

# Συνδυαστική χρήση αποβλήτων για την παραγωγή πλακιδίων επίστρωσης

**Ι. Ποντίκης<sup>1</sup>, R. Iacobescu<sup>2</sup>, Χ. Ραθώση<sup>3</sup>, Α. Χριστογέρου<sup>1</sup>, Γ. Ν. Αγγελόπουλος<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Εργαστήριο Υλικών και Μεταλλουργίας, Τμ. Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 26500, Ρίο, Ελλάδα

<sup>2</sup> Politehnica University of Bucharest, Bucharest, Romania

<sup>3</sup> Τομέας Υλικών της Γης, Τμ. Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 26500, Ρίο, Ελλάδα

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Παρασκευάστηκαν κεραμικά χρησιμοποιώντας 90%κβ Σιδηραλουμίνα (κατάλοιπα βωξίτη της διεργασίας Bayer) και διάφορα υλικά όπως υαλόθραυσμα soda-lime-silica, ένα αργιλούχο μίγμα με ιλλίτη/χλωρίτη και κατάλοιπα βορίου. Η προσπάθεια εστιάζεται στη μεγιστοποίηση της χρήσης των αποβλήτων και στην ενίσχυση της δημιουργίας ρευστής φάσης κατά την όπτηση. Η μορφοποίηση πραγματοποιήθηκε σε αντιστοιχία με την τεχνολογία τύπου “soft mud”, που αφορά στην παραγωγή τούβλων/πλακιδίων πεζοδρομίων. Η όπτηση πραγματοποιήθηκε σε φούρνο προπανίου στους 950–1100 °C, προκειμένου να προσομοιάσει πιθανή βιομηχανική παραγωγή. Τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών ιδιοτήτων καθώς και της μικροδομής των τελικών προϊόντων αναλύονται. Τέλος, προτείνεται η βέλτιστη διαθέσιμη διεργασία για την βιομηχανική παραγωγή πλακιδίων επίστρωσης με την αξιοποίηση μεγάλου ποσοστού καταλοίπων βωξίτη.

*Λέξεις κλειδιά:* διεργασία Bayer, Σιδηραλουμίνα, κατάλοιπα βωξίτη, ερυθρά ιλύς, αργιλούχα κεραμικά, τούβλα, πλακίδια.

# Waste synergy for the production of pavement tiles

**Y. Pontikes<sup>1</sup>, R. Iacobescu<sup>2</sup>, C. Rathossi<sup>3</sup>, A. Christogerou<sup>1</sup>, G. N. Angelopoulos<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Laboratory of Materials and Metallurgy, Dept. of Chemical Engineering, University of Patras, 26500, Rio, Greece*

<sup>2</sup>*Politehnica University of Bucharest, Bucharest, Romania*

<sup>3</sup>*Section of Earth Materials, Dept. of Geology, University of Patras, 26500, Rio, Greece*

**ABSTRACT:** Ceramics were developed using 90wt% of Ferroalumina, (Bayer's process bauxite residue) and a range of raw materials such as soda-lime-silica glass cullet, an illite/chlorite clay mixture and boron wastes. The effort was to maximize the use of wastes and enhance the development of the viscous phase during firing. Shaping was performed in accordance to a "soft mud" brick/pavement tiles production and firing was performed in a propane firing kiln at 950–1100 °C, in order to resemble a potential pilot plan production. The results on the physico-chemical properties as well as on the microstructure of the end-products are discussed. A best available process for the industrial production of pavement tiles with the incorporation of a high volume of "red mud" is proposed.

*Key words:* Bayer process, Ferroalumina, bauxite residue, red mud, clay ceramics, brick, tiles

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κατάλοιπα βωξίτη, ή «ερυθρά ιλύς», αποτελεί το παραπροϊόν της διεργασίας Bayer κατά την παραγωγή της αλουμίνας, με ετήσια παραγόμενη ποσότητα περίπου 70Mt (The Aluminum Association, 2000). Η αξιοποίηση του υλικού αυτού παραμένει ένα θέμα με έντονο ακαδημαϊκό και βιομηχανικό ενδιαφέρον (Paramguru, *et al.*, 2005), αφενός λόγω του μεγάλου παραγόμενου όγκου, αφετέρου λόγω της καλής δυνατότητας για επαναχρησιμοποίηση (Leahy, 2000).

