sub>	0.47
SO <sub>3</sub>	0.44
Cl	0.14
BaO	0.14
Na <sub>2</sub> O	0.13
K <sub>2</sub> O	n.d.
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06
Σύνολο	99.91



Εικόνα 1. Ποιοτική και ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση σκωρίας EAF.

Στην Εικόνα 2 φαίνεται η μικροδομή της σκωρίας (επιφάνεια αδρανούς) σε διαφορετική μεγέθυνση, (α) x200 και (β) x500, καθώς και τα σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκε στοιχειακή ανάλυση. Στην Εικόνα 2(α) παρατηρούνται μεταλλικά εγκλείσματα σιδήρου κάτι που πιστοποιείται από την στοιχειακή ανάλυση στο σημείο 1. Περιμετρικά των εγκλεισμάτων (σημείο 2) έχει δημιουργηθεί ένα δαχτυλίδι που αποτελείται από οξείδιο του σιδήρου ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  99.27%κβ) στον οποίο έχουν διαλυτοποιηθεί κυρίως οξείδια του ασβεστίου ( $\text{CaO}$  0.24%κβ) και φωσφόρου ( $\text{P}_2\text{O}_5$  0.20%κβ). Επιπλέον διακρίνονται σφαιρικοί κόκκοι οι οποίοι περιβάλλονται από μια μήτρα. Από την στοιχειακή ανάλυση στα σημεία 6 και 8 (Εικόνα 2(β)) προκύπτει ότι η περιεκτικότητα των κόκκων σε  $\text{CaO}$  είναι 55.3% και 54.45%κβ, ενώ σε  $\text{SiO}_2$  είναι 25.66% και 25.65%κβ αντίστοιχα. Η αναλογία  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  και στις δυο περιπτώσεις είναι 2:1, πιστοποιώντας ότι πρόκειται για κόκκους πυριτικού διασβεστίου- $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ . Τα πιο σκούρα τμήματα της Εικόνας 2(β) υποδεικνύουν την ύπαρξη κυρίως οξειδίου του σιδήρου και οξειδίου του μαγγανίου (σημείο 3: 73.70%- 11.45%κβ, σημείο 5: 67.69%- 13.14%κβ). Οι πιο ανοιχτόχρωμες περιοχές αποτελούνται από οξείδια του ασβεστίου, αλουμινίου και σιδήρου (σημείο 4: 46.45%-20.03%-24.53% κ.β., σημείο 7: 45.87%-18.33%-21.19%κβ). Τέλος η περιεκτικότητα  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  στους κόκκους του πυριτικού διασβεστίου είναι < 1%κ.β. (σημεία 6 και 8), ενώ στη ρευστή φάση βρίσκεται μεταξύ 2% και 7%κβ.



Εικόνα 2. Εικόνες SEM για σκωρία EAF, σε μεγέθυνση α) x200 και β) x500.

Τα blended τσιμέντα M1 και M2, αλέστηκαν για 140sec περίπου και στις δυο περιπτώσεις προκειμένου να επιτευχθεί ειδική επιφάνεια (Blaine) στα όρια του κοινού τσιμέντου Portland ( $4000 \pm 100 \text{cm}^2/\text{g}$ ). Στον Πίνακα 2 παρατίθενται τα αποτελέσματα του Blaine, του ποσοστού απαίτησης σε νερό και του χρόνου πήξης των παραπάνω τσιμέντων. Η απαίτηση σε νερό αυξήθηκε με αύξηση της σκωρίας στα blended τσιμέντα, αντίθετα παρατηρείται μείωση του χρόνου πήξης, κάτι που ενδεχομένως να οφείλεται στη αύξηση της αργλικής φάσης ( $\text{C}_3\text{A}$ ) στο μίγμα M2.

Πίνακας 2. Φυσικές ιδιότητες blended τσιμέντων και OPC42.5N.

