

Παραγωγή ωμόπλινθων με τη χρήση ιπτάμενης τέφρας και ερυθράς ιλύος

Ε. Αναστασίου, Ι. Παπαγιάννη, Μ. Αβορίτης

Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Λέξεις κλειδιά: Ωμόπλινθοι, Ερυθρά Ιλύς, Ιπτάμενη Τέφρα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η ιπτάμενη τέφρα (ΙΤ) και η ερυθρά ιλύς (ΕΙ) είναι δύο βιομηχανικά παραπροϊόντα που παράγονται σε μεγάλες ποσότητες στον ελληνικό χώρο και βρίσκουν περιορισμένες εφαρμογές, ενώ το μεγαλύτερο μέρος αποτίθεται στο περιβάλλον. Στα πλαίσια της διερεύνησης νέων εφαρμογών των παραπάνω υλικών στο δομικό τομέα, εξετάζεται η δυνατότητα συνδυασμού ιπτάμενης τέφρας και ερυθράς ιλύος για την παρασκευή δομικών ωμόπλινθων. Προσδιορίστηκαν βασικά χαρακτηριστικά των δύο υλικών προκειμένου να χρησιμοποιηθούν μετά από ανάμιξη για την παραγωγή ωμόπλινθων με συμπίεση, όπως και η μέγιστη πυκνότητα και υγρασία με τη τροποποιημένη μέθοδο Proctor, ώστε να οριστούν οι αναλογίες σύνθεσης των ωμόπλινθων. Στη συνέχεια παρασκευάστηκαν ωμόπλινθοι με διαφορετικές αναλογίες ΙΤ και ΕΙ, που ξεκινούν από το 0% ΙΤ – 100% ΕΙ και φτάνουν στο 40% ΙΤ – 60% ΕΙ, στους οποίους προσδιορίστηκαν η φαινόμενη πυκνότητα, η αντοχή σε κάμψη και η αντοχή σε θλίψη σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αναπτύσσονται ικανοποιητικές αντοχές (έως και 12 MPa θλιπτική αντοχή 28 ημερών) και ότι υπάρχουν σημαντικά περιθώρια αξιοποίησης των δύο παραπροϊόντων στην κατασκευή δομικών ωμόπλινθων.

Masonry block production using fly ash and red mud

E. Anastasiou, I. Papayianni, M. Avoritis

Laboratory of Building Materials, Aristotle University of Thessaloniki

Keywords: Earth Masonry, Red Mud, Fly Ash

ABSTRACT: Fly Ash (FA) and Red Mud (RM) are two industrial by-products produced in large quantities in Greece and currently find only marginal application, while for their most part they result in landfills. In the present report, earth masonry blocks are produced with FA and RM, in an effort to propose new applications for the two by-products within the construction sector. Some properties of the materials such as density and chemical properties were determined, as well as the maximum density and optimum water content using the modified Proctor test. Earth masonry blocks were produced by using different rates of the two by-products, starting from 0% FA – 100% RM, up to 40% FA – 60% RM. After suitable curing, the earth blocks were tested for density, pulse velocity, modulus of rupture and compressive strength at different ages. The results show good strength (reaching 12 MPa compressive strength at 28 days) and seem promising for the future use of FA and RM.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ερυθρά Ιλύς (ΕΙ) και η Ιπτάμενη Τέφρα (ΙΤ) είναι δύο βιομηχανικά παραπροϊόντα που παράγονται σε μεγάλες ποσότητες παγκοσμίως, ενώ στην Ελλάδα η παραγωγή εκτιμάται σε 600.000 t/έτος για την ΕΙ και σε 10.000.000 t/έτος για την ΙΤ. Η παραγωγή πολλών εκατοντάδων χιλιάδων τόνων παραπροϊόντων ετησίως συνεπάγεται πολλά προβλήματα διαχείρισης των υλικών, τα οποία αν δεν βρουν κάποια χρήση εναποτίθενται στο περιβάλλον (Agrawal et al, 2004). Χαρακτηριστικό είναι ότι για την παραγωγή 1 τόνου βωξίτη προκύπτει περίπου 1 τόνος ΕΙ, ενώ το κόστος απόθεσης κυμαίνεται από 2€/τόνο έως 10€/τόνο. Τα τελευταία χρόνια, το κόστος διαχείρισης και το περιβαλλοντικό κόστος απόρριψης των παραπροϊόντων επιβαρύνει σε αυξανόμενο βαθμό τις εταιρείες που τα παράγουν, με σκοπό την αύξηση της πίεσης για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και της κατανάλωσης φυσικών πόρων. Σε αυτή την κατεύθυνση, η διερεύνηση μεθόδων αξιοποίησης βιομηχανικών παραπροϊόντων παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον τόσο από περιβαλλοντική όσο και από οικονομική σκοπιά και ο κατασκευαστικός τομέας είναι ένας από τους βασικούς τομείς εφαρμογής αυτής της έρευνας.