Στην Ελλάδα, η χρήση βιομηχανικών φιλτροπρεσών υψηλής πίεσης οδήγησε στην παραγωγή ενός νέου υλικού με το όνομα “Σιδηραλουμίνα”, ΣΑ, το οποίο θα μπορούσε να βρει χρήση στην παραγωγή κεραμικών, τσιμέντου καθώς και σε άλλες εφαρμογές (Μπουφούνος, 2005). Ο στόχος για την αξιοποίηση του υλικού στη βιομηχανία κεραμικών είναι να επηρεαστεί ελάχιστα η υπάρχουσα παραγωγική διαδικασία (Pontikes, *et al.*, 2006a, Pontikes, *et al.*, 2007b), το κόστος παραγωγής να μειωθεί ή να παραμείνει το ίδιο και τέλος τα χαρακτηριστικά του προϊόντος να είναι ικανοποιητικά, όντας ασφαλή για τους ανθρώπους και το περιβάλλον (Pontikes, *et al.*, 2006b). Πιλοτικές δοκιμές έχουν ήδη πραγματοποιηθεί σε πέντε βιομηχανίες δομικών παραδοσιακών κεραμικών.

Μια εναλλακτική προσέγγιση αποτελεί η παραγωγή κεραμικών υλικών από τη ΣΑ εντός του εργοστασίου παραγωγής της αλουμίνας, όπως έχει προταθεί ήδη από το 1976 (Parekh and Goldberger, 1976). Σε αυτή την κατεύθυνση είναι απαραίτητο να διασφαλιστεί υψηλό ποσοστό χρήσης της ΣΑ, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η εξάρτηση από τρίτους αλλά και το κόστος μεταφοράς. Προσπάθειες για παραγωγή κεραμικών από 100% ΣΑ, έχουν ήδη πραγματοποιηθεί σε εργαστηριακή κλίμακα (Pontikes, 2007, Pontikes, *et al.*, 2009) εκμεταλλευόμενοι την αναγωγική όπτηση και τη λειτουργία των βουστίτη ως συλλίπασμα (flux). Εντούτοις, απαιτείται αυστηρός έλεγχος των παραμέτρων όπτησης και το scale-up φαίνεται μη ρεαλιστικό. Για το λόγο αυτό, άλλες Α' ύλες πρέπει να αναμιχθούν με την ΣΑ, στο πλαίσιο των τριμερών συνθέσεων “plastic-flux-filler”, προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Στην παρούσα εργασία, προστέθηκαν σε μικρό ποσοστό στην ΣΑ συμπληρωματικές Α' ύλες, κάποιες εκ των οποίων θεωρούνται απόβλητα, για να ενισχυθεί η δημιουργία της ρευστής φάσης κατά την όπτηση (Kavas, 2006, Pontikes, *et al.*, 2005). Χρησιμοποιήθηκε υαλόθραυσμα, το οποίο ανακυκλώνεται στην Ελλάδα μόνο κατά 25% περίπου, χλωριτικά/ιλλιτικά ιζήματα, τα οποία υπάρχουν ακόμα σε σχετική αφθονία, καθώς και κατάλοιπα βορίου, τα οποία αποτίθενται με ρυθμό περίπου 400.000t/y στην γειτονική Τουρκία. Συνεπώς, όλες οι πιο πάνω Α' ύλες θα μπορούσαν να αποτελέσουν δυνητικές λύσεις για τη βιομηχανία της αλουμίνας.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Ως Α' ύλες χρησιμοποιήθηκαν 90%κβ ΣΑ από τη βιομηχανία Αλουμίνιον της Ελλάδος και α) 10%κβ υαλόθραυσμα τύπου soda-lime-silica, κεραμικά “SLS”, ή β) 10%κβ αργιλούχο μίγμα με ιλλίτη/χλωρίτη από βιομηχανία κεραμικών της Δυτικής Ελλάδας, κεραμικά “Clay” ή γ) 10% κατάλοιπα βορίου από τη βιομηχανία Kirka Borax, Etibor Co., Τουρκία, κεραμικά “BW”. Η χημική ανάλυση των Α' υλών φαίνεται στον Πίνακα 1.

