

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΛΑΡΙΣΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
«ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΡΓΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Καινοτόμα κεραμικά δομικά προϊόντα με ενσωμάτωση αποβλήτων
Ερυθράς Ιλύος (Red Mud)»**

**Στραβοκόστας Αστέριος
Πολιτικός Μηχανικός Τ.Ε.**

ΛΑΡΙΣΑ, 2019

**UNIVERSITY OF THESSALY
DEPARTMENT OF APPLIED SCIENCES (LARISSA)**

**POSTGRADUATE STUDIES PROGRAM
“ADVANCED ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
TECHNOLOGIES IN ENGINEERING WORKS”**

POSTGRADUATE MASTER’S THESIS

**«Innovative ceramic construction products with incorporation of Red
Mud waste»**

**Stravokostas Asterios
Civil Engineer T.E.**

LARISSA, 2019

ΣΤΡΑΒΟΚΩΣΤΑΣ

ΑΣΤΕΡΙΟΣ

Σ.Τ.Ε.Δ.Π.

2019

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) Λαμπρακόπουλος Στυλιανός**, Επιστημονικός Συνεργάτης, Τεχνολογία Υλικών – Δομικά Υλικά, Γενικό Τμήμα Λάρισας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων***,
- 2) Σπηλιώτης Ξενοφών**, Καθηγητής, Τεχνολογία Υλικών – Δομικά Υλικά, Γενικό Τμήμα Λάρισας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***,
- 3) Παπαπολυμέρου Γεώργιος**, Καθηγητής, Διαχείριση Περιβάλλοντος – Βιοκαύσιμα – Τεχνολογία Υλικών, Γενικό Τμήμα Λάρισας Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***,

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, Δρ. Λαμπρακόπουλο Στυλιανό για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του. Η καθοδήγηση και οι συμβουλές του συνέβαλαν τα μέγιστα στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Επίσης, τους συμφοιτητές μου Ματσουκά Μαρία και Μπαλγκουράνου Αναστασία για τη βοήθεια και την άψογη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια των πειραματικών διαδικασιών.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η βιομηχανία κεραμικών έχει την ικανότητα να καινοτομεί στη διαδικασία παραγωγής και να επαναχρησιμοποιεί τα βιομηχανικά απόβλητα - παραπροϊόντα, προωθώντας στρατηγικές κυκλικής οικονομίας. Στόχος είναι να βρεθούν οι βέλτιστες αναλογίες, τεχνικές σύνθεσης και επεξεργασίας των παραπροϊόντων - αποβλήτων που θα παρέχουν τελικά προϊόντα με παρόμοια ή καλύτερα τεχνικά χαρακτηριστικά από τα παραδοσιακά κεραμικά με πιο φιλική συμπεριφορά στο οικοσύστημα και οικονομικά εφαρμόσιμα από τον ίδιο το κλάδο. Μέχρι στιγμής τα ερευνητικά προγράμματα έχουν δείξει ότι η κεραμική βιομηχανία μπορεί να επαναχρησιμοποιήσει πολύ μεγάλο ποσοστό αποβλήτων στην παραγωγή της και τα επόμενα χρόνια αναμένεται να δούμε ακόμα μεγαλύτερα ποσοστά ή και παραγωγή κεραμικών δομικών προϊόντων εξολοκλήρου με χρήση παραπροϊόντων.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η μελέτη της δυνατότητας αξιοποίησης της ερυθράς ιλύος (Red Mud) για παραγωγή δομικών παραδοσιακών κεραμικών. Η ερυθρά ιλύς παράγεται κατά τη διαδικασία παραγωγής της αλουμίνας από τους βωξίτες με τη διεργασία Bayer. Είναι το κύριο παραπροϊόν της διεργασίας και απορρίπτεται. Λόγω του μεγάλου παραγόμενου όγκου αλλά και του υψηλού pH του υλικού, αναζητούνται τρόποι αξιοποίησής του προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Στα πλαίσια της εργασίας σε πρώτη φάση παρασκευάστηκαν δοκίμια από πρώτη ύλη του πηλώδες χώματος που προέρχεται από την εταιρία ΧΑΛΚΙΣ ΑΒΕΕ. Η δεύτερη φάση στο ίδιο ποιότητας πηλώδες χώμα έγινε προσθήκη του αποβλήτου Red Mud που προέρχεται από το εργοστάσιο ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ της εταιρίας ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε. σε ποσοστό 5% ενώ η τρίτη φάση είχε ποσοστό Red Mud 10%. Έγινε όπτηση των δοκιμίων στους 950°C και 1050°C. Μετά την ξήρανση και την όπτηση των παραγόμενων δοκιμίων, αξιολογήθηκαν ως προς την απώλεια βάρους, μεταβολή όγκου, θερμική αγωγιμότητα, αντοχή σε κάμψη 3 σημείων, υδατοαπορροφητικότητα και πορώδες.

Λέξεις – κλειδιά: Ερυθρά ιλύς, διαχείριση αποβλήτων, κυκλική οικονομία, κεραμικά δομικά προϊόντα, φυσικές και μηχανικές ιδιότητες

ABSTRACT

The ceramics industry has the ability to innovate in the production process and re-use industrial waste-by-products, promoting circular economy strategies. The aim is to find the optimal proportions, techniques of composition and treatment of waste by-products that will provide finished products with similar or better technical characteristics than traditional ceramics with a more eco- friendlier behavior and economically viable by the industry itself. So far, research programs have shown that the ceramic industry can reuse a very large percentage of its production waste and in the coming years we can expect to see even higher percentages or even production of ceramic construction products entirely using by-products.

In the present work, Red Mud is being studied as an additive for the production sample of traditional ceramics. Red mud is generated from bauxites during the alumina-producing Bayer process. It is the main by-product of the process and is currently discharged. Due to the high volume produced in conjunction with red mud's high pH, means to utilise the material are being sought in order to minimise the environmental impact.

In the first phase of this study were prepared specimens of raw clay soil from HALKIS ABEE. Afterwards, specimens with 5% and 10% Red Mud waste coming from the ALUMINUM OF GREECE by MYTILINEOS A.E., were produced. The specimensdried and fired at 950°C and 1050°C. After firing, the produced samples were measured and evaluated for weight loss, volume shrinkage, thermal conductivity, 3-point bending strength (MOR), water absorption and porosity.

Key words: Red Mud, waste management, circular economy, ceramic construction products, physical and mechanical properties

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1.	Κυκλική Οικονομία	1
1.2.	Σκοπός και στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	4
1.3.	Οι νέοι ενωσιακοί κανόνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης	4
1.4.	Κυκλική Οικονομία - ανακύκλωση δομικών υλικών και Υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα.....	7
1.5.	Ανακύκλωση αποβλήτων για χρήση ως δομικά υλικά	10
2.	ΚΕΡΑΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	12
2.1.	Ιστορική εξέλιξη των κεραμικών	12
2.2.	Προϊόντα Αργίλου	18
2.3.	Υλικά και μέθοδοι παραγωγής.....	18
2.4.	Τούβλα – ωμόπλινθοι, οπτόπλινθοι.....	20
2.4.1.	Είδη τούβλων.....	22
2.4.2.	Μορφές τούβλων	23
2.4.3.	Τούβλα ειδικών χρήσεων και εφαρμογές τους.....	25
2.4.4.	Ποιοτικός έλεγχος τούβλων	27
2.5.	Κεραμίδια – εφαρμογές σε επιστεγάσεις.....	29
2.5.1.	Είδη κεραμιδιών	30
2.5.2.	Κεραμικά πλακίδια επενδύσεων.....	32
2.5.3.	Ιδιότητες κεραμικών πλακιδίων.....	35
3.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΕΡΑΜΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	37
3.1.	Τα απόβλητα στην κεραμική σύνθεση.....	37
3.2.	Ο ρόλος των αποβλήτων στην κεραμική σύνθεση	49
3.3.	Συνθήκες καύσης για κεραμικά που ενσωματώνουν απόβλητα.....	51
3.4.	Χαρακτηριστικά κεραμικών που ενσωματώνουν απόβλητα.....	52
3.4.1.	Τεχνολογικές ιδιότητες	53
3.5.	Πειραματικές μελέτες κεραμικών με προσμίξεις αποβλήτων	55
4.	ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥΣ (RED MUD).....	64
4.1.	Βωξίτης.....	64
4.2.	Εξόρυξη και αποθέματα βωξίτη.....	66
4.3.	Παραγωγή αλουμίνας και η διεργασία Bayer	67
4.4.	Τα στάδια της διεργασίας Bayer	68

4.5.	Χαρακτηριστικά ερυθράς ιλύος	70
4.6.	Διαχείριση Ερυθράς Ιλύος	71
4.6.1.	Απόθεση στο έδαφος.....	72
4.6.2.	Απόρριψη στη θάλασσα.....	74
4.6.3.	Απόθεση στη παραλία.....	74
4.6.4.	Απόθεση πλαστικής Ε.Ι. σε στεγανούς χώρους.....	74
4.7.	Αξιοποίηση της Ε.Ι.	75
4.7.1.	Μεταλλουργικές χρήσεις.....	75
4.7.2.	Παραγωγή τσιμέντου	75
4.7.3.	Ως καταλύτης	76
4.7.4.	Ως αδρανές υλικό (filler).....	76
4.7.5.	Ως υλικό προσρόφησης ή εξουδετέρωσης	77
4.7.6.	Παραγωγή δομικών κεραμικών	77
4.7.7.	Παραγωγή άλλων υλικών.....	77
4.7.8.	Άλλες χρήσεις.....	77
4.8.	Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την απόρριψη της Ε.Ι.	78
4.8.1.	Οι επιπτώσεις από την απόθεση στο έδαφος.....	78
4.8.2.	Επιπτώσεις από την απόρριψη στη θάλασσα	79
4.8.3.	Επιπτώσεις από την απόρριψη σε παραλίες	79
4.8.4.	Επιπτώσεις από την απόθεση σε στεγανούς χώρους	80
4.9.	Παραγωγή σιδηραλουμίνας.....	80
4.10.	Τεχνολογία απομάκρυνσης νερού για την ΕΙ.....	81
4.11.	Αξιοποίηση της ερυθράς ιλύος στη βιομηχανία παραδοσιακών κεραμικών.....	84
4.11.1.	Δημοσιεύσεις σε περιοδικά και πρακτικά συνεδρίων	85
4.11.2.	Διπλώματα ευρεσιτεχνίας.....	91
5.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ RED MUD ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	92
5.1.	Υλικά και παρτίδες για την παραγωγή δοκιμίων.....	92
5.2.	Παραγωγική διαδικασία και έλεγχος δοκιμίων (περιγραφή συσκευών και οργάνων)	93
5.2.1.	Ομογενοποίηση δείγματος	93
5.2.2.	Μείωση μεγέθους κόκκων του δείγματος	95
5.2.3.	Μορφοποίηση δειγμάτων	96
5.2.4.	Ξύραση δοκιμίων	98

5.2.5.	Μέτρηση βάρους και διαστάσεων δοκιμίων μετά την ξήρανση.....	99
5.2.6.	Όπτηση δοκιμίων.....	99
5.2.7.	Μέτρηση βάρους και διαστάσεων δοκιμίων μετά την όπτηση.....	102
5.3.	Μελέτη των φυσικό-μηχανικών ιδιοτήτων των παραγόμενων κεραμικών δοκιμίων	102
5.3.1.	Βάρος και εμφάνιση δοκιμίων.....	102
5.3.2.	Θερμική αγωγιμότητα.....	103
5.3.3.	Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων (MOR).....	104
5.3.4.	Υδατοαπορροφητικότητα δοκιμίων.....	107
6.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	110
6.1.	Κατανάλωση ενέργειας κατά την όπτηση.....	110
6.2.	Απώλεια βάρους και μεταβολή όγκου των δοκιμίων κατά την όπτηση.....	111
6.3.	Θερμική αγωγιμότητα.....	112
6.4.	Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων (MOR).....	113
6.5.	Υδροαπορροφητικότητα – πορώδες.....	114
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	117
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	120
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	126

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Κυκλική Οικονομία

Η κυκλική οικονομία είναι ένα μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης, το οποίο περιλαμβάνει την ανταλλαγή, εκμίσθωση, επαναχρησιμοποίηση, επισκευή, ανακαίνιση και ανακύκλωση των υπαρχόντων υλικών και προϊόντων όσο το δυνατόν περισσότερο προκειμένου να παραταθεί ο κύκλος ζωής τους (Εικ. 1.1). Στην πράξη, η κυκλική οικονομία υποδηλώνει τη μείωση των αποβλήτων στο ελάχιστο δυνατό επίπεδο. Όταν ένα προϊόν φτάνει στο τέλος της ζωής του, τα υλικά κατασκευής του διατηρούνται μέσα στην οικονομία με οποιοδήποτε δυνατό τρόπο για να χρησιμοποιηθούν ξανά και ξανά, δημιουργώντας προστιθέμενη αξία στο προϊόν¹.



Εικόνα 1.1: Το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας

¹<http://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/economy/20151201STO05603/kuklike-oikonomia-khresimopieise-to-xana>

Η έννοια της κυκλικής οικονομίας έρχεται να ανταποκριθεί στην φιλοδοξία για αειφόρο ανάπτυξη στα πλαίσια της αυξανόμενης πίεσης από την παραγωγή και κατανάλωση των πόρων και του περιβάλλοντος του πλανήτη. Έως τώρα, η οικονομία λειτουργούσε κυρίως σύμφωνα με το μοντέλο «παίρνω-φτιάχνω-απορρίπτω» - ένα γραμμικό μοντέλο στο οποίο κάθε προϊόν αναπόφευκτα φτάνει στο «τέλος της ωφέλιμης ζωής» του.

Πολύτιμα υλικά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφίμων, την κατασκευή υποδομών και κατοικιών, την παραγωγή καταναλωτικών αγαθών ή την παροχή ενέργειας. Όταν τα προϊόντα αυτά καταναλωθούν ή δεν είναι πλέον απαραίτητα, τότε απορρίπτονται. Ωστόσο, η αύξηση του πληθυσμού αλλά και του πλούτου καθιστά τη ζήτηση για σπάνιες πρώτες ύλες μεγαλύτερη από ποτέ, και οδηγεί σε υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Τα μέταλλα και τα μεταλλεύματα, τα ορυκτά καύσιμα, οι ζωοτροφές και τα τρόφιμα, αλλά και το καθαρό νερό και τα γόνιμα εδάφη έχουν ακριβύνει. Κάθε χρόνο στην ΕΕ, χρησιμοποιούνται σχεδόν 15 τόνοι υλικών ανά άτομο, ενώ κάθε πολίτης της ΕΕ παράγει, κατά μέσο όρο, πάνω από 4,5 τόνους αποβλήτων ετησίως, εκ των οποίων πάνω από το μισό καταλήγει σε ΧΥΤΑ. Η γραμμική οικονομία, η οποία βασίζεται αποκλειστικά στην εξόρυξη πόρων, δεν αποτελεί πλέον βιώσιμη επιλογή.

Η μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία προϋποθέτει αλλαγή της εστίασης στην επαναχρησιμοποίηση, επισκευή, ανανέωση και ανακύκλωση υφιστάμενων υλικών και προϊόντων. Ότι προηγουμένως θεωρούνταν «απόβλητο», μπορεί να μετατραπεί σε πρώτες ύλες. Η κυκλική οικονομία γίνεται καλύτερα κατανοητή εξετάζοντας τα φυσικά, βιοσυστήματα που λειτουργούν με βέλτιστο τρόπο διότι το καθένα από τα στοιχεία τους εντάσσεται στο σύνολο. Τα προϊόντα σχεδιάζονται με στόχο να εντάσσονται σε κύκλους υλικών, με αποτέλεσμα τα υλικά να μεταφέρονται με τέτοιο τρόπο ώστε η προστιθέμενη αξία να διατηρείται όσο το δυνατόν περισσότερο - ενώ τα υπολειμματικά απόβλητα να προσεγγίζουν το μηδέν.

Η μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία απαιτεί τη συμμετοχή και δέσμευση πολλών διαφορετικών ομάδων ανθρώπων. Ο ρόλος των υπευθύνων χάραξης πολιτικής είναι να παρέχουν τις βασικές προϋποθέσεις, την προσβλεψιμότητα και την αυτοπεποίθηση στις επιχειρήσεις, να ενισχύουν το ρόλο των καταναλωτών, και να ορίζουν πώς οι πολίτες μπορούν να εξασφαλίσουν τα οφέλη των αλλαγών που πραγματοποιούνται. Ο επιχειρηματικός κόσμος είναι σε θέση να επανασχεδιάσει ολόκληρες αλυσίδες προσφοράς, με σκοπό την αποδοτικότητα των πόρων και την κυκλικότητα. Μια τέτοια

συστημική μετάβαση υποστηρίζεται από τις εξελίξεις στις τεχνολογίες της πληροφορίας και της επικοινωνίας, αλλά και από την κοινωνική αλλαγή. Έτσι, η κυκλική οικονομία μπορεί να δημιουργήσει νέες αγορές που θα ανταποκρίνονται στην απομάκρυνση της κατανάλωσης από το παραδοσιακό ιδιοκτησιακό καθεστώς, και την προσέγγισή της στη χρήση, την επαναχρησιμοποίηση και τον διαμοιρασμό προϊόντων, συμβάλλοντας παράλληλα στην αύξηση και τη βελτίωση της απασχόλησης. Η Ευρώπη έχει ήδη προετοιμάσει το έδαφος για αυτή τη μετάβαση, μια Ευρώπη αποδοτική από πλευράς πόρων είναι μία από τις βασικές πρωτοβουλίες της στρατηγικής Ευρώπη 2020, η οποία συντονίζει δράσεις σε πολλούς τομείς πολιτικής, ώστε να διασφαλιστεί η αιεφόρο ανάπτυξη και η απασχόληση μέσω της καλύτερης χρήσης των πόρων².

Οι πόλεις μπορούν να διαδραματίσουν ουσιαστικό ρόλο στην ανάπτυξη μιας κυκλικής οικονομίας. Λειτουργούν ως παράγοντες που επιτρέπουν παρεμβάσεις, στην Ευρώπη τουλάχιστον, με τις οποίες μπορούν να επηρεάσουν τόσο τους καταναλωτές όσο και τις επιχειρήσεις. Για παράδειγμα, οι πόλεις είναι υπεύθυνες για τη διαχείριση απορριμμάτων σε τοπικό επίπεδο. Έχουν τη δυνατότητα χαρτογράφησης των πηγών δημιουργίας απορριμμάτων. Μαζί με τις τοπικές επιχειρήσεις, ορισμένα τουλάχιστον από τα απορρίμματα αυτά, μπορούν να μετατραπούν σε εισροές για την τοπική, την περιφερειακή και την παγκόσμια παραγωγή.³

Η μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία απαιτεί πολυεπίπεδη διακυβέρνηση και νέα οράματα για το πως θα μπορούσε να είναι η μελλοντική πόλη. Ως εκ τούτου, η συμμετοχή σε τοπικό επίπεδο είναι ζωτικής σημασίας για τη μετατροπή από την παραδοσιακή γραμμική προσέγγιση σε μια κυκλική στρατηγική. Η κυκλική οικονομία αποσκοπεί στη αποσύνδεση της ανάπτυξης από τους πεπερασμένους πόρους και την κατανάλωση. Στηρίζεται σε τρεις αρχές:

1. Σχεδιασμό της αποτελεσματικής διαχείρισης των απορριμμάτων και της ρύπανσης
2. Διατήρηση των προϊόντων, των εξαρτημάτων και των υλικών στην υψηλότερη αξία τους και χρηστικότητα τους.
3. Αναγέννηση των φυσικών συστημάτων.

²Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Η Κυκλική Οικονομία, συνδέοντας, δημιουργώντας και διατηρώντας την Αξία, ISBN 978-92-79-37809-6, doi:10.2779/79393

³<https://smarcities.ellak.gr/2018/08/13/kikliki-ikonomia-ke-dimi-mia-epikeri-endiaferousa-ke-diskolisi/>

1.2. Σκοπός και στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει εγκρίνει μια νέα, φιλόδοξη δέσμη μέτρων για την κυκλική οικονομία, με στόχο να βοηθήσει τις ευρωπαϊκές επιχειρήσεις και τους καταναλωτές να κάνουν τη μετάβαση σε μια ισχυρότερη και πιο κυκλική οικονομία, όπου οι πόροι θα χρησιμοποιούνται με πιο βιώσιμο τρόπο.

Τα προτεινόμενα μέτρα θα συμβάλουν σε έναν πληρέστερο κύκλο ζωής των προϊόντων μέσω της μεγαλύτερης ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης τους, και θα αποφέρουν οφέλη τόσο για το περιβάλλον όσο και για την οικονομία. Τα σχετικά σχέδια θα αντλούν τη μέγιστη αξία και χρήση από όλες τις πρώτες ύλες, τα προϊόντα και τα απόβλητα, προωθώντας την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.⁴

Οι προτάσεις καλύπτουν τον πλήρη κύκλο ζωής των προϊόντων: από την παραγωγή και την κατανάλωση μέχρι τη διαχείριση των αποβλήτων και την αγορά δευτερογενών πρώτων υλών. Η μετάβαση αυτή θα υποστηριχθεί οικονομικά από τα Ευρωπαϊκά Διαρθρωτικά και Επενδυτικά Ταμεία (ΕΔΕΤ), τα οποία διαθέτουν 5,5 δισ. ευρώ για τη διαχείριση των αποβλήτων, το πρόγραμμα «Ορίζοντας 2020» (το χρηματοδοτικό πρόγραμμα της ΕΕ για την έρευνα και την καινοτομία) με 650 εκατ. ευρώ, καθώς και από επενδύσεις στην κυκλική οικονομία σε εθνικό επίπεδο.

1.3. Οι νέοι ενωσιακοί κανόνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Οι νέοι ενωσιακοί κανόνες θα καταστήσουν την ΕΕ παγκόσμια πρωτοπόρο στη διαχείριση αποβλήτων και στην ανακύκλωση. Οι νέοι κανόνες με βάση τις προτάσεις της Επιτροπής στο πλαίσιο της δέσμης μέτρων για την κυκλική οικονομία, που υποβλήθηκε τον Δεκέμβριο του 2015 - θα συμβάλουν στην πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων και, όταν αυτό δεν είναι εφικτό, θα αυξήσουν σημαντικά την ανακύκλωση των αστικών αποβλήτων και των απορριμμάτων συσκευασίας. Θα καταργήσουν σταδιακά την υγειονομική ταφή και θα προωθήσουν τη χρήση των οικονομικών μέσων, όπως τα προγράμματα διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού. Η νέα νομοθεσία ενισχύει

⁴https://ec.europa.eu/commission/priorities/jobs-growth-and-investment/towards-circular-economy_el

την «ιεράρχηση των αποβλήτων», και συγκεκριμένα απαιτεί από τα κράτη μέλη να λάβουν ειδικά μέτρα που να δίνουν προτεραιότητα στην πρόληψη, στην επαναχρησιμοποίηση και στην ανακύκλωση, παρά στην υγειονομική ταφή και στην αποτέφρωση, καθιστώντας έτσι δυνατή την υλοποίηση της κυκλικής οικονομίας.

Η Επιτροπή είχε υποβάλει αρχικά προτάσεις για νέους κανόνες για τα απόβλητα το 2014, οι οποίες αποσύρθηκαν και αντικαταστάθηκαν από καλύτερα σχεδιασμένες, πιο κυκλικές και πιο φιλόδοξες προτάσεις τον Δεκέμβριο του 2015, στο πλαίσιο του θεματολογίου για την κυκλική οικονομία της Επιτροπής Γιούνκερ. Οι προτάσεις αυτές εγκρίθηκαν και αποτελούν πλέον μέρος του εγχειριδίου κανόνων της ΕΕ.⁵

Οι λεπτομέρειες των νέων κανόνων για τα απόβλητα και οι στόχοι (Πιν.1.1 και 1.2) είναι:

Πίνακας 1.1: Στόχοι ανακύκλωσης για τα αστικά απόβλητα:

Έως το 2025	Έως το 2030	Έως το 2035
55 %	60 %	65 %

Επιπλέον, οι αυστηρότεροι κανόνες για τον υπολογισμό των ποσοστών ανακύκλωσης, θα συμβάλουν στην καλύτερη παρακολούθηση της πραγματικής προόδου προς την κυκλική οικονομία.

Πίνακας 1.2: Νέοι στόχοι ανακύκλωσης για τα απορρίμματα συσκευασίας:

	Έως το 2025	Έως το 2030
Όλες οι συσκευασίες	65 %	70 %
Πλαστικά	50 %	55 %
Ξύλο	25 %	30 %
Σιδηρούχα μέταλλα	70 %	80 %
Αλουμίνιο	50 %	60 %
Γυαλί	70 %	75 %
Χαρτί και χαρτόνι	75 %	85 %

⁵https://ec.europa.eu/greece/news/20180522/eu_circular_economy_waste_recycling_el&http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3846_el.htm

Χωριστή συλλογή

Με βάση την υφιστάμενη υποχρέωση χωριστής συλλογής για το χαρτί και το χαρτόνι, το γυαλί, τα μέταλλα και το πλαστικό, νέοι κανόνες χωριστής συλλογής θα ενισχύσουν την ποιότητα των δευτερογενών πρώτων υλών και την αξιοποίησή τους: **τα επικίνδυνα οικιακά απόβλητα θα πρέπει να συλλέγονται χωριστά έως το 2022, τα βιολογικά απόβλητα έως το 2023 και κλωστοϋφαντουργικά έως το 2025.**

Σταδιακή κατάργηση της υγειονομικής ταφής

Η υγειονομική ταφή των αποβλήτων δεν έχει νόημα σε μια κυκλική οικονομία και μπορεί να προκαλέσει μόλυνση του νερού, του εδάφους και του αέρα. Έως το 2035, η ποσότητα των αστικών αποβλήτων που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής πρέπει να μειωθεί στο 10% ή λιγότερο, της συνολικής ποσότητας των παραγόμενων αστικών αποβλήτων.

Κίνητρα

Η νέα νομοθεσία προβλέπει μεγαλύτερη χρήση αποτελεσματικών οικονομικών μέσων και άλλων μέτρων για την υποστήριξη της ιεράρχησης των αποβλήτων. Οι παραγωγοί αποκτούν σημαντικό ρόλο στη μετάβαση αυτή καθώς καθίστανται υπεύθυνοι για τα προϊόντα τους όταν αυτά γίνονται απόβλητα. Νέες απαιτήσεις για προγράμματα διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού θα οδηγήσουν σε βελτίωση των επιδόσεών τους και της διαχείρισης. Επιπλέον, πρέπει να δημιουργηθούν υποχρεωτικά προγράμματα διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού για όλες τις συσκευασίες έως το 2024.

Πρόληψη

Η νέα νομοθεσία θα δώσει ιδιαίτερη έμφαση στην πρόληψη των αποβλήτων και θα εισαγάγει σημαντικούς στόχους για τη σπατάλη τροφίμων στην ΕΕ και για την ανάσχεση των θαλάσσιων απορριμμάτων, ώστε να συμβάλει στην επίτευξη των στόχων αειφόρου ανάπτυξης του ΟΗΕ σε αυτούς τους τομείς.

1.4. Κυκλική Οικονομία - ανακύκλωση δομικών υλικών και Υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα

Συμβατικά Δομικά Υλικά

Ακόμη και σήμερα, οι περισσότερες κτιριακές υποδομές καθώς και η δομική αγορά κατακλύζονται από συμβατικά δομικά υλικά, παρότι είναι γνωστές οι δυσμενείς επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Η εν λόγω περιβαλλοντική ρύπανση, δεν περιλαμβάνει μόνο τη ρύπανση από τη χρήση λειτουργία των κτιριακών υποδομών αλλά και τη ρύπανση που προέρχεται από την παραγωγή των συμβατικών δομικών υλικών.

Γενικά, τα στάδια της βιομηχανικής δραστηριότητας στον οικοδομικό τομέα είναι :

- Παραγωγή συμβατικών δομικών υλικών (εκμετάλλευση φυσικών πόρων).
- Κατασκευή κτιρίου (εφαρμογή δομικών υλικών).
- Χρήση κτιρίου (λειτουργικότητα δομικών υλικών).
- Κατεδάφιση κτιρίου (παραγωγή δομικών αποβλήτων).

Το μεγαλύτερο σε διάρκεια στάδιο είναι αυτό της χρήση των δομικών υλικών, εκεί παρατηρούνται και οι μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Προτεραιότητα αρχικά (δεκαετία 80'), ήταν η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη λειτουργία του κτιρίου. Ωστόσο, με την όξυνση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων λόγω του κατασκευαστικού τομέα (από τις αρχές της δεκαετίας του '90), και λόγω της εφαρμογής νομοθετικού πλαισίου διαχείρισης αποβλήτων, άλλαξε η θεώρηση για την περιβαλλοντική συμπεριφορά των κτιρίων και των επιπτώσεων τους στο περιβάλλον, έχοντας υπόψη όλη τη διάρκεια ζωής των δομικών υλικών. Έτσι άρχισε να ενσωματώνεται ο όρος αειφορία στα δομικά υλικά ώστε, να είναι φιλικά προς το περιβάλλον και να επιφέρουν τη λιγότερη δυνατή επιβάρυνση σε αυτό καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους. Για να μιλήσουμε με αριθμούς, ο οικοδομικός τομέας καταναλώνει το 40% από την παγκόσμια κατανάλωση ανόργανων υλικών (άμμος, σκύρα, άσβεστος), το 25% της ξυλείας και το 16% του νερού παγκοσμίως.

Χαρακτηρισμός Αποβλήτων από Συμβατικά Δομικά Υλικά

Τα απόβλητα από τα συμβατικά δομικά υλικά παράγονται κατά την εκτέλεση διαφόρων κατασκευαστικών έργων όπως ανέγερση, ανακαίνιση και κατεδάφιση κτιρίων,

κατασκευή και συντήρηση δρόμων και εκτέλεση δημοσίων έργων. Τα υλικά αυτά, ποικίλουν ανάλογα με το είδος, την περιοχή έργου και τις μεθόδους.

Οι βασικές κατηγορίες κατασκευαστικών αποβλήτων είναι :

- Απόβλητα εκσκαφών: Χώματα εκσκαφών, άμμος, πετρώματα, άργιλος, κλπ. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται επίσης, υλικά από φυσικά φαινόμενα όπως υπερχειλίσεις χειμάρρων, κατολισθήσεις κα.
- Απόβλητα οδοποιίας: Άσφαλτος, χαλίκια, άμμος, σκύρα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή οδοστρωμάτων, βάσεων, υποβάθρων και υλικά από την ανακατασκευή ανακαίνιση οδών, και από έργα υπόγειων υδραυλικών και ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.
- Απόβλητα κατεδαφίσεων: Η εν λόγω κατηγορία είναι η μεγαλύτερη ποσοτικά και είναι υλικά όπως σκυρόδεμα, τούβλα, πλακάκια, πέτρες, χώματα, άμμος, χαλίκια, κεραμικά, υλικά με βάση το γύψο, το ξύλο, το γυαλί και το πλαστικό, μέταλλα (και τα κράματα τους), μονωτικά υλικά (εκτός από αυτά που περιέχουν αμιάντο) και μικτά απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων. Ακόμη, στα απόβλητα κατεδαφίσεως περιλαμβάνονται καλώδια, ηλεκτρικές συσκευές, σωλήνες και είδη υγιεινής.
- Απόβλητα εργοταξίου: Ξύλο, πλαστικό, χαρτί και χαρτόνι γυαλί μέταλλα, καλώδια, χρώματα, βερνίκια, κόλλες, στοιχεία επικαλύψεων προσόψεων και γενικά τα απορρίμματα από την λειτουργία εγκαταστάσεων κατασκευής, κατεδάφισης, επισκευής, ενίσχυσης, προσθήκης, επέκτασης και ανακαίνισης δομικών εφαρμογών. Αν και τα συγκεκριμένα απόβλητα μπορούν να ανακυκλωθούν πλήρως, η διαδικασία παραγωγής έχει αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Πρακτικές Διαχείρισης Αποβλήτων από Συμβατικά Δομικά Υλικά

Τα απόβλητα αυτά λόγω του ογκώδους μεγέθους και γενικά των ιδιοτήτων τους, δεν μπορούν να καούν, ούτε να επεξεργαστούν σε συνήθεις εγκαταστάσεις. Στην παρούσα φάση, οδηγούνται σε ειδικά ΧΥΤΑ. Τα ΧΥΤΑ χρειάζονται ορισμένες ποσότητες των αποβλήτων αυτών για τη λειτουργία, αν δεν έχουν τις ποσότητες αυτές θα πρέπει να προμηθευθούν πρωτογενή αδρανή υλικά (χώμα, άμμο, χαλίκι). Ωστόσο, οι ποσότητες που καταλήγουν στα ΧΥΤΑ είναι πολύ μεγαλύτερες από τις αναγκαίες.

Εναλλακτική Διαχείριση Αποβλήτων Συμβατικών Δομικών Υλικών

Οι σημαντικότερες ενέργειες που πρέπει να γίνουν για αποτελεσματική ανακύκλωση και μείωση των αποβλήτων είναι:

- 1) Ορθός σχεδιασμός και στρατηγική διαχείριση της ροής των δομικών υλικών πριν την έναρξη των εργασιών.
- 2) Λήψη μέτρων για επιμήκυνση της διάρκειας ζωής των κτιρίων, με γνώμονα την κατασκευαστική ακεραιότητα, τον περιβαλλοντικό σεβασμό και την ευελιξία σε θέματα αλλαγής χρήσης.
- 3) Υπολογισμός ακριβείας των παραγγελιών των δομικών υλικών και χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων, για αποφυγή κοψιμάτων και δημιουργίας αποβλήτων, λαμβάνοντας υπόψη την εξοικονόμηση ενέργειας.
- 4) Χρήση υψηλής ποιότητας δομικών υλικών (λιγότερες απώλειες και απόβλητα, εξοικονόμηση πόρων).

Στόχος της οικοδομικής βιομηχανίας είναι η αύξηση της διάρκειας ζωής των κτιρίων και η εξοικονόμηση πόρων και ενέργειας. Σε άλλες χώρες γίνονται συμφωνίες, έχουν αναπτυχθεί κατάλογοι και δίκτυα ανταλλαγής πληροφοριών στο διαδίκτυο, για την προσφορά και ζήτηση υλικών από κατεδαφίσεις για ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση. Γενικά, η ανακύκλωση υλικών μπορεί να διευκολυνθεί από το σχεδιασμό της κατασκευής με την αποφυγή χρήσης υλικών που δεν διαχωρίζονται στο τέλος της ζωής τους. Έτσι, θα πρέπει το κτίριο να σχεδιάζεται λαμβάνοντας υπόψη την μετέπειτα αποσυναρμολόγηση του, όχι κατεδάφιση. Σε άλλες χώρες, ήδη τα οικοδομικά απόβλητα ανακυκλώνονται. Στη Γερμανία ανακυκλώνεται το 90% των υλικών οδοποιίας, στην Αγγλία το 30%, ενώ στην Ολλανδία και το Βέλγιο το 25% των αδρανών στο προκατασκευασμένο σκυρόδεμα προέρχεται από ανακυκλωμένα αδρανή. Σημαντικό είναι να αναπτυχθούν πρότυπα και κανονισμοί για τις πιθανές χρήσεις κάθε κατασκευαστικού απόβλητου. Ο διαχωρισμός των υλικών ανά κατηγορία και μέγεθος εντός του εργοταξίου είναι ιδιαίτερα σημαντικός αφού η μετέπειτα επεξεργασία ανάμεικτων υλικών είναι οικονομικά ασύμφορη.

Ανακύκλωση στην Ελλάδα

Ο κατασκευαστικός τομέας ευθύνεται για το 40% της κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως, μεγάλο μέρος της οποίας θα μπορούσε να εξοικονομηθεί με τη χρήση

ανακυκλωμένων υλικών ως πρώτες ύλες στον κατασκευαστικό τομέα. Τα τελευταία χρόνια, λόγω της ανάπτυξης των μεγάλων αστικών κέντρων και της ανόδου του βιοτικού επιπέδου, παρατηρείται αύξηση της παραγωγής απορριμμάτων, και ιδιαίτερα αυτών με αυξημένη τοξική σύνθεση και των σύνθετων υλικών, που είναι ακόμη δυσκολότερο να διαχειριστούν.

Στην Ελλάδα, τα πιο συνηθισμένα παραδείγματα χρήσης ανακυκλωμένων υλικών στον οικοδομικό τομέα είναι η επανάχρηση ολόκληρων μονάδων όπως container ή βαγονιών τρένων ή τραμ. Το «τρένο στο ρούφ» χρησιμοποιεί παλιά βαγόνια τρένων ως χώρο θεατρικών και μουσικών παραστάσεων. Το «τραμ cafe» αξιοποιεί ένα παλιό βαγόνι τραμ ως καφεστιατόριο. Ακόμη, στην Τεχνόπολη στο Γκάζι, ένα container χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία ενός προσωρινού βιβλιοπωλείου Παπασωτηρίου. Τα ράφια για τα βιβλία είναι επαναχρησιμοποιημένες πλαστικές παλέτες μεταφοράς προϊόντων.