Η αξία των βιομηχανικών παραπροϊόντων κυμαίνεται ανάλογα με τις ιδιότητές τους και το είδος της εφαρμογής που βρίσκουν. Υλικά με όσο το δυνατόν σταθερή σύσταση και ιδιότητες χρήσιμες στην κατασκευαστική βιομηχανία έχουν βρει εφαρμογές στην αγορά σε χρήσης υψηλής προστιθέμενης αξίας. Έτσι, οι έρευνες για την αξιοποίηση βιομηχανικών παραπροϊόντων με ποζολανικές ιδιότητες, όπως η ΙΤ και η σκωρία υψικαμίνων, που έχουν ξεκινήσει εδώ και αρκετές δεκαετίες, έχουν προσφέρει σημαντικές δυνατότητες εφαρμογής του υλικού είτε ως συστατικό του τσιμέντου, είτε ως εναλλακτική κονία. Αυτό ισχύει και για την ελληνική ΙΤ, αλλά το ποσοστό αξιοποίησής της συνεχίζει να είναι χαμηλό (~10%). Η ελληνική ΕΙ έχει βρει μέχρι τώρα εφαρμογή στην κεραμοποιία, στην παραγωγή τσιμέντου, στην κατάλυση και σε μεταλλουργικές διεργασίες (Βαγγελάτος κ.α., 2005; Μπουφούνος κ.α., 2005; Stivanakis et al, 2003). Μέχρι πριν από λίγα χρόνια, η κεραμοποιία απορροφούσε περίπου 200.000 t ετησίως, ενώ η τσιμεντοβιομηχανία 100.000-150.000 t/έτος, φτάνοντας σε ένα ποσοστό αξιοποίησης του υλικού άνω του 50%. Τα τελευταία χρόνια, όμως, με την κατακόρυφη πτώση της κατασκευαστικής δραστηριότητας, η αξιοποίηση της ΕΙ έχει σχεδόν μηδενιστεί.

Στην παρούσα εργασία, στα πλαίσια της έρευνας για μεγιστοποίηση του ποσοστού αξιοποίησης των βιομηχανικών παραπροϊόντων ελέγχεται η δυνατότητα παραγωγής ωμόπλινθων με τη χρήση ΕΙ και ΙΤ. Οι ωμόπλινθοι αποτελούν ένα παραδοσιακό υλικό δόμησης, χαμηλής αντοχής (Heath et al, 2009), το οποίο παρουσιάζει σήμερα αυξημένο ενδιαφέρον λόγω του πολύ καλού ενεργειακού του προφίλ, αλλά και των καλών του θερμικών χαρακτηριστικών (Μπέη, 2008; Παπαγιάννη et al, 2011). Ο συνδυασμός ΕΙ και ΙΤ μπορεί να δώσει ωμόπλινθους χωρίς την κατανάλωση νέων υλικών (όλα τα στερεά είναι βιομηχανικά παραπροϊόντα) και με βελτιωμένες ιδιότητες χάρη στις τσιμεντοειδείς ιδιότητες της ΙΤ (Yang & Xiao, 2008) και ιδιαίτερα των ελληνικών ιπτάμενων τεφρών (Παπαγιάννη, 1987). Επίσης, με αυτή την εφαρμογή μπορεί να αντιμετωπιστεί ένα από τα προβλήματα στην αξιοποίηση της ΕΙ, που είναι τα μεγάλα διαθέσιμα ποσοστά υγρασίας που διαθέτει (Βαγγελάτος κ.α., 2009). Για τις περισσότερες χρήσεις απαιτείται επεξεργασία (ξήρανση) που ανεβάζει το κόστος διαχείρισης, ενώ για την παραγωγή ωμόπλινθων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως έχει μειώνοντας περισσότερο το κόστος και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του τελικού προϊόντος.