Για την παρασκευή των δειγμάτων, οι Α' ύλες ξηράθηκαν και λειοτριβήθηκαν <125μm (εκτός της ΣΑ), και κατόπιν αναμίχθηκαν και προστέθηκε νερό, αρχικά σε αναμικτήρα και μετέπειτα σε κοχλιωτό εξωθητή, προκειμένου να επιτευχθούν υψηλές διατμητικές τάσεις και να μειωθούν τα συσσωματώματα επιτυγχάνοντας παράλληλα καλή ομογενοποίηση. Το νερό που

προστέθηκε ήταν το απαιτούμενο για να επιτευχθεί αντίστοιχη πλαστικότητα για όλες τις συνθέσεις. Η πλαστικότητα μετρήθηκε με την τεχνική βύθισης κώνου. Η πλαστική μάζα μορφοποιήθηκε σε ανοξείδωτα καλούπια διαστάσεων (mm) 75.5 x 36 x 33 και η ελεύθερη επιφάνεια έγινε επίπεδη με τη βοήθεια σπάτουλας. Για τη μείωση του παγιδευμένου αέρα δοκιμάστηκε η μηχανική δόνηση των πλαστικών μαζών, ενώ βρισκόντουσαν εντός του καλουπιού τους. Τα αποτελέσματα εντούτοις δεν ήταν ικανοποιητικά καθώς υπήρχε διαχωρισμός της υδατικής φάσης (“bleeding”), οπότε και δεν εφαρμόστηκε τελικά.

Πίνακας 1. Χημική σύσταση των Α' υλών, n.d.: δεν μετρήθηκε, Α.Π. απώλειες πύρωσης

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Α.Π.
<b>ΣΑ</b>	7.79	17.04	11.64	44.34	0.57	0.07	3.17	5.12	n.d.	9.77
<b>SLS</b>	72.60	0.97	10.33	0.28	1.84	0.25	13.00	n.d.	n.d.	-
<b>Clay</b>	46.29	13.11	12.33	5.79	3.01	2.29	0.58	n.d.	n.d.	12.87
<b>BW</b>	19.79	0.47	12.32	0.23	5.95	0.61	11.66	n.d.	16.14	32.42

Η ξήρανση έγινε σε συνθήκες δωματίου για 72h και κατόπιν στους 110 °C, μέχρι σταθερού βάρους. Τα δοκίμια ακολούθως μετρήθηκαν ως προς τη συρρίκνωση και το βάρος τους. Η όπτηση πραγματοποιήθηκε σε φούρνο προπανίου με ρυθμό θέρμανσης 3°C/min και χρόνο παραμονής στην ισοθερμοκρασιακή ζώνη 2h. Η ψύξη των κεραμικών έγινε με ρυθμό 3°C/min έως τους 800 °C και μετά εντός του φούρνου (μεταφορά με αγωγή). Προκαταρκτικά πειράματα και παλαιότερες μελέτες (Pontikes, 2007, Pontikes and Angelopoulos, 2009) έχουν καταδείξει ότι ισχυρά αναγωγικές συνθήκες μπορεί να οδηγήσουν σε ρωγμάτωση ή έντονη κύρτωση των κεραμικών. Ως εκ τούτου, η ατμόσφαιρα όπτησης ήταν οξειδωτική με περιορισμένη όμως την έξοδο των απαερίων. Τα δοκίμια για να μην είναι εκτεθειμένα στην ακτινοβολία εντός του φούρνου, βρισκόνταν εντός πυρίμαχης δομής από τούβλα chamotte. Το θερμοκρασιακό εύρος όπτησης είναι 1000 με 1100 °C για τα SLS και Clay κεραμικά και 950 με 1050 °C για τα BW κεραμικά.