Παρόλα αυτά η Ελλάδα και η Κύπρος βρίσκονται πολύ πίσω στον τομέα αξιοποίησης ενέργειας από εναλλακτικά καύσιμα, καθώς άλλες χώρες όπως η Γερμανία το 75% της ενέργειας που χρησιμοποιείται προέρχεται από τα εναλλακτικά καύσιμα, ενώ στην Ελλάδα και την Κύπρο το 100% προέρχεται από συμβατικά καύσιμα. Τα προβλήματα υπάρχουν κυρίως γιατί δεν υπάρχουν ανάλογες εγκαταστάσεις και έλλειψη ολοκληρωμένων λύσεων και κεντρικό σχεδιασμό. Ακόμη, η Γερμανία αξιοποιεί όχι μόνο τα δικά της απορρίμματα αλλά και χωρών καθυστερημένων περιβαλλοντικά όπως είναι η Ελλάδα και η Ιταλία.

Επιπλέον, είναι αναγκαίο να γίνεται συλλογή και αξιοποίηση των αποβλήτων, αφού αποτρέπει την εισαγωγή νέων πρώτων υλών, δεδομένου ότι οι πρώτες ύλες και η παραγωγή θα γίνεται εντός της χώρας. Επιπλέον θα πρέπει να λάβουμε υπόψη το κόστος των μεταφορικών και χάλυβας για παράδειγμα για να μεταφερθεί από τη Μέση Ανατολή.

1.5. Ανακύκλωση αποβλήτων για χρήση ως δομικά υλικά

Η ανακύκλωση των υλικών στη κατασκευή διαχωρίζεται σε τέσσερα είδη: Σε πρωτογενή και δευτερογενή, ανάλογα με το που χρησιμοποιούνται τα ανακυκλωμένα

υλικά - και σε άμεση και έμμεση, ανάλογα με την επεξεργασία που υφίστανται για να επαναχρησιμοποιηθούν.

Στην πρωτογενή ανακύκλωση τα υλικά χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή που είχαν αρχικά χρησιμοποιηθεί, ενώ στη δευτερογενή γίνεται αλλαγή στον τρόπο χρήσης τους. Και συγκεκριμένα στον οικοδομικό τομέα, η πρωτογενή ανακύκλωση αφορά καθαρά οικοδομικά υλικά ενώ η δευτερογενή «μη οικοδομικά υλικά», δηλαδή βιομηχανικά ή βιοτεχνικά απόβλητα.

Δύο από τα χαρακτηριστικότερα παραδείγματα πρωτογενούς ανακύκλωσης είναι η πέτρα και το μάρμαρο, που προέρχονται από μία κατεδαφισμένη κατασκευή, και χρησιμοποιούνται σε μία νέα. Ενώ για τη δευτερογενή, ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο χαρτοπολτός από συσκευασίες χαρτονιού. Ο πολτός χαρτιού παράγεται από διαχωρισμό και επεξεργασία έντυπου χαρτιού.

Στην άμεση, τα υλικά για να επαναχρησιμοποιηθούν χρειάζονται ελάχιστη ή καθόλου επεξεργασία. Από περιβαλλοντικής απόψεως, είναι προτιμότερα τα άμεσα, γιατί δεν αλλοιώνεται η ποιότητα του υλικού και καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια σε σύγκριση με τα έμμεσα. Για να γίνει αυτό βέβαια, πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις: Να υπάρχει επάρκεια του υλικού, να έχει το σωστό μέγεθος για την εφαρμογή και αν χρειάζεται (και πόση) επεξεργασία για να ξαναχρησιμοποιηθούν ή ποια στοιχεία χρησιμοποιούνται ξανά αυτούσια. Στα έμμεσα προηγείται επεξεργασία, αυτά είναι τα λεγόμενα ανακυκλωμένα υλικά. Τα πλείστα υλικά ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Συνήθως η δευτερογενής ανακύκλωση ταυτίζεται με την έμμεση, διότι για να χρησιμοποιηθούν τα απόβλητα σε διαφορετικές χρήσεις, απαιτείται κάποια επεξεργασία.

Τα κατασκευαστικά απόβλητα (συμπεριλαμβανομένου και αυτών των κατεδαφίσεων), σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό κατάλογο (2001/117/EK) είναι :

1. τούβλα, κεραμικά πλακάκια και σκυρόδεμα
2. ξύλο, γυαλί και άσφαλτος
3. χάλυβας και μη σιδηρούχα μέταλλα
4. χώματα, πέτρες και μάζα από εκσκαφές

2. ΚΕΡΑΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

2.1. Ιστορική εξέλιξη των κεραμικών

Στην Ιστορία της Τέχνης, τα κεραμικά και η κεραμική τέχνη νοούνται αντικείμενα τέχνης όπως είναι οι φηγούρες, τα πλακάκια, τα τούβλα και τα επιτραπέζια σκεύη φτιαγμένα από πηλό και από άλλες πρώτες ύλες με τη διαδικασία της αγγειοπλαστικής. Μερικά κεραμικά προϊόντα θεωρούνται ως υψηλή τέχνη, ενώ άλλα θεωρούνται ως διακοσμητικά, ως βιομηχανική ή εφαρμοσμένη τέχνη, ή ως αρχαιολογικά αντικείμενα.

Η λέξη "κεραμικό" προέρχεται από το προάστιο Κεραμεικός της Αρχαίας Αθήνας, το οποίο με τη σειρά του προέρχεται από το Κέραμος (κέραμος) μια παλαιότερη ρίζα που σημαίνει "να καεί" και αναφερόταν αρχικά στην αγγειοπλαστική κεραμική, για ψημένα προϊόντα από πηλό.

Ο πηλός χρησιμοποιείται για τα επιτραπέζια αγγεία και τα διακοσμητικά αντικείμενα. Είναι ένα από τα παλαιότερα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κεραμική. Ο πηλός ψήνεται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (1.000 - 1.150 °C) παράγοντας ένα ελαφρά πορώδες και χοντρό προϊόν. Για τελειοποίηση της εμφάνισης και της υφής καύση το αντικείμενο καλύπτεται με λεπτή σκόνη επίγειου γυαλιού (βερνίκι) και στη συνέχεια ψήνεται για δεύτερη φορά.

Ο πηλός ψήνεται σε υψηλή θερμοκρασία (περίπου 1.200 °C) μέχρι να γίνει σαν γυαλί. Επειδή τα πήλινα σκεύη είναι μη πορώδες, εφαρμόζεται ένα βερνίκι μόνο για διακόσμηση. Πρόκειται για ένα ανθεκτικό υλικό κατάλληλο για χρήση στην κουζίνα για μαγείρεμα, για ψήσιμο, για την αποθήκευση υγρών και το σερβίρισμα

Η πορσελάνη είναι ένα πολύ σκληρό, ημιδιαφανές λευκό κεραμικό. Οι πρώτες μορφές της πορσελάνης προέρχονταν από την Κίνα περίπου 1600 π.Χ., και από το 600 μΧ. Η πορσελάνη χρησιμοποιείται συχνά για να κάνουν πλάκες, κύπελλα, αγγεία και άλλα έργα τέχνης. Για να γίνει η πορσελάνης, χρησιμοποιούνται μικρές ποσότητες από γυαλί, γρανίτη και ορυκτά έδαφος, όπου αναμιγνύονται με ψιλή λευκή σκόνη από καολίνη. Στη συνέχεια προστίθεται νερό στο προκύπτον μείγμα, έτσι ώστε να μπορεί να ζυμωθεί και δοθεί σχήμα. Αυτό ψήνεται σε κλίβανο σε θερμοκρασία 1.200-1.450 °C. Πολιτισμοί ιδιαίτερα γνωστοί για τα κεραμικά τους είναι της Κίνας, της Ελλάδας και ιδιαίτερα της

Κρήτης, της Περσίας, των Μάγια, της Ιαπωνίας και της Κορέας, καθώς και όλες οι σύγχρονες Δυτικές κουλτούρες.

Στη σύγχρονη μηχανολογική χρήση, τα κεραμικά είναι η τέχνη και η επιστήμη των αντικειμένων που γίνονται από ανόργανα, μη μεταλλικά υλικά. Είναι συνήθως κρυσταλλικά στη φύση και είναι ενώσεις που σχηματίζονται μεταξύ των μεταλλικών και μη μεταλλικών στοιχείων, όπως το αλουμίνιο με το οξυγόνο (αλουμίνα- Al_2O_3), το ασβέστιο με το οξυγόνο (ασβέστου - CaO), και το πυρίτιο με το άζωτο (νιτρίδιο του πυριτίου-Si N_4) (Αναμουρλή, 2014).

Προϊστορική Αγγειοπλαστική

Η αγγειοπλαστική είναι η αρχαιότερη τέχνη που υπάρχει στον πλανήτη. Ο άνθρωπος ανακάλυψε τον πηλό ανακατεύοντας χώμα και νερό, δημιούργησε αντικείμενα αφού μπορούσε να σκάψει επάνω του και στη συνέχεια ανακάλυψε ότι χρησιμοποιώντας τη φωτιά μπορούσε να τα τελειοποιήσει (Εικ. 2.1). Φιγούρες ζώων και ανθρώπων κατασκευασμένες από πηλό και άλλα υλικά βρέθηκαν περίπου το 24.000 π.Χ. και σχεδόν 10.000 χρόνια αργότερα κατασκευάστηκαν τα πρώτα Κεραμικά πλακίδια, τα γνωστά σε εμάς κεραμίδια. Παρακάτω παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη της κεραμικής από διάφορες χρονικές στιγμές και πολιτισμούς.



Εικόνα 2.1: Κεραμικού από Προϊστορική Αγγειοπλαστική

Παλαιολιθική εποχή

Τα κεραμικά που βρέθηκαν σε Ιαπωνικά νησιά έχουν χρονολογηθεί περίπου τον 11ο αιώνα π.Χ. Η παλαιολιθική κεραμική είναι η παλαιότερη γνωστή αγγειοπλαστική. Στην

Ευρώπη, η καύση του πηλού έγινε γνωστή στα τέλη της παλαιολιθικής εποχής (Magdalenian) και χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία γυναικείων ειδώλων, όπως η «Αφροδίτη» της Dolni Vestonice (Τσεχική Δημοκρατία), ένα κεραμικό άγαλμα γυμνής γυναικείας φιγούρας που χρονολογείται 29.000-25.000 π.Χ., καθώς και στοιχεία ζώων.

Νεολιθική εποχή

Νεολιθική κεραμική χωρίζεται σε δυο περιόδους την Νεολιθική κεραμική Α (8500 Π.Χ. - 7600 Π.Χ.) και την ακόλουθη Νεολιθική κεραμικής Β (7600 Π.Χ. - 6000 Π.Χ.). Στην περίοδο της Νεολιθικής κεραμικής κατασκευάστηκαν εργαλεία από πέτρα, γύψο και ασβέστη (Εικ. 2.2), καθώς και κτίσματα και κατασκευές από πηλό (π.χ. φούρνοι).



Εικόνα 2.2: Εργαλεία από πέτρα γύψο και ασβέστη

Αίγυπτος

Κεραμική ήταν μία από τις πρώτες μορφές τέχνης που εμφανίστηκε από τους αρχαίους Αιγυπτίους. Βρέθηκαν κομμάτια από προδυναστιακής περιόδου (5000 Π.Χ.-3000 Π.Χ.) διακοσμημένα με στρουθοκαμήλους, βάρκες, και γεωμετρικά σχέδια. Οι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν στεατίτη και κατασκεύαζαν σκαλιστά μικρά κομμάτια σε αγγεία, φυλαχτά, εικόνες των θεοτήτων, των ζώων και διάφορα άλλα αντικείμενα (Εικ. 2.3). Οι Αρχαίοι Αιγύπτιοι καλλιτέχνες ανακάλυψαν επίσης την τέχνη της κεραμικής που καλύπτουν με σμάλτο. Για πρώτη φορά περίπου το 2000 Π.Χ., εμφανίστηκε το χρωματιστό βερνίκι που κοσμούσε αντικείμενα από σκόνη χαλαζία. Επίσης ήταν η περίοδος που κατασκευάστηκαν πρώτη φορά τα κοσμήματα.



Εικόνα 2.3: Αιγυπτιακά αγγεία

Τροχός αγγειοπλαστικής

Πριν από την εφεύρεση του τροχού, τα αγγεία είχαν διαμορφωθεί από την περιέλιξη πηλού και στη συνέχεια πλάθοντας κατ'επανάληψη με το χέρι. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι ένα μόνο αντικείμενο θα μπορούσε να πάρει πολύ χρόνο για να δημιουργηθεί και το σχήμα του δεν μπορούσε να είναι απόλυτα στρογγυλό. Η λύση στο πρόβλημα αυτό ήταν η εφεύρεση ενός τροχού, η οποία ήταν αποφασιστικής σημασίας στην ιστορία της κεραμικής. Ο τροχός εφευρέθηκε στην αρχαία Μεσοποταμία (σημερινό Ιράκ) γύρω στο 3000 Π.Χ

Ελλάδα

Κάθε αντικείμενο το οποίο έφτιαχναν οι αρχαίοι Έλληνες είχε ξεχωριστή μορφή και διαφορετικό όνομα διότι το καθένα αντιπροσώπευε μια ξεχωριστή τελετουργία της κοινωνίας. Ο αμφορέας ήταν ένα ψηλό αγγείο με οβάλ σώμα με κάθετη λαβή αμφίπλευρα. Οι αμφορείς επινοήθηκαν στην αρχαία Ελλάδα και υιοθετήθηκαν από τους Ρωμαίους ως κύρια μέσα μεταφοράς και αποθήκευσης για κρασί, καλαμπόκι, λάδι, ή μέλι, ακόμα για νερό. Η λήκυθος είναι τύπος ελληνικής αγγειοπλαστικής στα οποία χρησιμοποιούν για την τοποθέτηση ελαιόλαδου.

Από την μετέπειτα εποχή του χαλκού, φυτά, πλάσματα της θάλασσας και ευφάνταστα ζώα ήταν ζωγραφισμένα στα αγγεία, η οποία τεχνοτροπία αποτελεί τον Μυκηναϊκό πολιτισμό. Το ύφος των γεωμετρικών σχημάτων αντικατέστησε τα μυκηναϊκά το 1000 Π.Χ. Στην Αττική οι αγγειοπλάστες εισήγαγαν την Μελανόμορφη αγγειογραφία στις αρχές του 6ου αιώνα Π.Χ. Άσπρο και κοκκινωπό-μοβ χρώμα προστέθηκε για το δέρμα και τα ενδύματα. Επίσης υπήρξαν απεικονίσεις από πομπές και άρματα σε χρονικές

στιγμές που περιβάλλεται από γεωμετρικά μοτίβα. Ξεκινώντας από τον 6ο αιώνα Π.Χ., η διακόσμηση τόνισε την ανθρώπινη φιγούρα πολύ περισσότερο από τα ζώα. Οι πιο συνηθισμένες απεικονίσεις ήταν οι ανθρώπινες ασχολίες όπως η εργασία, η μάχη, ακόμα και η οι τελετές γάμων κ.λ.π. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα γεγονότα και οι ήρωες ονομάστηκαν. Μεταξύ άλλων μυθολογικές και λογοτεχνικές σκηνές κοσμούσαν τα αγγεία.



Εικόνα 2.3: Αρχαία Ελληνικά αγγεία Αμφορέας, Κρατήρας και Λήκυθος

Κεραμικά στην εποχή της Ηλεκτροτεχνίας

Σε γενικές γραμμές, τα κεραμικά δεν άγουν τον ηλεκτρισμό. Σε σύγκριση με άλλα μονωτικά υλικά, όπως το χαρτί και το ξύλο, τα κεραμικά επηρεάζονται λιγότερο από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, δίνοντας εξαρτήματα μεγαλύτερης αξιοπιστίας. Μέσα από την ιστορία της κεραμικής, που αναφέρθηκε παραπάνω, και χρονολογείται πάνω από 10.000 χρόνια, έχουμε μάθει ότι η μοντελοποίηση της τεχνολογίας για την παραγωγή των κεραμικών προϊόντων σε μια μυριάδα μορφών και σχημάτων.

Τα προηγμένα κεραμικά έτσι έχουν έρθει σε ευρεία χρήση ως μονωτικά ή ως μονωτικά υλικά σε τομείς με ηλεκτροφόρα καλώδια σε οικιακά προϊόντα και έχουν γίνει σημαντικά υλικά που επιτρέπουν στους ανθρώπους να χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια εύκολα.

Κεραμικά στην εποχή των Ηλεκτρονικών

Στις αρχές του 20ού αιώνα εφευρέθηκε ο σωλήνας ηλεκτρονίων και υποστηρίχθηκε με κεραμικά υλικά. Για ασύρματο εξοπλισμό μόνο τα κεραμικά υλικά κατείχαν τις

ιδιότητες που είναι απαραίτητες για την παροχή υψηλού σήματος εξόδου ακόμη και σε υψηλές συχνότητες. Τα κεραμικά υλικά δεν θα μπορούσαν να αντικατασταθούν με άλλα. Τα κεραμικά υλικά έχουν επωφεληθεί από σημαντική πρόοδο, την σύνθεση των υλικών. Η Επιμετάλλωση και άλλες τεχνολογίες που εφαρμόζονται, επιτρέπουν στα κεραμικά να αναπτυχθούν ισχυρότερα. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, τα κεραμικά αναπτύχθηκαν στα σημερινά προηγμένα κεραμικά.

Οι Ημιαγωγοί, το βασικό στοιχείο της ηλεκτρονικής εποχής, έχουν επίσης υποστηριχθεί από τα κεραμικά. Τα Τρανζίστορ και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα (ICs) αναπτύχθηκαν στα εργαστήρια των ΗΠΑ λίγο μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Ωστόσο, επειδή ήταν εξαιρετικά ευαίσθητα στην εξωτερική υγρασία και το έντονο φως, τα πρώτα τρανζίστορ δεν ήταν άμεσα διαθέσιμα για πρακτική χρήση. Ευτυχώς, τα κεραμικά υλικά ήταν σε θέση να αποκλείσουν την εξωτερική υγρασία και το φως, διατηρώντας παράλληλα την ηλεκτρική απόδοση των τρανζίστορ.

Προηγμένα Κεραμικά ως το νέο “πρωτοπόρο” υλικό

Τα προηγμένα κεραμικά κατέχουν μια μεγάλη ποικιλία από μοναδικά χαρακτηριστικά μέσα από παραλλαγές των πρώτων υλών, συνθέτοντας μεθόδους και διαδικασίες παραγωγής. Κατά συνέπεια, έχουν γίνει πρότυπα για τα νέα υλικά σε αμέτρητους τομείς της προηγμένης τεχνολογίας. Λόγω του μικρού βάρους, της ακαμψίας, της φυσικής σταθερότητας και την χημική αντίσταση, τα μεγάλα κεραμικά εξαρτήματα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ημιαγωγών και οθόνες υγρών κρυστάλλων.

Επιπλέον, η υψηλή αξιοπιστία τους και η επιτυχής ένταξη τους με άλλα μέταλλα, τους επιτρέπουν να χρησιμοποιούνται σε ένα αυξανόμενο φάσμα των εξαρτημάτων των αυτοκινήτων. Με τις διηλεκτρικές και πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες τους, τα προηγμένα κεραμικά υλικά χρησιμεύουν ως βάση για πολλά βασικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα, καθώς και συμπαγής υψηλής απόδοσης πυκνωτές, φίλτρα και αντηχεία. Εκτελούν τους βασικούς ρόλους σε διάφορες άλλες βιομηχανίες. Για παράδειγμα, η χημική αδράνεια τους είναι πολύ χρήσιμη στη βαριά βιομηχανία χημικών, ενώ η αντοχή τους στην τριβή αποτιμάται στην κατασκευή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων.

Πέρα από τις βιομηχανικές εφαρμογές, τα προηγμένα κεραμικά χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σαν καθημερινά εξαρτήματα, όπως μαχαίρια, στυλό, κοσμήματα, διακοσμητικά αντικείμενα, ακόμη και ιατρικά και οδοντιατρικά εμφυτεύματα.

2.2. Προϊόντα Αργίλου

Τα προϊόντα αργίλου είναι δομικά, ή διακοσμητικά υλικά, από ξηραμένο ή ψημένο πηλό (άργιλος, η αργιλική γη). Η άργιλος είναι εξαιρετικά διαδεδομένο (80% της επιφάνειας της γης) ιζηματογενές, πολύ μαλακό ορυκτό που σχηματίζεται από την απόθεση λεπτότατων υλικών, που αιωρούνται μέσα στο νερό. Τα λεπτά αυτά υλικά προέρχονται από την αποσάθρωση πετρωμάτων, που περιέχουν κυρίως ένυδρα πυριτικά ορυκτά το αργιλίου, ασβεστώδη συστατικά, αλλά και άλλα αλκαλιούχα και σιδηρούχα ορυκτά, σε αναλογίες που ποικίλλουν, κόκκους χαλαζία, βαριά ορυκτά, οργανικές ενώσεις, κ.α.

Τα προϊόντα από άργιλο χαρακτηριζόταν παλιότερα ως κεραμικά υλικά. Σήμερα όμως η κατηγορία αυτή έχει διευρυνθεί και περιλαμβάνει όλα τα υλικά, που παράγονται με θερμική κατεργασία ανόργανων μη μεταλλικών υλών. Έτσι κεραμικά πλέον θεωρούνται και υλικά όπως το γυαλί, τα ψημένα τσιμέντα, η πορσελάνη τα μαγνητικά μη μεταλλικά υλικά, πυρίμαχα, καθώς και μια σειρά νέων υλικών γνωστών με τον όρο βιομηχανικά κεραμικά, όπου περιλαμβάνονται σύνθετα υλικά, ηλεκτρονικά κεραμικά, κεραμικές επικαλύψεις και δομικά κεραμικά.

2.3. Υλικά και μέθοδοι παραγωγής

Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται είναι **οι πλαστικές άργιλοι με τη μορφή πηλοκονίας**, που περιέχουν ένυδρο πυριτικό αργίλιο, αλλά και άλλες ουσίες όπως οξείδια του σιδήρου, του ασβεστίου, του μαγνησίου, δύο άνθρακα, διάφορα άλατα, αργιλική μάργα, κ.α. Από την περιεκτικότητα σε αυτές τις προσμείξεις, εξαρτώνται οι ιδιότητες, η συμπεριφορά και το χρώμα του τελικού προϊόντος. Έτσι οι καθαρές άργιλοι περιέχουν μεγάλο ποσοστό καολίνη με λευκό χρώμα, οι κόκκινες άργιλοι περιέχουν οξείδια του σιδήρου, οι μπεντονίτες περιέχουν μοντμοριλονίτες συστατικά που τους δίνουν πλαστικότητα και μηχανική αντοχή. Οι άργιλοι εξορύσσονται σε ειδικές περιοχές με εκσκαφείς, ελέγχονται και προωθούνται στο εργοστάσιο. **Το δεύτερο κύριο συστατικό** του πηλού είναι **η άμμος**, χαλαζιακής κατά κανόνα προέλευσης και

το τρίτο το νερό χωρίς άλατα, που κάνει εύπλαστο τον πηλό, αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σχεδόν χωρίς νερό, με ειδικές μεθόδους επεξεργασίας.

Ο πηλός, ανάλογα με τις ιδιότητες του, υφίσταται επεξεργασία, που έχει σαν σκοπό τη βελτίωση της σύστασης του, με τη μεταβολή των αναλογιών των περιεχόμενων συστατικών και την καλύτερη δυνατή ανάμειξη τους. Αυτή η προεργασία περιλαμβάνει απίσχναση (όταν η πρώτη ύλη είναι πολύ πλούσια σε άργιλο-παχιά), με άμμο ή οργανικές ουσίες (πριονίδι, σκόνη διαφόρων πετρωμάτων, στάχτη, κ.α.), ή εμπλουτισμό (όταν η πρώτη ύλη είναι ισχνή - με μικρή περιεκτικότητα σε άργιλο), με αφαίρεση άμμου, ή προσθήκη πηλοκονίας. Ακόμη μπορούν να αναμειχθούν δύο, ή περισσότεροι διαφορετικοί πηλοί με γνωστή σύσταση, για καλύτερη πρώτη ύλη. Όταν το υλικό περιέχει μεγάλα κομμάτια διαφορετικών συστατικών, τότε γίνεται θρυμματισμός με μύλους, για να μην υπάρχουν σβόλοι και περιοχές ανομοιογενούς σύστασης. Στη συνέχεια γίνεται ύγρανση που περιλαμβάνει την προσθήκη νερού, ώστε το υλικό να γίνει εργάσιμο. Το μείγμα αφήνεται να ωριμάσει (**γήρανση**), ενώ γίνεται ανάμειξη με μηχανικά μέσα, έτσι ώστε το τελικό υλικό να είναι όσο το δυνατόν ομογενοποιημένο.

Η μορφοποίηση γίνεται με πίεση, που εξαρτάται από την περιεκτικότητα της πρώτης ύλης σε νερό. Αν το μείγμα είναι πολύ υγρό – soft mud (περιεκτικότητα 18-50% κ.β.), μπορεί λόγω του εύπλαστου, με πολύ μικρή πίεση, να διαμορφωθεί με το χέρι, τον τροχό, ή με χύτευση σε ειδικά καλούπια. Όταν χρησιμοποιείται μείγμα μικρής, ή σχεδόν καθόλου περιεκτικότητας (κάτω του 10% κ.β.) σε νερό - ξηρή μέθοδος, απαιτείται μεγάλη πίεση με πρέσα σε κενό αέρα- dry press. Μία ενδιάμεση κατάσταση είναι η ημίξηρη μέθοδος – stiff mud (περιεκτικότητα σε νερό 10-15% κ.β.), όπου το προϊόν μορφοποιείται με την άσκηση μέτριας πίεσης, ή με εξέλαση.

Η καθεμιά από τις μεθόδους που προαναφέρθηκαν, έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Για παράδειγμα όταν στην πρώτη ύλη δεν περιέχεται πολύ νερό, τότε μειώνεται ο χρόνος ξήρανσης, καταναλώνεται όμως μεγάλη ενέργεια κατά τη μορφοποίηση. Όταν αντίθετα περιέχεται πολύ νερό, τότε χρειάζεται μεγαλύτερος χρόνος ξήρανσης και μικρότερη μηχανική ενέργεια για τη μορφοποίηση.

Μετά από αυτό το στάδιο, το μορφοποιημένο προϊόν αφήνεται να στεγνώσει φυσικά, στον αέρα, ή σε ειδικούς χώρους, πριν ψηθεί. Η φυσική ξήρανση απαιτεί την έκθεση των προϊόντων σε φυσικό αέρα, σε ειδικά διαμορφωμένους ανοικτούς χώρους, με κατάλληλη τοποθέτηση, προστατευμένων από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, που

προκαλεί ρηγματώσεις, εξ' αιτίας της απότομης εξάτμισης του νερού. Η τεχνητή ξήρανση πραγματοποιείται σε ξηραντήρια, όπου το νερό εξατμίζεται με τη διοχέτευση θερμού αέρα ή ατμού, ή ακόμη και σε κλιβάνους συνεχούς καύσης σε χαμηλές όμως θερμοκρασίες (40-150°C).

Το ψήσιμο (όπτηση) γίνεται σε καμίνια (φούρνους) διαφορετικών τύπων, όπως καμίνια συνεχούς καύσης, καμίνια με τούνελ, ή δακτυλιοειδή καμίνια Hoffman. Εκεί μέχρι τη θερμοκρασία των 700°C, το νερό εξατμίζεται, τόσο από το πηλοκονίαμα, όσο και από τις ένυδρες χημικές ενώσεις των συστατικών του. Έτσι ο πηλός στερεοποιείται και δεν επιδέχεται πλέον την προσθήκη νερού. Επιπρόσθετα σ' αυτή τη θερμοκρασία, καίγονται οι οργανικές ουσίες, που τυχόν έχουν προστεθεί. Στους 900°C ολοκληρώνεται η οξείδωση ενώσεων του θείου και του άνθρακα. Ξεπερνώντας αυτή τη θερμοκρασία, αρχίζει η εξυάλωση του προϊόντος, που πραγματοποιείται με την τήξη των εύτηκτων συστατικών της πηλοκονιάς και της άμμου, που διαποτίζουν τη μάζα του, μέχρι τους 1.200 - 1.400° C. Σε μερικές περιπτώσεις τα προϊόντα υαλοποιούνται επιφανειακά, με λεπτή στρώση υαλωδών υλικών, για την αύξηση της στεγανότητας τους (κεραμικά πλακίδια επενδύσεων και είδη υγιεινής). Όταν ολοκληρωθεί το ψήσιμο, τα προϊόντα αφήνονται να κρυώσουν αργά 13 ώρες ως μερικές ημέρες, γιατί η απότομη ψύξη, προκαλεί ραγίσματα και κακής ποιότητας υλικά. Η εφαρμογή των υαλοποιήσεων απαιτεί συνήθως δεύτερο ψήσιμο, έτσι ώστε το υαλώδη συστατικά, όχι μόνο να μειώσουν, αλλά και να καλύψουν ομοιόμορφα την επιφάνεια εφαρμογής. Το διακοσμητικά υαλώματα ψήνονται, είτε σε χαμηλή θερμοκρασία 750-850° C αν πρόκειται για χρυσό, πλατίνα, σελήνιο, είτε σε υψηλή θερμοκρασία αν πρόκειται για λιγότερο ευπαθή υλικά, όπως το κοβάλτιο.

Τα κυριότερα δομικά και διακοσμητικά υλικά, που κατασκευάζονται από πηλό, είναι τα τούβλα, τα κεραμίδια, τα κεραμικά πλακίδια επενδύσεων τοίχων και δαπέδων, υαλοποιημένα και μη, τα πορσελάνινα είδη υγιεινής.

2.4. Τούβλα – ωμόπλινθοι, οπτόπλινθοι

Τα **τούβλα**, το πλέον χρησιμοποιούμενο είδος τεχνητής πέτρας (τεχνητά λιθοσώματα), θεωρούνται το αρχαιότερο τυποποιημένο δομικό υλικό. Αντικατέστησαν τις φυσικές πέτρες, γιατί παρουσιάζουν ομοιομορφία και σταθερότητα προδιαγραφών, ευκολία στη

μεταφορά και το κτίσιμο, καθώς και σε άλλες εργασίες επόμενων σταδίων (ηλεκτρολογικές και υδραυλικές εγκαταστάσεις), αντοχή στο χρόνο, τις καιρικές συνθήκες και τις σεισμικές καταπονήσεις. Το κόστος τους καλύπτει περίπου το 1-2%, του συνολικού κόστους μίας συμβατικής οικοδομής (Γεωργιάδου, 2005).

Κατασκευάζονται από άργιλο, άμμο και νερό ακολουθώντας όλα τα στάδια που έχουν αναφερθεί. Μεγάλη περιεκτικότητα της πρώτης ύλης σε άμμο (μεγαλύτερη από 50%), δίνει τούβλα πολύ πορώδη. Αντίθετα μικρή περιεκτικότητα άμμου (μικρότερη του 30%), προκαλεί παραμορφώσεις κατά την ξήρανση, γιατί το υλικό είναι πολύ παχύ. Υλικά με μεγάλη περιεκτικότητα σε αλκάλια (NaO, KO), δίνουν τούβλα κατάλληλα για εξωτερική χρήση, με χαμηλή υδατοαπορροφητικότητα. Υλικά με μεγάλη περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃), μειώνουν το κόστος ψησίματος, αλλά αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης εξανθημάτων ασβέστη, που προκαλούν προβλήματα στα επιχρίσματα. Τα τούβλα με υψηλές προδιαγραφές θερμομόνωσης, πρέπει να περιέχουν εύκαυστα υλικά, που να δίνουν στο προϊόν, πολλούς εσωτερικούς πόρους.

Υλικά που περιέχουν θειικά άλατα, γύψο ή χλωριούχα άλατα, σε υψηλές αναλογίες, προκαλούν εξανθήματα. Η μεγάλη περιεκτικότητα σε σιδηροπυρίτη και αδρανή μεγάλου μεγέθους, προξενεί ρωγμές λόγω τοπικής διόγκωσης, μικρή αντοχή στις καιρικές συνθήκες και εξανθήματα. Μεγάλα κομμάτια ασβέστη σπάνε τα τούβλα, γιατί με την υγρασία αντιδρά η καυστική ασβέστος. Χώματα με μεγάλη πλαστικότητα δίνουν υψηλή μηχανική αντοχή, αλλά προϋποθέτουν και υψηλό κόστος ψησίματος.

Το **χρώμα** της επιφάνειας εξαρτάται από τις προσμείξεις της πρώτης ύλης. Συγκεκριμένα χρώματα με υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο, δίνουν κόκκινα τούβλα, ενώ η αργιλική μάργα δίνει κιτρινωπά τούβλα. Το οξείδιο του μαγνησίου, ψημένο σε υψηλές θερμοκρασίες, σε ατμόσφαιρα που περιέχει οξυγόνο, δίνει αποχρώσεις σκούρου κόκκινου, ενώ όταν αφαιρεθεί το οξυγόνο, το τούβλο μαυρίζει. Υπάρχει ακόμη η δυνατότητα επιφανειακού χρωματισμού, με την προσθήκη άμμου και οξειδίων πριν το ψήσιμο, αυτή όμως δεν είναι ανθεκτική και καταστρέφεται εύκολα με το πέρασμα του χρόνου.

Πολύ σημαντικό ρόλο στην ποιότητα των τούβλων, έκτος από την πρώτη ύλη, παίζει και η σωστή ανάμειξη των συστατικών, για ομοιογενές μείγμα σταθερών ιδιοτήτων. Αν

δεν αναμειχθούν μηχανικά τα συστατικά, παρουσιάζεται στρωσιγενής δομή στο τούβλο, με συνακόλουθη ψαθυρότητα.

Η **μορφοποίηση** για τους οπτόπλινθους γίνεται με εξέλαση, σε πρέσα υψηλής πίεσης, με κενό αέρα. Το πλαστικό μείγμα πιέζεται σε συνεχή μάζα (μασούρι) σε ένα καλούπι, που του δίνει την επιθυμητή μορφή και στη συνέχεια κόβεται με σύρμα, στο μήκος που έχει επιλεγεί.

Το **ψήσιμο** για τα τούβλα ολοκληρώνεται στους 1.000°C, καθορίζοντας την ποιότητα τους. Σφάλματα κατά το ψήσιμο μειώνουν την αντοχή του τούβλου. Όταν ο χρόνος ψησίματος είναι μικρότερος, δημιουργούνται ρωγμές. Χαμηλότερη θερμοκρασία, ή περιορισμένος χρόνος, δίνουν τούβλα χλωμά, ασταθών προδιαγραφών. Αντίθετα, η υψηλότερη θερμοκρασία δίνει στρεβλά ή καμένα τούβλα, που είναι ακατάλληλα για χρήση. Η προοδευτική μείωση της θερμοκρασίας στο τέλος του ψησίματος, δίνει στο προϊόν, αντισεισμικές ιδιότητες.

Τα άψητα τούβλα, **ωμόπλινθοι**, είναι χειροποίητα και περιέχουν μεγάλη αναλογία αδρανών υλικών (χαλίκια, άχυρα, κλαδιά, κ.α.). Αφού μορφοποιηθούν με το χέρι σε καλούπια, αφήνονται να στεγνώσουν φυσικά, στον αέρα, χωρίς ψήσιμο, διαδικασία που απαιτεί πολύ χρόνο. Επειδή δεν αποτελούν βιομηχανική παραγωγή, δεν έχουν σταθερές διαστάσεις και συμπεριφορά και χρησιμοποιούνται σε απομακρυσμένες αγροτικές ή υποβαθμισμένες περιοχές, ή σε ιδιοκατασκευές. Σήμερα η χρήση τους έχει περιοριστεί στο ελάχιστο.

2.4.1. Είδη τούβλων

Η κατηγοριοποίηση των τούβλων, γίνεται :

α) Με κριτήριο τον τρόπο ξήρανσης, οπότε διακρίνονται τα ωμά και ψημένα τούβλα (ωμόπλινθοι και οπτόπλινθο), που έχουν ήδη αναφερθεί.

β) Με κριτήριο τη μορφή, όπου διακρίνονται τα συμπαγή και διάτρητα τούβλα (με οριζόντιες και κατακόρυφες τρύπες), που αποτελούν τα πλέον χρησιμοποιούμενα, αλλά και αυτά που έχουν ειδικά μορφολογικά χαρακτηριστικά και προορίζονται για ειδικές χρήσεις.

γ) Με κριτήριο το είδος της εφαρμογής και τη μηχανική αντοχή, ή εξειδικευμένες απαιτήσεις, όπου διακρίνονται τούβλα με χαμηλή αντοχή, που χρησιμοποιούνται ως

απλά στοιχεία πλήρωσης, τούβλα με αυξημένη μηχανική αντοχή που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φερουσών τοιχοποιιών με οπλισμό, τούβλα επενδύσεων με πολλές υποκατηγορίες (οξύμαχα, Πυρίμαχα, έγχρωμα, διακοσμητικά, κ.α.), τούβλα με μονωτικές ιδιότητες (ελαφρά, Πορώδη ή γεμισμένα με μονωτικό υλικό), τούβλα άλλων κατηγοριών πρώτης ύλης (γυψότουβλα, Τσιμεντόλιθοι, υαλότουβλα, κ.α.).