	OPC42.5N	M1	M2
Ειδική επιφάνεια ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	$4000 \pm 100$	3980	3980
Έναρξη χρόνου πήξης (min)	$\geq 45$	120	80
Τέλος χρόνου πήξης (min)	$\leq 375$	140	85
Απαίτηση σε νερό (%)	21-26	21	24

Στη συνέχεια εξετάστηκαν οι αντοχές των παραχθέντων τσιμέντων στο χρονικό διάστημα των 28 ημερών, Πίνακας 3. Δεν παρατηρήθηκε ιδιαίτερη διαφοροποίηση στην ανάπτυξη των

αντοχών για τις πρώτες 2 και 7 ημέρες. Μετά τις 28 ημέρες το M2 παρουσιάζει ελάχιστη αύξηση στις αντοχές σε σύγκριση με το M1 η οποία στην παρούσα φάση δεν αξιολογείται.

Πίνακας 3. Ανάπτυξη αντοχών blended τσιμέντων και OPC42.5N.

Τύπος τσιμέντου	Αντοχή (MPa)		
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες
OPC42.5N	≥10	--	42.5-62.5
M1	20.1	35.9	45.6
M2	19.6	35.5	46.2

Οι τιμές των φυσικών ιδιοτήτων καθώς και η ανάπτυξη των αντοχών των blended τσιμέντων M1 και M2 πληρούν τις προϋποθέσεις για ένταξη τους στην κατηγορία OPC CEM I 42.5N.

Στον Πίνακα 4 φαίνεται η περιεκτικότητα των ιχνοστοιχείων (Cr, Ni και V) στη σκωρία, στο τσιμέντο αναφοράς (OPC42.5N) καθώς και στα μίγματα M1 και M2. Η ανάμιξη της σκωρίας με το τσιμέντο αναφοράς οδηγεί στην αύξηση της περιεκτικότητας των blended τσιμέντων σε Cr και V, αντίθετα η ποσότητα του Ni μειώνεται.

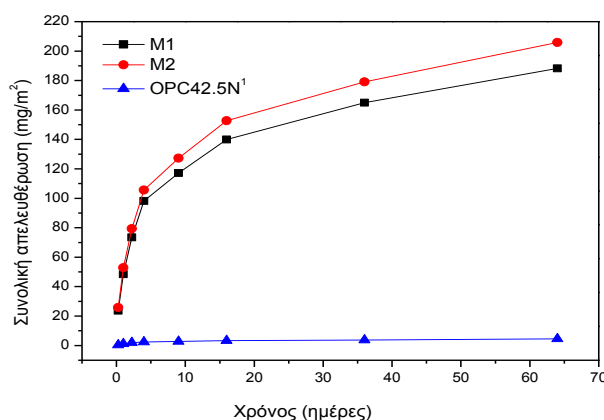
Πίνακας 4. Περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων στη σκωρία, στο τσιμέντο αναφοράς και στα M1, M2.

Ιχνοστοιχεία	mg/g			
	Σκωρία EAF	OPC42.5N	M1	M2
Cr	13.8	0.277	0.95315	2.30545
Ni	0	0.106	0.1007	0.0901
V	0.6	0.201	0.22095	0.26085

NEN 7345-tank test: Σενάριο χρήσης του τσιμέντου σε κατασκευές που βρίσκονται σε επαφή με χώμα ή με στάσιμα ύδατα

Σκοπός της δοκιμής είναι η εξομοίωση της έκλυσης ανόργανων συστατικών από μονολιθικά υλικά σε αερόβιες συνθήκες συναρτήσεως του χρόνου. Η χρονική περίοδος της δοκιμής είναι 64 ημέρες και από τα αποτελέσματα της προσδιορίζεται η έκλυση ανά μονάδα επιφάνειας.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μετρήσιμες ποσότητες στα διαλύματα υπήρχαν μόνο για την περίπτωση του Cr. Για την περίπτωση των Ni και V δεν ανιχνεύθηκαν μετρήσιμες ποσότητες τόσο για τα δοκίμια M1 και M2, όσο και για το τσιμέντο αναφοράς (I. Βαγγελάτος, 2008). Η συνολική ποσότητα του Cr που εκλύεται από κάθε δοκίμιο για τη χρονική διάρκεια ολοκλήρωσης της δοκιμής φαίνεται στην Εικόνα 3.