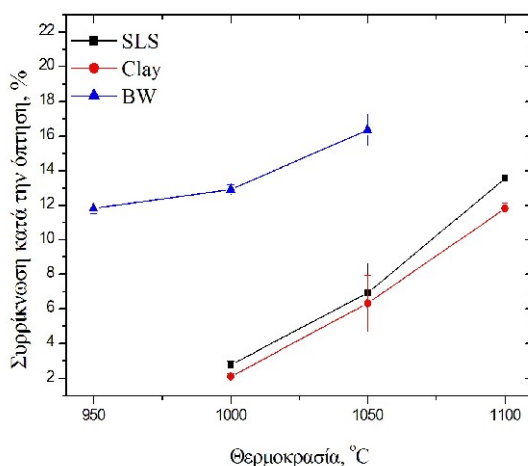
Τα δοκίμια μετά την όπτηση μετρήθηκαν ως προς την απορρόφηση νερού, το ανοιχτό πορώδες, τη φαινόμενη πυκνότητα και το φαινόμενο ειδικό βάρος, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 10545-3:1995, ενώ μετρήθηκε επιπρόσθετα η απώλεια βάρους κατά την όπτηση αλλά και η συρρίκνωση (ως προς το μήκος του ξηρού σώματος). Η μικροδομή των κεραμικών μετά την όπτηση παρατηρήθηκε με ηλεκτρονική μικροσκοπία, SEM, 6300, Jeol, σε δείγματα μετά από επικάλυψη με χρυσό.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το νερό μορφοποίησης ήταν (%κβ): 23.9±0.2, 24.2±0.3 και 24.4±0.2 για τα κεραμικά SLS, Clay και BW αντίστοιχα. Η συρρίκνωση μετά την ξήρανση είναι (%κβ): 2.6±0.1, 3.4±0.2 και 2.8±0.2 για τα κεραμικά SLS, Clay και BW αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό είναι ενδιαφέρον, καθώς η συρρίκνωση σε περιπτώσεις αργιλούχων κεραμικών που έχουν μορφοποιηθεί πλαστικά (με εξώθηση, ποσοστό νερό >20%κβ) είναι >5% (Pontikes, 2007). Συνεπώς, στην συγκεκριμένη περίπτωση, οι κόκκοι του κεραμικού δεν επαναδιευθετούνται καθώς το νερό απομακρύνεται και η πλαστική μάζα μετατρέπεται σε ξηρό κεραμικό με υψηλό πορώδες. Αντίστοιχα συμπεράσματα είχαν προκύψει για αργιλούχα μίγματα με ΣΑ, όπου η αύξηση της ΣΑ οδηγούσε σε μείωση της πυκνότητας του ξηρού σώματος (Pontikes, 2007). Το πιο πάνω οφείλεται αφενός στην κοκκομετρική κατανομή της ΣΑ αφετέρου στο μεγάλο ποσοστό κόκκων με μέγεθος <1μm με επακόλουθη ανάπτυξη δυνάμεων Van der Waals και σημαντικού βαθμού συσσωμάτωση. Με

τροποποίηση της κοκκομετρικής κατανομής υπάρχει δυνατότητα επίτευξης μικρότερου αρχικού πορώδους (Ρηγάλος, *et al.*, 2007).

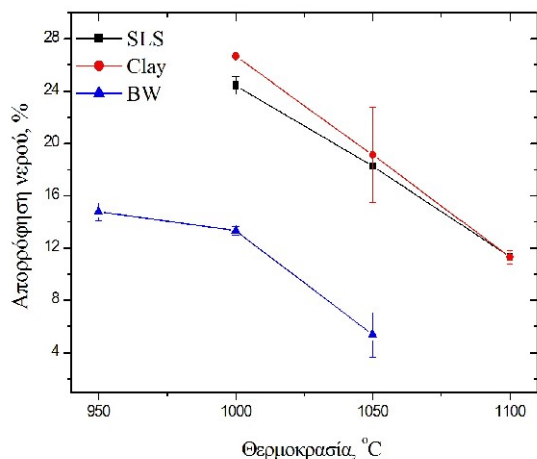
Η απώλεια βάρους κατά την όπτηση είναι 11.0%κβ περίπου για τα κεραμικά SLS, 12.7%κβ για τα Clay και περίπου 14.5%κβ για τα κεραμικά BW. Η συρρίκνωση κατά την όπτηση, Εικόνα 1, για τα κεραμικά SLS και Clay είναι αντίστοιχη και κυμαίνεται από 2% περίπου για τους 1000 °C, μέχρι 13.5% περίπου και 12% περίπου για τα SLS και Clay κεραμικά αντίστοιχα στους 1100 °C. Αντίθετα, τα κεραμικά BW έχουν ήδη από τους 950 °C 12% περίπου συρρίκνωση, αντίστοιχη δηλαδή με αυτή των άλλων κεραμικών στους 1100 °C. Η μέγιστη συρρίκνωση για τα BW είναι 16% περίπου στους 1050 °C. Εν γένει, η συρρίκνωση για τις περισσότερες των περιπτώσεων είναι ιδιαίτερα υψηλή, ένδειξη ότι το αρχικό ξηρό σώμα είναι με υψηλό πορώδες.