Για τη δοκιμαστική παραγωγή ωμόπλινθων στο εργαστήριο αρχικά ελέγχθηκαν κάποιες από τις ιδιότητες των υλικών και στη συνέχεια παρασκευάστηκαν μίγματα με τρεις διαφορετικές αναλογίες ΕΙ και ΙΤ: 100%-0%, 80%-20% και 60%-40%, αντίστοιχα, έτσι ώστε να προσδιορισθεί η επιρροή της αυξανόμενης προσθήκης τέφρας στις ιδιότητες των παραγόμενων ωμόπλινθων. Επίσης, παρασκευάστηκαν μίγματα με διαφορετικά ποσοστά

υγρασίας (από 24% έως 32% κ.β. των στερεών) προκειμένου να διερευνηθεί η επιρροή της περιεκτικότητας σε νερό στην ανάπτυξη αντοχών των ωμόπλινθων με ΕΙ και ΙΤ.

2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

2.1 Ιδιότητες των υλικών

Για τη διεξαγωγή των εργαστηριακών συνθέσεων χρησιμοποιήθηκε ΙΤ από τον ατμοηλεκτρικό σταθμό του Αγίου Δημητρίου Κοζάνης και ΕΙ από το εργοστάσιο της Αλουμίνιο της Ελλάδος στη Βοιωτία. Η ΕΙ όπως παραλήφθηκε διέθετε υγρασία 26% κ.β., ενώ η ΙΤ ήταν πρακτικά στεγνή (υγρασία < 0,5%). Η φαινόμενη πυκνότητα της ΕΙ μετρήθηκε ίση με 3544 kg/m³, ενώ της ΙΤ ίση με 2406 kg/m³. Και στα δύο υλικά έγινε χημική ανάλυση, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Χημική ανάλυση ιπτάμενης τέφρας και ερυθράς ιλύος

Συστατικά (% κ.β.)	Ιπτάμενη Τέφρα (ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου)	Ερυθρά Ιλύς (Αλουμίνιο της Ελλάδος)
Na ₂ O	1,00	4,18
K ₂ O	0,53	0,24
CaO	47,15	10,97
MgO	3,20	0,20
Fe ₂ O ₃	4,00	43,61
TiO ₂	-	4,81
Al ₂ O ₃	7,29	11,79
SiO ₂	33,07	15,78
Απώλεια Πύρωσης	3,75	7,23
SO ₃	7,82	0,20
Cl ⁻	0,04	< 0,01
CaO _{free}	15,46	-

Για τη διευκόλυνση του σχεδιασμού των συνθέσεων μετρήθηκε η μέγιστη ξηρή πυκνότητα κατά Proctor και η βέλτιστη υγρασία σύμφωνα με την Ελληνική Προδιαγραφή Ε105-86 και για τα δύο παραπροϊόντα. Η μέγιστη ξηρή πυκνότητα κατά Proctor προσδιορίστηκε ίση με 1,81 t/m³ και 1,24 t/m³ για την ΕΙ και την ΙΤ, αντίστοιχα, ενώ η βέλτιστη υγρασία προσδιορίστηκε ίση με 24,3% και 30,8% για την ΕΙ και την ΙΤ, αντίστοιχα.