2.4.2. Μορφές τούβλων

Στα **συμπαγή** κατατάσσονται τα πλήρη τούβλα (Εικ. 2.4), με σκαφοειδή κοιλώματα στην επιφάνεια έδρασης (πάνω και κάτω), ή τα πλήρη με βαθιές ραβδώσεις, για ευκολότερο ψήσιμο, καλύτερη πρόσφυση του συνδετικού κονιάματος και μείωση των ιδίων φορτίων. Αυτά έχουν συνήθως μικρό ύψος (4-5 cm), η δε απαίτηση για το κτίσιμο 1m^2 , είναι 64-96 κομμάτια. Το φαινόμενο βάρος τους είναι περίπου 1800 Kp/m^3 , το δε ίδιο βάρος 1m^2 δρομικής τοιχοποιίας είναι 250-300 kgr. Ο συντελεστής Θερμοαγωγιμότητας είναι περίπου $0.40\text{ kcal/m}^2\text{hGrd}$. Έχουν πολύ ικανοποιητική μηχανική αντοχή (τάση θραύσης στην επιφάνεια έδρασης 150 Kp/cm^2 , αντοχή σε Θλίψη $100\text{-}350\text{ Kp/cm}^2$). Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν ακόμη διάτρητα τούβλα, με οριζόντιες ή κατακόρυφες τρύπες (οπές) συνολικού εμβαδού, μικρότερου του 15% της επιφάνειας έδρασης, ή κατ' άλλους κανόνες λιγότερο από το 25% του όγκου τους, ενώ το πάχος των τοιχωμάτων των οπών, ξεπερνά τα 20 mm.



Εικόνα 2.4: Συμπαγείς οπτόπλινθοι

Στην κατηγορία των συμπαγών περιλαμβάνονται και ειδικά τεμάχια τούβλων, όπως τα λαξευμένα, καμπύλης, κυκλικού τμήματος, η γωνιακής μορφής, κ.α. Αυτά χρησιμοποιούνται συνήθως σε εμφανείς κατασκευές, σε σημεία όπου, είτε κινδυνεύουν από τη χρήση (για παράδειγμα γωνίες που μπορεί να σπάσουν), είτε έχουν ειδικές

μορφολογικές απαιτήσεις (τριγωνικά, αμμιδωτά ανοίγματα, κ.α.), είτε ακόμη χρειάζονται προστασία από το νερό (νεροχύτες, πρέκια παραθύρων, κ.α.).

Η κατηγορία **διάτρητα** περιλαμβάνει τούβλα, με οριζόντιες ή κατακόρυφες τρύπες, συνολικού εμβαδού μεγαλύτερου του 15% της επιφάνειας έδρασης. Οι τρύπες έχουν διάφορα σχήματα- κυλινδρικά, πρισματικό, ή κυβικά. Χρησιμοποιούνται συχνότερα από κάθε άλλο είδος, γιατί είναι ελαφρύτερα, με ικανοποιητική συμπεριφορά στις καιρικές συνθήκες και χρόνο. Τα κοινότερα τούβλα αυτής της κατηγορίας διαθέτουν οριζόντιες τρύπες (παράλληλες προς την επιφάνεια έδρασης) – **εξάοπα** (Εικ. 2.5), **οκτάοπα** (Εικ. 2.6), **εννιάοπα** (Εικ. 2.7), ή **δωδεκάοπα** (Εικ. 2.8).



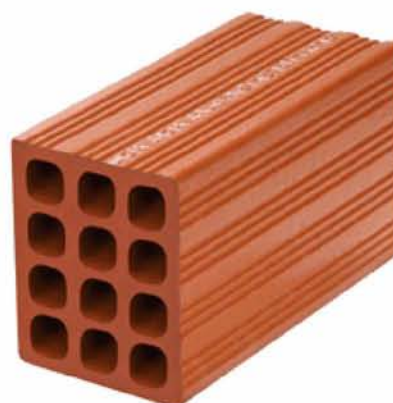
Εικόνα 2.5: Εξάοπα τούβλα



Εικόνα 2.6: Οκτάοπα τούβλα



Εικόνα 2.7: Εννιάοπα τούβλα



Εικόνα 2.8: Δωδεκάοπα τούβλα

Έχουν πολύ καλή αντισεισμική και μηχανική συμπεριφορά (τάση Θραύσης κατά μέσο όρο στην επιφάνεια έδρασης 60 Kp/cm^2) και ικανοποιητική υδατοαπορροφητικότητα, που βελτιώνεται με το επίχρισμα. Παρέχουν όμως πολύ χαμηλή θερμομόνωση ($\lambda = 0,19$

kcal/m²hGrd) και ηχομόνωση, καθώς και μικρή δυσκολία σε υδραυλικές και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, σε μικρά μεγέθη (68 τούβλα / m²). Το φαινόμενο βάρος τους είναι 1400 Kp/m³, το δε ίδιο βάρος 1m² δομικής τοιχοποιίας είναι περίπου 190 kgr.

Ανεξάρτητα από το είδος, έχουν καθορισθεί συγκεκριμένες προδιαγραφές διαστάσεων, όπου ισχύει ο τύπος $\mu = 2\pi + \alpha$, $u = \pi - \alpha/2$

Όπου μ = μήκος τούβλου, π = πλάτος τούβλου, α = πλάτος αρμού 10 mm, u = ύψος τούβλου. Οι επιτρεπόμενες αποκλίσεις, φθάνουν έως $\pm 4\%$.

Στην Ελλάδα η τυποποίηση των ποιοτικών και διαστασιολογικών προδιαγραφών των τούβλων είναι ελλιπής, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πλήθος διαστάσεων, που δεν μπορούν να συνδυαστούν, με συνέπειες και στα μεγέθη των τοιχοποιιών, ενώ οι συνολικές απαιτήσεις αντιμετωπίζονται ελλειμματικά. Γενικά υπάρχουν αποσπασματικές περιγραφές για τη μηχανική αντοχή και τον τρόπο ελέγχου της, τις διαστάσεις τούβλων τοιχοποιίας, κ.λπ., παρ' όλες τις προσπάθειες του ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης) για την εναρμόνιση με Κοινοτικές Νομοθεσίες και τη θέσπιση Ευρωπαϊκών προτύπων (EN).

2.4.3. Τούβλα ειδικών χρήσεων και εφαρμογές τους

Εκτός από τα κοινά τούβλα τοιχοποιίας από πηλό υπάρχουν και τα τούβλα ειδικών κατασκευών: πυρίμαχα, τούβλα επενδύσεων και ελαφρά θερμομονωτικά.

1) Τα **πυρίμαχα** τούβλα έχουν υψηλότερο σημείο τήξης (πάνω από 1.500-1.700°C), από τα κοινά και χρησιμοποιούνται σε επενδύσεις δομικών στοιχείων, που εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες (εστίες τζακιών, καμίνια). Είναι τούβλα συμπαγή, κατασκευασμένα από άργιλο, σε όσο το δυνατό καθαρότερη μορφή (καολίνης), με ελαχιστοποίηση των προσμείξεων εύτηκτων οξειδίων, εμπλουτισμένα με ένυδρο πυριτικό αργίλιο και σκόνη πηλού της ίδιας ποιότητας, προψημένη σε υψηλή θερμοκρασία - αργιλικά πυρίμαχα τούβλα.

Στην ίδια κατηγορία, ανήκουν τα πυριτικά πυρίμαχα τούβλα (αμμότουβλα, που περιέχουν σχεδόν αποκλειστικά οξείδιο του πυριτίου (χαλαζία), σβησμένο ασβέστη και μικρή ποσότητα πηλού. Ψήνονται με ειδική μέθοδο ατμού και έχουν ικανοποιητικότερη συμπεριφορά σε οξέα, από τα αντίστοιχα αργιλικά.

Για τη δόμηση των πυρίμαχων τούβλων χρησιμοποιούνται ανάλογα πυρίμαχα κονιάματα (πυροχώματα), που είναι κατασκευασμένα από κονία πηλού, ψημένου σε υψηλές θερμοκρασίες και υδρύαλο.

2) Τα **τούβλα επενδύσεων** είναι συμπαγή, κατασκευασμένα από κατάλληλο πηλό, όπου έχουν προστεθεί ορυκτά ή μεταλλικά συλλιπάσματα, ή χαλαζιακά αδρανή οξύμαχα αργιλικά τούβλα, ή Klinker (Εικ. 2.9).



Εικόνα 2.9: Τούβλα Klinker

Με το κατάλληλο ψήσιμο, κατά το οποίο η θερμοκρασία ανεβαίνει σταδιακά ως τους 1200°C και προσεκτική ψύξη στη συνέχεια, βελτιώνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και εμφανίζουν στο ελάχιστο υδατοποροφορικό, με συνέχεια την ικανοποιητική συμπεριφορά τους σε υγρές καιρικές συνθήκες, ή παγετό. Η αντοχή τους σε θλίψη είναι τουλάχιστον 5 kP/mm², το ειδικό βάρος τους 2 kg/cm³, το φαινόμενο βάρος 1,4 kg/cm³, η δε υδατοαπορροφητικότητα τους κυμαίνεται κάτω του 6% μέχρι 2%. Ακόμη, αντέχουν στα οξέα, πλην του υδροφθορίου, δεν εμφανίζουν επιφανειακά άλατα και εξανθήσεις και δεν επηρεάζονται από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους.

Χρησιμοποιούνται σε επενδύσεις κτιρίων εξωτερικά και εσωτερικά έχουν τη δυνατότητα διαφορετικών χρωματισμών, με την προσθήκη μεταλλοξειδίων στην πρώτη ύλη και δομούνται, με αντίστοιχου χρωματισμού, κονίαμα. Ακόμη μπορούν σε περιορισμένο αριθμό, να είναι χειροποίητα ή επεξεργασμένα, ώστε να δίνουν την εντύπωση παλαιομένων τούβλων, με ειδικές αισθητικές απαιτήσεις (χρησιμοποιούνται σε αναστηλώσεις, συμπληρώσεις σε υπάρχουσες κατασκευές, κ.α.). Το κονίαμα που

χρησιμοποιείται στη δόμηση και την αρμολόγηση τους, πρέπει να είναι χαμηλής υδατοαπορροφητικότητας, όπως τα ίδια τα τούβλα, για να αποφεύγονται αστοχίες, η απορρόφηση υγρασίας από τους αρμούς και η αδυναμία εξάτμισης της, διαμέσου των τούβλων.

Οι συνήθεις διαστάσεις τους κυμαίνονται από 5-6,5 cm ύψος, 20-25 cm μήκος και 3-9 cm πλάτος, με γαιώδεις χρωματισμούς ώχρα, κίτρινο, κόκκινο, χοντροκόκκινο, καφέ, κ.α. ή ψυχρούς χρωματισμούς (μπλε, μαύρο μπλε, πράσινο, γαλάζιο, γκρι, κ.α.

3) Τα ελαφρά **θερμοηχομονωτικά τούβλα** διαθέτουν πολλά κενά και πορώδη ιστό και κατά συνέπεια αυξημένες θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες. Ο τρόπος κατασκευής, που τους εξασφαλίζει τους πολυάριθμους πόρους στη μάζα τους, βασίζεται στην ανάμειξη του πηλού με εύφλεκτα οργανικά υλικά (πριονίδι ξύλου, ξυλάνθρακα, κ.α.), ή με χημικά υλικά (χλωριούχο ασβέστιο, διογκωμένη πολυστερίνη, κ.α.). Κατά το ψήσιμο τα πρόσθετα αυτά είτε καίγονται και ο χώρος που καταλάμβαναν στη μάζα του πηλού, παραμένει ως πόρος, είτε δημιουργούν φυσαλίδες. Τα τούβλα αυτά έχουν μεγαλύτερο μέγεθος από τα κοινά τούβλα (αντιστοιχούν 22-30 κομμάτια ανά m²) και μικρότερο ίδιο βάρος (1 m² δρομικής τοιχοποιίας έχει βάρος περίπου 90 kg). Η πυκνότητά τους κυμαίνεται από 0,4-0,8, ενώ η μηχανική τους αντοχή είναι πολύ ικανοποιητική. Έτσι οι τοιχοποιίες που κατασκευάζονται μ' αυτά, έχουν καλύτερη αντισεισμική συμπεριφορά από τις κοινές τοιχοποιίες, ευνοούν την διαπνοή και κατασκευάζονται με μικρότερο κόστος εργασιών, γιατί δομούνται ταχύτερα.

Στην ίδια κατηγορία εντάσσονται και τούβλα που δεν διαφέρουν στις ιδιότητες από τα κοινά, αλλά σ' αυτά ένα μέρος των οπών τους έχει αντικατασταθεί από έναν ενιαίο θάλαμο, που γεμίζει με αφρώδες μονωτικό υλικό (πχ. πολυουρεθάνη). Έχουν διαστάσεις 18*14*33, 20*43*33, 22,5*4*33 και δομούνται όπως τα κοινά τούβλα.

2.4.4. Ποιοτικός έλεγχος τούβλων

Ο έλεγχος για την καλή ποιότητα των τούβλων, γίνεται με εργαστηριακές μεθόδους, αλλά και οπτικά. Οπτικά ελέγχονται οι διαστάσεις, που δεν πρέπει να αποκλίνουν περισσότερο του $\pm 2\%$, η μορφή, το χρώμα, η ύπαρξη σκασιμάτων, ρωγμών και η αντοχή, με πλευρική χάραξη του τούβλου με σφυρί (δεν πρέπει να διαλύεται).

Εργαστηριακά ελέγχονται η αντοχή στη θραύση (μεγαλύτερη του 50 Kp/cm²), η υδατοαπορροφητικότητα (8-15% για δομικά τούβλα με επίχρισμα, έως 6% για επενδυτικά, χωρίς επίχρισμα), οι πόροι (εσωτερικοί 4-28% και συνολικοί 7-45%). Επίσης ελέγχεται με βρασμό η μείωση της αντοχής τους, που δεν μπορεί να υπερβαίνει το 15%.

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου τούβλου σε κάθε περίπτωση, γίνεται μετά την εκτίμηση των κλιματολογικών συνθηκών, των απαιτήσεων θερμομόνωσης, ηχομόνωσης, της σεισμικότητας της περιοχής, της εμφάνισης, της χρήσης, της αντοχής στο χρόνο, του κόστους και της συμβατότητας με τα συνδυαζόμενα υλικά. Η εκτίμηση αυτή αφορά στην καλύτερη αντιμετώπιση κατασκευαστικών προβλημάτων. Ενδεικτικά αναφέρονται ο συνδυασμός μονωτικών υλικών στις εξωτερικές τοιχοποιίες, η επιπρόσθετη υγραμόνωση εξωτερικά, σε περιπτώσεις χρήσης πορωδών θερμομονωτικών τούβλων, η απαραίτητη δόμηση με αντισεισμικό τρόπο (παρεμβολές οριζόντιων ζωνών σκυροδέματος - σενάζ, ή διαζωματικών πλαισίων).

Η συμβατότητα των τούβλων, που ισχύει για όλα τα υλικά από άργιλο, αφορά τρεις κατηγορίες κινδύνων, που αναφέρονται στις αλλοιώσεις, που εμφανίζονται με το πέρασμα του χρόνου σε σημεία επαφής τους με άλλα υλικά.

- Η πρώτη κατηγορία αφορά αισθητική αλλοίωση και επιδέχεται επιδιόρθωση.
- Η δεύτερη κατηγορία αφορά αργά εξελισσόμενες αλληλεπιδράσεις, με εφικτή επιδιόρθωση.
- Η τρίτη κατηγορία αναφέρεται σε άστοχο συνδυασμό υλικών χωρίς δυνατότητα επιδιόρθωσης.

Η φύση της ασυμβατότητας μπορεί να είναι φυσική, μηχανική ή χημική. Συμβατά είναι τα κεραμικά υλικά μεταξύ τους, με μόλυβδο, γύψο, χαρτί. Με το ξύλο μπορούν να εμφανίσουν λεκέδες, η μηχανικές παραμορφώσεις (διόγκωση ή διαστολή του ξύλου). Με τα ασβεστολιθικά κονιάματα δημιουργούνται λευκοί λεκέδες, με τα τσιμεντοκονιάματα που περιέχουν αλκάλια, εμφανίζονται πράσινοι λεκέδες. Αν περιέχονται οξείδιο του σιδήρου, οι λεκέδες είναι μαύροι, ή γκριζοί. Με το σκυρόδεμα εμφανίζουν ρωγμές, λόγω διαφορετικών συντελεστών διαστολής, που αντιμετωπίζονται με ελαστικούς αρμούς διαστολής. Με τα αδρανή ή τις φυσικές πέτρες, μπορεί να παρουσιάσουν λεκέδες ή εξανθήματα, λόγω μεταφοράς θειούχων ή νιτρικών αλάτων.

Με τα μέταλλα μπορούν να παρουσιασθούν και οι τρεις κατηγορίες κινδύνων λεκέδες (από οξείδωση), εισχώρηση νερού με διαβρωτικές ουσίες, διόγκωση λόγω διαφορετικών συντελεστών διαστολής. Έτσι θεωρούνται σχετικό ασύμβατα, γιατί η οξείδωση τους, είτε προκαλεί λεκέδες, είτε ρωγμές λόγω διαφορετικών συστολοδιαστολών. Με το γυαλί παρουσιάζουν ασυμβατότητα, με ρηγματώσεις λόγω υπερθέρμανσης και δράσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Με άκαμπτα πλαστικό ή ρητίνες, παρουσιάζεται κίνδυνος ρηγμάτωσης ή αποκόλλησης, λόγω διαφορετικών συντελεστών διαστολής. Δεν παρουσιάζεται πλήρης ασυμβατότητα με κάθε υλικό.

Η διάρκεια ζωής για τα συμπαγή ψημένα τούβλα σε τοιχοποιίες κυμαίνεται από 100-150 χρόνια, ενώ για διατηρητά σε φέρουσες κατασκευές από 80-100 και σε απλές από 60-80 χρόνια. Για τα άψητα τούβλα, παρόλο που πολλές φορές εμφανίζουν μεγάλη διάρκεια, η πορεία στο χρόνο, δεν μπορεί να προσδιοριστεί εξαιτίας της έλλειψης ποιοτικού ελέγχου.

Η αντοχή των ψημένων τούβλων σε πυρκαγιά είναι εξαιρετική εξ' αιτίας της φύσης του υλικού, που έχει ψηθεί σε θερμοκρασία 1000°C, αλλά και της χαμηλής του θερμοαγωγιμότητας.

2.5. Κεραμίδια – εφαρμογές σε επιστεγάσεις

Τα κεραμίδια είναι υλικό που χρησιμοποιείται για επιστεγάσεις κεκλιμένων στενών κτιρίων, ή στεγάστρων. Η παραγωγή τους ακολουθεί τον τρόπο και τις προδιαγραφές που αναφέρθηκαν στα τούβλα. Τα κεραμίδια, χαρακτηρίζονται από αδιαπερατότητα στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό, από το νερό, καλή συμπεριφορά σε παγετό, ικανότητα διαπνοής και ικανοποιητική συμπεριφορά στη φωτιά.

Ο ποιοτικός τους έλεγχος αφορά την ακριβή διαστασιολόγηση και τη μορφή, που πρέπει να μην παρουσιάζει ρωγμές, εξανθήσεις, στρέβλωση. Ακόμη δεν πρέπει να έχουν υδατοπερατότητα μεγαλύτερη από $0,5 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$, σε διάστημα 24 ωρών, υπό την επίδραση υδάτινου φορτίου, ύψους 10 cm. Τέλος η γήρανση από τη διαδοχική επίδραση παγετού, να μην ξεπερνά το 1%, σε απώλεια της αρχικής μάζας.

Η μελέτη μιας στέγης αποτελείται πάντα από στατικό υπολογισμό των φορτίων, των ανεμοπιέσεων, των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων, αλλά και από τον σχεδιασμό των απαιτούμενων επιμέρους κατασκευών: στεγάνωσης, θερμομόνωσης, απορροής των

νερών της βροχής και του χιονιού, κ.λπ. Στην περίπτωση της χρήσης κεραμιδιών ως επικαλυπτικού υλικού, η εφαρμογή τους γίνεται είτε σε ξύλινους, ή μεταλλικούς χαλύβδινους φορείς (ψαλίδια, ζευκτά), είτε σε κεκλιμένες πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος. Οι τρόποι εφαρμογής ποικίλλουν και εξαρτώνται από το είδος, το μέγεθος, τις απαιτήσεις, την κλίση της στέγης, κ.λπ. Γενικά τα κεραμίδια μπορούν να εφαρμοσθούν, με κονίαμα (κολυμπητά, με δέσιμο, αγκύρωση, ή σε συνδυασμό).

Η επιλογή της μορφής της στέγης λαμβάνει υπόψη τις κατασκευαστικές, αισθητικές και οικονομικές απαιτήσεις του έργου. Ειδικές κατασκευαστικές απαιτήσεις αντιμετωπίζονται με χρήση κεραμιδιών ειδικών προδιαγραφών, όπως στις κορυφογραμμές, διασταυρώσεις κλίσεων, κλπ. Ανάλογα με το υπόστρωμα και τον τρόπο κατασκευής, χρησιμοποιούνται θερμομονωτικά ή ηχομονωτικά υλικά, φράγματα υδρατμών, διάκενα αερισμού και ειδικά στοιχεία άλλων υλικών, όπως πλαστικών, ή μεταλλικών υδρορροών.

2.5.1. Είδη κεραμιδιών

Η κατηγοριοποίηση των κεραμιδιών, γίνεται με κριτήρια τον τρόπο μορφοποίησης τους πριν το ψήσιμο και το σχήμα τους. Διακρίνονται δύο κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο μορφοποίησης και υποκατηγορίες ανάλογα με το σχήμα τους (Τριανταφύλλου, 2005):

α) Κεραμίδια από μηχανή μορφώσεως και από πρέσα.

β) Επίπεδα, πτυχωτά και κυματοειδή ρωμαϊκά (Εικ. 2.10), γαλλικά (Εικ. 2.11), ολλανδικά (Εικ. 2.12), καθώς και βυζαντινά κοίλα (Εικ. 2.13).

Τα πτυχωτά και κυματοειδή κεραμίδια έχουν κατάλληλες εγκοπές, ώστε να στερεώνονται εφαρμοζόμενα το ένα πάνω στο άλλο. Τα ολλανδικά κυματοειδή, πτυχωτά στερεώνονται και με σύρμα πάνω στο υπόστρωμα, γιατί διαθέτουν και ειδικές οπές για να δεθούν.

Τα βυζαντινά (που χρησιμοποιούνται κύρια στην Ελλάδα αλλά και το Βαλκάνια) έχουν πολύ απλοποιημένη ημικυκλική μορφή και εφαρμόζονται με αναστροφή της επιφάνειάς τους ως κυρτή (καλόγερος), η κοίλη καμπύλη (καλόγρια) ώστε να αλληλοεπικαλύπτονται. Τοποθετούνται κολυμπητά (με κονίαμα τσιμέντου-ασβέστη), ημικολυμπητά (με κονίαμα στις άκρες), ή σε ξηρή στρώση (μόνο σε μικρές κλίσεις).

Τα ρωμαϊκά διαφέρουν στο ότι η καμπύλη τους συνδυάζεται με επίπεδη επιφάνεια και έτσι, εξασφαλίζουν την επικάλυψή τους, χωρίς αλλαγή φοράς. Τοποθετούνται με τους ίδιους τρόπους, όπως τα βυζαντινά κεραμίδια.



Εικόνα 2.10: Κεραμίδι Ρωμαϊκό



Εικόνα 2.11: Κεραμίδι Γαλλικό



Εικόνα 2.12: Κεραμίδι Ολλανδικό



Εικόνα 2.13: Κεραμίδια βυζαντινά

Τα επίπεδα γαλλικά, ή ελβετικά κεραμίδια καρφώνονται, ή αγκυρώνονται με τις προεξοχές που διαθέτουν, στο υπόστρωμα. Ωστόσο στα ευπαθή σημεία τους - κορυφογραμμές και άκρες, χρησιμοποιείται κονίαμα για να στερεώνονται και να φράζονται ικανοποιητικά.

Τα κεραμίδια πρέσας καθώς και τα ρωμαϊκά και βυζαντινά, έχουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή (φορτίο θραύσης 150 kp/cm^2) από τα επίπεδα (φορτίο θραύσης 50 kp/cm^2).

Οι τελευταίες εξελίξεις της τεχνολογίας επιτρέπουν την κατασκευή επίπεδων κεραμιδιών, όπου προσαρμόζονται φωτοβολταϊκά στοιχεία. Στην κατασκευή αυτή που γίνεται με τον συνήθη τρόπο, προβλέπονται ηλεκτρολογικά κανάλια, ενώ η

προσαρμογή των στοιχείων είναι σταθερή, σε σειρά και συνδέεται μ' αυτά. Η προοπτική μιας τέτοιας εφαρμογής διέπεται από αρχές εξοικονόμησης ενέργειας, μια και μπορεί να καλύψει περίπου το 50% των ενεργειακών αναγκών μιας τετραμελούς οικογένειας, σε μια κατασκευή, που δεν επιβαρύνει αισθητικά την μορφολογία των όψεων.

2.5.2. Κεραμικά πλακίδια επενδύσεων

Τα κεραμικά πλακίδια χρησιμοποιούνται σε επενδύσεις τοίχων, ή επιστρώσεις δαπέδων, εσωτερικών και εξωτερικών, σε ποικίλες τυποποιημένες διαστάσεις και σχήματα τετραγωνικά, παραλληλόγραμμα, πολυγωνικά, κ.α., με ανάγλυφη, αντιολισθητική, ή λεία άνω επιφάνεια και κάτω επιφάνεια με προεξοχές, για καλύτερη πρόσφυση (Εικ 2.14). Το πάχος τους κυμαίνεται από 9-15 mm, ενώ οι υπόλοιπες διαστάσεις ποικίλλουν ανάλογα με την εταιρεία κατασκευής - συνηθέστερες είναι οι διαστάσεις σε τετράγωνα πλακίδια 40*40, 33*33, 30*30, 25*25, 20*20, 15*15, 10*10, 5*5 cm σε παραλληλόγραμμα 20*40, 20*30, 15*30, 11,5*24, 10*20 cm, κ.α. Υπάρχουν ακόμη ειδικές μεγάλες διαστάσεις σε κεραμικές επιφάνειες, που φθάνουν τα 100 cm και προορίζονται για διακοσμητικές χρήσεις, ή πολύ μικρά 2*2, 3*3 cm, που ονομάζονται κεραμικές ψηφίδες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε καμπύλες, ή ανάγλυφες επιφάνειες.



Εικόνα 2.14: Κεραμικά πλακίδια

Κατασκευάζονται από άργιλο, каоλίνη, άμμο, με διάφορες ορυκτές προσμείξεις-χαλαζία, αστρίους, πυρίτιο, κ.α, όπως και τα υπόλοιπα προϊόντα αυτής της κατηγορίας. Από λευκή άργιλο σε ποσοστό 60%, άμμο και αστρίους σε ποσοστό 40%, κατασκευάζονται τα πορσελάνινα πλακίδια. Εκτός από τα αργιλικά πλακίδια κατασκευάζονται και πλήθος τεχνητά πλακίδια από άλλα υλικά, όπως μαρμαροψηφίδες, μαρμαρόσκονη, σκόνη γρανίτη, κ.α., που όμως δεν παρουσιάζουν τις ιδιότητες και αντοχή, ούτε των κεραμικών, αλλά ούτε και των φυσικών λίθων απ' όπου προέρχονται. Η εφαρμογή τους γίνεται με τρόπο παρόμοιο των κατηγοριών προέλευσης.

Η **μορφοποίηση** των κεραμικών πλακιδίων γίνεται με εξώθηση, πρεσάρισμα ξηρής ή υγρής μάζας, ή χύτευση σε καλούπια. Κατά τη συμπίεση της ξηρής μάζας, το μείγμα των ορυκτών πρώτων υλών πιέζεται με μεγάλη δύναμη, μέσα σε μήτρες (καλούπια). Το σημαντικότερο στοιχείο αυτού του τρόπου παραγωγής είναι η πολύ λεπτόκοκκη κονιορτοποίηση της πρώτης ύλης και η καθαρότητα της. Στη μέθοδο της εξώθησης το αργιλικό μείγμα είναι αρκετά πλαστικό και διέρχεται με πίεση, από σχισμοειδή οπή. Έτσι δημιουργείται ένα φύλλο, που κόβεται στις επιθυμητές διαστάσεις. Στη μέθοδο της χύτευσης το μείγμα είναι πολύ πλαστικό, ως υδαρές και μορφοποιείται σε κατάλληλες μήτρες. Τέλος όταν η συμπίεση αφορά υγρή μάζα, αυτή βρίσκεται σε πολύ πλαστική μορφή για να πιεσθεί σε καλούπια. Η μέθοδος αυτή όπως και η αντίστοιχη της χύτευσης, δίνουν προϊόντα πολύ πορώδη μετά το ψήσιμο, εξ' αιτίας της υψηλής περιεκτικότητας σε νερό.

Τα κεραμικά πλακίδια μπορούν να είναι εφυαλωμένα, υαλοποιημένα από το ψήσιμο, ανάλογα με τις απαιτήσεις σε υδατοστεγανότητα, καθαρισμό και χρήση του έργου. Το υάλωμα γίνεται με επιφανειακή λεπτή στρώση (ως 0,5 mm) υδατικού αιωρήματος, αντίστοιχου συντελεστή θερμικής διαστολής με το κεραμικό υπόστρωμα, όπου εφαρμόζεται. Η τελική επιφάνεια του εφυαλωμένου πλακιδίου μπορεί να είναι ματ, σατινέ ή απολύτως στιλπνή. Αν και το πάχος της εφυάλωσης είναι πολύ μικρό προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, σε ότι αφορά στη προστασία της επιφάνειας στην υγρασία, στον καθαρισμό της για λόγους υγιεινής, στην αντοχή και τη διάρκεια ζωής του υλικού. Η κατηγοριοποίηση των υαλωμάτων γίνεται με κριτήριο τη θερμοκρασία τήξης, τον τρόπο παραγωγής, τις απαιτήσεις αισθητικής και υφής του τελικού προϊόντος και τα κύρια συστατικά που περιέχει. Υαλώματα που λειώνουν κάτω από τους 1100°C, θεωρούνται εύηκτα και συνήθως περιέχουν αλκαλικές γαίες, οξειδία

αλκαλίων και μολύβδου, ενώ πάνω από αυτή τη θερμοκρασία τήξης, θεωρούνται δύστηκτα και συνήθως περιέχουν αστρίους.

Τα κυριότερα συστατικά υαλωμάτων είναι τα οξειδία του πυριτίου, μολύβδου, βορίου (SiO_2 , PbO , B_2O_3), η αλουμίνα (Al_2O_3) που λειτουργεί ως σταθεροποιητής και ρυθμίζει το ιξώδες και τα ρευστοποιητικά υλικά, όπως οξειδία αλκαλίων. Γενικά τα υαλώματα διακρίνονται σε υαλώματα μολύβδου, που τείνουν να εγκαταλειφθούν εξ' αιτίας της τοξικότητάς τους, πυριτικά και αλκαλικά υαλώματα καθώς και βοριοπυριτικά. Παράλληλα μπορούν να προστεθούν και μεταλλοξειδία για το χρωματισμό του υαλώματος: χαλκός, σίδηρος, χρώμιο, άργυρος, αντιμόνιο, νικέλιο, τιτάνιο, αργίλιο, κασσίτερος, ασβέστιο, βάριο, κοβάλτιο κ.α. Ακόμα σμάλτα που ψήνονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες ($600-750^\circ \text{C}$), ή διακοσμητικές χαλκομανίες.

Ανάλογα με την ποιότητα και τον τρόπο ψησίματος του κεραμικού υποστρώματος και του υαλώματος, διακρίνονται ποικίλες κατηγορίες, όπως:

- **Μονόπυρα** ή monocottura - πλακίδια που έχουν ψηθεί σε ένα κύκλο, τόσο το κεραμικό υπόστρωμα (μπισκότο), όσο και η εφύαλωση.
- **Δίπυρα** ή bicottura - πλακίδια που έχουν ψηθεί δύο φορές, μία το κεραμικό υπόστρωμα και άλλη μία η εφύαλωση και το κεραμικό υπόστρωμα μαζί.
- **Gres** - όρος που χαρακτηρίζει υψηλής ποιότητας πορσελάνινα πλακίδια με χαμηλή, η μέση διαπερατότητα, υαλοποιημένα ή όχι.
- **Maiolica, cottoforte**- πλακίδια χωρίς υαλοποίηση, που χρησιμοποιούνται κύρια σε εξωτερικούς χώρους.
- **Cottofiorentino, toscano**- πλακίδια μη υαλοποιημένα, φυσικής αδρής υφής και υψηλού πορώδους, που χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους, ή εξωτερικούς σε ήπια περιβάλλοντα (χωρίς παγετούς, κ.λπ.). Αντίστοιχο, ελληνικής κατασκευής, πλακίδιο είναι η Κρητική Καπιτζάνα.
- **Klinker** - οξύμαχα πλακίδια με συμπαγή, ελάχιστα διαπερατό ιστό, ανθεκτικά σε οξέα, με πολύ καλή μηχανική συμπεριφορά και αντοχή σε απότριψη. Οι ιδιότητές τους αυτές επιτυγχάνονται με υψηλές θερμοκρασίες ψησίματος, οπότε τα συστατικά τους συμπεριλαμβανομένου και του κεραμικού υποστρώματός τους, εξυαλώνονται και διαποτίζουν τη μάζα τους.

Οι περισσότερες σειρές παραγωγής συνδυάζουν τα απλά πλακίδια με διακοσμημένα, μπορντούρες, γωνιακά κομμάτια, «λιστέλο», «τοζέτο», σοβατεπί, πατήματα σε

σκαλοπάτια με αντιολισθητικές άκρες, ειδικά πλακίδια πισίνας με πρόβλεψη υπερχειλίσης, ανάγλυφα πλακίδια για άτομα με προβλήματα όρασης κ.λ.π. Στην περίπτωση των ψηφίδων μπορούν να κατασκευασθούν από το εργοστάσιο παραγωγής, ολόκληρες παραστάσεις ή διακοσμητικά μοτίβα, σε σχέδιο επιλογής του σχεδιαστή, με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η επιφάνεια αυτή συγκρατείται με αυτοκόλλητο χαρτί, ή υφασμάτινο υπόστρωμα, μέχρι την τοποθέτησή της.

2.5.3. Ιδιότητες κεραμικών πλακιδίων

Η ταξινόμηση των κεραμικών πλακιδίων σε κατηγορίες γίνεται κυρίως με βάση τις ιδιότητες τους. Έτσι σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, με κριτήριο την υδατοαπορροφητικότητα και τον τρόπο μορφοποίησης, ταξινομούνται σε κατηγορίες.

Η υδατοαπορροφητικότητα εξαρτάται από το πορώδες και το βαθμό υαλοποίησης της μάζας, ενώ επηρεάζει την αντοχή των προϊόντων σε παγετό και το επίπεδο των χρήσεων. Έτσι πλακίδια μεγάλης απορροφητικότητας, που δεν έχουν υαλοποιηθεί, ή έχουν μερικά υαλοποιηθεί, δεν είναι κατάλληλα για χρήση σε εξωτερικούς χώρους με έντονες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, ούτε σε υγρούς εσωτερικούς χώρους. Η απορροφητικότητα μετράται σε ποσοστό επί % της αύξησης του βάρους ενός δοκιμίου, όταν κορεσθεί σε νερό.

Η σκληρότητα του προϊόντος κατά Mohs, αποτελεί άλλο ένα κριτήριο κατηγορικής κατάταξης εφυσωμένων, ή όχι πλακιδίων. Επηρεάζει τη χρήση, μια και η επιφανειακή σκληρότητα προσδιορίζει τη φθορά από τριβή και μετράται σε βάθος ανά mm^3 .

Η μηχανική αντοχή εκτός της προαναφερόμενης τριβής, αφορά ακόμη την αντοχή σε θλίψη, ειδικά σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν καταπονήσεις από μεγάλα φορτία (βιομηχανικά δάπεδα ή σταθμοί αυτοκινήτων, κ.α.), με μονάδα μέτρησης 1 N/kp ανά mm^3 . Τα ανθεκτικότερα πλακίδια είναι αυτά, που έχουν πλήρως υαλοποιημένη μάζα, φθάνοντας σε 2.500 kp/mm^3 . Σε ειδικές περιπτώσεις πρόσθετων φορτίσεων, για παράδειγμα σε εξωτερικούς χώρους με κυκλοφορία βαρέων οχημάτων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ειδικών προδιαγραφών μεγάλου πάχους κυβόλιθοι, οι οποίοι όμως αποτελούν δαπανηρή λύση, συγκρινόμενοι σε κόστος με άλλα υλικά, παρόμοιας υφής, όπως σταμπωτά δάπεδα έγχρωμου σκυροδέματος, κ.λπ.