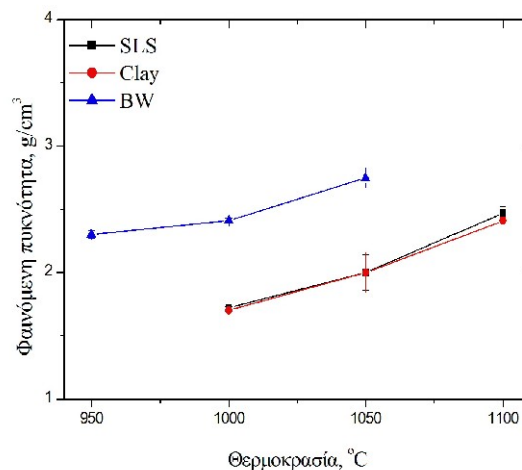
Εικόνα 1. Συρρίκνωση κατά την όπτηση συναρτήσεως της θερμοκρασίας όπτησης.

Η απορρόφηση νερού για τα κεραμικά SLS και Clay είναι παραπλήσια, Εικόνα 2, σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της συρρίκνωσης. Αν και οι αρχικές τιμές είναι αρκετά υψηλές (>24%), στους 1100 °C τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά, 12% περίπου. Εντούτοις, το γυαλί (κεραμικά SLS) είναι πιο ικανοποιητικό συλλίπασμα σε χαμηλότερη θερμοκρασία έναντι του αργιλούχου μίγματος (κεραμικά Clay). Σύμφωνα με προηγούμενη εργασία (Pontikes, *et al.*, 2007a), το σημείο υαλώδους μετάπτωσης του soda-lime-silica γυαλιού εμφανίζεται στους 540 °C, και κατ' επέκταση, περαιτέρω άνοδο της θερμοκρασίας επιφέρει αισθητή μείωση του ιξώδους των σωματιδίων γυαλιού προκαλώντας τον σχηματισμό μικροπεριοχών ρευστής φάσης οι οποίες ενισχύουν την πυροσυσσωμάτωση λόγω ιξώδους ροής. Σε αντίθεση, στα κεραμικά Clay, απαιτείται θερμοκρασία >900 °C περίπου, όπου διασπάται ο ιλλίτης προς ρευστή φάση, για να γίνει το σύστημα πιο δραστικό. Επιπρόσθετα, το αργιλούχο μίγμα έχει 40-45%κβ περίπου χαλαζία και 23%κβ CaCO<sub>3</sub> περίπου. Ο χαλαζίας αντιδρά σε μικρό σχετικά βαθμό για θερμοκρασία <1000 °C και ο CaCO<sub>3</sub> προωθεί τη δημιουργία κρυσταλλικών φάσεων περιορίζοντας την ανάπτυξη της υαλώδους φάσης στους 900–1000 °C (Cultrone, *et al.*, 2004). Τα κεραμικά BW, εμφανίζουν 15% απορρόφηση νερού στους 950 °C και φτάνουν το 5.3% περίπου στους 1050 °C. Δεδομένης της υψηλής απώλειας βάρους του BW (32.42%κβ), συμπεραίνεται ότι το BW είναι πολύ ισχυρό συλλίπασμα, σε συμφωνία και με τα αποτελέσματα άλλων εργασιών (Christogerou, *et al.*, 2009, Kavas, 2006).