2.2 Σχεδιασμός των συνθέσεων

Για την εργαστηριακή παραγωγή των ωμόπλινθων έγινε αρχικά μια προκαταρκτική σειρά συνθέσεων με αναλογία 20% ΙΤ και 80% ΕΙ και ποσοστά υγρασίας 24%, 26%, 28%, 30% και 32% κ.β. των στερεών. Στη συνέχεια, επιλέχθηκε να παρασκευαστεί μία δεύτερη σειρά συνθέσεων με αναλογία 40% ΙΤ και 60% ΕΙ και όμοια ποσοστά υγρασίας με την πρώτη σειρά, ώστε να φανεί ο βαθμός συνεισφοράς της ΙΤ στην ανάπτυξη αντοχών, διατηρώντας ταυτόχρονα τη χρήση των δύο βιομηχανικών παραπροϊόντων στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Για τα ποσοστά υγρασίας χρησιμοποιήθηκε σαν αρχική ένδειξη η βέλτιστη υγρασία Proctor, αλλά λόγω των ποζολανικών και τσιμεντοειδών ιδιοτήτων της ΙΤ, επιλέχθηκαν διαφορετικά ποσοστά υγρασίας, ώστε να υπάρχει πλεόνασμα νερού και να διευκολυνθεί η ανάπτυξη αντοχών. Τέλος, για λόγους σύγκρισης παρασκευάστηκε μια τρίτη σειρά συνθέσεων με 100% ΕΙ και ποσοστά υγρασίας 26%, 28% και 30%. Τα ποσοστά υγρασίας είναι μεγαλύτερα από τη βέλτιστη υγρασία κατά Proctor (24,3%), αλλά επιλέχθηκαν με σκοπό τη χρήση της ΕΙ ως έχει, χωρίς ξήρανση. Για την παραγωγή των ωμόπλινθων αναμίχθηκαν τα υλικά με τη φυσική τους υγρασία, προστέθηκε το επιπλέον νερό και το τελικό μίγμα συμπιέστηκε ανά 5 kg με κατάλληλο φορτίο ώστε να προκύψουν ωμόπλινθοι διαστάσεων 250 x 120 x 80 mm. (Φωτ.1).



Φωτ.1 Νωπός ωμόπλινθος

Όλοι οι παραγόμενοι ωμόπλινθοι διαθέτουν κόκκινο χρώμα λόγω των συστατικών της ΕΙ, ακόμα και όταν η χρήση της ΙΤ φτάνει το 40%. Σε κάθε σύνθεση καταγράφηκε η περιεχόμενη υγρασία, το απαιτούμενο φορτίο συμπίεσης, η φαινόμενη πυκνότητα και ο βαθμός συμπύκνωσης του νωπού μίγματος. Οι αναλογίες των συνθέσεων, η υγρασία και το φορτίο συμπίεσης, αλλά και οι ιδιότητες των νωπών ωμόπλινθων παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Αναλογίες συνθέσεων και ιδιότητες νωπών ωμόπλινθων

Συστατικά (g)	Συνθέσεις με 0% ΙΤ			Συνθέσεις με 20% ΙΤ και 80% ΕΙ					Συνθέσεις με 40% ΙΤ και 60% ΕΙ				
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
Ερυθρά Ιλύς	12640	12640	12640	11850	11850	11850	11850	11850	10270	10270	10270	10270	10270
Ιπτάμενη Τέφρα	0	0	0	3000	3000	3000	3000	3000	5200	5200	5200	5200	5200
Νερό	3360	3540	3790	3564	3861	4158	4455	4752	3710	4020	4330	4640	4950
Ιδιότητες νωπού ωμόπλινθου													
Περιεκτικότητα νερού	26%	28%	30%	24%	26%	28%	30%	32%	24%	26%	28%	30%	32%
Φορτίο συμπύκνωσης (t)	20	15	10	45	30	20	20	20	75	50	45	30	20
Πυκνότητα νωπού (kg/m ³)	2305	2252	2229	2183	2112	2060	2142	2138	2093	2142	2131	2096	2084
Βαθμός συμπύκνωσης	100,2%	99,3%	100,3%	97,3%	95,7%	95,1%	100,7%	102,3%	96,1%	100,1%	101,4%	101,4%	102,5%

Ο βαθμός συμπύκνωσης εμφανίζεται σε κάποιες περιπτώσεις μεγαλύτερος του 100% λόγω της απομάκρυνσης μικρής ποσότητας νερού κατά τη συμπίεση. Το απαιτούμενο φορτίο συμπύκνωσης αυξάνεται με τη μείωση του περιεχόμενου νερού και με την αύξηση της περιεκτικότητας σε ΙΤ. Σε όλες τις περιπτώσεις συμπίεστηκε ποσότητα υλικού κατάλληλη ώστε να προκύψει ωμόπλινθος με τις επιθυμητές διαστάσεις.

Στη συνέχεια οι ωμόπλινθοι με ΙΤ συντηρήθηκαν σε συνθήκες υγρασίας (20°C και 95% σχετική υγρασία), ενώ οι ωμόπλινθοι με 100% ΕΙ συντηρήθηκαν σε συνθήκες ξήρανσης (20°C και 40% σχετική υγρασία).