Ο συντελεστής θερμικής διαστολής επηρεάζει τις συστολοδιαστολές των πλακιδίων και έχει ιδιαίτερη βαρύτητα σε περιπτώσεις επαφών με άλλα υλικά, που είναι συνήθεις. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για οξύμαχα πυριτικά πλακίδια, σε διαφορά θερμοκρασίας 50°C η επιμήκυνση ανέρχεται σε 2,4 mm ανά 8.000 mm. Έτσι κρίνεται απαραίτητη η παρεμβολή ενός τρίτου ελαστικού υλικού, προκειμένου ν' αποφευχθούν ανασηκώματα και αποκολλήσεις του υλικού.

Η αντοχή σε θραύση μετράται σε N ή kp/mm^2 και εξαρτάται από το πάχος του πλακιδίου. Τα κεραμικά πλακίδια γενικά είναι εύθραυστα, γιατί υπάρχουν μικρές ρωγμές, ή πόροι στη μάζα τους, που διακόπτουν την συνεκτικότητα του ιστού τους. Η υψηλή πυκνότητα του υλικού τους, η καθαρότητα και το μικρό πορώδες εξασφαλίζουν αυξημένους δείκτες αντοχής σε θραύση και σε κρούσεις.

Η αντιολισθητικότητα είναι μια ακόμη ιδιότητα, που λειτουργεί ως κριτήριο κατηγοριοποίησης για πλακίδια που χρησιμοποιούνται σε χώρους, όπου υπάρχουν λίπη, υγρά, κ.α., που αυξάνουν την ολισθηρότητα του δαπέδου και δημιουργούν κινδύνους πτώσεων. Η ολισθηρότητα υπολογίζεται με τη μέγιστη γωνία ολίσθησης με γυμνό πόδι, ή με παπούτσια εργασίας.

Τέλος, διακρίνονται με κριτήριο τη χρήση τους σε πλακίδια επένδυσης τοίχων ή επίστρωσης δαπέδων, με μικρές διαφορές στην υφή του ιστού, την αντοχή, το πάχος και τον τρόπο τοποθέτησης.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΕΡΑΜΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Σύμφωνα με τον Lottermoser (2010), τα απόβλητα του χθες μπορούν να αποτελέσουν τους ορυκτούς πόρους του μέλλοντος. Ένα παράδειγμα στον Ελλαδικό χώρο, στα μεταλλεία του Λαύριο τα στείρα – αδρανή ή φτωχά μεταλλευτικά προϊόντα, δεν είχαν για τις οικονομικές συνθήκες της εποχής καμία αξία. Τα απόβλητα όμως αυτά αποτέλεσαν πρώτη ύλη από τις μεταλλευτικές εταιρίες 20ου αιώνα. Αυτό έγινε δυνατό με την χρησιμοποίηση νέων βελτιωμένων μεθόδων παραλαβής. Η τακτική αυτή, της εκ νέου επεξεργασίας των μεταλλευτικών αποβλήτων και η αξιοποίησή τους, αναμένεται να χρησιμοποιηθεί και στο μέλλον.

Στην κυκλική οικονομία, τα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν εισάγονται πίσω στην οικονομία ως νέες πρώτες ύλες, αυξάνοντας έτσι την διαφύλαξη του εφοδιασμού. Αυτές οι δευτερογενείς πρώτες ύλες μπορούν να διακινούνται και να αποστέλλονται ακριβώς όπως οι πρωτογενείς πρώτες ύλες από τους παραδοσιακούς εξορυκτικούς πόρους. Με αυτή λοιπόν την κατεύθυνση ερευνάτε η χρήση των αποβλήτων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες στην κεραμική βιομηχανία.

3.1. Τα απόβλητα στην κεραμική σύνθεση

Η κεραμική βιομηχανία παραδοσιακά χρησιμοποιεί φυσικά πρωτογενή υλικά όπως το χώμα και η άμμος με την διαδικασία της εξόρυξης για την παραγωγή κεραμικών προϊόντων όπως είναι τα τούβλα τα κεραμίδια, τα πλακάκια κ.α. Ωστόσο οι φυσικές πρώτες ύλες του εδάφους χρησιμοποιούνται πιο γρήγορα από ότι το ίδιο τα περιβάλλον μπορεί να τις αντικαταστήσει δημιουργώντας έτσι αστάθεια στο οικοσύστημα μας για μια αειφόρο ανάπτυξη. Η επαναχρησιμοποίηση λοιπόν δευτερογενών υλικών (αποβλήτων) στην κεραμική βιομηχανία είναι μια ανάγκη και μια απόδειξη της βιομηχανικής συμβίωσης με τους περιβαλλοντικούς στόχους που θέτονται στην κυκλική οικονομία στα πλαίσια της προσπάθειας να επιτύχουμε μια καλύτερη διαχείριση πρώτων υλών και παραγωγής αποβλήτων. Η ορθή ταξινόμηση των αποβλήτων περιλαμβάνει την αξιολόγηση του αποβλήτου και των επικίνδυνων

ιδιοτήτων του, η οποία αποτελεί πλέον «υποχρέωση» για όλους τους εμπλεκόμενους, επηρεάζοντας τους παραγωγούς των αποβλήτων, τους κάτοχους αποβλήτων και τις αρμόδιες αρχές.

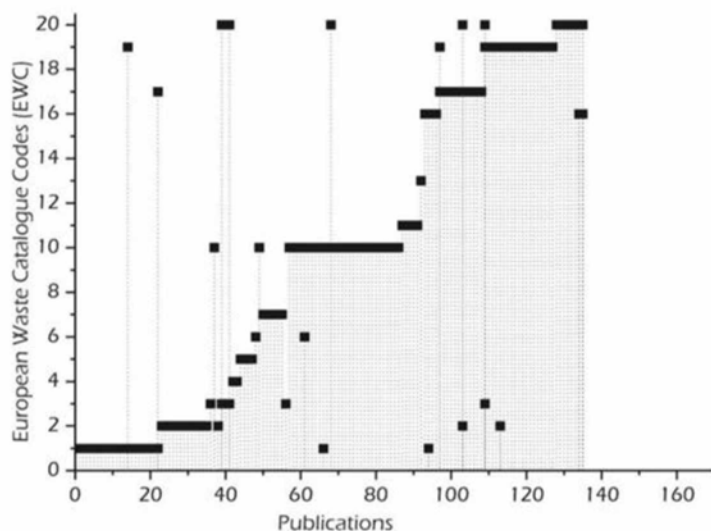
Το πλαίσιο για την διαχείριση των αποβλήτων παρέχεται από την Οδηγία – Πλαίσιο για τα απόβλητα (2008/98/EK), η οποία μεταφέρθηκε στην Ελλάδα με το Νόμο 4042/2012, με σκοπό την προσαρμογή της νομοθεσίας στην τεχνική και επιστημονική πρόοδο που παρέχεται από τον Κανονισμό (ΕΚ) 1272/2008 (κανονισμός CLP), δηλαδή τη νομοθεσία για τις χημικές ουσίες. Ο Κανονισμός CLP επηρέασε την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για τα Απόβλητα με νέους αυστηρότερους «κανόνες αξιολόγησης» και αυστηρότερες οριακές τιμές που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση ενός ρεύματος αποβλήτου. Συγκεκριμένα, οι αλλαγές αυτές οδήγησαν στην αντικατάσταση του Παραρτήματος III της Οδηγίας 2008/98/EK με τον Κανονισμό της (ΕΕ) αριθ. 1357/2014. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε αναθεώρηση του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων (Απόφαση 2000/532/EK) με την Απόφαση 2014/955/ΕΕ, η οποία τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιουνίου 2015. Ταυτόχρονα τα απόβλητα εντάχθηκαν στον ΕΟΧ (Ευρωπαϊκός Οικονομικός Χώρος, 1994) για την ελεύθερη διακίνηση εμπορευμάτων, προσώπων, υπηρεσιών και κεφαλαίων μεταξύ χωρών του ΕΟΧ, προκαλώντας μεγάλες ευκαιρίες στη διαχείριση τους. Η αξιολόγηση της επικινδυνότητας ενός αποβλήτου βασίζεται σε 15 επικίνδυνες ιδιότητες (HP1 έως HP15) του Παραρτήματος του Κανονισμού 1357/2014/ΕΕ, οι οποίες πρέπει να εξετάζονται ξεχωριστά (με τον νέο κανονισμό οι επικίνδυνες ιδιότητες H1 έως H15, όπως ορίζονται στο Παράρτημα III της Οδηγίας 2008/98/EK, μετονομάζονται ως HP1 έως HP15), βάσει των οριακών τιμών που καθορίζονται στον Κανονισμό 1357/2014/ΕΕ.

Ο Ευρωπαϊκός κατάλογος αποβλήτων EWC είναι μια ιεραρχική ευρωπαϊκή λίστα, που ταξινομεί και κατηγοριοποιεί απόβλητα σε 20 κωδικούς ανάλογα την διαδικασία από την οποία παράγονται και δίνεται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Ευρωπαϊκός κατάλογος αποβλήτων (EWC 2002)

01	Απόβλητα που προκύπτουν από εξερεύνηση, από εξόρυξη, από λατομεία, από την φυσική και χημική επεξεργασία ορυκτών	11	Απόβλητα από χημική επεξεργασία επιφανειών και επικάλυψη μετάλλων και άλλων υλικών, μη σιδηρούχα υδρομεταλλουργία
02	Απόβλητα από τη γεωργία, την κηπουρική, την υδατοκαλλιέργεια, τη δασοκομία, το κυνήγι και την αλιεία, την προετοιμασία και την μεταποίηση τροφίμων.	12	Απόβλητα από την διαμόρφωση και την φυσική και μηχανική επεξεργασία επιφανειών μετάλλων και πλαστικών
03	Απόβλητα από την επεξεργασία ξύλου και την παραγωγή πάνελ και επίπλων, πολτού, χαρτιού και χαρτονιού	13	Απόβλητα πετρελαίου και απόβλητα υγρών καυσίμων
04	Απόβλητα από την βιομηχανία δέρματος, γούνας και κλωστοϋφαντουργίας	14	Απόβλητα οργανικών διαλυτών, ψυκτικών και προωθητικών
05	Απόβλητα από διύλιση πετρελαίου, καθαρισμό φυσικού αερίου και πυρολυτική επεξεργασία άνθρακα	15	Απόβλητα συσκευασίας, συσκευασία καθαριστικών υφασμάτων, υλικά φίλτρων και προστατευτικές συσκευασίες ρούχων που δεν καθορίζονται αλλιώς
06	Απόβλητα από ανόργανες χημικές διεργασίες	16	Απόβλητα που δεν καθορίζονται αλλιώς στον πίνακα
07	Απόβλητα από οργανικές χημικές διεργασίες	17	Απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων (συμπεριλαμβανομένου του εκσκαφθέντος εδάφους από μολυσμένους τόπους)
08	Απόβλητα από την παρασκευή, τη διαμόρφωση, την προμήθεια και τη χρήση(MFSU) επιστρώσεων (χρώματα, βερνίκια και βερνικωμένα σμάλτα), στεγνωτικά και εκτυπωτικά μελάνια	18	Απόβλητα από την υγειονομική περίθαλψη ανθρώπων και ζώων ή/και συναφή αποτελέσματα (εκτός από απόβλητα κουζίνας και εστιατορίων που δεν προέρχονται από άμεση υγειονομική περίθαλψη
09	Απόβλητα από τη βιομηχανία φωτογραφιών	19	Απόβλητα από, μονάδες επεξεργασίας λυμάτων εκτός εγκαταστάσεων και προετοιμασία νερού για ανθρώπινη χρήση και νερού για βιομηχανική χρήση
10	Απόβλητα από θερμικές διεργασίες	20	Αστικά απόβλητα (οικιακά απόβλητα και παρόμοια εμπορικά, βιομηχανικά και απόβλητα φορέων)χωριστά συλλεγμένων

Σύμφωνα με τις μελέτες που έχουν διεξαχθεί για το αν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε απόβλητα για την παρασκευή κεραμικών προϊόντων, οι περισσότερες δοκιμές έγιναν με βάση τα απόβλητα της κατηγορίας 01(Απόβλητα που προκύπτουν από εξερεύνηση, από εξόρυξη, από λατομεία, από την φυσική και χημική επεξεργασία ορυκτών), 10(Απόβλητα από θερμικές διεργασίες) και 19(Απόβλητα από, μονάδες επεξεργασίας λυμάτων εκτός εγκαταστάσεων και προετοιμασία νερού για ανθρώπινη χρήση και νερού για βιομηχανική χρήση) και μετά λιγότερα από την κατηγορία 02 και 17 του καταλόγου. Παραπροϊόντα από τις κατηγορίες 08, 09, 12, 14 και 15 συνήθως δεν χρησιμοποιούνται ως προσμίξεις στην κεραμική σύνθεση. Στην Εικόνα 3.1 φαίνεται το εύρος των επιστημονικών δημοσιεύσεων ανάλογα με την κατηγορία των αποβλήτων.



1 [Acchar et al., 2006]	35 [Meeki et al., 2008]	69 [García-Ubaque et al., 2007]	103 [Malaskiene et al., 2011]
2 [Campos et al., 2007]	36 [Mothé and Ambrósio, 2007]	70 [Karamanova et al., 2011]	104 [Romero et al., 2008]
3 [Das et al., 2000]	37 [Teixeira et al., 2008]	71 [Koukoulzas et al., 2011]	105 [Romero et al., 2009]
4 [Dhanapandian and Shanthy, 2009]	38 [Valencienc, 2011]	72 [Kute and Deodhar, 2002]	106 [Samara et al., 2008]
5 [Ducman et al., 2005]	39 [Maschio et al., 2009]	73 [Lingling et al., 2005]	107 [Vieira et al., 2004]
6 [El-Mahllawy, 2008]	40 [Shukla et al., 2010]	74 [Little et al., 2008]	108 [Vieira and Monteiro, 2007]
7 [He et al., 2012a]	41 [Suctu and Akkurt, 2009]	75 [Martelot et al., 2000]	109 [Anderson et al., 2002]
8 [Junkies et al., 2011]	42 [Bassegio et al., 2002]	76 [Monteiro et al., 2008b]	110 [Arsenovic et al., 2012]
9 [Lemeshev et al., 2004]	43 [Herek et al., 2012]	77 [Olgun et al., 2005]	111 [Cusido et al., 2003]
10 [Menezes et al., 2002]	44 [Acchar et al., 2009]	78 [Oliveira et al., 2004]	112[Cusido and Soriano, 2011]
11 [Menezes et al., 2005]	45 [Monteiro et al., 2006]	79 [Ozdemir and Yilmaz, 2007]	113 [Devant et al., 2011]
12 [Menezes et al., 2008]	46 [Pinheiro and Holanda, 2009]	80 [Pérez-Villarejo et al., 2010]	114 [Halving et al., 2011]
13 [Menezes et al., 2009]	47 [Souza et al., 2003]	81 [Quaranta et al., 2010]	115 [Jordan et al., 2005]
14 [Monteiro et al., 2004]	48 [Baspinar et al., 2010a]	82 [Quijorna et al., 2011]	116 [Kiznievic et al., 2013]
15 [Moreira et al., 2008]	49 [Dondi et al., 2010]	83 [Quijorna et al., 2012]	117 [Lin and Weng, 2001]
16 [Ozkan et al., 2010]	50 [Abali et al., 2007]	84 [Rego, 2009]	118 [Lin et al., 2006]
17 [Ramadan et al., 2001]	51 [Christogerou et al., 2009]	85 [Shih et al., 2004]	119 [Martínez-García et al., 2012]
18 [Saboya et al., 2007]	52 [Kavas, 2006]	86 [Zimmer and Bergmann, 2007]	120 [Merino et al., 2007]
19 [Segadaes et al., 2005]	53 [Kurama et al., 2006]	87 [Corpas iglesias et al., 2011]	121 [Monteiro et al., 2008b]
20 [Sviderski et al., 2007]	54 [Kurama et al., 2007]	88 [Couto et al., 2001]	122 [Montero et al., 2009]
21 [Torres et al., 2007]	55 [Uslu and Arol, 2004]	89 [Dominguez et al., 2011]	123 [Shin and Kim, 2009]
22 [Vieira, 2007]	56 [Vichaphud et al., 2012]	90 [Sikalidis and Zaspalis, 2007]	124 [Souza et al., 2008]
23 [Acchar et al., 2013]	57 [Acosta et al., 2002]	91 [Singh et al., 2007]	125 [Szoke and Muntean, 2009]
24 [Aripin et al., 2011]	58 [Alonso-Santurde et al., 2010]	92 [Eliche Quesada et al., 2012]	126 [Teixeira et al., 2011]
25 [Barbieri et al., 2013]	59 [Alonso-Santurde et al., 2011]	93 [Adie and Osibanjo, 2013]	127 [Weng et al., 2003]
26 [Chan, 2011]	60 [Bantsis et al., 2011]	94 [Adylov et al., 2010]	128 [Aestlina and Mohajerani, 2012]
27 [De la casa et al., 2009]	61 [Baspinar et al., 2010b]	95 [Dondi et al., 2009]	129 [Chidiac and Federico, 2007]
28 [Demir, 2008]	62 [Cultrone and Sebastián, 2009]	96 [Zhu et al., 2014]	130 [Kadir and Mohajerani, 2012]
29 [Demir, 2008]	63 [Dondi et al., 2002a]	97 [Baruzzo et al., 2006]	131 [Kadir and Mohajerani, 2011]
30 [Demir et al., 2005]	64 [Dondi et al., 2002b]	98 [Blanco et al., 2005]	132 [Loryuehyong et al., 2009]
31 [Eliche quesada et al., 2011]	65 [Faria et al., 2006]	99 [Demir and Orham, 2003]	133 [Sarani and Kadir, 2013]
32 [Banga and Ahmed, 2007]	66 [Faria et al., 2011]	100 [Hammer and Karius, 2002]	134 [Vu et al., 2001a]
33 [La rubia, 2010]	67 [Fernández-Pereira et al., 2011]	101 [Karius and Hammer, 2001]	135 [Vu et al., 2001b]
34 [Martínez et al., 2012]	68 [Furlani et al., 2010]	102 [Lafhaf et al., 2008]	






Εικόνα3.1: Δημοσιεύσεις ερευνών ανά κατηγορία αποβλήτων της Ευρωπαϊκής λίστας αποβλήτων EWC⁶.

⁶<https://ars.els-cdn.com/content/image/3-s2.0-B9781782423058000073-f07-01-9781782423058.jpg>




Στους **Πίνακες 3.2, 3.3** και **3.4** αναφέρονται κάποια παραπροϊόντα που έχουν χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή κεραμικών προϊόντων, μαζί με την πηγή προέλευσής τους, από τις 3 βασικές κατηγορίες της Ευρωπαϊκής λίστας αποβλήτων, της κατηγορίας 1, 10 και 19.

Πίνακας 3.2. Πηγές αποβλήτων και απόβλητα από την κατηγορία 01 του Ευρωπαϊκού καταλόγου αποβλήτων EWC που έχουν ενσωματωθεί στην κεραμική σύνθεση.


EWC 01		
Απόβλητα που προκύπτουν από εξερεύνηση, από εξόρυξη, από λατομεία, από την φυσική και χημική επεξεργασία ορυκτών (Για μεταλλικά και μη μεταλλικά ορυκτά)		
Πηγή	Απόβλητα	
Βιομηχανία διακοσμητικής πέτρας (ornamental stone industry)	Απόβλητα γρανίτη (granite waste) https://www.indiamart.com/roddetail/waste-granite-powder-20038759188.html	
	Απόβλητα καολίνης (kaolin waste) http://stations.nirs.org.au/NEWS/Controversy-over-Kaolin-Clay-mine	
	Σκωρία υψικαμίνου (blast furnace slag) (EWC 10) https://www.go4worldbusiness.com/pref_product/view/850682/ground-granulated-blast-furnace-slag.html	


	<p>Λάσπη γρανίτη (granite sludge)</p> <p>https://www.researchgate.net/figure/a-Granite-sludge-waste_fig3_316213905</p>	
	<p>Λάσπη χαλαζίτη (quartzite sludge)</p> <p>https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946510000867</p>	
	<p>Απορρίμματα μαρμάρου (marble waste)</p> <p>https://www.researchgate.net/figure/Marble-Waste-used-in-Research_fig2_267268309</p>	
	<p>Σκόνη βράχου (Rock powder)</p> <p>https://www.jardinierdepot.ca/en/product/canadian-basalt-volcanic-rock-dust-c-b-d</p>	
<p>Λατομεία (quarrying and mining)</p>	<p>Απόβλητα εξόρυξης άνθρακα (coal mining waste)</p> <p>https://www.dreamstime.com/stock-photos-coal-mining-waste-pile-image21147513</p>	






<p>Αργιλώδη Απόβλητα (clay waste)</p> <p>https://www.geograph.org.uk/photo/1730308</p>	
<p>Απόβλητα σιδηρομεταλλεύματος (iron ore tailing waste)</p> <p>https://www.dawnus.co.uk/civils-projects/international-civil-engineering/tonkolili-iron-ore-mine-tailings-storage-facilities/</p>	
<p>Απόβλητα αργιλοσιδήρου (iron ore clay waste)</p> <p>https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTgt43cAHebKWECPO7YZxLEFfnffXxR1YRP9YaRHIA5k6nCRDC6</p>	
<p>Υπολείμματα αργίλου (residual clay)</p> <p>https://www.slideshare.net/gauravhtandon1/clay-products-78685317</p>	
<p>Ορυκτά απόβλητα (mineral waste)</p> <p>https://www.sgu.se/en/geointro/lecture-4-mining-waste/</p>	

Βιομηχανία αλουμινίου (aluminium industry)	Λυματολάσπη (sewage sludge) (EWC 19) https://en.wikipedia.org/wiki/Sewage_sludge	
	Ερυθρά Ιλύος (red mud) https://www.imagenesmy.com/imagenes/red-mud-ba.html	
	Εξορυκτικά απόβλητα (mining waste) https://www.sgu.se/en/geointro/lecture-4-mining-waste/	

Πίνακας 3.3. Πηγές αποβλήτων και απόβλητα από την κατηγορία 10 του Ευρωπαϊκού καταλόγου αποβλήτων EWC που έχουν ενσωματωθεί στην κεραμική σύνθεση.


EWC 10 Απόβλητα από θερμικές διεργασίες		
Πηγή	Απόβλητα	
Θερμικές μονάδες επεξεργασίας βιομάζας (biomass thermal power plant)	Ιπτάμενη τέφρα (fly ash) https://www.greenbuildingupdate.com/2010/04/articles/codes-and-regulations/fly-ash-green-building-material-hazardous-waste/	






	<p>Εξασεριωμένη τέφρα (gasification ashes)</p> <p>http://www.zi-online.info/en/artikel/zi_Gasification_efficient_source_of_energy_for_the_brick_and_tile_industry_1952808.html</p>	
<p>Μονάδες επεξεργασίας άνθρακα (coal power plant)</p>	<p>Ιπτάμενη τέφρα (fly ash)</p> <p>https://www.power-eng.com/articles/2017/08/georgia-power-begins-coal-ash-pond-dewatering.html</p>	
	<p>Απορρίμματα μετάλλων (tincalore waste) (EWC 11)</p> <p>https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTUe1ZljJik4d3wFivgVi264PgLu3c1Ny9NtkAoxITvgWU2ABILA</p>	
<p>Μεταλλουργία και βιομηχανία σιδήρου-χάλυβα (metallurgical and steelindustry)</p>	<p>Άμμος χυτηρίου (foundry sand)</p> <p>http://www.at-minerals.com/en/artikel/at_Applying_CDE_Technology_to_Foundry_Sand_Preparation_2409189.html</p> <p>Απόβλητα σκόνης ολιβίνης χυτηρίων (waste olivine powder from foundry industry)</p> <p>https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1WpB.KVXXXXXyXVXXq6xXFXXS/Olivine-Sand-and-Powder-AFS50-55-.jpg_350x350.jpg</p>	 

	<p>Σκωρία υψικαμίνου (blast furnace slag)</p> <p>https://www.enviropro.co.uk/entry/39527/Bagnall-Construction/Blast-furnace-slag-filter-media/</p>	
	<p>Σκωρία χάλυβα (steel slag)</p> <p>https://sc02.alicdn.com/kf/HTB14Y3xJFXXXbrXFXXq6xXFXXXA/Steel-Slag-SSFI-.jpg</p>	
	<p>Χαλβουργικά απόβλητα (siderurgical waste)</p> <p>https://gr.depositphotos.com/3516854/stock-photo-metallurgical-waste.html</p>	
<p>Λάσπη (sludge)</p>	<p>Υδραυλική Λάσπη (sanitary ware sludge)</p> <p>https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0272884218308903-gr1.jpg</p>	
	<p>Λάσπη ανοδίωσης (anodizing sludge) (EWC 11)</p> <p>https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/anodizing-environmental</p>	

<p>Κεραμικές κατασκευές (ceramic manufacturing)</p>	<p>Απόβλητα γυαλιού (glass waste) (EWC 19)</p> <p>https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTF7NakaBQToWYuNXhRQrNKnytkQKWpnd7DQbCrmDX31TER1mlK</p>	
	<p>Απόβλητα υγιεινής (sanitary ware waste)</p> <p>https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0950061813005813-gr10.jpg</p>	
	<p>Σκωρία χάλυβα (steel slag)</p> <p>https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRUDBkKZ98-wZUwsg40-6VF5mdnqvAaxb4MY-Jxjw7wyFdsPNn</p>	

Πίνακας 3.4. Πηγές αποβλήτων και απόβλητα από την κατηγορία 19 του Ευρωπαϊκού καταλόγου αποβλήτων EWC, που έχουν ενσωματωθεί στην κεραμική σύνθεση.

EWC 19		
Απόβλητα από εγκαταστάσεις διαχείρισης αποβλήτων, μονάδες επεξεργασίας λυμάτων εκτός εγκαταστάσεων και προετοιμασία νερού για ανθρώπινη χρήση και νερού για βιομηχανική χρήση		
Πηγή	Απόβλητα	
<p>Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων (waste water treatment plant)</p>	<p>Λυματολάσπη (sewagesludge)</p> <p>https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT_tJx45ZqPQDYFfpSijwdV-wardP4kLgJg-uNPbgOiADQznYle</p>	

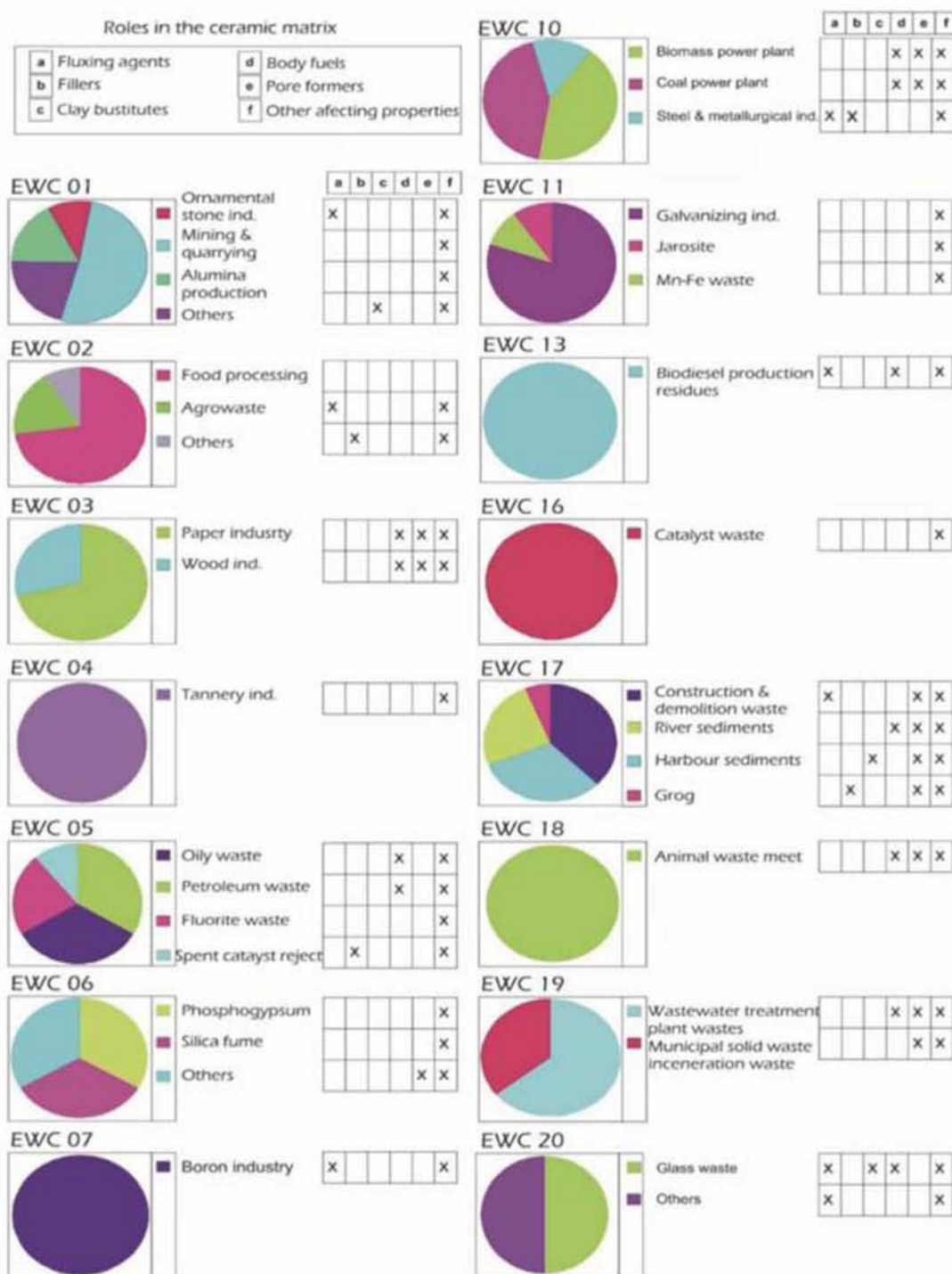
<p>Εγκαταστάσεις αποτέφρωσης αστικών στερεών αποβλήτων (Municipal solid waste incineration plant)</p>	<p>Αστική τέφρα λυματολάσπης (Municipal sewage sludge ash)</p> <p>https://www.slideshare.net/AmbaSasank/utilization-of-sewage-sludge-ash-in-construction-materials</p>	
	<p>Τέφρα λυματολάσπης (sewage sludge ash)</p> <p>https://www.sbmc.or.jp/english/050427/Reuse_of_Sewage_Sludge.htm</p>	
	<p>Νήματα χαλιών (carpet yarn) (EWC 04)</p> <p>http://www.campaignforwool.org/wp-content/uploads/2016/06/WASTE-882-882x600.jpg</p>	
	<p>Σκωρίες ιπτάμενης τέφρας από αστικά στερεά απορρίμματα (municipal solid waste incinerator fly ash slag)</p> <p>http://202.127.204.31/yjs/APD/English/index.html</p>	
	<p>Ιπτάμενη τέφρα (flyash)</p> <p>https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQHC6J-OAAAdKF6pPbU4FPxFOCbHLxJ-cMfR4GEzZFuOKAfn29UX</p>	

3.2. Ο ρόλος των αποβλήτων στην κεραμική σύνθεση

Τα διάφορα απόβλητα που μπορούμε να ενσωματώσουμε στην παραγωγική διαδικασία των κεραμικών επηρεάζουν με διάφορους τρόπους τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Ένα χαρακτηρισμένο απόβλητο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανάλογα με την χημική σύνθεση του για περισσότερους από έναν ρυθμιστικούς παράγοντες των τελικών χαρακτηριστικών του κεραμικού προϊόντος, έχοντας περισσότερους από έναν ρόλους στην κεραμική σύνθεση, ενώ συνηθίζεται να συνδυάζονται απόβλητα από διαφορετικές κατηγορίες αποβλήτων του EWC (Ευρωπαϊκός κατάλογος αποβλήτων) για την επίτευξη πολλών διαφορετικών ιδιοτήτων στα τελικά κεραμικά προϊόντα. Στην Εικόνα 3.2 παρατίθεται οι πιο συχνοί ρόλοι που μπορεί να διαδραματίσουν συγκεκριμένα απόβλητα από την ευρωπαϊκή λίστα αποβλήτων (EWC) στην κεραμική σύνθεση.

Ένας από τους ρόλους που μπορούν κάποια απόβλητα να διαδραματίσουν στην κεραμική σύνθεση, είναι σαν **παράγοντες ροής (fluxing agent)**, δηλαδή για να μειώσουν το υψηλό σημείο τήξης των κύριων συστατικών του μείγματος, κυρίως υλικά με σχετικά υψηλή ποσότητα αλκαλικών οξειδίων, όπως απόβλητα γυαλιού (glass waste), υπολείμματα βορίου (boron-containing residues), σκωρία ψευδαργύρου (waelz-slag), σκωρία χάλυβα (steel slag), τέφρα οστών (bone ash), τέφρα από την αεριοποίηση άνθρακα (ash from gasification of coal), λάσπη από την βιομηχανία διακοσμητικών λίθων (sludge from ornamental stone industry).

Ο ρόλος τους ως **συμπληρώματα (fillers)** αναφέρεται σε απόβλητα που μπορούν να υποκαταστήσουν την επίδραση που προκαλεί η άμμος στη διαδικασία της υαλοποίησης, δηλαδή την διάλυση του ανόργανου αποβλήτου στην υαλώδη φάση που συμβαίνει κατά την πυροσυσσωμάτωση ή την αντίδραση του με ορυκτά αργίλου για να δημιουργηθούν νέες ορυκτές φάσεις στην δομή του τελικού προϊόντος. Σε αυτή την κατηγορία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε απόβλητα όπως η λυματολάσπη (sewage sludge), τέφρα από λυματολάσπη (ash generated in the incineration of sewage sludge), σκόνη χάλυβα (steel dust), λάσπη ραφινάρισματος χάλυβα (steel refining sludge), άμμος χυτηρίου (foundry sand) και απορρίψεις χρησιμοποιημένων καταλυτών (spent catalyst rejects).



Εικόνα 3.2: Ο ρόλος των αποβλήτων στην κεραμική σύνθεση ανά κατηγορία EWC

Ο ρόλος τους σαν **υποκατάστατα αργίλου (clay substitute)** αναφέρεται σε απόβλητα που περιέχουν μια ορισμένη ποσότητα αργιλικών ορυκτών, έτσι ώστε να προσδίδουν την απαραίτητη πλαστική συμπεριφορά στο κεραμικό μείγμα. Σε αυτή την κατηγορία

περιλαμβάνονται η σκωρία αποτεφρωμένων στερεών αστικών λυμάτων (municipal solid waste incineration slag), υπολείμματα από διαχείριση νερού (water treatment residues) και ιπτάμενη τεφρά από την χαρτοβιομηχανία (fly ash from paper industry).

Ο ρόλος τους σαν **παράγοντες καυσίμου (bodyfuel)**. Μαζί με τα απόβλητα που χρησιμοποιούμε σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνεται και η καύσιμη ύλη που περιέχει άνθρακα, η οποία διαθέτει σχετική θερμική ισχύ που είναι επιθυμητή για εξοικονόμηση ενέργειας. Εδώ έχουμε ελαιώδη υπολείμματα (oily residues), λάσπη υψικαμίνου (blast furnace sludge) αν έχει ακόμα σημαντική ποσότητα οπτάνθρακα (coke), λάσπη χαρτοβιομηχανίας (sludge of paper industry), τέφρα υψηλού άνθρακα (ash with carbon content), λυματολάσπη (sewage sludge) και πριονίδια (sawdust).

Ένας ακόμα ρόλος που μπορούν να διαδραματίσουν απόβλητα στην κεραμική σύνθεση είναι να **αυξήσουν το πορώδες** του τελικού προϊόντος, περιλαμβάνονται συνήθως απόβλητα με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη που στην διαδικασία ψησίματος θα καούν και θα σχηματίσουν πόρους.

3.3. Συνθήκες καύσης για κεραμικά που ενσωματώνουν απόβλητα

Η διαδικασία της καύσης είναι το βασικό βήμα στην κατασκευή κεραμικών προϊόντων επειδή καθορίζει τις τελικές τους ιδιότητες. Τα υλικά κατά την καύση παρουσιάζουν μη αναστρέψιμες δομικές αλλαγές φτάνοντας στην κατάλληλη κεραμική δομή που είναι υπεύθυνη για τις τελικές ιδιότητες του προϊόντος.

Ανάλογα με τα αρχικά υλικά και το επιθυμητό τελικό προϊόν οι συνθήκες καύσης, ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας και ο χρόνος τοποθέτησης στον κλίβανο είναι διαφορετικοί. Η θερμοκρασία που δημιουργείται η υγρή φάση ποικίλλει ανάλογα με τη σύνθεση τα αργιλικά ορυκτά, συνήθως ξεκινά περίπου στους 900°C και ολοκληρώνεται περίπου στους 1050°C.