Η φαινόμενη πυκνότητα, Εικόνα 3, ποικίλει από 1.7 μέχρι 2.4g/cm<sup>3</sup> περίπου, για τα SLS και Clay κεραμικά και από 2.3 μέχρι 2.8g/cm<sup>3</sup> περίπου, για τα κεραμικά BW.

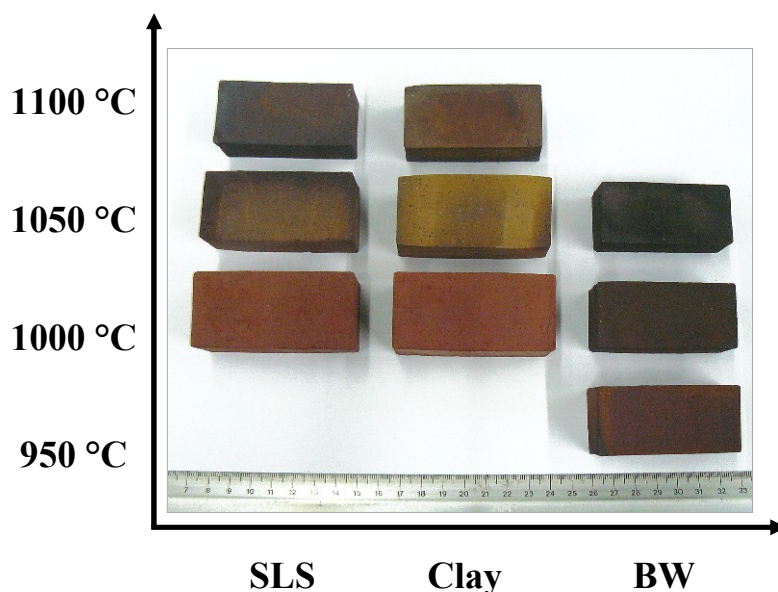


Εικόνα 2. Απορρόφηση νερού συναρτήσει της θερμοκρασίας όπτησης.



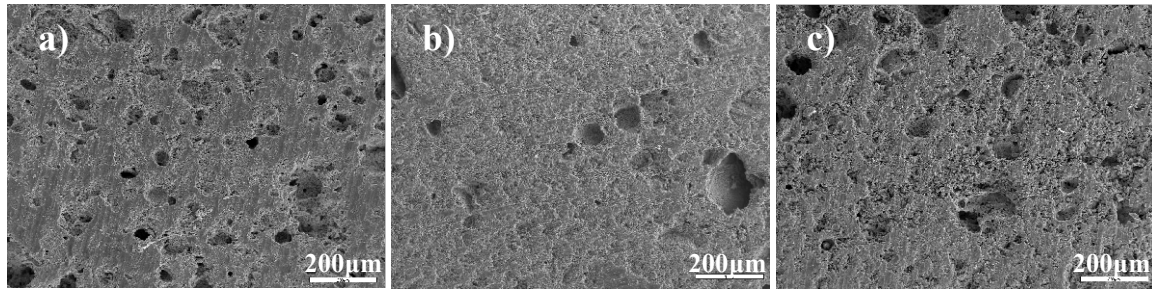
Εικόνα 3. Φαινόμενη πυκνότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας όπτησης.

Στην Εικόνα 4 φαίνονται τα κεραμικά μετά την όπτηση σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Παρατηρείται ευρεία διακύμανση, τόσο του χρώματος των κεραμικών όσο και του μεγέθους τους. Το διαφορετικό χρώμα οφείλεται στις διαφορετικές κρυσταλλικές φάσεις που αναπτύσσονται και στον τρόπο συμμετοχής σε αυτές του Fe. Ποικίλει από κόκκινο για το SLS1000 και Clay1000, σε καφέ/μπεζ για υψηλότερες θερμοκρασίες, μέχρι και μαύρο για το BW1050. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι το χρώμα ποικίλει ακόμα και για το ίδιο το κεραμικό, παρά την προσπάθεια για επίτευξη ομοιομορφων συνθηκών κατά την όπτηση. Αυτό οφείλεται σε τοπικά διαφορετικές συνθήκες (λόγω ατμόσφαιρας, ακτινοβολίας κτλ) οι οποίες επιδρούν κύρια στα οξείδια του Fe, οδηγώντας προς αναγωγή με επακόλουθη υαλοποίηση (Pontikes and Angelopoulos, 2009, Pontikes, *et al.*, 2009). Αυτό επηρεάζει προφανώς και τη συρρίκνωση των κεραμικών και παρατηρείται ενίοτε ανομοιομορφο αποτέλεσμα.