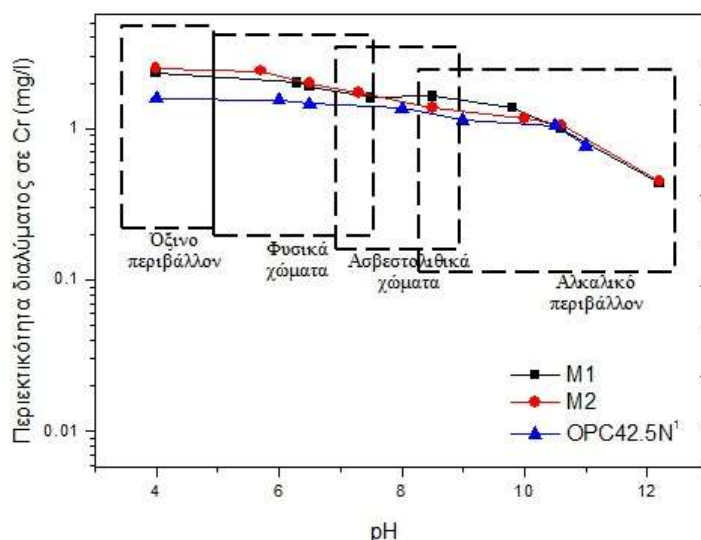
Εικόνα 3. Γραφική αναπαράσταση συνολικής έκλυσης χρωμίου συναρτήσεως του χρόνου για τα υπό μελέτη δοκίμια. <sup>1</sup>I.Βαγγελάτος, Αξιοποίηση της ερυθράς ιλύος στις βιομηχανίες τσιμέντου, Διδακτορική Διατριβή, 2008.

Η συνολική ποσότητα Cr που εκλούστηκε μετά το πέρας των 64 ημερών από τα δοκίμια M1 και M2 ήταν 188.3 mg/m<sup>2</sup> και 205.8 mg/m<sup>2</sup> αντίστοιχα, ενώ για το OPC42.5N η εκλουόμενη ποσότητα ανήλθε στα 4.5 mg/m<sup>2</sup>. Με την αύξηση της περιεχόμενης σκωρίας παρατηρήθηκε αύξηση του εκλουόμενου Cr, κάτι που έρχεται σε συμφωνία με την αύξηση της περιεκτικότητας του Cr στα τσιμέντα M1 και M2. Ο ρυθμός έκλυσης παρέμεινε ίδιος για τα δοκίμια M1 και M2, η κλίση των καμπυλών τους είναι σχεδόν ίδια, κάτι που υποδηλώνει τον ίδιο μηχανισμό έκλυσης, για τα δυο δοκίμια. Η περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι η έκλυση του χρωμίου οφείλεται σε μηχανισμούς διάχυσης και στις δυο περιπτώσεις. Η χρονική περίοδος στην οποία φαίνεται πιο έντονα το φαινόμενο, είναι από την 0.25<sup>η</sup> έως την 4<sup>η</sup> ημέρα. Και για το τσιμέντο αναφοράς η έκλυση του χρωμίου οφείλεται σε μηχανισμούς διάχυσης αλλά σε αυτή την περίπτωση λαμβάνει χώρα από την 9<sup>η</sup> έως την 64<sup>η</sup> ημέρα. Οι τιμές του εκλουόμενου Cr και για τα τρία δοκίμια, δεν υπερβαίνουν το όριο Existing (NEN7375) Monolithic Waste Acceptance Criteria\_mg/m<sup>2</sup> at 64 days (500 mg/m<sup>2</sup>).

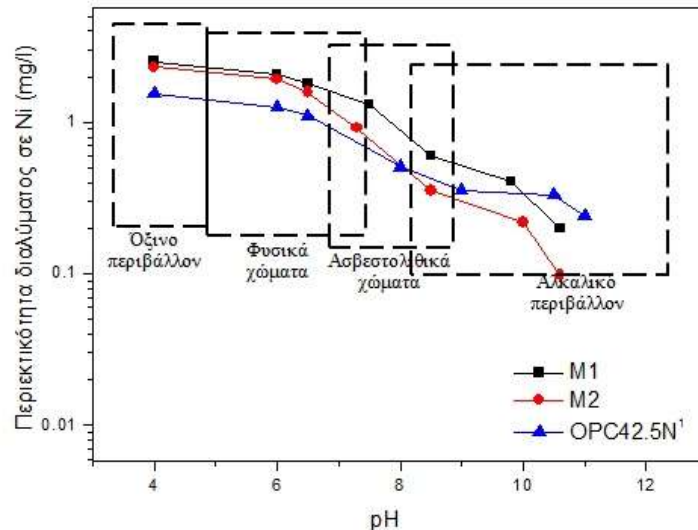
PrEN 14429-pH dependence test: Σενάριο κατεδάφισης της κατασκευής και απόρριψης του σκυροδέματος

Σκοπός της δοκιμής είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης του pH στην έκλυση ανόργανων συστατικών από το υπό μελέτη κοκκώδες υλικό σε συνθήκες ισορροπίας. Η χρονική διάρκεια της δοκιμής είναι 48 ώρες.