Ωστόσο, παράγοντες ροής όπως οξείδια σιδηρού, ασβέστης και αλκάλια, οδηγούν σε χαμηλότερη θερμοκρασία αρχικής τήξης, προωθώντας την ποσότητα της σχηματισμένης υγρής φάσης σε οποιαδήποτε δεδομένη θερμοκρασία, συμβάλλοντας σε χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν η άργιλος είναι ασβεστώδης στην φύση.

Οι περισσότερες μελέτες των κεραμικών προϊόντων που έχουν χρησιμοποιηθεί απόβλητα για την σύνθεση τους χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς εργαστηριακούς κλιβάνους σε θερμοκρασίες από 800°C μέχρι 1200°C. Κάποιοι από τους μελετητές επιλέγουν την ποσότητα του αποβλήτου και μελετούν πως επηρεάζουν οι συνθήκες της καύσης τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Κάποιοι άλλοι εκτιμούν την επιρροή της ποσότητας των αποβλήτων που έχουν προσθέσει σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, ενώ άλλοι εναλλάσσουν και την θερμοκρασία και τις συνθήκες καύσης και την αναλογία του αποβλήτου στην κεραμική μήτρα.

3.4. Χαρακτηριστικά κεραμικών που ενσωματώνουν απόβλητα

Η αξιολόγηση της εφαρμογής των αποβλήτων στον κεραμικό τομέα αξιολογείται από την μελέτη τεχνικής καταλληλότητας και της περιβαλλοντικής συμμόρφωσης των κεραμικών προϊόντων με βάση τα απόβλητα. Στην Ευρωπαϊκή ένωση η οδηγία για τα προϊόντα δομικών κατασκευών (CPD) του 1989 (EE,1989) που αποσκοπούσε στην άρση των τεχνικών εμποδίων στο εμπόριο προϊόντων του τομέα δομικών κατασκευών εντός του Ευρωπαϊκού οικονομικού χώρου αντικαταστάθηκε το 2011 από τον 305/2011 κανονισμό δομικών προϊόντων (CPR).

Ο CPR ορίζει ότι οι κατασκευαστικές εργασίες πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται έτσι ώστε να μην αποτελούν απειλή για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον καθ' όλη την διάρκεια ζωής τους (χρήση και κατεδάφιση) ο μηχανισμός εφαρμογής που υιοθετήθηκε με τον CPR ήταν να καθοριστούν πολύ υψηλές απαιτήσεις για τις βασικές εργασίες.

Η Ευρωπαϊκή επιτροπή τυποποίησης (CEN) ήταν υπεύθυνη για την ανάπτυξη ενός προτύπου για κάθε κατασκευαστικό προϊόν για την υποστήριξη των βασικών απαιτήσεων. Οι απαιτήσεις αυτές ενσωματώνονται στα εναρμονισμένα Ευρωπαϊκά πρότυπα ως τεχνικές προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν τα προϊόντα για συγκεκριμένη χρήση. Οι τεχνικές προδιαγραφές βάσει της βασικής απαίτησης 3 (ER3) “health, safety and environment (υγεία, ασφάλεια και περιβάλλον)”, που περιλαμβάνουν απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών απαιτούν ίση εκτίμηση, όπως η σταθερότητα και η αντίδραση σε φωτιά, όμως πρακτικά δεν ενσωματώνονται και δεν ορίζονται ακόμη.

3.4.1. Τεχνολογικές ιδιότητες

Από τεχνολογική άποψη, η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης ή ανακύκλωσης ενός συγκεκριμένου αποβλήτου εξαρτάται από την επιθυμητή ποιότητα των τελικών προϊόντων στα οποία εισάγεται. Η κεραμική διαδικασία περιλαμβάνει φυσικές και χημικές αλλαγές που επηρεάζουν τις ιδιότητες των κεραμικών προϊόντων. Λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών ορισμένων αποβλήτων σε σύγκριση με τις παραδοσιακές κεραμικές πρώτες ύλες, η τεχνική καταλληλότητας της ενσωμάτωσης αποβλήτων σε κεραμικά προϊόντα πρέπει να εκτιμηθεί με την μέτρηση διαφορετικών τεχνολογικών ιδιοτήτων. Εκτός από τις τεχνολογικές ιδιότητες, η ανάλυση της φάσης σύνθεσης και οι μορφολογικές επιφανειακές δομές αναλύονται στις μελέτες που μελετήθηκαν χρησιμοποιώντας τεχνικές XRD (Diffraction Ray) και ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης SEM (Scanning Electron Microscopy).

Οι πιο συνηθισμένες ιδιότητες που μετρήθηκαν από τους μελετητές είναι η απορρόφηση νερού (WA) (water absorption), η γραμμική συρρίκνωση καύσης (LFS) (linear firing shrinkage), η αντοχή στην κάμψη (σf) (rupture flexural strength), η αντοχή στην θλίψη (σc) (compressive strength), η απώλεια βάρους κατά την καύση (WL) (weight loss), η πυκνότητα (ρ) (density) και το πορώδες (P) (porosity). Οι μέθοδοι τυποποίησης που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση αυτών των ιδιοτήτων ποικίλλουν ως συνάρτηση της χώρας και των ποιοτικών προδιαγραφών της. Τα περισσότερα πειράματα που μελετήθηκαν έχουν χρησιμοποιήσει πρότυπα από την Ευρώπη (πρότυπα CEN ή εθνικά), από την Αμερική (ASTM ή εθνικά) και την Ασία (εθνικά πρότυπα).

- **Η απορρόφηση νερού (WA):** είναι η ικανότητα των πορωδών υλικών να συγκροτούν μια συγκεκριμένη ποσότητα υγρού(νερού) στους κενούς(αέριους) χώρους της μάζας τους, πράγμα που αποτελεί βασική ιδιότητα όταν πρόκειται για την αντίσταση του προϊόντος στο φυσικό περιβάλλον.
- **Η αντοχή σε κάμψη (σf) και η αντοχή σε θλίψη (σc):** αποτελούν σημαντική δοκιμασία για την αξιολόγηση της μηχανικής ποιότητας του υλικού.
- **Η απώλεια βάρους κατά την καύση (WL):** συνδέεται με αργιλώδη άλατα, υδροξείδια, οργανική ύλη και πτητικά συστατικά και αποτελεί σημαντική παράμετρο στην κεραμική επεξεργασία με επιπτώσεις στην ανάπτυξη πορώδους,

επηρεάζοντας όλες τις τεχνολογικές ιδιότητες, καθώς και την απελευθέρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα.

- **Η συρρίκνωση κατά την καύση (LFS):** είναι η μεταβολή των μετρήσεων μήκους των δειγμάτων κατά την καύση και αποτελεί πολύ βασική δοκιμή στις κεραμικές βιομηχανίες επειδή σχετίζεται με τον σχηματισμό της υαλώδους φάσης και τον βαθμό συμπύκνωσης κατά την πυροσυσσωμάτωση.
- **Η ολική πυκνότητα (ρ):** υπολογίζεται ως ο λόγος της ξηρής μάζας των δειγμάτων προς τον όγκο της.
- **Το πορώδες (P):** είναι η ποσότητα των κενών σε ένα υλικό σε αναλογία με τον όγκο του. Οι ανοιχτοί πόροι προς τα έξω επιτρέπουν τη ροή του νερού μέσα από αυτούς, ενώ οι κλειστοί πόροι είναι εκείνοι που δεν συνδέονται με το εξωτερικό και δεν μπορεί να ρέει το νερό μέσα από αυτούς.
- **Το “ανοιχτό” πορώδες (OP):** σχετίζεται στενά με την ποιότητα του κεραμικού προϊόντος μειώνοντας την αντοχή του, καθώς και μεταβάλλοντας τις θερμικές και ακουστικές ιδιότητες.

Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν αυτές τις ιδιότητες των κεραμικών προϊόντων είναι οι ρόλοι που παίζουν οι πρώτες ύλες και η θερμοκρασία κατά την διάρκεια της διαδικασίας καύσης.

Τα απόβλητα που περιέχουν υψηλή περιεκτικότητα σε αλκαλικά οξείδια τα οποία λειτουργούν κυρίως ως παράγοντες ροής, όπως τα πλούσια σε βόριο απόβλητα, διευκολύνουν τη διαδικασία συμπύκνωσης αυξάνοντας την συμπαγή δομή του κεραμικού. Τα προϊόντα με υψηλά ποσοστά αλκαλικών οξειδίων εμφανίζουν υψηλή γραμμική συρρίκνωση κατά την καύση και μείωση αντοχής, αλλά μικρή απώλεια βάρους, πορώδους και απορροφητικότητας νερού.

Αντίθετα, τα προϊόντα που περιέχουν άλλα οξείδια ροής, όπως μειωμένα οξείδια σιδήρου (βουστίτη και μαγνητίτη) παρουσιάζουν γραμμική επέκταση κατά την καύση. Η επέκταση μπορεί να αποδοθεί στον μετασχηματισμό του οξειδίου σιδήρου κρυσταλλικής φάσης (FeO) σε μαγνητίτη (Fe₃O₄) κατά τη διάρκεια της διαδικασίας πυροσυσσωμάτωσης λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους κυτταρικής μονάδας της κρυσταλλικής δομής του.

Τα απόβλητα που λειτουργούν κυρίως ως πληρωτικά αντικαθιστώντας την άμμο στην διαδικασία κατασκευής κεραμικών, όπως άμμος χυτηρίου, βιομηχανικά αποτεφρωμένα

λυματολόσπη, ιζήματα ποταμών και λιμένων, δείχνουν υψηλές τιμές απορροφητικότητας νερού. Τα απόβλητα που περιέχουν υψηλές περιεκτικότητες οργανικής ύλης και άνθρακα όπως τέφρα “πυθμένα” ή λυματολόσπη ενεργούν κυρίως ως παράγοντες σχηματισμού πόρων που αυξάνουν το πορώδες, την απορροφητικότητα και την απώλεια βάρους, αλλά μειώνουν τη γραμμική συρρίκνωση της καύσης και την αντοχή σε κάμψη.

Εκτός από τον ρόλο που διαδραματίζει το απόβλητο, η θερμοκρασία έχει επίσης σημαντική επίδραση στις τελικές ιδιότητες. Υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν τον σχηματισμό υγρής φάσης, πράγμα που ενισχύει τη διαδικασία συμπύκνωσης, αυξάνει την γραμμική συρρίκνωση της καύσης και την μηχανική αντοχή και μειώνει το πορώδες και την απορροφητικότητα νερού.

3.5. Πειραματικές μελέτες κεραμικών με προσμίξεις αποβλήτων

Την τελευταία δεκαετία έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες με σκοπό την παραγωγή κεραμικών προϊόντων από παραπροϊόντα διαφόρων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, στα πλαίσια της εισαγωγής της κεραμικής βιομηχανίας στις έννοιες της νεοεισαχθείσας κυκλικής οικονομίας για μια βιώσιμη ανάπτυξη της βιομηχανικής δραστηριότητας χωρίς επιπτώσεις στους πρωτογενείς πόρους και το ανθρώπινο οικοσύστημα.

Για να επιτευχθεί αυτό δοκιμαστήκαν πολλοί συνδυασμοί αποβλήτων και διαφορετικές ανθολογίες αυτών στην κεραμική σύνθεση, ώστε να παραχθούν προϊόντα με ομοιόμορφα σχήματα, τεχνικές ιδιότητες τουλάχιστον παρόμοιες με εκείνες των παραδοσιακών κεραμικών και τελικά προϊόντα που δεν χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία. Κάποιες επιστημονικές έρευνες που χρησιμοποιούν τα βασικότερα παραγόμενα παραπροϊόντα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες την τελευταία δεκαετία αναφέρονται στον Πίνακα 3.5

Πίνακας 3.5: Έρευνες πάνω σε κεραμικά προϊόντα με προσμίξεις αποβλήτων

Έρευνα	Σύνθεση και θερμοκρασία	Αποτελέσματα	Μελετητής
Sustainable utilization of (DPMS) delinking paper mill sludge for the manufacture of building bricks	Δοκιμές: (5,10,15,20,25,30%wt) ≤15% DPMS °C 900-950-1000	↓thermal conductivity με προσθήκη υλικού Θερμικά πιο μονωμένο προϊόν Ικανοποιεί class 10BIS(Bureau of India standards)	S.K.Singha Shilpa Kulkarnib VivekKumarcPrabhat Vashisthab , 2018 Στην Ινδία https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618327409
Sustainable development of P/M ceramics from mill scale and lignite fly ash mixtures	Δοκιμές: FA-MS (30,40,50,60,70,80% wt) 50% MS- 50% FA °C 1000-1100-1140 (3h)	↑LFS(<2%, 1100°C) ↑ρ (≈2.4 gr/cm ³) ↓OP (≈31%) ↓P (≈37%) ↑thermal conductivity ↑tensile strenght	S. Lamprakopoulos et all, 2015 Στην Ελλάδα https://www.researchgate.net/publication/300468753_Sustainable_development_of_P_M_ceramics_from_steel_mill_scale_and_lignite_fly_ash_mixtures
The use of sewage sludge in the production of ceramic floor tiles	Δοκιμές: SS0-35% wt 7% SS (WA<10%) 5% ή 10% SS (WA>10%) °C 1050-1100-1120-1150	↓ρ ↑plasticity ↑LFS ↑WA(5%,1120↓WA) ↑P (5%,1120 ↓P) ↓σc(<7.5mm υλικού, μέσα στα όρια)	Sh. K. Aminetall, 2017 Στην Αίγυπτο https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687404817300214
Recycling of solid waster in the production of ceramic floor tiles	Δοκιμές:(1,3,5,10,30 %wt) ≤10% 30% αν προσθέσουμε περισσότερες πλάστηκες πρώτες ύλες °C 1000-1150	Διατηρεί σχεδόν ίδιες ιδιότητες με τα παραδοσιακά πλακάκια Απαιτεί την άλεση του υλικού σε σκόνη για να χρησιμοποιηθεί	M. C. Casagrande et all, 2002 Στην Ισπανία http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/0232090e.pdf

Lignite fly ash and EAFC as the raw materials for ceramics EAFC σκωρία ηλεκτρικού τόξου άνθρακα	Δοκιμές: από 30-70%wt 50% LF 50%EAFC °C 1000-1100-1140 (3h)	↑tensile strength ↑thermal conductivity	Stelios Lamprakopoulos et al, 2015 Στην Ελλάδα https://www.researchgate.net/publication/317099174_Lignite_fly_ash_and_EAFC_as_the_raw_materials_for_ceramics
Physicochemical characterization and valorization of Tunisian olive oil mill waster water sludge (OMWS) in ceramic products	Δοκιμές:(3,6,8,10%wt) ≤ 6% wt 850 (2h)	↓tensile strength ↑WA ↑LFS ↓σc	Wiem Hamza et al, 2013 Στην Ινδία https://www.researchgate.net/publication/261223544_Physicochemical_Characterization_and_ValORIZATION_of_Tunisian_Olive_Oil_Mill_Wastewater_Sludge_in_Ceramic_Product
Incorporation of coffee grounds into clay brick production	Δοκιμές: (1-5% wt) 3 wt% °C 950 (24h)	↓ρ LFS ↑Thermal insulation ↓WA(≤1% ↑WA) ↑P ↑Compr.strength(3% max strength)	Dolores Eliche-Quesada et al, 2011 Στην Ισπανία https://www.researchgate.net/publication/233541381_Incorporation_of_coffee_grounds_into_clay_brick_production
Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks. (Sawdust, tobacco residue, grass)	Δοκιμές:(2.5,5,10%wt) ≤5 wt% °C 900 (60min)	↓ρ ↑P ↑OP ↑WA ↓ Compr. strength Ανάγκη για περισσότερο νερό στο μείγμα Ικανοποιούν τα τούρκικα όρια	Ismail Demir, 2008 Στην Τουρκία https://www.researchgate.net/publication/6320685_Effect_of_organic_residues_addition_on_the_technological_properties_of_clay_bricks

Olive stone ash as secondary raw material for fired clay bricks	Δοκιμές: (10,20,30%wt) ≤10 wt% 900 (4h)	↓Compres. strength ↓ρ ↑WA ↑P Εντός ορίων	D. Eliche-Quesada, et all, 2016 Στην Ισπανία https://www.hindawi.com/journals/amse/2016/8219437/
Reusing of oil industry waste as secondary material in clay bricks	10% SFEspent filtration earth 10% SBE spent bleaching earth 10% SPOEI sludge from pomace extraction industry 10% SORI sludge from refining industry	↓ρ ↑WA ↑OP ↓Compres. strength ↓thermalconduct. Δεν υπάρχει πρόβλημα τοξικότητας Εντός του RL-88	D. Eliche-Quesada, 2015 Στην Ισπανία http://www.synchropublisher.com/jms/index.php/JMMME/article/download/40/31
The potential use of cement-asbestos waste in the ceramic masses destined for sintered wall clay brick manufacture	≤10% °C 1100-1200	Μέσα στα κατασκευαστικά όρια	R.Kusiorowskiet all, 2014 Στην Πολωνία https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884214005653
Utilization of cement-asbestos wastes by thermal treatment and the potential possibility use of obtained product for the clinker bricks manufactures	Δοκιμές: (5,10%wt) ≤5wt% °C 1100-1150-1200 (1h)	LFS ↑WA ↑OP ↓ρ ↓compress. strength Εντός κατασκευαστικών ορίων Πρέπει να υποστεί θερμική επεξεργασία για να μην είναι επιβλαβής	Robert Kusiorowski et all, 2015 Στην Πολωνία https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-015-9231-6
Recycling PC and TV waste glass in bricks and roof tiles	2% έως 4%	Περιορισμός το γυαλί να είναι σε μέγεθος σωματιδίου<1mm	DondiM, etall, 2009 Στην Ιταλία https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19138838
Manufacturing and characterization of roof tiles a mixture of tile waste and coal fly ash	≤5%	Πολύ καλά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με το παραδοσιακό προϊόν	Aysel KANTÜRK FİGEN, et all, 2017 Στην Τουρκία http://dergipark.ulakbim.gov.tr/sdufenbed/article/view/5000197259

Recycling of residual sludge from aluminium anodizing and lacquering in clay bricks-case study of portuguese industries	5 wt% NA Nonoparticles of gamma -alumina 5 wt% AS Aluminiumsludge °C 1000	↑LFS ↓p ↑P ↑OP ↑WA ↓Compressive strength Αυξημένη θερμομόνωση	Ivania Marques, et all, 2012 Στην Πορτογαλία https://www.researchgate.net/publication/268803321_Recycling_of_Residual_Sludge_from_Aluminium_Anodizing_and_Lacquering_in_Clay_Bricks_-_Case_Study_of_Portuguese_Industries
Electrostatic painting residues as an alternative raw material for red clay industry	Δοκιμές: (0.5,1,2.5, 5%wt) ≤5wt% °C 900-950-1000 (8h)	Brazilian standards NBR 10.005 NBR 10.006	Tania Basegio, et all 2006 Στην Βραζιλία https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X06067322
Production of ceramic tiles using marine sludge additives	Δοκιμές: (10,20,30,40,50%wt) 20% 50% °C 1000-1050-1100-1200	↓p ↑LFS(για 50%, 1100°C) ↓WA(για 50%.1100°C) Compressive strength (στα20% και στα 50%)	CemGÖL, 2006 Στην Τουρκία https://www.researchgate.net/publication/270880266_Production_of_Ceramic_Tiles_by_Using_Marine_Sludge_Additives
Incorporation of (scba) sugarcane bagasse ash waste as an alternative raw material for red ceramic	Δοκιμές: (5,10,15,20%wt) ≤10% scba °C 700-1000- 1100 (2h)	↓LFS ↓p ↓tensiles trength ↑WA	K. C. P. Faria; J. N. F. Holanda, 2013 http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132013000300019
Properties of clay-based ceramics added with construction and demolition waste	Δοκιμές: (10,20,30,40, 50%wt) ≤50% °C 950-1050-1150	↓flexural strength ↑LFS ΕντόςEN standards	Wilson Acchar et all 2009 Στην Βραζιλία https://www.ipen.br/biblioteca/2009/eventos/14823.pdf

Valorization of GRP dust (glass reinforced plastic) waste in fired clay bricks	5% GRPd <10% GRPd °C 850 (6h)	↑αντοχή κάμψης ↓compressive strength ↑vertical deflection ↑WA ↓p ↑OP	Alessandra Mobili, et all, 2018 Στην Ιταλία https://www.hindawi.com/journals/ace/2018/5256741/
Ceramic bricks made from municipal solid waste incineration-delivered clay and ashes: a quality study	Δοκιμές: (1,5, 10,20,40%) ≤10% °C 800-1000	↑WA ↑Strength NTC-4205 Colombia stands	C. A. García-Ubaque, et all, 2013 Στην Κολομβία http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092013000200007
Red ceramics produced from mixtures of kaolinite clay and waste glass	≤15% °C 750	↓WA ↑LFS ↑flexural strength	Emmanuel Tiffo, et all, 2015 Στην Βραζιλία https://bjst-journal.springeropen.com/articles/10.1186/s40552-015-0009-9
Volcanic ash as alternative raw materials for traditional vitrified ceramic products	100% °C 1100-1150	Iso 13006	C. Leonelli et all, 2007 https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1179/174367607X159329?journalCode=yaac20
Paper mill sludge (PMS) and degraded municipal solid waste (DMSW) blended fired bricks– a review	Δοκιμές: 5-20% 10%PMS 20%DMSW °C 850-900	WA Σc LFS INDIAN ASTM STANDS Μείωση επιρόσθετων καυσίμων	Gaurav Goel, Ajay S Kalamdhad, 2018 Στην Ινδία https://medcraveonline.com/MOJCE/MOJCE-04-00101
Recycling of foundry by-products in the ceramic industry: Green and core sand in clay bricks	Δοκιμές: (0-50%) °C 850-1050	Οι καλύτερες ιδιότητες αναπτύχθηκαν στα μίγματα με 35% greensand ή 25% coresand	R.Alonso-Santurde et all, 2012 Στην Ισπανία https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061811004545

The Effect of Wood Ash and Sawdust Admixtures on the Engineering Properties of a Burnt Laterite-Clay Brick	Δοκιμές: (WA-S) 10-0% 7.5-2.5% 5-5% 2.5-7.5% 0-10% °C 1180	↓d ↓strength (↑strength, woodash 10% Sawdust 0%)	Emmanuel A. Okunade, 2008 Στη Νιγηρία https://scialert.net/fulltextmobile/?doi=jas.2008.1042.1048
Incorporation of granite waste in red ceramics	Δοκιμές: (10, 20, 30, 40 %) °C 970		C.M.F Vieira et all, 2004 Στη Βραζιλία https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509304000243
The use of granite and kaolin residues as raw materials to obtain ceramic tile	Δοκιμές: (G-K) 20-27%, 25-30%, 30-30% °C 1100-1120-1150	↓WA ↑σf ↑d ↑LFS	M. A. F. Ramalho et all, 2005 Στη Βραζιλία https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ptech/2005/PDF/17_05.PDF
Ceramics from blast furnace slag ,kaolin and quartz	Δοκιμές: (slag-kaoline) 30-30% 50-30% 70-30% °C 1100-1150-1175-1200-1225	↓WA ↑LFS ↑strength	Emilia Karamanova et all, 2011 https://www.semanticscholar.org/paper/Ceramics-from-blast-furnace-slag-%2C-kaolin-and-Karamanova-Avdeev/0845c7245b08418f1270df1d336b174f6f8728f4
Sintering of a Clay Material with Granite and Marble Reject	Δοκιμές: 10,20,30,40,50% °C 950-1000-1050-1100-1150	Όλες οι ιδιότητες εντός κανονισμών	J.B.Silva et all, 2005 Στη Βραζιλία https://www.researchgate.net/publication/250344979_Sintering_of_a_Clay_Material_with_Granite_and_Marble_Reject

The use of the powder marble by-product to enhance the properties of brick ceramic	°C 750-950		Fernado Saboya et all, 2007 Στη Βραζιλία https://www.researchgate.net/publication/248541496 <u>The use of the powder marble by-product to enhance the properties of brick ceramic</u>
Use of Coal-Mining and Processing Wastes in Production of Bricks and Fuel for Their Burning	Δοκιμές: 10,20,30,40%	Απαιτεί προεπεξεργασία	A.Yu. Stolboushkin et all, 2016 Στη Ρωσία https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816313984
Iron ore tailing: a waste material used in ceramic tile compositions as alternative source of raw materials	Δοκιμές: 45% 52% 60% °C 1100-1150	↑LFS ↓WA ↑d ↑σf ↑σc	Swapan Kumar Das et all, 2012 Στην Ινδία https://www.researchgate.net/publication/241683723 <u>Iron Ore Tailing A Waste Material used in Ceramic Tile Compositions as Alternative Source of Raw Materials</u>
The role of a coal gasification fly ash as clay additive in building ceramic	°C 900	↑WA ↑strength	Monica Aineto et all, 2006 Στην Ισπανία https://www.researchgate.net/publication/22220708 <u>The role of a coal gasification fly ash as clay additive in building ceramic</u>
Development of ceramic tiles from coal fly ash and tincal ore waste	Fly ash ≤10% TW≤10% °C 1020		A.Olgun et all, 2005 Στην Τουρκία https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884204003141

Production of novel ceramic materials from coal fly ash and metal finishing wastes	CFA \geq 90% MFW \leq 10% °C 1000-1250		M. R. Little et all, 2008 Στην Αγγλία https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344908001201
Ceramic tiles adding waste foundry sand to different clays	Δοκιμές: 10,20,30,40,50% °C 930	↑σc	N. E. Quaranta et all, 2010 https://www.researchgate.net/publication/271449446_Ceramic_tiles_adding_waste_foundry_sand_to_different_clays
Study of Waste from Two-Phase Olive Oil Extraction as an Additive in Ceramic Material			Carmen Martínez García et all, 2015 https://www.scientific.net/KEM.663.86
Characterization of Sintered Ceramic Tiles Produced From Steel Slag	Δοκιμές: 20,40,60,80% °C 1200	↑d ↑mor ↓LFS ↓WA ↓P	Benneth C. Chukwudi et all, 2012 Στη Νιγηρία https://file.scirp.org/pdf/JMMCE20120900012_68104741.pdf
Utilization of solid waste from siderurgical industry in red ceramic	Δοκιμές: 0.5- 3.0% °C 850-900-950-1000-1050		G. E. Oliveira; J. N. F. Holanda, 2004 Στη Βραζιλία http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132004000200002&script=sci_arttext

4. ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥΣ (RED MUD)

Η ερυθράς ιλύς (Ε.Ι.) παράγεται κατά τη παραγωγή της αλουμίνας από τους βωξίτες με τη διεργασία Bayer. Στην Ελλάδα παράγονται περίπου 700.000t⁷ ετησίως ενώ παγκοσμίως περίπου 70Mt. Λόγω του μεγάλου παραγόμενου όγκου, αναζητούνται τρόποι αξιοποίησης προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η απόθεση και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

4.1. Βωξίτης

Οι βωξίτες είναι τα μεταλλεύματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αλουμίνας (Εικ.4.1). Το όνομά τους το έχουν πάρει από τη μικρή πόλη Les Baux-de-Provence στην νότια Γαλλία, όπου κοιτάσματα βωξίτη ανακαλύφθηκαν το 1821 από τον Pierre Bertier.



Εικόνα 4.1: Φυσική μορφή βωξίτη

Είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα μεταλλεύματα παγκοσμίως και βρίσκεται και στις 5 ηπείρους. Το 90-95% του βωξίτη χρησιμοποιείται για παραγωγή αλουμινίου.

⁷<http://www.mytilineos.gr>

Επιπρόσθετα, ο βωξίτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- α) στην παραγωγή αλουμινούχων ή άλλων τύπων τσιμέντου,
- β) στην παραγωγή τσιμέντου τύπου Portland,
- γ) ως συλλίπασμα και ρυθμιστικό ιξώδους σε μεταλλουργικές σκωρίες,
- δ) σε πυρίμαχα και υλικά απόξεσης,
- ε) για την παραγωγή ένυδρης αλουμίνας, καθώς και σε άλλες χρήσεις μικρότερης κατανάλωσης.

Τα διάφορα χρώματα του βωξίτη οφείλονται στην παρουσία ή την απουσία των ανωτέρω οξειδίων. Το κόκκινο ή καφέ/κόκκινο προέρχεται από τον αιματίτη ενώ το κίτρινο από τον γκαιτίτη. Σε γκριζούς βωξίτες περιέχεται μικρό ποσοστό αιματίτη, 2-5%. Στους άσπρους υπάρχει πλήρης έλλειψη οξειδίων σιδήρου. Επιπλέον, σε μερικές περιπτώσεις το χρώμα καθορίζεται και από την παρουσία άλλων ορυκτών. Για παράδειγμα, παρουσία FeS_2 , το χρώμα μπορεί να είναι σκούρο γκριζο-πράσινο.

Οι βωξίτες βρίσκονται (Εικ 4.2) με τη μορφή τεσσάρων τύπων κοιτασμάτων:

- α) καλύμματα κοντά ή πάνω στην επιφάνεια της γης (blanket deposits),
- β) θύλακες και ακανόνιστες μάζες (pocket deposits),
- γ) στρώματα ή φακοί σε ιζηματογενείς ή ηφαιστειο - ιζηματογενείς ακολουθίες (interlayered deposits),
- δ) κοιτάσματα που προκύπτουν από διάβρωση άλλων κοιτασμάτων βωξίτη (detrital deposits).



Εικόνα 4.2: Συλλογή βωξίτη

4.2. Εξόρυξη και αποθέματα βωξίτη

Τα κυριότερα κοιτάσματα βωξίτη βρίσκονται στις τροπικές ζώνες και στις περιοχές της Καραϊβικής και Μεσογείου. Οι εκτιμήσεις του μεγέθους τους ποικίλουν αλλά το εύρος είναι μεταξύ 30 και 40 δισεκατομμύρια τόνοι⁸. Για το 1996 η παγκόσμια παραγωγή ανήλθε στα 123Mt, με 25 χώρες παγκοσμίως να αναφέρουν εξόρυξη βωξίτη (Plunkert, 1996).

Πίνακας 4.1: Παγκόσμια αποθέματα βωξίτη. 1: αποθέματα των οποίων η εξόρυξη είναι οικονομικά συμφέρουσα, 2: αποθέματα των οποίων τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ικανοποιούν τις απαιτήσεις εξόρυξης και εκμετάλλευσης (Plunkert P., 2007)

Χώρα	Αποθέματα,1 Mt	Αποθέματα,2 Mt	% Παγκοσμίων αποθεμάτων
Αυστραλία	5.800.000	7.900.000	23,2
Βενεζουέλα	320.000	350.000	1,3
Βραζιλία	1.900.000	2.500.000	7,6
Γουιάνα	700.000	900.000	2,8
Γουινέα	7.400.000	8.600.000	29,6
Ελλάδα	600.000	650.000	2,4
Η.Π.Α.	20.000	40.000	0,1
Ινδία	770.000	1.400.000	3,1
Καζακστάν	350.000	360.000	1,4
Κίνα	700.000	2.300.000	2,8
Ρωσία	200.000	250.000	0,8
Σουρινάμ	580.000	600.000	2,3
Τζαμάικα	2.000.000	2.500.000	8,0
Άλλες χώρες	3.400.000	4.000.000	13,6
Σύνολο	25.000.000	32.000.000	100

Στην Ελλάδα τα κύρια κοιτάσματα βρίσκονται στη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας-Ελικώνα, με τρεις βωξιτικούς ορίζοντες, και στην περιοχή της ανατολικής ζώνης της Ελλάδας με δύο ορίζοντες. Κοιτάσματα μικρότερου οικονομικού ενδιαφέροντος βρίσκονται στις περιοχές Καλλίδρομον, Λοκρίδας, νοτιοανατολική Θεσσαλία, βόρεια Εύβοια, Σκόπελος, Αμοργός, Ναύπακτος, Χίος, Χαλκιδική και Βροντερό στη Φλώρινα.

⁸(<http://www.aluminium.org>)

Τα κύρια κέντρα εξόρυξης βωξίτη βρίσκονται στην Αυστραλία, στην Καραϊβική, στη Νότια Αμερική και στην Αφρική, Στην πλειοψηφία των κέντρων εκμετάλλευσης παγκοσμίως, η εξόρυξη διεξάγεται από επιφανειακά κοιτάσματα. Στην Ευρώπη, έξι χώρες εξορίσουν βωξίτη, με συνολική παραγωγή 2,2Mt (Ποντίκης Ι., 2007). Στην πρώην Γιουγκοσλαβία, Ουγγαρία και Ελλάδα εφαρμόζεται και υπόγεια εξόρυξη με στοές. Στη Γαλλία τα μεταλλεία δεν λειτουργούν πλέον και οι απαιτούμενες ποσότητες βωξίτη εισάγονται. Στην Ελλάδα, τα κύρια κέντρα μεταλλείας για την εκμετάλλευση είναι τοποθετημένα στις περιοχές των βουνών Παρνασσού-Γκιώνας-Ελικώνα. Παρά την αφθονία των κοιτασμάτων, σημαντικό ποσοστό του βωξίτη που χρησιμοποιείται στην παραγωγή αλουμίνας εισάγεται.

4.3. Παραγωγή αλουμίνας και η διεργασία Bayer

Το 1887, ο Αυστριακός χημικός Κ. J. Bayer, εργαζόμενος σε μια βιομηχανία υφασμάτων στην Αγία Πετρούπολη (Ρωσία), παρατήρησε ότι το υδροξείδιο του αργιλίου το οποίο καθιζάνει από αλκαλικό διάλυμα είναι κρυσταλλικό και μπορεί εύκολα να διαχωριστεί με φίλτρα και να εκπλυθεί. Αντίθετα, αυτό που καθίζανε από όξινο διάλυμα ήταν σε κατάσταση γέλης (gel) και ήταν δύσκολο να εκπλυθεί (Habashi F., 2000). Ο Bayer κατοχύρωσε με πατέντα αυτή τη διεργασία για την παραγωγή αλουμίνας το 1888, η οποία και αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της παγκόσμιας παραγωγής αλούμινας.

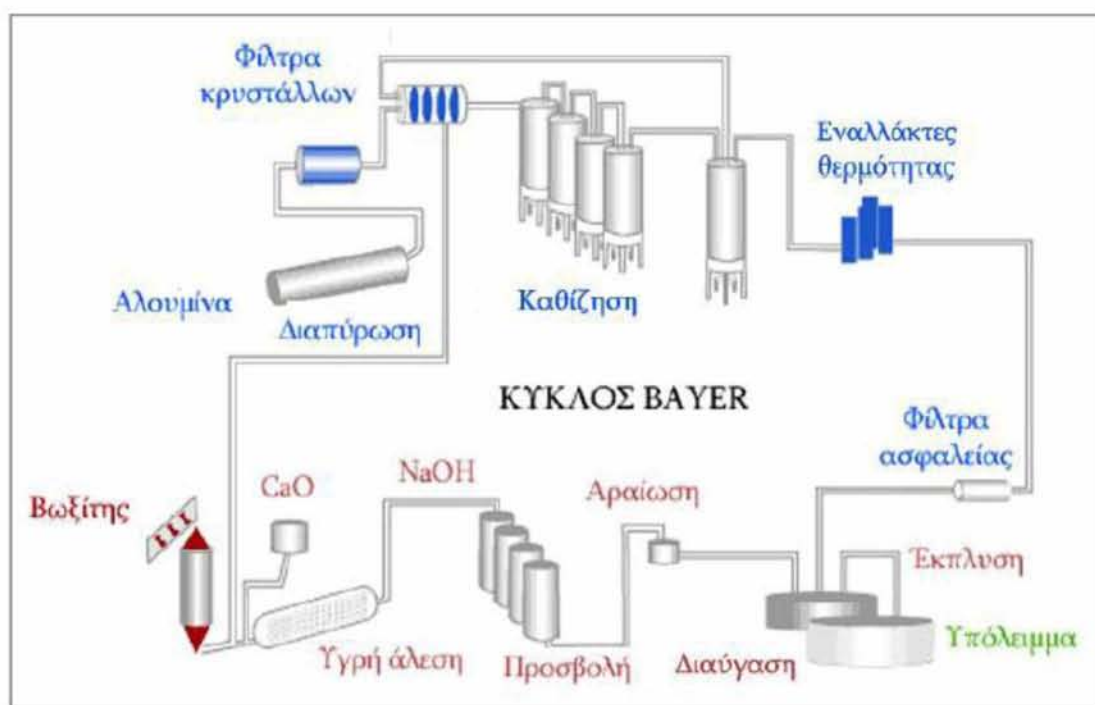
Η αλουμίνα παράγεται κατά τη διεργασία Bayer. Η διεργασία περιλαμβάνει τέσσερα κύρια στάδια. Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιείται η χημική προσβολή (digestion) του βωξίτη με διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου κάτω από αυξημένη θερμοκρασία και πίεση. Ακολουθεί η καθίζηση (precipitation), όπου γίνεται ο διαχωρισμός της αδιάλυτης ερυθράς ίλυος από το διάλυμα του αργιλικού νατρίου, η κρυστάλλωση, όπου μικρές ποσότητες από κρυστάλλους ένυδρης αλουμίνας προστίθενται στο διάλυμα προκειμένου να γίνει η πυρηνοποίηση, και τέλος η διαπύρωση (calcination) όπου το μηχανικά και χημικά δεσμευμένο νερό απομακρύνεται.