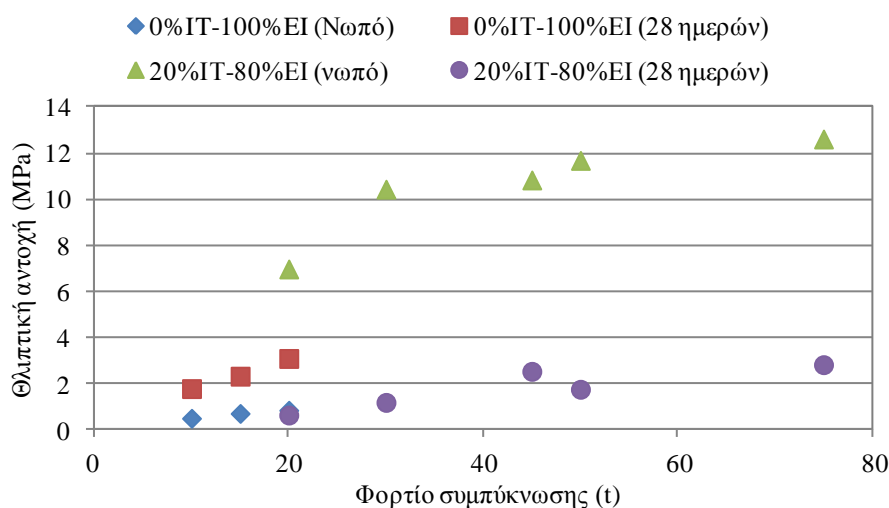
2.3 Αποτελέσματα

Μετρήθηκαν η αντοχή σε κάμψη και θλίψη, η φαινόμενη πυκνότητα και η ταχύτητα διέλευσης ηχητικού κύματος (σονομέτρηση) σε ηλικίες 7 και 28 ημερών. Η ηλικία των 7 ημερών είναι καταλληλότερη για τις συνθέσεις με 100% EI που δεν εμφανίζουν υδραυλικές ή ποζολανικές ιδιότητες, ενώ επιλέχθηκε η ηλικία των 28 ημερών για τις συνθέσεις με IT προκειμένου να υπάρξει ικανοποιητική ανάπτυξη αντοχών. Τα αποτελέσματα των ελέγχων φαίνονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα ελέγχων

Ιδιότητες	Συνθέσεις με 0% IT			Συνθέσεις με 20% IT και 80% EI					Συνθέσεις με 40% IT και 60% EI				
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
Περιεκτικότητα νερού (αρχική)	26%	28%	30%	24%	26%	28%	30%	32%	24%	26%	28%	30%	32%
Πυκνότητα (kg/m ³)	1873	1838	1799	2155	2100	2025	2156	2122	2121	2084	2060	2034	1920
Σονομέτρηση (m/s)	1314	1220	1228	2265	1982	1585	2033	2049	2717	2604	2602	2571	2424
Αντοχή σε θλίψη νωπού (MPa)	0.83	0.69	0.48	1.93	-	-	-	1.75	2.81	1.74	2.52	1.17	0.62
Αντοχή σε θλίψη 7 ημερών (MPa)	2.91	2.12	1.68	5.99	5.63	3.26	3.53	4.29	6.35	5.29	7.12	6.94	7.86
Αντοχή σε θλίψη 28 ημερών (MPa)	3.08	2.31	1.77	8.48	7.36	4.38	3.99	4.55	12.62	11.69	10.84	10.44	6.97
Αντοχή σε κάμψη 28 ημερών (MPa)	0.45	0.38	0.29	1.33	1.37	0.59	0.66	0.94	2.45	2.34	2.08	2.27	1.89