Εικόνα 4. Φωτογραφία των κεραμικών μετά από την όπτηση σε διάφορες θερμοκρασίες.

Η μικροδομή των κεραμικών με αντίστοιχη συρρίκνωση/απορρόφηση νερού, φαίνεται στην Εικόνα 5. Χαρακτηριστική είναι σε όλες τις περιπτώσεις η ύπαρξη μεγάλων πόρων σφαιρικού σχήματος, το οποίο οφείλεται κύρια στον παγιδευμένο αέρα κατά τη μορφοποίηση. Το SLS1100, Εικόνα 5(a), είναι πυκνό, με σχετικά μεγάλους κλειστούς πόρους (πέρα από τους αρχικούς πόρους λόγω μορφοποίησης) και συμπαγείς μικροπεριοχές χωρίς καθόλου πορώδες (πρώην κόκκοι γυαλιού). Το Clay1100, Εικόνα 5(b) εμφανίζει πορώδες μικρότερου μέσου μεγέθους συγκριτικά με το SLS1100, το οποίο είναι συνήθως διασυνδεδεμένο. Τέλος, το BW 1000, Εικόνα 5(c) εμφανίζει τόσο συμπαγείς μικροπεριοχές χωρίς πορώδες, όπου πιθανότατα υπήρχαν ορυκτά βορίου και τα οποία έχουν συμμετάσχει σε υαλοποίηση, όσο και περιοχές με ανοικτούς πόρους μικρού μεγέθους.



Εικόνα 5. Εικόνες από SEM, α) SLS1100, β) Clay1100, γ) BW1000.

#### ΠΡΟΤΑΣΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ

Συνυπολογίζοντας τις νέες δυνατότητες που διανοίγονται με τη βιομηχανική φιλτρόπρεσσα και λαμβάνοντας υπόψη τα ερευνητικά αποτελέσματα των τελευταίων ετών έχει κατοχυρωθεί δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (Angelopoulos, *et al.*, 2007). Δυο είναι τα κύρια σημεία: α) ο σχεδιασμός του μίγματος με τη ΣΑ και β) η όπτηση του ξηρού κεραμικού που προκύπτει.

#### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Παρασκευάστηκαν με επιτυχία κεραμικά από 90%κβ Σιδηραλουμίνα (ΣΑ) και 10%κβ προσθήκη υλικών που προωθούν τη δημιουργία ρευστής φάσης, όπως υαλόθραυσμα soda-lime-silica, αργιλούχο μίγμα πλούσιο σε ιλλίτη/γλωρίτη, και κατάλοιπα βορίου.
- Η διεργασία παραγωγής των κεραμικών θα μπορούσε να υλοποιηθεί στο εργοστάσιο παραγωγής αλουμίνας (και κατάλοιπων βωξίτη) και με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται το κόστος μεταφοράς του υλικού.
- Τα πρώτα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά αλλά απαιτείται ολοκλήρωση των μετρήσεων (περιθλασιμετρία ακτινών X, αντοχή σε θλίψη, έκλυση, εμφάνιση δευτερογενούς ασβεστίτη) για να υπάρχει πιο ολοκληρωμένη εικόνα.

#### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς ευχαριστούν τον καθ. T. Kavas, Afyon Kocatepe University, Ceramic Engineering Department, Τουρκία, για το δείγμα BW και τον Δ. Μπουφούνου, Αλουμίνιον της Ελλάδος.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Angelopoulos, G. N., Pontikis, I. and Boufonos, D., 2007. *Process for the production of structural ceramics from Bayer's process bauxite residue*. GR 2007-100393/19.06.2007.
- Christogerou, A., Kavas, T., Pontikes, Y., Koyas, S., Tabak, Y. and Angelopoulos, G. N., 2009. Use of boron wastes in the production of heavy clay ceramics. *Ceram. Int.*, **35**(1), 447-452.
- Cultrone, G., Sebastián, E., Elert, K., de la Torre, M. J., Cazalla, O. and Rodríguez-Navarro, C., 2004. Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. *J. Eur. Ceram. Soc.*, **24**, 547-564.
- Kavas, T., 2006. Use of boron waste as a fluxing agent in production of red mud brick. *Build. Environ.*, **41**(12), 1779-1783.
- Leahy, B., 2000. *A visionary mission: towards zero waste*. Rive, M., CSIRO Minerals publication.
- Paramguru, R. K., Rath, P. C. and Misra, V. N., 2005. Trends in red mud utilization-A review. *Miner. Process. Extr. M.*, **26**, 1-29.
- Parekh, B. K. and Goldberger, W. M., 1976. *An Assessment of Technology for Possible Utilization of Bayer Process Muds*. 600/2-76-301, EPA, Washington D. C.
- Pontikes, Y., 2007. Utilisation of Red Mud in the heavy clay industry. PhD, University of Patras, Patras.
- Pontikes, Y. and Angelopoulos, G. N., 2009. Effect of firing atmosphere and soaking time on heavy clay ceramics with addition of Bayer's process bauxite residue. *Adv. Appl. Ceram.*, **108**(1), 50-56.
- Pontikes, Y., Angelopoulos, G. N., Kim, U., Lee, H. and Carty, W., 2006a. On the plasticity of clay mixtures with Bauxite Residue of the Bayer process. *Adv. Sci. Technol.*, **45**, 2240-2245.
- Pontikes, Y., Christogerou, A., Angelopoulos, G. N., Rambaldi, E., Esposito, L. and Tucci, A., 2005. Use of scrap soda-lime-silica glass in traditional ceramics. *Glass Technol.*, **46**(2), 200-206.
- Pontikes, Y., Esposito, L., Tucci, A. and Angelopoulos, G. N., 2007a. Thermal behaviour of clays for traditional ceramics with soda-lime-silica waste glass admixture. *J. Eur. Ceram. Soc.*, **27**(2-3), 1657-1663.
- Pontikes, Y., Nikolopoulos, P. and Angelopoulos, G. N., 2007b. Thermal behaviour of clay mixtures with bauxite residue for the production of heavy-clay ceramics. *J. Eur. Ceram. Soc.*, **27**(2-3), 1645-1649.
- Pontikes, Y., Rathossi, C., Nikolopoulos, P., Angelopoulos, G. N., Jayaseelan, D. D. and Lee, W. E., 2009. Effect of firing temperature and atmosphere on sintering of ceramics made from Bayer process bauxite residue. *Ceram. Int.*, **35**(1), 401-407.
- Pontikes, Y., Vangelatos, I., Boufonos, D., Fafoutis, D. and Angelopoulos, G. N., 2006b. Environmental aspects on the use of Bayer's process Bauxite Residue in the production of ceramics. *Adv. Sci. Technol.*, **45**, 2176-2181.
- The Aluminum Association, 2000. *Technology Roadmap for Bauxite Residue Treatment and Utilization*. The Aluminum Association.
- Μπουφόνος, Δ., 2005. Άλλες αξιοποιήσεις των καταλοίπων βωξίτη Πρακτικά του 1<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνέδριου για την Αξιοποίηση Βιομηχανικών Παραπροϊόντων στη Δόμηση, Θεσσαλονίκη, pp. 183-190.
- Ρηγάλος, Χ. Ν., Χριστογέρου, Α., Ποντίκης, Ι. Θ., Βαγγελάτος, Ι. and Αγγελόπουλος, Γ. Ν., 2007. Επίδραση της κοκκομετρίας των Α' υλών στις ιδιότητες δομικών κεραμικών από αργιλούχο μίγμα και σιδηραλουμίνα. Πρακτικά του 6<sup>ου</sup> Πανελληνίου Επιστημονικού Συνέδριου Χημικής Μηχανικής, Αθήνα, pp. 69-72.