Βιομηχανικά, κατά την διεργασία Bayer (Εικ. 4.3), πραγματοποιείται προσβολή του βωξίτη σε αυτόκλειστα υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας, κάτω από την επίδραση του υδροξειδίου του νατρίου. Τυπικά, για την παραγωγή 1t αλούμινας απαιτούνται μεταξύ

1,9t και 3,6t βωξίτη, ποσότητες οι οποίες είναι συνάρτηση κατά κύριο λόγο της ποιότητας του βωξίτη και σε μικρότερο βαθμό της απόδοσης της συγκεκριμένης διεργασίας Bayer. Η διεργασία είναι κυκλική με την έννοια της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης του μεγαλύτερου μέρους του NaOH. Η ζήτηση αλουμίνας καθορίζεται κύρια από τη ζήτηση σε αλουμίνιο.

Τρεις είναι οι κύριες πρώτες ύλες που εισάγονται στον κύκλο:

1. βωξίτης,
2. υδροξείδιο του νατρίου, NaOH και
3. οξείδιο ή υδροξείδιο του ασβεστίου, CaO/Ca(OH)₂.



Εικόνα 4.3: Η διεργασία Bayer με τα επιμέρους στάδιά της⁹

4.4. Τα στάδια της διεργασίας Bayer

Θραύση και Χημική προσβολή

Στο πρώτο βήμα της διεργασίας, ο βωξίτης θραύεται με τη βοήθεια σιαγωνωτών σπαστήρων σε κοκκομετρία <150mm και με περιστροφικούς, σε κοκκομετρία <25mm.

⁹<http://www.alcan.com>

Ακολουθεί η άλεση, όπου αρχικά ο βωξίτης συνθλίβεται και αλέθεται σε κοκκομετρία <1600μm. Κατόπιν, αναμιγνύεται με NaOH και CaO και ολοκληρώνεται η άλεση σε σφαιρόμυλους, έως ότου επιτευχθεί το 60% των κόκκων να είναι <63μm. Κατά την έξοδο από τους τελευταίους μύλους άλεσης, το αιώρημα «βωξίτη-σόδα-ασβέστη» περιέχει το 90% της απαιτούμενης ποσότητας NaOH για την προσβολή.

Το πιο πάνω αιώρημα, με αντλίες οδηγείται στη διάταξη προσβολής. Αυτή αποτελείται από αυτόκλειστα δοχεία προθέρμανσης, αυτόκλειστους αντιδραστήρες, αυτόκλειστα παραμονής και δεξαμενές εκτόνωσης. Η διαλυτοποίηση πραγματοποιείται σε θερμοκρασία 140-260°C. Στους 240°C η πίεση είναι περίπου 35atm¹⁰. Ο χρόνος παραμονής στη θερμοκρασία αντίδρασης είναι 1h. Οι συνθήκες προσβολής εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του βωξίτη που χρησιμοποιείται, ειδικότερα από την κρυσταλλική δομή των υδροξειδίων του αργιλίου που είναι παρόντα. Το υδροξείδιο του νατρίου αντιδρά με τα υδροξείδια και οξυ-υδροξείδια του αργιλίου στο βωξίτη και σχηματίζει κορεσμένο διάλυμα αργλικού νατρίου. Τα ορυκτά που δεν διαλυτοποιούνται αποτελούν την ερυθρά ίλυ και διαχωρίζονται στο επόμενο βήμα της καθίζησης.

Καθίζηση

Μετά το στάδιο της προσβολής, ακολουθεί ο διαχωρισμός της αδιάλυτης ΕΙ από το διάλυμα του αργλικού νατρίου. Ο διαχωρισμός γίνεται με καθίζηση, σε δεξαμενές μεγάλης επιφάνειας -τα πλυντήρια- λόγω του διαφορετικού ειδικού βάρους των αδιάλυτων συστατικών του βωξίτη με το αργλικό νάτριο.

Τα πλυντήρια είναι κυλινδρικές δεξαμενές με ανάδευση σε σειρά. Σε κάθε πλυντήριο πραγματοποιείται ανάμειξη ίλυσ από το προηγούμενο με υπερκείμενο από το επόμενο, ενώ στο τελευταίο πλυντήριο γίνεται εισαγωγή καθαρού νερού. Με την κατ' αντιροή πλύση, επιτυγχάνεται αύξηση της συγκέντρωσης του αργλικού νατρίου στην υπερκείμενη φάση του πρώτου πλυντηρίου.

Η ΕΙ, φτωχή πλέον σε αργλικό νάτριο, οδηγείται σε δονούμενα κόσκινα για την αφαίρεση χονδρόκοκκων υλικών και κατόπιν αποτίθεται. Το υπερκείμενο υγρό, πλούσιο σε αργλικό νάτριο, οδηγείται σε φίλτρα όπου συγκρατούνται τα υπολείμματα ίλυσ, και επιστρέφεται στην έξοδο της προσβολής.

¹⁰<http://www.world-aluminium.org/>

Κρυστάλλωση

Το αργίλικό νάτριο μετά τους εναλλάκτες θερμότητας και την προσθήκη κροκιδωτικού, οδηγείται σε δεξαμενές όπου αναμιγνύεται με ένυδρη αλουμίνα. Η τελευταία προστίθεται προκειμένου να λειτουργήσει σαν πυρήνας και να επιταχυνθεί η ανάπτυξη κρυστάλλων. Στη συνέχεια, το αιώρημα με αντλίες οδηγείται στις δεξαμενές κρυστάλλωσης. Η ομοιογένεια του αιωρήματος επιτυγχάνεται με ανάδευση και ευνοείται η κρυστάλλωση. Ο χρόνος παραμονής στη δεξαμενή κρυστάλλωσης είναι περίπου 35h.

Η μεγέθυνση των κρυστάλλων γίνεται με ελεγχόμενο τρόπο προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή κοκκομετρία. Οι μικροί κρύσταλλοι ανακυκλώνονται ενώ τελικά το χονδρόκοκκο κλάσμα αποτελεί την παραγωγή.

Τα συσσωματώματα της ένυδρης αλουμίνας διηθούνται. Τμήμα της ένυδρης αλουμίνας οδηγείται στις δεξαμενές του συγκεκριμένου σταδίου για τις ανάγκες του σταδίου κρυστάλλωσης ενώ το κύριο μέρος αποτελεί την αλουμίνα παραγωγής που μεταφέρεται προς το στάδιο της διαπύρωσης ή αποθηκεύεται.

Διαπύρωση

Η ένυδρη αλουμίνα εκπλένεται για την απομάκρυνση υπολειμμάτων υδροξειδίου του νατρίου που τυχόν έχουν απομείνει. Στη συνέχεια διαπυρώνεται σε περιστροφικούς κλιβάνους ή ρευστο-στερεές κλίνες σε θερμοκρασίες >960°C.

Η αλουμίνα που παράγεται από τη διεργασία Bayer περιέχει ως ακαθαρσίες πολύ μικρά ποσοστά σιδήρου και πυριτίου της τάξης του 0.01% ενώ το υδροξείδιο του νατρίου εντοπίζεται σε ποσοστά 0,2-0,6%.

4.5. Χαρακτηριστικά ερυθράς ιλύος

Το κύριο απόβλητο της διεργασίας Bayer ονομάζεται ερυθρά ιλύς (red mud) ή κατάλοιπα βωξίτη (bauxite residue) (Εικ 4.4). Αποτελείται από το τμήμα του βωξίτη που δεν αντιδρά, το τμήμα του βωξίτη το οποίο έχει αντιδράσει προς το σχηματισμό άλλων ενώσεων, από τα συστατικά που εισάγονται στη διεργασία και τέλος από τα υδροξείδια αργιλίου που δεν ανακτώνται. Όπως παράγεται, η ερυθρά ιλύς είναι υδατικό αιώρημα με pH μεταξύ 12 και 13 και μεγάλη ιοντική ισχύ. Περιέχει μεγάλη ποσότητα

οξειδίων του Fe και σε μικρότερα ποσοστά Al, Ca, Si, Ti και Na. Εμφανίζει πληθώρα ορυκτολογικών φάσεων χαρακτηριστικότερες των οποίων είναι οι κανκρινίτες και σοδάλιθοι. Είναι ιδιαίτερα λεπτομερής με μεγάλο ποσοστό κόκκων <1μm. Η σύσταση της ερυθράς ιλύος διαφοροποιείται ανά εργοστάσιο παραγωγής, δεδομένων των διαφορετικών πρώτων υλών και συνθηκών της διεργασίας Bayer.



Εικόνα 4.4: Το απόβλητο ερυθρά ιλύς (red mud) που προέρχεται μετά την διεργασία του βωξίτη Bayer

4.6. Διαχείριση Ερυθράς Ιλύος

Σε όλες τις περιοχές της γης, στις οποίες παράγεται E.I. δημιουργούνται περιβαλλοντικά προβλήματα. Τα προβλήματα αυτά οφείλονται κυρίως στον συνδυασμό τριών παραγόντων: της υψηλής αλκαλικότητας του πολφού, της μεγάλης δυσκολίας απομάκρυνσης του περιεχομένου ύδατος και της μεγάλης έκτασης των περιοχών διάθεσης. Η παγκόσμια εμπειρία σχετικά με την διάθεση της E.I., δείχνει ότι υπάρχουν πέντε γενικοί τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος:

- α) Η απόθεση στο έδαφος αραιάς E.I. σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους,
 - β) Η απευθείας απόρριψη στη θάλασσα,
 - γ) Η απόθεση σε παραλίες πίσω από αναχώματα και
 - δ) Η απόθεση σε ασφαλείς στεγανούς χώρους E.I. υψηλής πυκνότητας πολφού,
- είναι οι τέσσερις τρόποι αντιμετώπισης της E.I. ως τελικό απόβλητο που πρέπει κάπου να απορριφθεί με λιγότερες ή περισσότερες προφυλάξεις.
- ε) Ο τελευταίος τρόπος αντιμετώπισης είναι η προσπάθεια επανακύκλωσης της E.I.

για την παραγωγή κάποιου χρήσιμου υλικού. Στη συνέχεια περιγράφονται περισσότερο αναλυτικά οι πέντε τρόποι.

4.6.1. Απόθεση στο έδαφος

α. Επιλογή της περιοχής απόθεσης

Ο πολφός της Ε.Ι απορρίπτεται σε τεχνητές λίμνες που δημιουργούνται με φράγματα. Η εκλογή της περιοχής της λίμνης γίνεται με βάση ορισμένα κριτήρια, δηλαδή δεν πρέπει να είναι κοντά σε κατοικημένες περιοχές, ούτε όμως να απέχει πολλά χιλιόμετρα από τις εγκαταστάσεις παραγωγής. Πρέπει να έχει χώρο για μελλοντική επέκταση και δημιουργία άλλων βοηθητικών λιμνών (Φραγκίσκος Μ., 2004). Η γεωλογική και υδρογεωλογική δομή της περιοχής αποτελούν βασικό κριτήριο επιλογής της. Τα υπόγεια ύδατα δεν πρέπει να ρυπαίνονται από τη διαλυτοποίηση ιόντων της Ε.Ι. Το γεωλογικό υπόβαθρο πρέπει να αποτελείται από σταθερά πετρώματα και σε καμιά περίπτωση η περιοχή δεν πρέπει να έχει μεγάλη σεισμικότητα. Το κλίμα, οι βροχοπτώσεις, οι χιονοπτώσεις, η ένταση και κατεύθυνση των ανέμων αποτελούν δευτερεύοντα κριτήρια για την επιλογή της περιοχής.

β. Η κατασκευή του φράγματος

Τα φράγματα κατασκευάζονται συνήθως μεταξύ δύο λόφων ή σε μια χαράδρα για να έχουν μεγάλη χωρητικότητα, αλλά και σε επίπεδο έδαφος. Ο πυθμένας της λίμνης στεγανοποιείται με στρώμα αργίλου 30-50 cm ή με ανάμιξη Ε.Ι. και υδράσβεστου. Το φράγμα κατασκευάζεται συνήθως από το χονδρομερές κλάσμα της Ε.Ι. που διαχωρίζεται με υδροκυκλώνες, ή από άλλα κατάλληλα υλικά. Η λίμνη χωρίζεται σε διαμερίσματα με εσωτερικά αναχώματα. Η ανύψωση του φράγματος γίνεται σταδιακά με διεύθυνση κατά της στέψης. Το ύψος μπορεί να φτάσει τα 30m.

γ. Η λειτουργία της λίμνης

Η λίμνη τροφοδοτείται με πολφό πυκνότητας 12%-37% κ.β. που αντιστοιχεί σε 140kg μέχρι 500kg/m². Η πυκνότητα αυτή είναι αναγκαία για την μεταφορά του πολφού από τα εργοστάσια στις λίμνες (Εικ 4.5). Ο πολφός με σύστημα σωλήνων διανέμεται εναλλακτικά στα διάφορα διαμερίσματα της λίμνης. Το χονδρομερές κλάσμα

διαχωρίζεται με υδροκυκλώνες ή σχηματίζεται μόνο του, όπως στο Δέλτα των ποταμών. Η υπερχειλίση επιστρέφει στο εργοστάσιο γιατί περιέχει μεγάλη ποσότητα Na_2O που ανακτάται ή επαναχρησιμοποιείται ως έχει.



Εικόνα 4.5: Τεχνητή λίμνη απόθεσης ερυθράς ιλύς (www.redmud.org).

Τα διαμερίσματα της λίμνης τροφοδοτούνται εναλλάξ μέχρι ο πολφός να ξηραθεί. Σε κάθε νέα περίοδο γίνεται ανύψωση του φράγματος. Μετά την τελική φάση απόθεσης, η ελεύθερη επιφάνεια της Ε.Ι. καλύπτεται με φυτική γη και καλλιεργείται. Σε άλλες όμως περιπτώσεις δεν απαιτείται η πλήρης ξήρανση της Ε.Ι., αλλά απλά η πυκνότητα της να φτάσει 60% κ.β. Η οριακή πυκνότητα 60% κ.β. είναι η πυκνότητα εκείνη πάνω από την οποία δεν λασποποιείται περαιτέρω η Ε.Ι. Η αντίστοιχη τιμή για την Ελληνική Ε.Ι. εκτιμάται σε 85% κ.β (Φραγκίσκος Μ., 2004).

Για την καλύτερη απορροή του νερού από την ιλύ, όταν πακτωθεί, κατασκευάζονται φρέατα στα οποία συγκεντρώνεται το νερό. Μετά από πολλά χρόνια η πυκνότητα της Ε.Ι. στον πυθμένα της λίμνης φτάνει στο 71-76% όταν προέρχεται από βωξίτη Γουινέας, ενώ από άλλους βωξίτες μέχρι 40%. Άλλος τρόπος απόθεσης στο έδαφος είναι σε στρώμα μικρού πάχους και μεγάλης επιφάνειας με μικρή κλίση. Στην περίπτωση αυτή, την αφυδάτωση βοηθά πολύ ο αέρας, ο ήλιος και το κατάλληλο κλίμα. Με τον τρόπο αυτό η πυκνότητα μπορεί να φτάσει έως 85%-90%. Το νερό που διαφεύγει από το έδαφος συλλέγεται σε ένα μικρό φράγμα, απ' όπου ανακυκλώνεται στη λίμνη.

4.6.2. Απόρριψη στη θάλασσα

Συνήθως ο χώρος απόθεσης είναι οι υποθαλάσσιες χαράδρες των ωκεανών, βάθους μέχρι 3.000m. Η απόσταση από την ακτή μπορεί να είναι ως και δεκάδες χιλιόμετρα. Οι τρόποι μεταφοράς στο σημείο απόθεσης είναι δύο: με αγωγό ο οποίος αρχίζει από το εργοστάσιο και φτάνει κοντά στην ακτή και με ειδικό μεγάλο σκάφος με το οποίο μεταφέρεται στο σημείο απόρριψης. Η διάθεση γίνεται από το σκάφος με εύκαμπτο σωλήνα σε βάθος 30m. Το σκάφος κινείται με ταχύτητα περίπου 3 ναυτικά μίλια την ώρα. Πολλές φορές η Ε.Ι. πριν απορριφθεί εξουδετερώνεται με H_2SO_4 . Επίσης πυκνώνεται αρκετά ώστε να μην επαναδημιουργείται αιώρημα στη θάλασσα.

4.6.3. Απόθεση στη παραλία

Ο τρίτος τρόπος διάθεσης της Ε.Ι. είναι στις παραλίες πίσω από αναχώματα. Η περιοχή της διάθεσης περικλείεται με ανάχωμα ανθεκτικό στους κυματισμούς και στεγανό εσωτερικά. Μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού χρησιμοποιούνται συχνά για την εξουδετέρωση της Ε.Ι. Στη περίπτωση αυτή η υπερχειλίση απορρίπτεται ξανά στη θάλασσα. Η εξουδετέρωση όμως μπορεί να γίνει με οξύ, οπότε η υπερχειλίση επιστρέφει στο εργοστάσιο.

4.6.4. Απόθεση πλαστικής Ε.Ι. σε στεγανούς χώρους

Η μέθοδος αυτή αποτελεί σήμερα την πλέον περιβαλλοντικά αποδεκτή λύση για την ασφαλή τελική διάθεση του υψηλής πυκνότητας πολφού της Ε.Ι. Προϋποθέτει την πύκνωση του αραιού πολφού της Ε.Ι. ως ότου γίνει πλαστικός (με πυκνότητα >57% κ.β.). Η απόθεση γίνεται σε χώρους που πληρούν τις προδιαγραφές που εφαρμόζονται για άλλα επικίνδυνα απόβλητα. Χρησιμοποιούνται ήδη εδώ και είκοσι χρόνια για την απόθεση πλαστικών πυκνωμάτων Ε.Ι. 50-65% κ.β. που παράγονται με διάφορους τρόπους (φίλτρα υψηλής πίεσης ή υπερκαθίζηση). Με την βοήθεια του ήλιου και του ανέμου η πυκνότητα της Ε.Ι. αυξάνει ακόμη περισσότερο.

4.7. Αξιοποίηση της E.I.

Εκτός από την πρακτική της απόρριψης της E.I. ως απόβλητο υπάρχει και η τελείως διαφορετική αντιμετώπισή της που περιλαμβάνει επεξεργασία ώστε να ληφθούν όλα σχεδόν τα πολύτιμα συστατικά που περιέχει.

Από την επισκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας προκύπτει ότι υπάρχει μια έντονη ερευνητική δραστηριότητα για την αξιοποίηση της E.I. Αναφέρονται δεκάδες ευρεσιτεχνίες και δημοσιεύσεις ερευνητικών εργασιών. Η E.I. μπορεί να αποτελέσει πρώτη ύλη στη Μεταλλουργία για την εξαγωγή των χρησίμων συστατικών της. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη στη βιομηχανία για την παραγωγή τσιμέντου, κεραμικών ή σε διάφορες άλλες εφαρμογές. Και στις τρεις περιπτώσεις, σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό, παράγονται νέα απόβλητα που δημιουργούν άλλα προβλήματα στο περιβάλλον και απαιτούν διαφορετικούς τρόπους αντιμετώπισης.

4.7.1. Μεταλλουργικές χρήσεις

Έχουν αναφερθεί πολλές περιπτώσεις επιτυχούς ανάκτησης κύριων και δευτερευόντων συστατικών της E.I. Τα οικονομικά δεδομένα των διεργασιών αυτών δεν είναι ενθαρρυντικά και η διαχείριση της υπολειπόμενης ποσότητας παραμένει ένα ζήτημα. Ως αντιμετώπιση προτείνονται διεργασίες στις οποίες γίνεται ανάκτηση σε διαφορετικά στάδια των περισσοτέρων συστατικών της E.I.

Αξίζει να τονιστεί όμως ότι το τελικό υπόλειμμα είναι πιθανό να είναι εμπλουτισμένο στα «ανεπιθύμητα» συστατικά της E.I. (βαρέα μέταλλα και φυσικά ραδιενεργά στοιχεία). Οι κύριες εφαρμογές αφορούν στην ανάκτηση του σιδήρου και οξειδίων του σιδήρου, του τιτανίου, του βαναδίου, του χρωμίου, του αργιλίου καθώς και σπάνιων γαιών (Yang, etal., 2004).

4.7.2. Παραγωγή τσιμέντου

Η μεγάλη παραγωγικότητα των βιομηχανιών τσιμέντου αποτελεί εχέγγυο για σημαντική απορρόφηση E.I. Με το δεδομένο ότι δεν χρησιμοποιείται ως αδρανές υλικό

(filler) αλλά ως πρώτη ύλη ή πρόσθετο, η E.I. αποκτά προστιθέμενη αξία και το εγχείρημα αξιοποίησης της καθίσταται πιο ρεαλιστικό. Στα θετικά συγκαταλέγεται ότι είναι μια λύση η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε αρκετές χώρες, καθώς η τεχνογνωσία είναι διαθέσιμη. Αυτό είναι ένα άλλο κίνητρο καθώς πολλές χώρες με μεγάλη παραγωγή E.I. είναι αναπτυσσόμενες. Στα αρνητικά αυτής της προσέγγισης σημειώνεται το πιθανώς αυξημένο φορτίο της E.I. σε βαρέα μέταλλα έναντι άλλων προσθέτων υλών (Mymrin, et al., 2003, Tsakiridis, et al., 2004).

4.7.3. Ως καταλύτης

Η έρευνα στη δυνατότητα χρήσης της E.I. ως καταλύτη είναι επίσης εκτεταμένη τα τελευταία χρόνια. Έχει χρησιμοποιηθεί, μετά από επεξεργασία, στην υδρογόνωση και αποχλωρίωση (hydrodechlorination) οργανικών ενώσεων, ως υπόστρωμα στην καταλυτική οξειδωση (πτητικών) οργανικών ενώσεων, στην μετατροπή παραπροϊόντων ορυκτέλαιου και πλαστικού από αστικά απορρίμματα σε καύσιμο, στην καταλυτική καύση του μεθανίου και σε πολλές άλλες διεργασίες.

4.7.4. Ως αδρανές υλικό (filler)

Η E.I. μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αδρανές υλικό (filler). Κύριες εφαρμογές είναι ως υπόστρωμα σε δρόμους, στην αποκατάσταση μεταλλείων, και σε εφαρμογές που απαιτείται μικρή υδροδιαπερατότητα, όπως για παράδειγμα στους ΧΥΤΑ και ΧΑΤΑ. Ανάλογα με την εφαρμογή, η E.I. μπορεί να αποκτήσει τη σχετική προστιθέμενη αξία. Σημαντική έρευνα στον τομέα αυτό έχει πραγματοποιηθεί και στην Ελλάδα¹¹ ενώ έχουν εκδοθεί και τεχνικές οδηγίες για την υλοποίηση τέτοιων έργων (Εργαστήριο Οδοποιίας, ΑΠΘ, Εργαστήριο Μεταλλουργίας, ΕΜΠ). Περιοριστικό στοιχείο τέτοιων εφαρμογών είναι το κόστος μεταφοράς.

¹¹ www.refil.gr

4.7.5. Ως υλικό προσρόφησης ή εξουδετέρωσης

Η έρευνα στο πεδίο αυτό είναι πολύ εκτεταμένη τα τελευταία χρόνια, υπό το πρίσμα της αυστηρότερης περιβαλλοντικής νομοθεσίας και ευαισθητοποίησης. Οι δυνατότητες είναι μεγάλες, όμως παραμένει μετά τη χρήση ένα υλικό που πρέπει να διαχειριστεί.

Ως υλικό προσρόφησης, η Ε.Ι. μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αέρια/υγρά ρεύματα για κατακράτηση CO₂, SO₂ και άλλων αερίων. Με υγρά ρεύματα, η κυριότερη εφαρμογή είναι στην αδρανοποίηση όξινων εκλουσμάτων, “acid mine drainage”. Άλλες χρήσεις αφορούν στην απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου από λύματα. Μετά από προεπεξεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δέσμευση βαρέων μετάλλων.

4.7.6. Παραγωγή δομικών κεραμικών

Σε αντιστοιχία με τη χρήση προς παραγωγή τσιμέντου, η παραγωγή δομικών κεραμικών, όπως τούβλων, κεραμιδιών, πλακιδίων, επιτρέπει σημαντική απορρόφηση Ε.Ι., είναι πιθανό να προσδώσει στην Ε.Ι. προστιθέμενη αξία και μπορεί να εφαρμοστεί σε αρκετές χώρες.

4.7.7. Παραγωγή άλλων υλικών

Συνήθως οι εφαρμογές αυτές έχουν μικρή ικανότητα απορρόφησης Ε.Ι. και απαιτούν Ε.Ι. με σχετικά σταθερά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά. Στο πεδίο των κεραμικών, έχουν αναφερθεί εργασίες προς παραγωγή υαλοκεραμικών, εφυσάλωματος και γεωπολυμερών. Στο πεδίο των πλαστικών, η Ε.Ι. μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή σύνθετων υλικών (Li, 2003), αλλά και σαν πρόσθετο, προσδίδοντας αντίσταση στις υπεριώδεις.

4.7.8. Άλλες χρήσεις

Η Ε.Ι. έχει χρησιμοποιηθεί σε γεωργικές χρήσεις σε όξινα εδάφη λόγω της αλκαλικής

της φύσης σε αμμώδη εδάφη για να αυξήσει την κατακράτηση του φωσφόρου και σε άλλες εφαρμογές.

Η Ε.Ι. μπορεί να συμβάλλει στη λύση άλλων περιβαλλοντικών προβλημάτων και συγκεκριμένα στην απορρόφηση του SO₂ και H₂S που περιέχονται στα καυσαέρια βιομηχανιών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία τσιμέντου εξαιτίας του περιεχόμενου αιματίτη που δρα ως ρυθμιστής στη παραγωγή των υδραυλικών κρυσταλλικών φάσεων.

Επίσης από την Ε.Ι. μπορούν να παραχθούν δομικά υλικά (τούβλα, κεραμίδια, πλάκες) και τεχνητά αδρανή. Χαρακτηριστικό είναι ότι η Ε.Ι. μπορεί να αναμιχθεί με άλλα απορρίμματα, όπως η ιπτάμενη τέφρα ώστε να παραχθούν τούβλα. Άλλες ερευνητικές προσπάθειες για εφαρμογές είναι στην παραγωγή υαλωδών κεραμικών, χρώματος για σκυρόδεμα, προστατευτικό χρωμάτων για χάλυβες και προστατευτικών επιστρωμάτων για σκυρόδεμα.

Για την αξιοποίηση της Ε.Ι. ερευνήθηκε η δυνατότητα μαγνητικού διαχωρισμού μετά από αναγωγική φρύξη και εκχύλιση με HCl και SO₂. Είναι φανερό ότι τα πεδία αξιοποίησης της Ε.Ι. είναι μεγάλα και ποίκιλα, αλλά δυστυχώς, η πολύπλοκη σύνθεσή της, το λεπτομερές των τεμαχιδίων, η υψηλή παραμένουσα υγρασία, δηλ. η δυσχέρεια απομάκρυνσης του περιεχόμενου νερού με οικονομικά μέσα, την καθιστούν ένα δύσκολο αξιοποιήσιμο απόβλητο.

4.8. Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την απόρριψη της Ε.Ι.

Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από την απόρριψη της Ε.Ι. είναι σχεδόν άγνωστες. Οι μελέτες που εξετάζουν σε βάθος τις επιπτώσεις της Ε.Ι. στο οικοσύστημα είναι ελάχιστες. Όλοι οι τρόποι απόθεσης και αξιοποίησης δημιουργούν διαφορετικής φύσης περιβαλλοντικά προβλήματα.

4.8.1. Οι επιπτώσεις από την απόθεση στο έδαφος

Η απόθεση της Ε.Ι. στο έδαφος πίσω από φράγματα δημιουργεί προβλήματα επειδή η στεγανοποίηση του πυθμένα και των τοιχωμάτων των λιμνών δεν είναι πλήρης.

Μεγάλες ποσότητες Na_2O μπορεί να ρυπάνουν τα υπόγεια νερά (Φραγκίσκος, Μ., 2004). Ο έλεγχος των βλαπτικών ιόντων στα υπόγεια νερά γίνεται με γεωτρήσεις που ανοίγονται για τον σκοπό αυτό στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης. Οι απώλειες από τα φράγματα δημιουργούν επιφανειακά ρυάκια και μικρά ποτάμια με αλκαλικά νερά ενώ μετά από βροχοπτώσεις είναι πιθανόν τα φράγματα να υπερχειλίσουν.

Η απόρριψη σε χαράδρες δημιουργεί μεγαλύτερα προβλήματα. Τα νερά των βροχοπτώσεων μπορούν να πολφοποιήσουν την Ε.Ι. και να τη παρασύρουν μέχρι τα ποτάμια και την θάλασσα. Οι συνέπειες της αύξησης της αλκαλικότητας των υπογείων και επιφανειακών νερών στην οικολογική ισορροπία της φύσης είναι προφανείς, ενώ οι συνέπειες της ρύπανσης των νερών με ιχνοστοιχεία και βαριά μέταλλα δεν μπορούν να εκτιμηθούν εύκολα. Επιπλέον η πλήρης αποξήρανση της επιφάνειας της λίμνης έχει ως αποτέλεσμα ο άνεμος να παρασύρει την σκόνη της Ε.Ι. σε μεγάλη απόσταση.

4.8.2. Επιπτώσεις από την απόρριψη στη θάλασσα

Η απόρριψη της Ε.Ι. στη θάλασσα δημιουργεί διαφορετικά προβλήματα στο περιβάλλον. Ακόμα και αν η ποσότητα είναι μικρή εξαπλώνεται σε επιφάνεια μερικών εκατοντάδων km^2 .

Πολλές φορές η Ε.Ι. μεταφέρεται από το σημείο απόθεσης και αυξάνεται η περιεκτικότητα των ιζημάτων της περιοχής σε σίδηρο. Στο Shimizu όμως της Ιαπωνίας η Ε.Ι. ποντίζεται με σαφή όρια σε σχέση με τα γύρω καθαρά νερά. Μόνο ένα μικρό μέρος διαφεύγει και δημιουργεί αιώρημα που σε 6 ώρες εξαφανίζεται. Στα σημεία απόρριψης αυξάνει το pH της θάλασσας κατά μισή μονάδα. Στην Ε.Ι. βρίσκεται το 70-90% των U, Th, Zr και πιθανώς μεγάλο ποσοστό Ge, Y, Nd, Nb, V που περιέχονται στο βωξίτη.

4.8.3. Επιπτώσεις από την απόρριψη σε παραλίες

Οι επιπτώσεις είναι ανάλογες των επιπτώσεων των λιμνών απόθεσης στο έδαφος και των χημικών επιπτώσεων της Ε.Ι. στο θαλάσσιο περιβάλλον. Μέσα από την επαφή του υδροφόρου ορίζοντα και της θάλασσας μπορούν να διαχέονται τα μεταλλικά ιόντα και

το Na_2O . Επιπλέον υπάρχει ο κίνδυνος καταστροφής του φράγματος από ισχυρούς κυματισμούς και παλιρροιακά κύματα (Φραγκίσκος, Μ., 2004).

4.8.4. Επιπτώσεις από την απόθεση σε στεγανούς χώρους

Εάν η κατασκευή του χώρου είναι σωστή και η λειτουργία του διέπεται από τις σύγχρονες προδιαγραφές και τις διατάξεις των διεθνών περιβαλλοντικών οργανισμών, οι συνήθεις επιπτώσεις που δημιουργούνται στο ευρύτερο περιβάλλον είναι ελάχιστες και ελεγχόμενες.

4.9. Παραγωγή σιδηραλουμίνας

Λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας της ερυθράς ύλης, ΕΙ, σε νερό, η αποθήκευση και διακίνησή της είναι δύσκολη ενώ παράλληλα επιβαρύνεται το κόστος μεταφοράς. Με απομάκρυνση της μεγαλύτερης ποσότητας του νερού προκύπτει η σιδηραλουμίνα, ΣΑ (Εικ.4.6), υλικό πιο ελκυστικό για χρήση σε διάφορες εφαρμογές.



Εικόνα 4.6: Ερυθρά ύλη μετά την απομάκρυνση της υγρασίας

Αν και υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες τεχνολογίες για απομάκρυνση του νερού, η χρήση πρέσας φίλτρων υψηλής πίεσης συγκεντρώνει πολλά προτερήματα. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακής κλίμακας πρέσα φίλτρων, όπου και διαπιστώθηκε

ότι είναι δυνατή η παραγωγή κέικ με περιεκτικότητα περίπου 35% σε νερό. Η έρευνα επεκτάθηκε σε πιλοτικής κλίμακας πρέσα φίλτρων. Το φίλτρο πολυπροπυλενίου είναι προτιμητέο και δεν κατακρατεί σχεδόν καθόλου υπόλειμμα. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν είτε θαλαμωτοί δίσκοι είτε δίσκοι μεμβράνης, με βέλτιστο μέγεθος και για τις δύο περιπτώσεις τα 50mm. Με τους θαλαμωτούς δίσκους μπορεί να επιτευχθεί παραγωγικότητα 150kg/h/m² με ποσοστό υγρασίας στο κέικ μεταξύ 27% και 32%, ενώ για τους δίσκους μεμβράνης η παραγωγικότητα είναι 100kg/h/m² και το ποσοστό υγρασίας 27%. Και στις δυο περιπτώσεις απαιτείται συγκέντρωση στερεών στο ρεύμα τροφοδοσίας τουλάχιστον 400g/l ενώ η πυκνότητα του παραγόμενου κέικ ήταν 2,0g/cm³. Τα αποτελέσματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν στο σχεδιασμό της βιομηχανικής πρέσας φίλτρων υψηλής πίεσης, η οποία και λειτουργεί με απόλυτη επιτυχία στη βιομηχανία «Αλουμίνιον της Ελλάδος» από τους πρώτους μήνες του 2006.

Η EI απομακρύνεται από το κύκλωμα Bayer ως υδατικό διάλυμα με συγκέντρωση στερεών της τάξης των 400g/l, δηλαδή με ~69% ποσοστό νερού (εκφρασμένο ως προς το μίγμα, ειδικό βάρος της EI ~3,4g/cm³). Το υλικό αυτό δεν είναι ελκυστικό για βιομηχανική χρήση. Αυτό οφείλεται στο ότι:

1. δεν είναι εύκολη η μεταφορά του, αφού απαιτούνται αντλίες ενώ η συνήθης πρακτική/εξοπλισμός είναι για στερεά υλικά,
2. δεν είναι πρακτική η αποθήκευση του, καθώς απαιτούνται δεξαμενές και μεγάλος όγκος, και
3. δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα η μεταφορά του, αφού μεταφέρεται μεγάλος όγκος νερού.

Ειδικά για τις βιομηχανίες τσιμέντου και κεραμικών, δεν προσφέρεται για άμεση εισαγωγή σαν Α΄ ύλη καθώς αυξάνει τη συγκέντρωση νερού των μιγμάτων. Ως εκ τούτου, προϋπόθεση για την αξιοποίηση του υλικού είναι η μείωση του ποσοστού νερού στο μίγμα.

4.10. Τεχνολογία απομάκρυνσης νερού για την EI

Παραδοσιακά, στη βιομηχανία αλουμινίου χρησιμοποιούνταν παχυντές προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια του Na₂O και το κόστος παραγωγής. Το ποσό του ελεύθερου

Na₂O στο ρεύμα εξόδου μπορούσε να ελεγχθεί με συνεχόμενες εκπλύσεις και τιμές 5-10g/l, εκφρασμένο σαν Na₂CO₃ (Nunn, 1998), είναι κοντά στο βέλτιστο από οικονομική σκοπιά. Οι τυπικές συγκεντρώσεις των αιωρημάτων της ΕΙ ήταν 20-30% σε στερεά, το οποίο αποτελούσε συνάρτηση των χαρακτηριστικών καθίζησης της κάθε ποιότητας ΕΙ. Κατά τις αρχές του 1960, περιστροφικά φίλτρα τύμπανου άρχισαν να χρησιμοποιούνται πριν από την απόθεση του υλικού. Η απόδοσή τους ήταν καλή για ποιότητες ΕΙ οι οποίοι ήταν σχετικά χονδρόκοκκες (π.χ. βωξίτες από την περιοχή Weira, Αυστραλίας) αλλά σε περιπτώσεις πιο λεπτομερών υλικών εμφάνιζαν χαμηλή αποτελεσματικότητα (π.χ. βωξίτες από την Τζαμάικα). Για την περίπτωση ικανοποιητικής λειτουργίας, η αποδοτικότητα ήταν 100-150kg/m³/h και το ποσοστό υγρασίας 40-50%.

Η τελευταία τάση στον τομέα είναι η χρήση υπερπιεστικών φίλτρων, τα οποία έχουν μεγαλύτερη παραγωγικότητα και παράγουν υλικό με μικρότερο ποσοστό νερού (Oeberg and Steinlechner, 1996, Nunn, 1998). Σχεδιαστικά, τα φίλτρα αυτά είναι τύμπανου ή δίσκου, μέσα σε θάλαμο πίεσης ο οποίος λειτουργεί στα 2bar με 6bar με συμπιεσμένο αέρα. Αυτού του τύπου τα φίλτρα έχουν δοκιμαστεί με επιτυχία στη βιομηχανία άνθρακα και χαλκού μέχρι και 120m² επιφάνεια και μπορούν να παράγουν μέχρι και 1000t/d στερεά. Βάση μελετών των Oeberg και Steinlechner, αναμένεται υψηλότερη ανάκτηση Na₂O και πολύ χαμηλή περιεκτικότητα νερού στο κέικ.