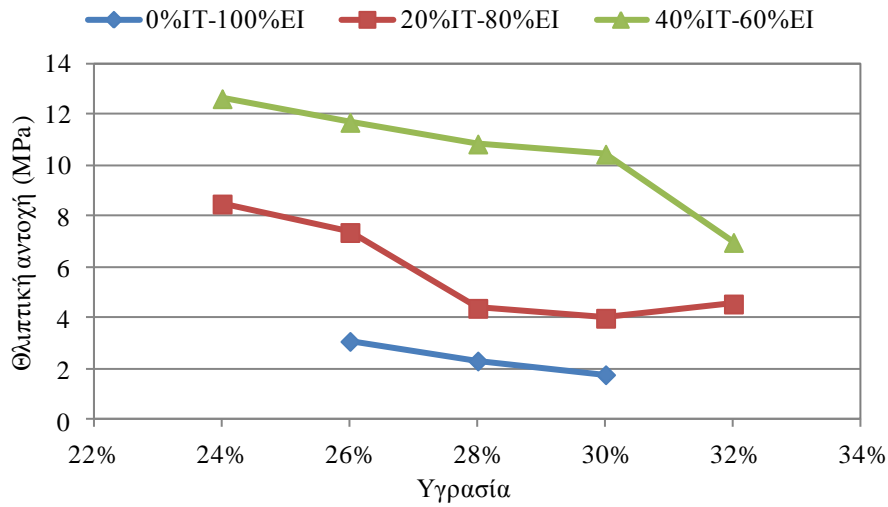
Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι το επιβαλλόμενο φορτίο συμπίκνωσης δεν επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη αντοχής, εφόσον επιτυγχάνεται ικανοποιητικός βαθμός συμπίκνωσης (Διάγραμμα 1).



Διάγραμμα 1. Επιρροή του φορτίου συμπίκνωσης στην ανάπτυξη αντοχής

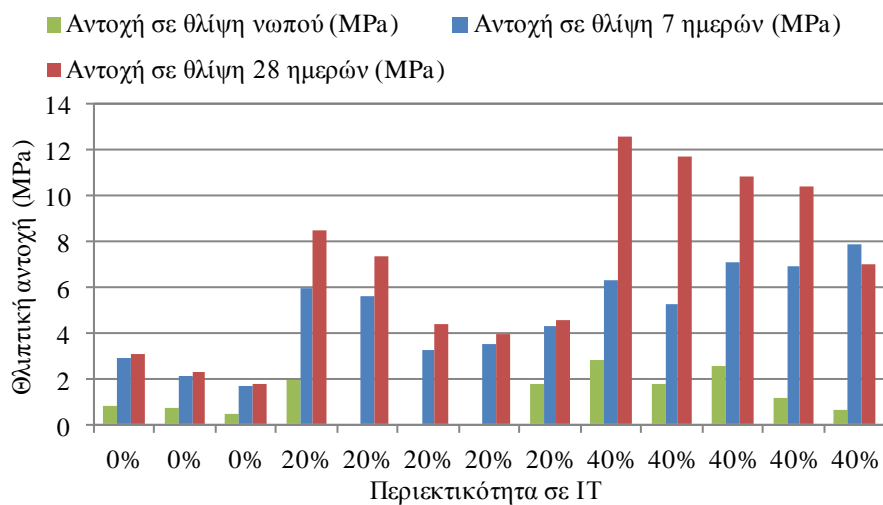
Αντίθετα, η περιεκτικότητα σε υγρασία φαίνεται σε όλες τις περιπτώσεις να μειώνει την τελική αντοχή (Διάγραμμα 2), κάτι αναμενόμενο λόγω της εισαγωγής κενών μέσω της περίσσειας νερού στο μίγμα και κατ' επέκταση, της μείωσης του πορώδους του ωμόπλινθου. Λόγω, όμως, του γεγονότος ότι μικρότερο ποσοστό υγρασίας αυξάνει το απαιτούμενο φορτίο συμπίκνωσης και ενδεχομένως να απαιτεί και ξήρανση των υλικών, θα ήταν προτιμότερο να επιλεγεί το βέλτιστο ποσοστό υγρασίας ανάλογα με την επιθυμητή αντοχή και τα διαθέσιμα μέσα συμπίκνωσης. Έτσι, μπορεί να επιτευχθεί θλιπτική αντοχή άνω των 7 MPa με τη χρήση

μίγματος 20% IT και 80% EI, περιεχόμενη υγρασία 26% και φορτίου συμπίκνωσης 30 t ή, αντίστοιχα, θλιπτική αντοχή άνω των 10 MPa με τη χρήση μίγματος 40% IT και 60% EI, περιεχόμενη υγρασία 30% και φορτίου συμπίκνωσης 30 t.