Τα αποτελέσματα δείχνουν την εξάρτηση του Cr (Εικόνα 4) και του Ni (Εικόνα 5) από το pH του περιβάλλοντος. Όσο το περιβάλλον γίνεται πιο όξινο, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα Cr και Ni που εκλύεται από τα παραγόμενα τσιμέντα. Η εξάρτηση αυτή είναι πιο έντονη στην περίπτωση του Ni. Το V δεν μετρήθηκε λόγω της χαμηλής του συγκέντρωσης στα διαλύματα. Όσον αφορά την έκλυση του Cr οι τιμές για τα M1 και M2 είναι παραπλήσιες, ενώ από το τσιμέντο αναφοράς παρατηρήθηκε έκλυση μικρότερης ποσότητας Cr σε σχέση με τα blended τσιμέντα. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με την χημική ανάλυση των τσιμέντων καθώς με την προσθήκη της σκωρίας αυξάνεται το περιεχόμενο Cr. Στην περίπτωση του Ni μεγαλύτερη έκλυση παρουσιάζει το M1 και το M2. Η τάση όμως για έκλυση όπως φαίνεται από την κλίση της βέλτιστης ευθείας που διέρχεται από τα πειραματικά σημεία είναι αντίστοιχη. Αυτό υποδηλώνει πως ο μηχανισμός που οδηγεί στην έκλυση των δύο μετάλλων είναι ο ίδιος και για τα τρία δείγματα.



Εικόνα 4. Επίδραση του pH στην έκλυση Cr από τα υπό μελέτη δοκίμια.



Εικόνα 5. Επίδραση του pH στην έκλυση Ni από τα υπό μελέτη δοκίμια.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η σκωρία EAF μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο για την παραγωγή blended τσιμέντων.
- Σύμφωνα με το EN 196-1, τα μίγματα M1 και M2 πληρούν τις προϋποθέσεις για ένταξη τους στην κατηγορία OPC CEM I 42.5N.
- Όσο αφορά το NEN 7345-tank test, παρατηρήθηκε μόνο έκλυση Cr. Με την αύξηση της περιεχόμενης σκωρίας στα blended τσιμέντα παρατηρήθηκε αύξηση του εκλούμενου Cr, παρόλα αυτά οι τιμές του και για τα τρία δοκίμια, δεν υπερβαίνουν τα  $500 \text{ mg/m}^2$ , όριο Existing (NEN7375) Monolithic Waste Acceptance Criteria  $\text{mg/m}^2$  at 64 days.
- Τα αποτελέσματα του PrEN 14429-pH dependence test έδειξαν έκλυση Cr και Ni η έκλυση των οποίων αυξήθηκε με την μείωση του pH.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έρευνα αυτή υποστηρίζεται από το πρόγραμμα «Συνεργασία» του Παν/μιου Πατρών με τίτλο “Εξοικονόμηση ενέργειας και προστασία περιβάλλοντος στην ανακύκλωση σιδήρου (S.E.FER.RY)” Κωδ. Έργου: 09/32-636.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΕΣ

I. Akln Altun, Y. Ismail. “Study on steel furnace slags with high MgO as additive in Portland cement”, Cem. Concr. Res. 32 1247–1249, 2002.

ISI Steel Statistical Yearbook. Brussel, Belgium: International Iron and Steel Institute. <http://www.worldsteel.org/>, 2004.

E. Worrell, L. Price, C. Hendricks and L. Ozawa Meida Annual Review of Energy and Environment, Vol 26, 2001.

Concrete Technology, Indian railways institute of civil engineering, Pune- 411001, 2007.

I. Βαγγελάτος, Αξιοποίηση της ερυθράς ιλύος στις βιομηχανίες τσιμέντου, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πάτρα, 2008.