Στην Ελλάδα, για την απομάκρυνση του νερού από την ΕΙ αναζητήθηκε μια τεχνολογία ικανή να διαχειριστεί όλη την παραγόμενη ποσότητα, δημιουργώντας ένα προϊόν με σταθερό ποσοστό υγρασίας, σταθερά φυσικά χαρακτηριστικά και μειωμένη περιεκτικότητα σε Na₂O. Επιλέχθηκε να εγκατασταθούν πρέσες φίλτρων υψηλής πίεσης με μεμβράνες (high pressurefilter-press). Η τεχνολογία θεωρείται δοκιμασμένη και ώριμη αν και πρωτοποριακή για τη βιομηχανία αλουμίνιας. Πράγματι, στην Ευρώπη η «Αλουμίνιον της Ελλάδος», ΑτΕ, είναι η πρώτη βιομηχανία αλουμίνιας που εγκαθιστά ένα τέτοιο σύστημα (Εικ. 4.3, 4.4, 4.5 και 4.6). Πριν προκριθεί αυτή η επιλογή, είχαν γίνει προκαταρκτικές δοκιμές με πρέσες φίλτρων στη Γαλλία στο εργοστάσιο της Gardanne, του πρώην ομίλου Pechiney, με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το υλικό που παράγεται από την ΕΙ μετά από μείωση του περιεχόμενου νερού ονομάζεται σιδηραλουμίνια, ΣΑ.



Εικόνα 4.3: Εξωτερική άποψη των εγκαταστάσεων εντός των οποίων στεγάζεται η πρέσα



Εικόνα 4.4: Η πρέσα εντός του προστατευτικού χώρου στο οποίο βρίσκεται



Εικόνα 4.5: Άνοιγμα των πλαισίων και απόρριψη του υλικού, ακριβώς κάτω από την πρέσα



Εικόνα 4.6: Το υλικό συσσωρεύεται εξωτερικά και είναι έτοιμο προς διάθεση

4.11. Αξιοποίηση της ερυθράς ιλύος στη βιομηχανία παραδοσιακών κεραμικών

Η αξιοποίηση της ΕΙ για παραγωγή κεραμικών είναι ένα θέμα με το οποίο έχουν ασχοληθεί αρκετοί ερευνητές. Από τις πολλές διεργασίες που έχουν προταθεί για

παραγωγή κεραμικών, η προσοχή εστιάζεται σε τριμερείς συνθέσεις τύπου πλαστικά υλικά (plastic), αδρανή (filler), συλλιπάσματα (flux). Αυτές οι συνθέσεις είναι αντίστοιχες με τα μίγματα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία παραδοσιακών κεραμικών, για παραγωγή προϊόντων όπως τούβλα και κεραμίδια.

4.11.1. Δημοσιεύσεις σε περιοδικά και πρακτικά συνεδρίων

Στην εργασία των Krgovic, et al., 2004, παρασκευάστηκαν μίγματα με 30%κβ ΕΙ, με λοιπά συστατικά ιλλιτικές - καολινιτικές αργίλους, και κυμαινόμενο ποσοστό σε χαλαζίτες μεταξύ 0%κβ και 30%κβ. Οι συγγραφείς καταλήγουν ότι είναι εφικτή η παραγωγή τούβλων με 30%κβ ΕΙ δίνοντας τελικά προϊόντα με ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά, συρρίκνωση και πορώδες. Προσοχή πρέπει να δοθεί στην κοκκομετρική κατανομή των Α' υλών και τις συνθήκες όπτησης.

Οι Stivanakis, et al., 2003 παρασκεύασαν μίγματα με προσθήκη ΕΙ έως και 50%κβ, υποκαθιστώντας αργιλούχο μίγμα Α' υλών που χρησιμοποιείται βιομηχανικά στην παραγωγή τούβλων και κεραμιδιών. Εξετάστηκαν κύρια οι φυσικομηχανικές ιδιότητες των κεραμικών.

Οι Youssef, et al., 2002, πρόσθεσαν ΕΙ σε ποσοστό μέχρι και 70%κβ, σε μίγμα από τρεις αιγυπτιακές αργίλους, άστριο, χαλαζία και grog. Τα μίγματα συμπίεστηκαν σε πίεση 20,7 MPa και ψήθηκαν στους 950°C -1100°C για 1, 2 και 3h παραμονή στη ζώνη όπτησης. Τα κεραμικά αξιολογήθηκαν ως προς την θλιπτική τους αντοχή και την απορρόφηση νερού. Από τα αποτελέσματα εξήχθηκε μια ημι-εκθετική σχέση μεταξύ αντοχής και φαινόμενου πορώδους. Πλακίδια 50x50mm² με ποσοστό ΕΙ 70%, τα οποία ψήθηκαν στους 1100°C για 1h ικανοποίησαν τις προδιαγραφές για πλακάκια τοιχοποιίας με εφυάλωση. Για όπτηση 3h στους 1100°C τα κεραμικά ικανοποίησαν τις προδιαγραφές για πλακάκια δαπέδου με εφυάλωση.

Οι Sglavo, et al., 2000, παρασκεύασαν κεραμικά με ΕΙ με αξονική συμπίεση και χύτευση (slipcasting). Ως μίγμα αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικά αργιλούχα μίγματα: το πρώτο χρησιμοποιείται στην παραγωγή τούβλων με εξώθηση και το δεύτερο είναι σχεδόν καθαρός καολίνης και χρησιμοποιείται στην παραγωγή υψηλότερης ποιότητας κεραμικών (πχ πορσελάνες). Και στις δυο περιπτώσεις, η προσθήκη ΕΙ οδήγησε σε περισσότερο διεσπαρμένα (deflocculated) συστήματα καθώς

και σε αύξηση του κρίσιμου επιπέδου υγρασίας (critical moisture content). Για το πρώτο αργιλούχο μίγμα παρασκευάστηκαν μίγματα μέχρι και 50%κ.β. EI και ψήθηκαν στους 850°C. Το ποσοστό EI δεν επηρέασε το πορώδες του δείγματος ενώ η μείωση της αντοχής αποδίδεται στην περιορισμένη δραστηριότητα της EI σε αυτή τη θερμοκρασία. Τα δείγματα που παρασκευάστηκαν με το δεύτερο αργιλούχο μίγμα και ποσοστά EI μέχρι και 20%κβ ψήθηκαν στους 950°C και 1050°C. Η προσθήκη της EI οδήγησε σε αύξηση της πυκνότητας και της αντοχής σε κάμψη το οποίο αποδίδεται στο σχηματισμό μεγαλύτερου ποσοστού υαλώδους φάσης για μεγαλύτερα ποσοστά προσθήκης EI. Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας υπέδειξαν άριστες προοπτικές για τη χρήση της EI σαν Α' ύλη σε μίγματα με αργιλούχες Α' ύλες για την παραγωγή κεραμικών.

Οι Perez, et al., 1999, παρουσιάζουν μια διεργασία για την Παρασκευή συμπαγών τούβλων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως θερμοσυσσωρευτές, σε λεωφόρους αλλά και σε άλλες χρήσεις. Η μελέτη τους περιλαμβάνει χαρακτηρισμό και θερμική συμπεριφορά της EI, εύρεση των καταλληλότερων συνθηκών όπτησης και κοκκομετρικής σύστασης, και τελικά την παρασκευή και αξιολόγηση των κεραμικών. Τα αποτελέσματα τους ήταν καλύτερα ή εφάμιλλα εμπορικού προϊόντος και αποτέλεσαν το έναυσμα για τη δημιουργία πιλοτικής μονάδας, αξίας 200,000,000 Ptas, και παραγωγικής ικανότητας 20T/d.

Στην εργασία των di San Filippo and Usai, 1988a, εξετάστηκε η χρήση της EI σαν πρόσθετο στην παραγωγή τούβλων. Μετά από όπτηση στους 950°C σύνθεση αποκλειστικά με EI έδωσε κεραμικό σώμα με θλιπτικές αντοχές αντίστοιχες με τα τυπικά τούβλα μόνο όταν χρησιμοποιήθηκε πίεση μορφοποίησης 5000kg/m² και χρόνος όπτησης >48h. EI με προσθήκη H₃BO₃ έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής με τιμές 950kg/cm² για θερμοκρασία όπτησης 950°C. Η EI με άλλα πρόσθετα (σκωρίες κλιβάνων Waelz, απόβλητα επίπλευσης από φθορίτες, σκωρίες υψικαμίνων, ηφαιστειακούς τόφφους, πυρίμαχες και κατάλληλες για τούβλα αργίλους, άμορφη πυριτία) έδωσε μη ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Στην δεύτερη εργασία από τους ίδιου συγγραφείς, di San Filippo and Usai, 1988b, μελετήθηκε η υαλοποίηση των κεραμικών με EI για όπτηση στους 1100°C. Η EI μόνη της υαλοποιήθηκε στους >1200°C. Μίγματα EI με τραχίτες, τόφφους ή παρόμοια πετρώματα υαλοποιήθηκαν στους 1100-1150°C. Ανάλυση με XRD, έδειξε ότι κύρια οι υαλώδεις φάσεις επηρεάζουν την αντοχή σε θλίψη και όχι οι κρυσταλλικές, όπως ο

νεφελίνης και ψευδοβρουκίτης. Υψηλότερη θερμοκρασία όπτησης ή μεγαλύτερο ποσοστό τόφφου στο μίγμα, επιφέρει αύξηση στο βαθμό υαλοποίησης με παράλληλη μείωση των κρυσταλλικών φάσεων, αύξηση της απορρόφησης νερού και μείωση της θλιπτικής αντοχής. Προσδιορίστηκε εντούτοις το επίπεδο κάτω από το οποίο η υαλώδη φάση βελτιώνει την θλιπτική αντοχή και πάνω από το οποίο τα δείγματα γίνονται πολύ πορώδη και εύθραυστα. Στους 1120°C, το μίγμα της EI και πετρωμάτων Paringianu οδήγησε σε υαλοποιημένο κεραμικό σώμα, το οποίο συγκριτικά με τα τυπικά προϊόντα της αγοράς απαιτεί μικρότερη κατανάλωση ενέργειας κατά την όπτηση. Η απορρόφηση νερού είναι υψηλότερη από τις προβλεπόμενες προδιαγραφές, η θλιπτική αντοχή συγκρίσιμη με αρκετά εμπορικά προϊόντα ενώ η αντοχή στα οξέα δε φανέρωσε κάποια σταθερή συσχέτιση. Με δεδομένη τη χαμηλή θερμοκρασία όπτησης και την εξοικονόμηση ενέργειας αυτό μπορεί να γίνει αποδεκτό.

Οι Anghel, et al., 1987, προτείνουν την παραγωγή κεραμικών από μίγμα 40% EI και 60% κοινή άργιλο μετά από ξήρανση στους 85°C και όπτηση στους 960°C περίπου για 72h. Η φαινόμενη πυκνότητα ήταν 1,85g/cm³, η απορρόφηση νερού 16%, η συρρίκνωση 7%, η θλιπτική και σε κάμψη αντοχή 90daN/cm² και 37daN/cm² αντίστοιχα, ενώ η περιεκτικότητα σε υδατοδιαλυτά άλατα 1,3%.

Οι Moya, et al., 1987, παρουσιάζουν μια εκτεταμένη μελέτη πάνω στην παραγωγή δομικών κεραμικών με EI, η οποία αποτελείται από τρία τμήματα. Αρχικά, οι συγγραφείς μελετάνε τις φυσικές ιδιότητες της EI, τη θερμική της συμπεριφορά μέχρι το σημείο τήξης και παράλληλα, κατασκευάζουν δοκίμια με 100% EI. Τα πρώτα συμπεράσματα υποδεικνύουν ότι στους 1200°C, τα δοκίμια εμφανίζουν τη μέγιστη συρρίκνωσή τους με τη μικρότερη απορρόφηση νερού. Δεδομένης της μεγάλης όμως συρρίκνωσης και χαμηλής πλαστικότητας, προτείνεται η προσθήκη κατάλληλων συμπληρωματικών Α' υλών. Οι χρωματικές αποχρώσεις των κεραμικών από EI είναι πολύ ικανοποιητικές. Στο δεύτερο μέρος της μελέτης, η EI αναμιγνύεται με τέσσερις διαφορετικές αργίλους, πέντε ποσοστά προσθήκης EI, 0, 40, 50, 60 και 80%κβ, για έξι θερμοκρασίες όπτησης, από 950 μέχρι και 1200°C. Τα αποτελέσματα φανερώνουν ότι αύξηση του ποσοστού EI μειώνει τον δείκτη πλαστικότητας σε όλες τις περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα της απορρόφησης νερού ποικίλουν, σε αρκετές περιπτώσεις πάντως, τα μίγματα με EI εμφάνισαν καλύτερα αποτελέσματα από τα αργιλούχα μίγματα αναφοράς. Στο τρίτο μέρος της εργασίας, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τριών

πυλοτικών δοκιμών, παραγωγής διάτρητων και συμπαγών τούβλων, όπως και κεραμικών πλακιδίων τύπου gres. Για την περίπτωση των διάτρητων τούβλων, η EI ήταν >40%, με το υπόλοιπο άργιλοι, και η θερμοκρασία όπτησης 1100°C. Για τα συμπαγή, το μίγμα ήταν 50%EI και 50% θραύσμα κεραμικού, με θερμοκρασία όπτησης 1140°C. Για τα πλακίδια, χρησιμοποιήθηκε 75%EI και 25% άργιλοι μαζί με πλαστικοποιητές. Σε όλες τις περιπτώσεις τα αποτελέσματα περιγράφονται ως ικανοποιητικά και δίνονται δεδομένα φαινόμενης πυκνότητας και απορρόφησης νερού.

Οι Buraev and Kushnir, 1986, αναφέρουν την παρασκευή πλακιδίων προσόψεως με EI και υδρο-μίκες πλούσιες σε SiO₂. Η βέλτιστη σύσταση του μίγματος ήταν 30% ξηρή EI, 10% σκράπ γυαλί και το υπόλοιπο μίκα.

Στη μελέτη των Prasad and Sharma, 1986, συνοψίζονται αποτελέσματα από προηγούμενες εργασίες των ιδίων συγγραφέων (Prasad, et al., 1985, Prasad, et al., 1986). Τα κύρια σημεία για τούβλα από EI είναι τα ακόλουθα: α) η ελάχιστη θερμοκρασία όπτησης είναι 1050°C, με βέλτιστη τους 1100°C, β) θερμοκρασία όπτησης >1120°C, οδηγεί σε τούβλα σκούρα και πολύ βαριά τα οποία έχουν υποστεί εκτεταμένη υαλοποίηση και παραμόρφωση, γ) απαιτούνται χαμηλοί ρυθμοί όπτησης (10°C/min) και ψύξης, δ) απαιτείται μεγάλος χρόνος παραμονής στη ζώνη όπτησης, 100h, ε) προσθήκη 10-15% ιπτάμενης τέφρας ή άμμου θαλάσσης βελτιώνει τις ιδιότητες των τούβλων, στ) σκόνη άνθρακα, ροκανίδι, ή coke breeze αυξάνουν την τάση για ρωγμάτωση των κεραμικών, ζ) μικρή προσθήκη μπετονίτη ή μεγαλύτερη αργίλων, βελτιώνουν τις ιδιότητες, η) προσθήκη κατά τη μορφοποίηση των τούβλων υλικών που προκαλούν αφρισμό μπορεί να δώσει τούβλα χαμηλής πυκνότητας τα οποία απαιτούν υψηλή θερμοκρασία όπτησης για να αναπτύξουν ικανοποιητική αντοχή θλίψης, θ) προσθήκη αδρανών (grog) συνεισφέρει μόνο οριακά, ι) η τάση ρωγμάτωσης μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με πρόγραμμα όπτησης το οποίο λαμβάνει υπόψη τις διαστατικές αυξομειώσεις των κεραμικών κατά την όπτηση, κ) τούβλα μόνο από EI φθείρονται πολύ γρήγορα με το χρόνο. Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι μετά από ενενήντα δοκιμές, τα βέλτιστα αποτελέσματα είναι για τούβλα EI με προσθήκη 10% ιπτάμενης τέφρας ή άμμου θαλάσσης. Σημειώνεται ακόμα η πρόθεση να πραγματοποιηθούν πειράματα με αδρανή ή αναγωγική ατμόσφαιρα, καθώς και το ότι έχουν υλοποιηθεί πιλοτικές δοκιμές.

Στην εργασία των Knight, et al., 1986, εξετάστηκαν οι μηχανικές ιδιότητες κεραμικών

από ΕΙ από τη Τζαμάικα. Τα δείγματα μορφοποιήθηκαν από κονίες με κοκκομετρία <math><75\mu\text{m}</math> και ψήθηκαν στους 1000-1100°C. Μετά την όπτηση, η φαινόμενη πυκνότητα ήταν 40-48%, η δυσθραυστότητα 0,39-0,69MN/m², η αντοχή σε κάμψη 17,23-27,09MN/m², η θλιπτική αντοχή 42,0-83,9Mn/m², και η σκληρότητα κατά Brinell 26,2-59,9kg/mm². Οι συγγραφείς σημειώνουν ότι η σκληρότητα που επιτεύχθηκε είναι συγκρίσιμη ή μεγαλύτερη από άλλα εμπορικά πορώδη κεραμικά. Αν και το αίτιο δεν είναι απόλυτα ξεκάθαρο, εκτιμάται ότι η σχηματιζόμενη υαλώδη φάση η οποία βρίσκεται σε διασπορά στη μικροδομή είναι σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη των δεσμών και τη σκληρότητα.

Οι Brown and Beretka, 1984, μελέτησαν μίγματα με >50% ΕΙ σε δύο αργιλούχα μίγματα υψηλής και χαμηλής πλαστικότητας. Η μορφοποίηση έγινε με εξώθηση ενώ η όπτηση έγινε στους 1100, 1150 και 1200°C. Τα τελικά κεραμικά αξιολογήθηκαν ως προς το μέτρο θραύσης, τη γραμμική συρρίκνωση, το φαινόμενο πορώδες και τη διόγκωση λόγω υγρασίας, μετά από παραμονή σε αυτόκλειστο δοχείο για 5h σε 1MPa. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μίγματα με >80% ΕΙ και το υπόλοιπο άργιλοι, είχαν καλή μηχανική αντοχή, μικρή συρρίκνωση, αποδεκτό πορώδες και μικρή διαστολή λόγω υγρασίας. Οι συγγραφείς καταλήγουν σημειώνοντας τα θετικά στοιχεία που μπορεί να προκύψουν από την αξιοποίηση της ΕΙ στη βιομηχανία παραδοσιακών κεραμικών.

Στη μελέτη των Chabanova, et al., 1983, εξετάστηκε η επίδραση της ΕΙ, με σύσταση SiO₂ 9,5-11,1, Al₂O₃ 17-19, Fe₂O₃ 39-43, CaO 7,6-9,6 και Na₂O 6,2-6,9%, στην ικανότητα πυροσυσσωμάτωσης πλακιδίων προσόψεως με ταχεία όπτηση(fast firing). Παρατηρήθηκε ότι προσθήκη της ΕΙ αυξάνει την ικανότητα πυροσυσσωμάτωσης. Οι βέλτιστες ιδιότητες επιτεύχθηκαν για μίγμα με 50-60% αργιλικά, 30-50% ΕΙ και 0-20% υαλόθραυσμα. Η απορρόφηση νερού ήταν 6,0-9,0% και η θλιπτική αντοχή 20,5-28,0 MPa. Το ποσό των RO + R₂O και ο λόγος Fe₂O₃/R₂O στο μίγμα ήταν 7,5-11,1% και 3,2-6,5 αντίστοιχα.

Στη μελέτη των Yamamoto and Kojima, 1979, διαπιστώθηκε, μεταξύ άλλων, ότι προσθήκη ΕΙ (7,5-15%) στο μίγμα αναφοράς λειτουργεί σαν χρωστική δίνοντας προϊόντα κόκκινα και κόκκινα-καφέ με βελτιωμένες ιδιότητες.

Στο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας των Tanaka, et al., 1979, η ΕΙ αναμιγνύεται με σκωρία υψικαμίνου η οποία έχει ψυχθεί αργά στην ατμόσφαιρα ή σε νερό ή σκωρία μεταλλάκτη σε αναλογία κβ (10-80)(20-90), και υαλόθραυσμα, πλαστικές αργίλους,

ενώσεις με αλκάλια, ενώσεις του φθορίου ή/και του βορίου σε αναλογία κβ >20, μορφοποιείται, ξηραίνεται και ψήνεται στους 500-1300°C. Ως παράδειγμα αναφέρεται μίγμα με (σε g) EI 670, σκωρία υψικαμίνου μετά από ψύξη και κοκκοποίηση σε νερό 500, και πλαστικές αργίλους 100 το οποίο συμπιέζεται στα 70kg/cm², ξηραίνεται στους 100°C για 1 ημέρα και πυροσυσσωματώνεται στους 1100°C για 4h δίνοντας πλακίδιο με συρρίκνωση 2%, αντοχή σε κάμψη 120kg/cm² και απορρόφηση νερού 16%.

Η Shiyanonskaya, 1977, αναφέρει την παραγωγή κεραμικών πλακιδίων από μίγμα με 50% αργιλικά ορυκτά, 20% νεφελίνη και 30% EI, η οποία περιέχει Fe₂O₃ (μέρος αυτού ως Fe(OH)₃) 49,8, CaO + MgO 5,8 και Na₂O + K₂O 4,3%. Η όπτηση έγινε στους 1050°C και τα κεραμικά εμφάνισαν απορρόφηση νερού <4%. Για όπτηση στους 1080°C η απορρόφηση νερού μπορεί να πέσει στο <0,5%. Το χρώμα των πλακιδίων είναι σκούρο κόκκινο για 15-30% EI. Τα καλύτερα πλακίδια με εφυάλωμα παρασκευάζονται από μίγμα με 60% αργίλους, 20% νεφελίνη ή περλίτη και 20% EI.

Στη μελέτη των Tauber, et al., 1971, η EI, μέχρι και 75%, αναμίχθηκε με αργιλούχο μίγμα. Για τις διάφορες συνθέσεις, εξετάστηκε η επίδραση της κοκκομετρίας του αργιλούχου μίγματος και της θερμοκρασίας όπτησης, 1050°C ή 1150°C. Σε γενικές γραμμές, τα μίγματα με EI είναι ικανοποιητικά, με απορρόφηση νερού και αντοχή σε κάμψη ακόμα και υψηλότερες από το μίγμα αναφοράς. Τα καλύτερα αποτελέσματα επιτεύχθηκαν για μίγμα 50-50 μετά από όπτηση στους 1150°C. Τα μίγματα με 75% EI εμφανίζουν μεγαλύτερο πορώδες στους 1150°C συγκριτικά με τους 1050°C. Αυτό αποδίδεται στο σχηματισμό ρευστής φάσης, μετά την αναγωγή του Fe₂O₃ από τον περιεχόμενο C στο αργιλούχο μίγμα. Το μίγμα με 25% EI και χονδρόκοκκο αργιλούχο μίγμα εμφάνισε διόγκωση και διάρρηξη. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο ότι οι αντιδράσεις αναγωγής, άρα και έκλυσης αερίων, στα σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους πραγματοποιούνται πιο αργά και μπορεί να συμπέσουν με την εμφάνιση της ρευστής φάσης (softening). Ο συντελεστής θερμικής διαστολής αυξάνει όσο αυξάνει η EI. Τα μίγματα με άργιλο είναι λιγότερο πυρίμαχα συγκρινόμενα με την περίπτωση 100%EI.

Στην εργασία του Haase, 1965, προτείνεται η χρήση της EI σαν μια οικονομική εναλλακτική Α' ύλη, σε αργιλούχα μίγματα παρασκευής κεραμικών τύπου stoneware, αντί των συνήθων συλλιπασμάτων. Παράλληλα, δίνονται και άλλες προτάσεις για χρήση άλλων υλικών ενώ τέλος δίνονται και τυπικές συστάσεις για την παρασκευή stoneware σωλήνων.

4.11.2. Διπλώματα ευρεσιτεχνίας

Στο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του Puskas, 1977, Puskas, 1983, κεραμικά τούβλα και πλακίδια τοίχου παράγονται με συμπίεση και μορφοποίηση μιγμάτων με 51-90%κβ EI και 10-49%κβ άλλα ορυκτά και/ή υλικά που περιέχουν πυρίτιο. Τα πρόσθετα μπορεί να περιλαμβάνουν πυριτική γη (siliceous earth), χαλαζία, ηφαιστειακά πετρώματα, ιπτάμενη τέφρα, αργίλους, δολομίτη και άλλα υλικά, αλλά το ανώτατο όριο είναι 7,5% για τις πλαστικές αργίλους και 15% για το δολομίτη. Η απομάκρυνση του νερού από την EI, μπορεί να γίνει πριν ή μετά την ανάμιξή της με τα άλλα υλικά. Ως παράδειγμα, αναφέρεται μίγμα με EI 80, μπετονίτη 5, δολομίτη 5, και βολαστονίτη 10%, το οποίο αναμιχθηκε καλά, ξηράθηκε μερικώς, συμπίεστηκε σε τούβλο, ξηράθηκε και πυροσυσσωματώθηκε στους 950-1250°C σε συνεχή κλίβανο.

Στο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του Klotz, 1975 περιγράφεται μίγμα για παραγωγή τούβλων ή κεραμιδιών το οποίο αποτελείται από 81-97%κβ EI, 2-9% Na-μπετονίτη ή 2-25% Ca-μπετονίτη και 0-10% CaSO₄. Η όπτηση πραγματοποιείται στους 1066-1370°C.

Η εταιρεία Gebruder Guilini Gmbh έχει τέσσερα διπλώματα ευρεσιτεχνίας για την παραγωγή κεραμικών με EI (Gebruder Guilini Gmbh, 1974a, Gebruder Guilini Gmbh, 1974b, Gebruder Guilini Gmbh, 1975a, Gebruder Guilini Gmbh, 1975b). Στην US 3886245, EI με ποσοστό νερού 15 έως 35%κβ αναμιγνύεται με αργίλους για να δώσει τελικό μίγμα με ποσοστό EI, 50-92%κβ (ξηρό). Το μίγμα με ποσοστό νερού 18%κβ έως 25%κβ, μορφοποιείται σε τούβλα, ξηραίνεται σε θερμοκρασία <70°C και πυροσυσσωματώνεται στους 900-1000°C. Η US 3886244 διαφοροποιείται ως προς το ότι στο μίγμα των Α' υλών συμμετέχουν και υδατοαπορροφητικά υλικά από 5%κβ έως 30%κβ. Ως υδατο-απορροφητικά υλικά θεωρούνται ο μπετονίτης, η γέλη σίλικας και αλουμίνας και η σχετικά ξηρή EI. Στην περίπτωση αυτή, ως θερμοκρασιακό εύρος όπτησης προτείνεται το 900-1100°C. Η GB 1373441 δε διαφοροποιείται από την US 3886244. Η GB 1354807 είναι αντίστοιχη της US 3886245.

Στο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του di San Filippo, 1989, ο συγγραφέας κατοχυρώνει μια διεργασία παραγωγής κεραμικών από μίγμα EI με πυριτικά, περλίτη, ενώσεις του μολύβδου (οξειδία Waelz, εμπλουτισμένα και μη ορυκτά μολύβδου, μεταλλουργικές σκωρίες, σουλφίδια από την ηλεκτροχημική υδρομεταλλουργία του Zn). Η όπτηση γίνεται από τους 800°C μέχρι τους 950°C.

5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ RED MUD ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

5.1. Υλικά και παρτίδες για την παραγωγή δοκιμίων

Το πηλώδες χρώμα που αποτελεί την βασική πρώτη ύλη (πηλός) προέρχεται από την εταιρεία ΧΑΛΚΙΣ ΑΒΕΕ

Το απόβλητο Red mud που χρησιμοποιήθηκε σαν προσθήκη στην δεύτερη και τρίτη παρτίδα σε ποσότητες 5% και 10% αντίστοιχα προέρχεται από το εργοστάσιο ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ της εταιρίας ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε και στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζεται η χημική του σύσταση.

Πίνακας 5.1: Χημική σύσταση Red Mud

		min	max	Μέσος όρος
Υγρασία	%	16	22	18
Απώλεια πύρωσης	%	8	11	9
Al ₂ O ₃	%	11	25	21
Fe ₂ O ₃	%	35	50	42
CaO	%	4	15	9
SiO ₂	%	4	15	7
Na ₂ O	%	1,5	5	3
TiO ₂	%	4	8	6

Για την παρούσα Μ.Δ.Ε. παρασκευάστηκαν τρεις παρτίδες δοκιμίων (Πιν 5.2).

- Στην πρώτη παρτίδα παρασκευάστηκαν τα πρότυπα δοκίμια και χρησιμοποιήθηκε σαν πρώτη ύλη πηλώδες χρώμα.
- Στην δεύτερη παρτίδα χρησιμοποιήθηκε σαν πρώτη ύλη το ίδιο πηλώδες χρώμα με την προσθήκη του αποβλήτου Red Mud σε ποσότητα 5%.
- Στην τρίτη παρτίδα χρησιμοποιήθηκε σαν πρώτη ύλη το ίδιο πηλώδες χρώμα με την προσθήκη του αποβλήτου Red Mud σε ποσότητα 10%.

Για κάθε παρτίδα δοκιμίων δημιουργήθηκαν δύο σειρές δοκιμίων εκ των οποίων στα μισά έγινε όπτηση στους 950°C και στα άλλα μισά στους 1050°C.

Το αποτέλεσμα διαδικασίας παρασκευής είναι η παραγωγή δοκιμίων ορθογωνικής διατομής, αρχικών (πριν την όπτηση) διαστάσεων περίπου με μήκος ~73,50mm, πλάτος ~47,00 και πάχος ~23,50mm.

Πίνακας 5.2: Αναλογίες για κάθε παρτίδα δοκιμίων

		1η ΠΑΡΤΙΔΑ (Πρότυπα)	2η ΠΑΡΤΙΔΑ (5% Red Mud)	3η ΠΑΡΤΙΔΑ (10% Red Mud)
Χώμα	Κιλά	10	9,5	9
Red mud	Κιλά	-	0,5	1
Νερό	Λίτρα	1,2	1,6	2,2

Παρατηρείται ότι με την προσθήκη του απόβλητου Red Mud απαιτείται αύξηση της ποσότητας νερού για να επιτευχθεί η βέλτιστη πλαστικότητα του μίγματος. Αυτό συμβαίνει γιατί η ειδική επιφάνειά του Red Mud είναι 10m²/g περίπου, έναντι 5m²/g περίπου πηλώδους χώματος. Αυτό συνεπάγεται αύξηση της ειδικής επιφάνειας με την προσθήκη Red Mud, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί σε αυξημένη απαίτηση νερού προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη πλαστικότητα του μίγματος.

5.2. Παραγωγική διαδικασία και έλεγχος δοκιμίων (περιγραφή συσκευών και οργάνων)

5.2.1. Ομογενοποίηση δείγματος

Το πρώτο σκέλος της παραγωγικής διαδικασίας περιλαμβάνει την συσκευή άλεσης και ομογενοποίησης του δείγματος (Εικ. 5.1.α και 5.1.β), η οποία αποτελείται από ηλεκτρικό μοτέρ με κάθετο άξονα που καταλήγει σε ελικοειδή ξύστρες. Οι ξύστρες αυτές περιστρέφονται με την φορά του άξονα, και βρίσκονται εντός κυλινδρικού διάτρητου κάδου στον οποίο εφάπτονται.



Εικόνα 5.1.α: Συσκευή άλεσης



Εικόνα 5.1.β: Ξύστρα ανάμιξης-θραύσης

Για την κάθε μία από τις 3 παρτίδες παρασκευής δοκιμίων τοποθετήθηκαν οι αναλογίες υλικού και νερού που αναφέρονται στον πιο πάνω Πίνακα 5.3. Με την χρήση της συσκευής αυτής επιτυγχάνεται η θραύση των συσσωματωμάτων (άνω των 3mm) του υλικού και η ομογενοποίηση αυτού με την προσθήκη της απαραίτητης ποσότητας νερού έως την επιθυμητή πλαστικότητα του δείγματος (Εικ. 5.2α, 5.2β, 5.2γ, 5.2δ)



Εικόνα 5.2.α: Υλικό για ανάμιξη



Εικόνα 5.2.β: Ανάμιξη υλικού



Εικόνα 5.2.γ: Ανάμιξη-θραύση υλικού



Εικόνα 5.2.δ: Ανάμιξης μετά την προσθήκη νερού

5.2.2. Μείωση μεγέθους κόκκων του δείγματος

Στη συνέχεια τοποθετείται το υλικό στη συσκευή που ονομάζεται θραυστήρας (Εικ 5.3α και 5.3β) με τον οποίο επιτυγχάνεται η μείωση του μεγέθους των κόκκων του υλικού έως 1 mm (Εικ 5.4α και 5.4β). Αποτελείται από δύο ανεξάρτητα μοτέρ, τα οποία μέσω μάντων δίνουν κίνηση στους δύο κυλίνδρους μέσω των οποίων περνάει το υλικό.



Εικόνα 5.3.α: Σπαστήρας



Εικόνα 5.3.β: Εισαγωγή υλικού



Εικόνα 5.4.α: Μείωση κόκκων



Εικόνα 5.4.β: Τελική μορφή υλικού

5.2.3. Μορφοποίηση δειγμάτων

Η τρίτη και πολύ σημαντική συσκευή που τοποθετείτε το υλικό είναι η πρέσα εξώθησης (extruder) (Εικ. 5.5), η οποία αποτελείται από δύο μοτέρ που δίνουν κίνηση σε δύο κοχλίες. Οι κοχλίες βρίσκονται σε διαφορετικό επίπεδο εντός της συσκευής. Ο πρώτος βρίσκεται στην αρχή, όπου εισάγουμε το υλικό με αποτέλεσμα την πλήρη αναμόχλευση του και ο δεύτερος βρίσκεται σε συνθήκες υποπίεσης (vacuum), έτσι ώστε να γίνεται η καλύτερη δυνατή συμπίεση του υλικού πριν τον πλήρη σχηματισμό του κατά έξοδο από την συσκευή.



Εικόνα 5.5: Πρέσα εξώθησης (extruder)

Τέλος, το μορφοποιημένο υλικό είναι συνεχόμενο κατά την έξοδο και κινείται πάνω σε κυλινδρικά ράουλα (Εικ.5.6α, 5.6β). Κατά το μήκος κύλισης υπάρχει εξάρτημα κοπής αποτελούμενο από τρεις μεταλλικές χορδές, οι οποίες κόβουν το συνεχόμενο «μακαρόνι» στο επιθυμητό μήκος δοκιμίου.



Εικόνα 5.6α: Εισαγωγή υλικού



Εικόνα 5.6β: Μορφοποιημένο υλικό κατά την έξοδο



Εικόνα 5.7: Εξαρτήματα κοπής

Στην συνέχεια τα δοκίμια δοκίμια ξηραίνονται φυσικά για τουλάχιστον 24 ώρες, χάνοντας έτσι το μεγαλύτερο μέρος της υγρασίας τους (Εικ. 5.8α, 5.8β).



Εικόνα 5.8α: Φυσική ξήρανση
ορθογωνικών δοκιμίων



Εικόνα 5.8β: Φυσική ξήρανση
κυλινδρικών δοκιμίων

5.2.4. Ξύρανση δοκιμίων

Μετά την φυσική ξήρανση τα δοκίμια τοποθετούνται σε φούρνο ξήρανσης για 24 ώρες σε θερμοκρασία $\sim 110^{\circ}\text{C}$ το οποίο χρησιμοποιεί την κυκλοφορία ατμοσφαιρικού αέρα για την διάχυση της θερμότητας στα υλικά που βρίσκονται εντός του θαλάμου (Εικ. 5.9). Το εύρος της θερμοκρασίας όπου λειτουργεί η συσκευή είναι έως 200°C με την δυνατότητα να την διατηρεί στο επιθυμητό επίπεδο ανάλογα με τις ανάγκες του πειράματος.



Εικόνα 5.9: Ξηραντήριο



Εικόνα 5.10: Σειρά δοκιμίων μετά την ξήρανση

5.2.5. Μέτρηση βάρους και διαστάσεων δοκιμίων μετά την ξήρανση

Μετά το πέρας των 24ώρων στο ξηραντήριο όλα τα δοκίμια ζυγίζονται στην ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας 0,01 g (Εικ. 5.11) και μετριοούνται οι διαστάσεις τους χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικό παχύμετρο ακριβείας 0,01mm (Εικ.5.12) τις οποίες καταγράφουμε σε πίνακα.