Διάγραμμα 2. Επιρροή της περιεκτικότητας σε υγρασία στην ανάπτυξη αντοχών,

Όσον αφορά την πυκνότητα των συνθέσεων, στις συνθέσεις χωρίς IT αυτή μειώνεται σημαντικά με τη συντήρηση (απώλεια νερού μέσω εξάτμισης) ενώ στις συνθέσεις με IT η πυκνότητα νωπού και σκληρυμένου δε διαφέρει σημαντικά, κάτι που εξηγείται λόγω της δέσμευσης του νερού μέσω των υδραυλικών και ποζολανικών αντιδράσεων της IT. Η ταχύτητα σονομέτρησης σχετίζεται με τις ιδιότητες των συστατικών του ωμόπλινθου και με την ύπαρξη κενών στη μάζα του, ενώ είναι ανάλογη της αντοχής του. Έτσι, βλέπουμε ότι η χρήση 20% IT υπερδιπλασιάζει την ταχύτητα σονομέτρησης, αλλά και την αντοχή σε θλίψη σε σχέση με τους ωμόπλινθους με 100% EI, ενώ η χρήση 40% IT αυξάνει ακόμα περισσότερο τις ίδιες ιδιότητες. Σε όλες τις περιπτώσεις, λόγω των ιδιοτήτων της IT, εμφανίζεται ανάπτυξη αντοχών με το χρόνο (Διάγραμμα 3), η οποία είναι ανάλογη της περιεκτικότητας σε IT και της υγρασίας, όπως αναφέρεται παραπάνω.



Διάγραμμα 3. Επιρροή της περιεκτικότητας σε IT στο ρυθμό ανάπτυξης αντοχής

3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών ελέγχων φαίνεται ότι η συνδυασμένη χρήση ΙΤ και ΕΙ για την παραγωγή ωμόπλινθων παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα από τεχνική και κατ' επέκταση από οικονομική σκοπιά. Τα επίπεδα αντοχών που επιτυγχάνονται είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά με τη χρήση της ΙΤ (πάνω από 8 MPa και 12 MPa θλιπτική αντοχή 28 ημερών με χρήση 20% ΙΤ - 80% ΕΙ και 40% ΙΤ - 60% ΕΙ, αντίστοιχα), ενώ με τη χρήση 100% ΕΙ επιτυγχάνεται θλιπτική αντοχή 28 ημερών ~2 MPa. Η προσθήκη ΙΤ στο ανάμιγμα ωμόπλινθων φαίνεται ότι ευνοεί την ανάπτυξη ικανοποιητικών καμπτικών αντοχών. Επίσης, η πρώιμη αντοχή μετά τη συμπίεση και το ξεκαλούπωμα των ωμόπλινθων αυξάνεται με την προσθήκη της ΙΤ, επιτρέποντας τη μετακίνηση και αποθήκευσή τους. Η παραγωγή των ωμόπλινθων είναι εύκολη, καθώς απαιτείται μόνο ανάμιξη και συμπίεση των υλικών χωρίς να προηγηθεί ξήρανση της ΕΙ, ενώ και το κόστος αναμένεται να είναι χαμηλό λόγω της φύσης και της διαθεσιμότητας των υλικών και της έλλειψης επεξεργασίας. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ωμόπλινθων αναμένεται επίσης να είναι ιδιαίτερα μικρό, εφόσον δεν καταναλώνεται σημαντική ενέργεια για την παραγωγή τους, ενώ ταυτόχρονα αξιοποιούνται δευτερογενή υλικά που διαφορετικά θα επιβάρυναν το περιβάλλον.

Σημειώνεται ότι στην πειραματική αυτή διερεύνηση χρησιμοποιήθηκε τέφρα υψηλού ποσοστού ασβεστίου και θεικών, η οποία δεν εμπίπτει στις ελληνικές προδιαγραφές για χρήση της ΙΤ σε συνδυασμό με τσιμέντο για προϊόντα σκυροδέματος. Οποσδήποτε, βέβαια, το θέμα της ανθεκτικότητας θα διερευνηθεί στη συνέχεια σύμφωνα με τους σχετικούς κανονισμούς. Θέματα προς διερεύνηση σχετικά με την παραγωγή αυτών των ωμόπλινθων αποτελούν η σχετικά μεγάλη πυκνότητά τους –που όμως φαίνεται να περιορίζεται με τη χρήση της ΙΤ– καθώς και τα θερμικά χαρακτηριστικά των πλίνθων αυτών σε συνδυασμό με τη μορφολογία των τεμαχίων.

Συνολικά, από την πρώτη αυτή ερευνητική προσέγγιση φαίνεται ότι η χρήση ΕΙ και ΙΤ για την παραγωγή ωμόπλινθων παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται μεγαλύτερη διερεύνηση ως προς την ανθεκτικότητα και τις φυσικομηχανικές ιδιότητες των ωμόπλινθων με Ερυθρά Ιλύ και Ιπτάμενη Τέφρα, ενώ μια Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis) θα αναδείκνυε καλύτερα τα περιβαλλοντικά οφέλη από την αξιοποίηση των βιομηχανικών αυτών παραπροϊόντων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agrawal, A., Sahu, K.K. & Pandey, B.D. (2004). Solid waste management in non-ferrous industries in India. Resources. *Conservation And Recycling*, Vol. 42, pp 99-120.
- Heath, A., Lawrence, M., Walker, P. & Fourie, C. (2009). The compressive strength of modern earth masonry. *Proceedings of the 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT 2009)*, 6-9 September 2009, Bath, UK.
- Papayianni I. (1987). An investigation on the pozzolanicity and hydraulic activity of a High Calcium Fly Ash. *Magazine of Concrete Research*, Vol. 39, No. 138, pp 19-28.
- Papayianni, I. Axarli, K., Papadopoulou, K., Manolopoulou, K., Vaskou, M. & Galanidou, V. (2011). Earth-block building. An energy efficient alternative for rural housing. *Proceedings of the 6th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES)*, 25-29 September 2011, Croatia.
- Stivanakis, V., Pontikes, I., Angelopoulos, G.N., Boufounos, D. & Fafoutis, D. (2003). On the utilization of red mud in the heavy clay industry in Greece. *Advances in Science and Technology*, Vol. 34, pp 187-194.

Yang, J. & Xiao, B. (2008). Development of unsintered construction materials from red mud wastes produced in the sintering alumina process. *Construction and Building Materials*, Vol. 22, pp 2299-2307.

Βαγγελάτος, Ι., Ποντίκης, Ι., Μπουφούνος, Δ. & Αγγελόπουλος Γ.Ν. (2009). Αξιοποίηση σιδηραλούμινας στην παραγωγή μπελιτικού τύπου «πράσινων» τσιμέντων. *Πρακτικά 2^ο πανελλήνιου συνέδριου για την αξιοποίηση βιομηχανικών παραπροϊόντων στη δόμηση*, Επιμέλεια έκδοσης: Παπαγιάννη, Ι. & Αναστασίου Ε., 1-3 Ιουνίου 2009, Αιανή Κοζάνης: ΕΒΙΠΑΡ, σελ. 144-152.

Βαγγελάτος, Ι., Ποντίκης, Ι., Στιβανάκης, Β., Αγγελόπουλος, Γ.Ν. (2005). Αξιοποίηση φερροαλούμινας στην βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου. *Πρακτικά 1^ο πανελλήνιου συνέδριου για την αξιοποίηση βιομηχανικών παραπροϊόντων στη δόμηση*, Επιμέλεια έκδοσης: Παπαγιάννη, Ι. & Τσίμας Σ., 24-26 Νοεμβρίου 2005, Θεσσαλονίκη: ΕΒΙΠΑΡ, σελ. 243-250.

Μπέη, Γ. (2008). Φέρουσα τοιχοποιία από ωμόπλινθους. Έρευνα και καινοτομία στην Ελλάδα. *Πρακτικά 1ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Δομικών Υλικών και Στοιχείων*, Αθήνα, 21-23 Μαΐου, ΤΕΕ.

Μπουφούνος, Δ., Φαφούτης, Δ. & Περνιεντάκη, Η. (2005). Άλλες αξιοποιήσεις των καταλοίπων βωξίτη. *Πρακτικά 1^ο πανελλήνιου συνέδριου για την αξιοποίηση βιομηχανικών παραπροϊόντων στη δόμηση*, Θεσσαλονίκη, 24-26 Νοεμβρίου 2005, ΕΒΙΠΑΡ, σελ. 183-190.