Εικόνα 5.11: Ηλεκτρονική ζυγαριά



Εικόνα 5.12: Ηλεκτρονικό παχύμετρο

5.2.6. Όπτηση δοκιμίων

Μετά την ξήρανση ακολουθεί η όπτηση των δοκιμίων. Ο ηλεκτρικός φούρνος αποτελείται από διπλό περίβλημα γαλβανισμένης λαμαρίνας. Εσωτερικά είναι επενδεδυμένος με ελαφρύ πυρίμαχο τούβλο για ομοιόμορφη διάδοση της θερμότητας. Ρυθμίζεται ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας, όπως επίσης και ο χρόνος παραμονής

σε σταθερή θερμοκρασία. Τέλος, ο φούρνος είναι συνδεδεμένος με ψηφιακό μετρητή καταγραφής της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος σε KWh (Εικ. 5.13, και 5.14).



Εικόνα 5.13: Φούρνος όπτησης



Εικόνα 5.14: Εσωτερικό φούρνου

Η όπτηση των δοκιμίων γίνεται με την εφαρμογή επιλεγμένου προγράμματος πλήρως ελεγχόμενου με κατάλληλο λογισμικό που περιλαμβάνει την ακόλουθη διαδικασία:

- Θέρμανση $T_{\text{περιβάλλοντος}}$ έως 700°C σε 420 λεπτά.
- Θέρμανση από 700°C μέχρι επιλεγμένη κάθε φορά μέγιστη θερμοκρασία όπτησης T_{sint} (950 ή 1050°C) με τάχιστο ρυθμό.
- Παραμονή στην θερμοκρασία όπτησης T_{sint} (950 ή 1050°C) για 180 λεπτά.
- Σταδιακή ομαλή ψύξη των δοκιμίων μέσα στον φούρνο σε θερμοκρασία δωματίου.

Επίσης, πριν την έναρξη και μετά το πέρας της όπτησης κάθε παρτίδας καταγράφουμε την κατανάλωση του ρεύματος του φούρνου από τον μετρητή με τον οποίο είναι συνδεδεμένος.

Εφόσον ολοκληρωθεί η διαδικασία του κάθε ψησίματος, ο φούρνος αφήνεται κλειστός μέχρι η θερμοκρασία να πέσει στην θερμοκρασία περιβάλλοντος, διότι εάν ανοιχθεί νωρίτερα υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος λόγω υψηλών θερμοκρασιών, ρηγμάτωσης της εσωτερικής επένδυσης του φούρνου λόγω απότομη ψύξης και συστολής καθώς και υποβάθμισης της ποιότητας των δοκιμίων.

Όταν η θερμοκρασία του φούρνου όπτησης φτάσει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, τα δοκίμια αφαιρούνται προσεκτικά από το φούρνο και τοποθετούνται με την σειρά (Εικ 5.15 έως 5.20).



Εικόνα 5.15: Πρότυπα στους 950°C



Εικόνα 5.16: Πρότυπα στους 1050°C



Εικόνα 5.17: 5% Red Mud στους 950°C



Εικόνα 5.18: 5% Red Mud στους 1050°C



Εικόνα 5.19: 10% Red Mud στους 950°C



Εικόνα 5.20: 10% Red Mud στους 1050°C

5.2.7. Μέτρηση βάρους και διαστάσεων δοκιμίων μετά την όπτηση

Στη συνέχεια τα δοκίμια ξαναζυγίζονται και ξαναμετρώνται οι διαστάσεις τους (Εικ. 5.21 και 5.22).



Εικόνα 5.21: Μέτρηση δοκιμίου



Εικόνα 5.22: Ζύγιση δοκιμίου

Μετά το χαρακτηρισμό και την μέτρηση όλων των δοκιμίων γίνεται αποθήκευση αυτών σε μέρος ξηρό, μέχρι την διεξαγωγή των υπόλοιπων ελέγχων.

5.3. Μελέτη των φυσικό-μηχανικών ιδιοτήτων των παραγόμενων κεραμικών δοκιμίων

5.3.1. Βάρος και εμφάνιση δοκιμίων

Εξετάζεται η επίδραση του ποσοστού προσθήκης αποβλήτων Red Mud και της θερμοκρασίας όπτησης στο βάρος και στην εμφάνιση (χρώμα, γεωμετρία) των δοκιμίων. Για το σκοπό αυτό ικανός αριθμός δοκιμίων ζυγίζονται πριν και μετά την όπτηση (όπως έχει αναφερθεί πιο πάνω στα υποκεφάλαια 5.2.5 και 5.2.7) και υπολογίζεται η μεταβολή του βάρους. Επιπλέον, μετριοούνται οι διαστάσεις των δοκιμίων και σε συνδυασμό με οπτική παρατήρηση καταγράφονται οι μεταβολές στο σχήμα και στο χρώμα.

5.3.2. Θερμική αγωγιμότητα

Η θερμική αγωγιμότητα μετριέται στο εργαστήριο από μια συσκευή (Εικ.5.23) η οποία αποτελείται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή που περιέχει το λογισμικό μέτρησης και λειτουργίας της συσκευής, τον μετρητή της ροής της θερμότητας, και δύο φιάλες οι οποίες περιέχουν αέρα υπό πίεση για την λειτουργία των εμβόλων, και με το αέριο δημιουργεί πίεση στο θάλαμο για να επιτυγχάνονται υψηλές θερμοκρασίες (Εικ. 5.24). (Η μέτρηση γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E1530).

Για την δοκιμή της αγωγιμότητας επιλέγονται 3 δοκίμια από κάθε παρτίδα και θερμοκρασία. Υπολογίζεται η μεταβολή στην θερμική αγωγιμότητα των δοκιμίων στους 26°C.

Αφού λειαίνουμε καλά τις δύο απέναντι επιφάνειες, εφαρμόζουμε ένα λεπτό στρώμα θερμοαγώγιμης σιλκόνης (Εικ 5.26), απαραίτητη για τη διάχυση της θερμότητας ομοιόμορφα μέσα από το δοκίμιο. Έπειτα τοποθετούμε το δοκίμιο στην συσκευή και εκτελούμε το πρόγραμμα μέσω του Η/Υ. Η διάρκεια ελέγχου σε κάθε δοκίμιο είναι περίπου στα 45 λεπτά. Με την ολοκλήρωση της δοκιμής μας δίνεται ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του κάθε δείγματος σε $W/m \cdot K$



Εικόνα 5.23:Συσκευή θερμικής αγωγιμότητας



Εικόνα 5.24: Φιάλες με αέρα υπό πίεση για την λειτουργία των εμβόλων



Εικόνα 5.25: Θερμοκρασία για την λειτουργία (ψύξη) της συσκευής

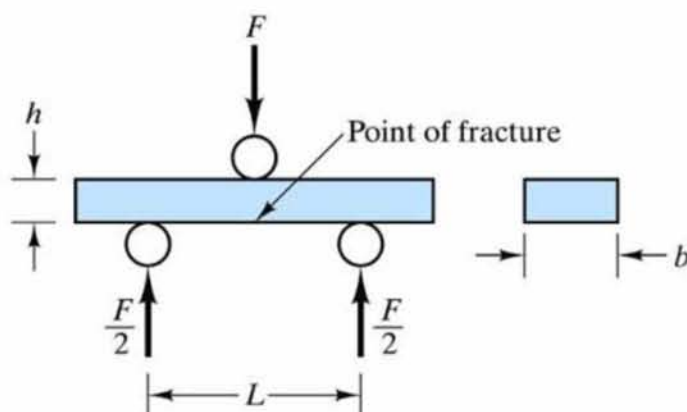


Εικόνα 5.26: Εφαρμογή θερμοαγώγιμης πάστας (σύλικόνη)

5.3.3. Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων (MOR)

Η αντοχή σε κάμψης 3 σημείων (MOR) (Εικ. 5.27) μετριέται στο εργαστήριο από ηλεκτρική συσκευή (Εικ.5.28) η οποία αποτελείται από ένα σταθερό και ένα κινούμενο μέρος. Στο επάνω μέρος (κινούμενο) είναι στερεωμένα δύο άγκιστρα, τα οποία

δημιουργούν τις στηρίξεις και στο κάτω μέρος (σταθερό) τοποθετείται το δοκίμιο μας (Εικ. 5.29). Κατά την κίνηση του εμβόλου υπάρχει εφαρμογή αυξανόμενης φόρτισης στα 3 αυτά σημεία (Εικ. 5.30) Επίσης, περιλαμβάνει μια βαθμονομημένη οδοντωτή κλίμακα από 0-10 kN με ηλεκτρικά κινούμενο δείκτη (Εικ. 5.31). Ο αριθμός των δοκιμών που επιλέγονται για την συγκεκριμένη δοκιμή είναι 5 από κάθε παρτίδα και θερμοκρασία, χωρίς εξογκώματα, ατέλειες και σπές. Μετά την αστοχία του δοκιμίου καταγράφουμε το φορτίο αστοχίας όπως αυτό φαίνεται στη συσκευή (σε kN).



Εικόνα 5.28: Αντοχή σε κάμψης 3 σημείων (MOR)

Η αντοχή στην κάμψη (Modulus Of Rapture, MOR) τριών σημείων των κεραμικών δοκιμίων υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$MOR = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Όπου:

- F: το φορτίο αστοχίας
- L: μήκος του δοκιμίου μεταξύ των εδράσεων (36mm για τη συσκευή του εργαστηρίου)
- b: πλάτος δοκιμίου
- h: πάχος δοκιμίου



Εικόνα 5.28: Γενική διάταξη συσκευής κάμψης 3 σημείων (MOR)



Εικόνα 5.29: Μέρη εμβόλου συσκευής MOR



Εικόνα 5.30: Βαθμονομημένη οδοντωτή κλίμακα με ηλεκτρικά κινούμενο δείκτη



Εικόνα 5.31: Δοκίμια μετά την θραύση

5.3.4. Υδατοαπορροφητικότητα δοκιμίων

Ο αριθμός των δοκιμίων που επιλέγονται για την δοκιμή είναι 5 από κάθε παρτίδα και θερμοκρασία. Πρώτα, τοποθετούνται κατακόρυφα και δίχως να εφάπτονται μεταξύ τους σε δοχείο με αποσταγμένο νερό (θερμοκρασία περιβάλλοντος) για 24ώρες (Εικ. 5.32).



Εικόνα 5.32: Δοκίμια στο νερό για 24ώρες

Μετά το πέρας του 24ωρου τα δοκίμια απομακρύνονται από το δοχείο με το νερό, σκουπίζεται η επιφάνεια τους ελαφρά με στεγνό πανί και ζυγίζονται. Στην συνέχεια τα ίδια δείγματα τα εμβαπτίζονται σε μεταλλικό σκεύος με αποσταγμένο νερό και βράζουν

για 5 ώρες (Εικ. 5.33 και 5.34). Κατά την διάρκεια του βρασμού τα δείγματα πρέπει να είναι σκεπασμένα με νερό και να συμπληρώνεται ποσότητα νερού ανάλογη της ποσότητας που εξατμίζεται.



Εικόνα 5.33: Βρασμός δοκιμίων



Εικόνα 5.34: Βρασμός δοκιμίων

Μετά τις 5 ώρες, τα δοκίμια απομακρύνονται από το νερό με προσοχή, σκουπίζονται ελαφρώς επιφανειακά ένα και μόλις η θερμοκρασία τους φτάσει σε θερμοκρασία δωματίου πραγματοποιείται και η τελευταία ζύγιση και καταγράφονται τα

αποτελέσματα. Η δοκιμή γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C67: Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile.

Υδροαπορροφητικότητα (W.A.): είναι η % ποσοστιαία αύξηση της μάζας ενός κεραμικού μετά την εμβάπτιση του στο νερό για ορισμένο χρονικό διάστημα και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$W.A. (\%) = 100 * \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{dry}}$$

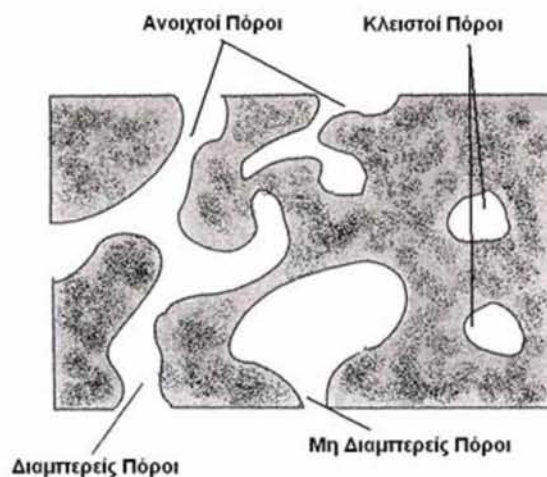
Όπου :

- W_{wet} = το βάρος του κορεσμένου σε νερό δοκιμίου (gr)
- W_{dry} = το βάρος του ξηρού δοκιμίου (gr)

Με τη βοήθεια των αποτελεσμάτων της υδατοαπορροφητικότητας σε κρύο και ζεστό νερό θα βρεθεί το ανοικτό πορώδες OP (%) & το πορώδες P (%). Όπως φαίνεται στην εικόνα 5.35:

OP (%): ανοικτό πορώδες. Ανοικτό πορώδες είναι αυτό που επιτρέπει τη διέλευση ενός υγρού. Συσχετίζεται με την υδατοαπορροφητικότητα σε κρύο νερό (WA COLD).

P (%): πορώδες. Το πορώδες είναι ο λόγος του όγκου των πόρων ενός υλικού προς το συνολικό όγκο. Συσχετίζεται με την υδατοαπορροφητικότητα σε βραστό νερό (WA BOILED).



Εικόνα 5.35: Πορώδες και ανοικτό πορώδες

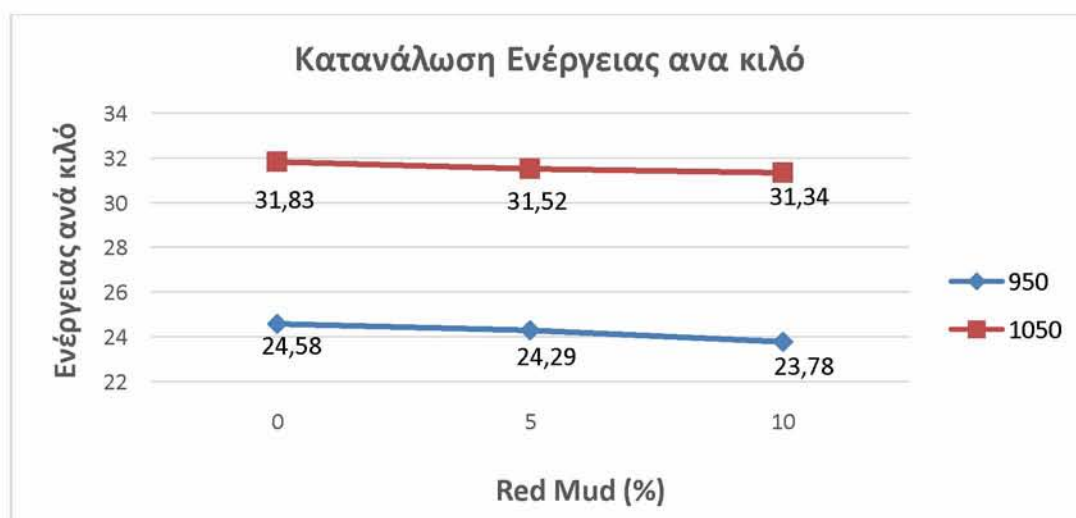
6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1. Κατανάλωση ενέργειας κατά την όπτηση

Για κάθε παρτίδα όπτησης τοποθετούνται στον φούρνο 17 παραλληλόγραμμα δοκίμια και 3 κυλινδρικά δοκίμια. Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας σε kWh στις περιπτώσεις, όπτησης προτύπων, και όπτησης δειγμάτων με την προσθήκη αποβλήτων Red Mud για τα ποσοστά (5 και 10%) για τις θερμοκρασίες 950°C και 1050°C. Επίσης σύμφωνα με το βάρος δοκιμίων που έχει τοποθετηθεί στον φούρνο για την κάθε περίπτωση όπτησης γίνεται αναγωγή της κατανάλωσης ενέργεια για την κάθε παρτίδα αντίστοιχα ανά κιλό όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.1 και στο Διάγραμμα 6.1.

Πίνακας 6.1: Κατανάλωση ενέργειας όπτησης δοκιμίων στον φούρνο σε 950°C και 1050°C

$T_{\text{ sint}}$	Red Mud	Αριθμός δοκιμ.	Ένδειξη πριν την όπτηση	Ένδειξη μετά την όπτηση	Κατανάλωση Ενέργειας όπτησης	Κιλά δοκιμίων	Κατανάλωση Ενέργειας ανά Κιλό όπτησης
950	0%	20	14675,23	14740,85	65,62	2,67	24,58
1050	0%	20	14741,05	14826,04	84,99	2,67	31,83
950	5%	20	15268,92	15335,23	66,31	2,73	24,29
1050	5%	20	15335,41	15421,46	86,05	2,73	31,52
950	10%	20	15419,77	15485,40	65,63	2,76	23,78
1050	10%	20	15485,40	15571,91	86,51	2,76	31,34

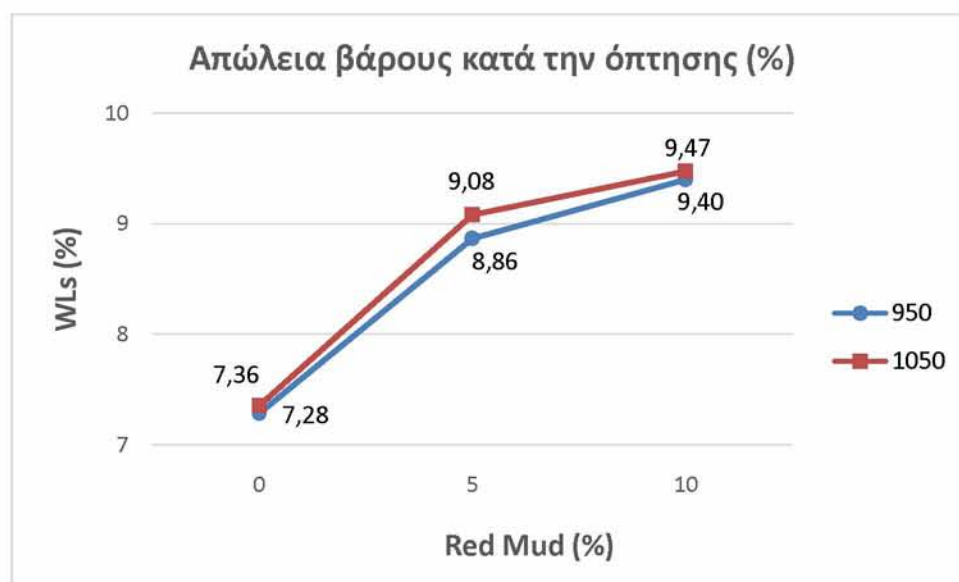


Διάγραμμα 6.1: Κατανάλωση ενέργειας φούρνου 950°C και 1050°C

Από τον παραπάνω πίνακα και διάγραμμα παρατηρείται σημαντική αύξηση στην κατανάλωση της ενέργειας καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία στο φούρνο. Ακόμα παρατηρείται ότι με την προσθήκη αποβλήτων Red Mud, όσο αυξάνεται το ποσοστό που χρησιμοποιείται υπάρχει μία μικρή μείωση κατανάλωσης ενέργειας.

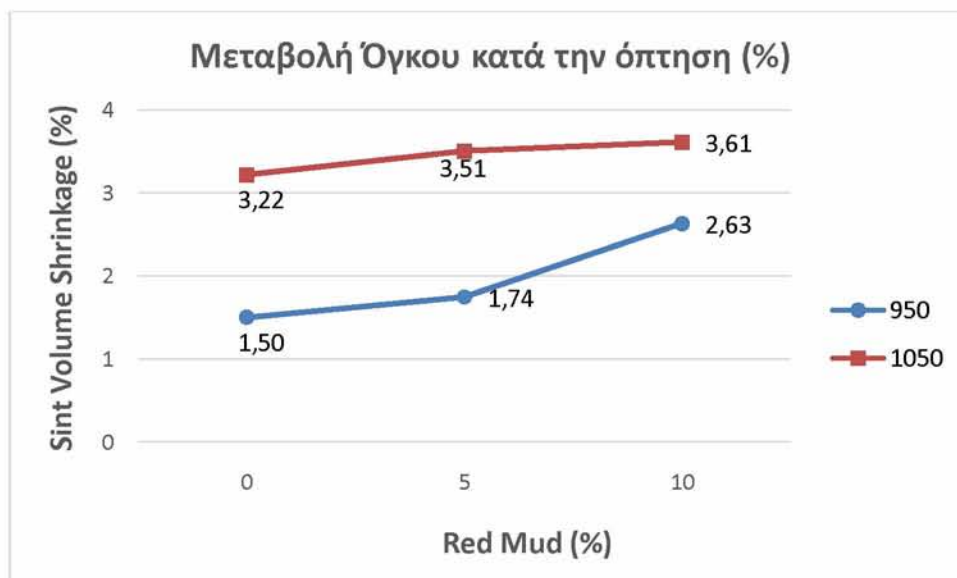
6.2. Απώλεια βάρους και μεταβολή όγκου των δοκιμίων κατά την όπτηση

Στα Διαγράμματα (6.2& 6.3) που ακολουθούν παρουσιάζεται η απώλεια βάρους και η μεταβολή όγκου των δοκιμίων σε συνάρτηση με την προστιθέμενη ποσότητα αποβλήτων Red Mud για τις δύο θερμοκρασίες όπτησης 950°C και 1050°C.



Διάγραμμα 6.2: Απώλεια βάρους κατά την όπτηση (%)

Στο Διάγραμμα 6.2 παρατηρείται η απώλεια βάρους κατά την όπτηση συγκριτικά για όλες τις παρτίδες (πρότυπα, R.M.5% και R.M.10%). Τα πειραματικά μας αποτελέσματα δείχνουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης (T_{sint}) από 950 σε 1050°C επηρεάζουν σε πολύ μικρό βαθμό την απώλεια βάρους. Η απώλεια βάρους αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του απόβλητου Red Mud.



Διάγραμμα 6.3: Μεταβολή όγκου κατά την όπτηση (%)

Στο Διάγραμμα 6.3 παρατηρείται η μεταβολή του όγκου κατά την όπτηση συγκριτικά για όλες τις παρτίδες (πρότυπα, R.M.5% και R.M.10%). Τα πειραματικά μας αποτελέσματα δείχνουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης (T_{sint}) από 950 °C έως 1050°C συντελεί σε συρρίκνωση των δοκιμίων. Επίσης υπάρχει και αύξηση της συρρίκνωσης των δοκιμίων με την αύξηση του απόβλητου Red Mud.

6.3. Θερμική αγωγιμότητα

Το παρακάτω Διάγραμμα 6.4 απεικονίζει τη μεταβολή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (k) με την αύξηση του ποσοστού των αποβλήτων Red Mud στο κεραμικό υλικό και για τις δύο θερμοκρασίες όπτησης 950°C και 1050°C.

Παρατηρείται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης (T_{sint}) από 950 °C σε 1050°C αυξάνει τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, μειώνοντας έτσι τη θερμομονωτική συμπεριφορά των δοκιμίων. Ακόμα παρατηρείται ότι η ενσωμάτωση των αποβλήτων Red Mud σε ποσοστά 5% και 10% επίσης αυξάνει τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, μειώνοντας έτσι τη θερμομονωτική συμπεριφορά των δοκιμίων. Αυτό οφείλεται στην μείωση του πορώδους των δοκιμίων.



Διάγραμμα 6.4: Μεταβολή συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας

6.4. Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων (MOR)

Μία βασική ιδιότητα των κεραμικών είναι η αντοχή σε κάμψη. Για να θεωρηθεί ένα οικοδομικό υλικό αξιόπιστο θα πρέπει να έχει ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές. Στο Διάγραμμα 6.5 που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της αντοχής σε κάμψη τριών σημείων των κεραμικών δοκιμίων τα οποία έχουν παραχθεί σε θερμοκρασία όπτησης 950°C και 1050°C, σε συνάρτηση με την αύξηση της προστιθέμενης ποσότητας ποσοστού των αποβλήτων Red Mud στο μίγμα.

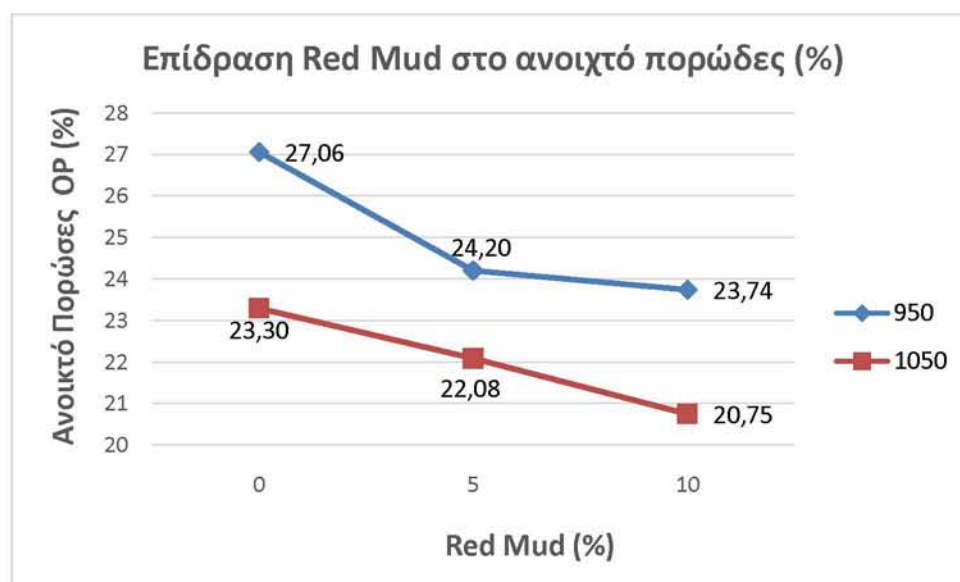


Διάγραμμα 6.5: Επίδραση των αποβλήτων Red Mud στην αντοχή σε κάμψη (MOR) κεραμικών δοκιμίων.

Παρατηρείται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης (T_{sint}) από 950 °C έως 1050°C αυξάνει την αντοχή σε κάμψη. Επίσης η αντοχή σε κάμψη αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού Red Mud, που όπως φαίνεται επιδρά θετικά στις μηχανικές αντοχές των δοκιμίων.

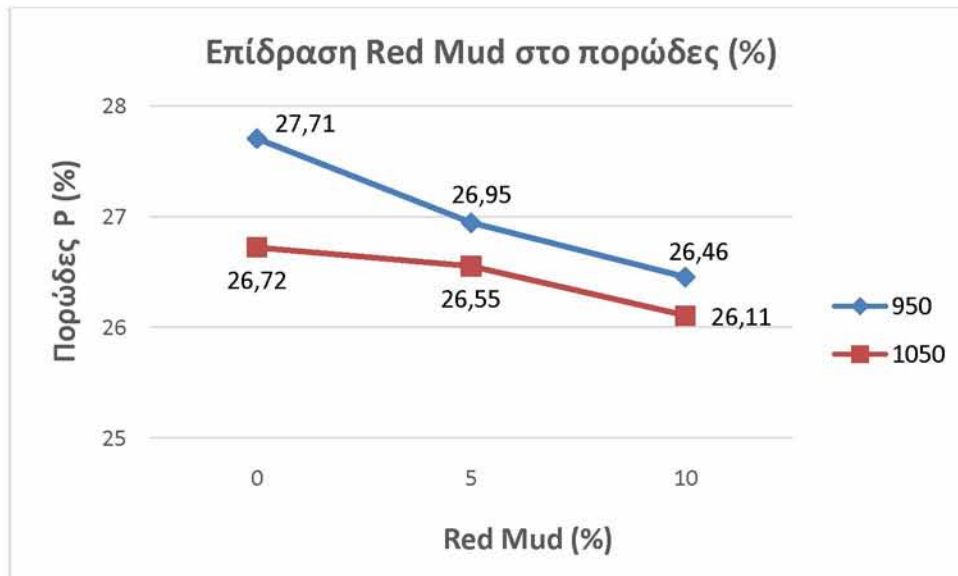
6.5. Υδροαπορροφητικότητα – πορώδες

α) Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η επίδραση του ποσοστού της προστιθέμενης ποσότητας των αποβλήτων Red Mud στο πορώδες (Διαγράμματα 6.6 & 6.7):



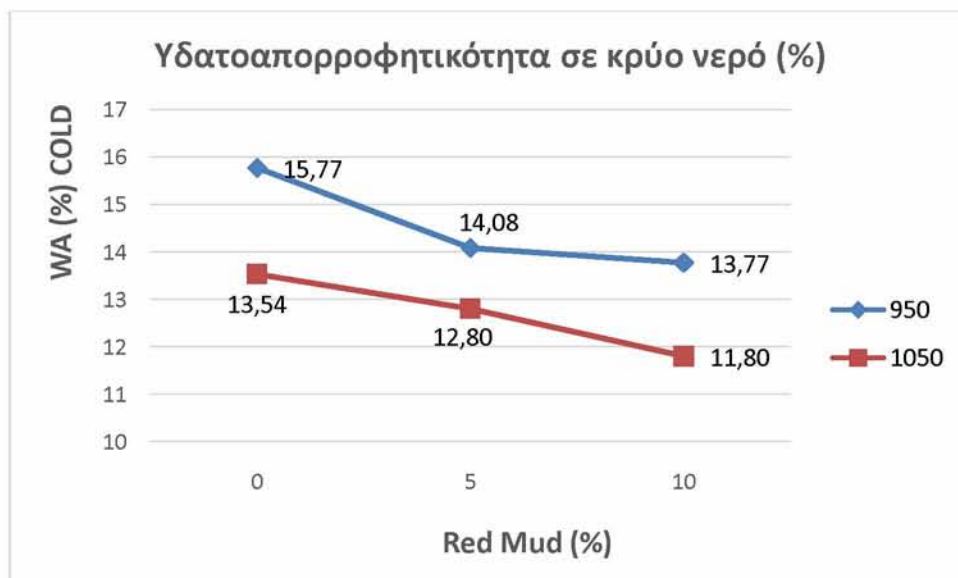
Διάγραμμα 6.6: Επίδραση των αποβλήτων Red Mud στο ανοιχτό πορώδες κεραμικών δοκιμίων.

Όπως προκύπτει από τα δεδομένα των διαγραμμάτων 6.6 και 6.7 έχουμε μείωση του πορώδους και του ανοικτού πορώδους με την αύξηση του ποσοστού των αποβλήτων Red mud. Η τάση αυτή παρατηρείται και στις δύο θερμοκρασίες. Επίσης παρατηρείται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης (T_{sint}) από 950 °C σε 1050°C μειώνει το πορώδες και το ανοιχτό πορώδες των δοκιμίων.

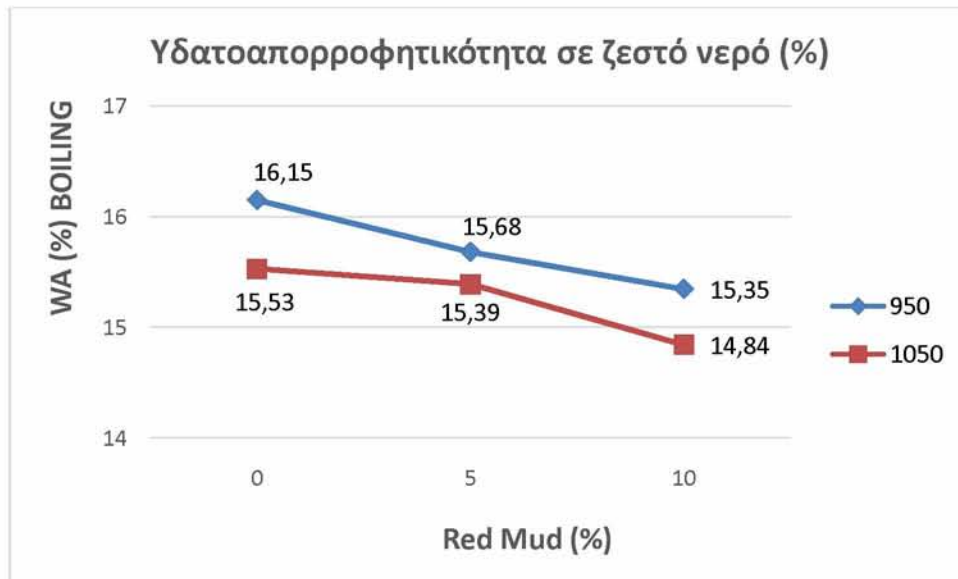


Διάγραμμα 6.7: Επίδραση των αποβλήτων Red Mud στο πορώδες κεραμικών δοκιμίων.

β) Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η επίδραση του ποσοστού της προστιθέμενης ποσότητας των αποβλήτων Red Mud στην υδροαπορροφητικότητα (Διαγράμματα 6.8 & 6.9) των παραγόμενων δοκιμίων:



Διάγραμμα 6.8: Επίδραση των αποβλήτων Red Mud στην Υδατοαπορροφητικότητα σε κρύο νερό



Διάγραμμα 6.9: Επίδραση των αποβλήτων Red Mud στην Υδατοαπορροφητικότητα σε ζεστό νερό

Όπως προκύπτει από τα δεδομένα των διαγραμμάτων 6.8 και 6.9 η απορρόφηση του νερού (κρύο και ζεστό) από τα δοκίμια μειώνεται καθώς αυξάνεται η προστιθέμενη ποσότητα των αποβλήτων Red Mud. Αυτό οφείλεται στην μείωση του πορώδους των δοκιμίων όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως. Η τάση αυτή παρατηρείται και στις δύο θερμοκρασίες όπτησης.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της κοινωνίας μας είναι να βρεθούν οι βέλτιστες αναλογίες, τεχνικές σύνθεσης και επεξεργασίας των παραπροϊόντων - αποβλήτων που θα παρέχουν τελικά προϊόντα με παρόμοια ή καλύτερα τεχνικά χαρακτηριστικά από τα παραδοσιακά κεραμικά με πιο φιλική συμπεριφορά στο οικοσύστημα και οικονομικά εφαρμόσιμα από τον ίδιο το κλάδο.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη αξιοποίησης του αποβλήτου Red Mud στην κεραμική σύνθεση των δοκιμίων που παρήχθησαν στο εργαστήριο. Η πρώτη ύλη του πηλώδους χώματος προέρχεται από την εταιρία ΧΑΛΚΙΣ ΑΒΕΕ, με την προσθήκη του αποβλήτου Red Mud σε ποσοστό 5% και 10% από το εργοστάσιο ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ της εταιρίας ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.

Από τα αποτελέσματα των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο στα πλαίσια της διεξαγωγής της παρούσας Μ.Δ.Ε. και μετά την ανάλυση και τη διερεύνηση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα αναφορικά στην δυνατότητα παραγωγής κεραμικών μαζών:

- Το απόβλητο Red Mud αποτελεί μια εν δυνάμει πρώτη ύλη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή κεραμικών. Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης του ως πρώτη ύλη από οικονομική άποψη σε σχέση με άλλα απόβλητα, είναι το χαμηλό κόστος διάθεσης και η εξοικονόμηση ενέργειας κατά την άλεση και ομογενοποίηση της μάζας λόγω της χαμηλής του κοκκομετρίας.
- Συμπεραίνεται ότι με την προσθήκη του απόβλητου Red Mud απαιτείται αύξηση της ποσότητας νερού για να επιτευχθεί η βέλτιστη πλαστικότητα του μίγματος. Αυτό συμβαίνει γιατί η ειδική επιφάνειά του Red Mud είναι μεγαλύτερη του πηλώδους χώματος.
- Ένα άλλο πλεονέκτημα όσο αφορά την ενέργεια με την προσθήκη αποβλήτων Red Mud, όσο μεγαλύτερο ποσοστό χρησιμοποιείται υπάρχει μείωση κατανάλωσης ενέργειας σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια κατά την όπτηση. Στους 950°C όπτησης με την προσθήκη 5% Red Mud η κατανάλωση μειώθηκε κατά 0,29kWh/kg σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια, ενώ με 10% Red Mud μειώθηκε κατά 0,80kWh/kg σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια. Στους 1050°C όπτησης με την προσθήκη 5% Red

Mud η κατανάλωση μειώθηκε κατά 0,31kWh/kg σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια, ενώ με 10% Red Mud μειώθηκε κατά 0,49kWh/kg.

- Η αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης από 950°C σε 1050°C επηρεάζει σε πολύ μικρό βαθμό την απώλεια βάρους. Η απώλεια βάρους αυξάνεται με την αύξηση του αποβλήτου Red Mud, στους 950°C όπτησης με την προσθήκη 5% και 10% Red Mud είναι 1,58% και 2,12% αντίστοιχα σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια. Στους 1050°C όπτησης με την προσθήκη 5% και 10% Red Mud η αύξηση είναι 1,72% και 2,11% αντίστοιχα σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια.
- Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης από 950 °C έως 1050°C συντελεί σε μεγαλύτερη συρρίκνωση των δοκιμίων. Επίσης υπάρχει και αύξηση της συρρίκνωσης των δοκιμίων με την αύξηση του αποβλήτου Red Mud, στους 950°C όπτησης με την προσθήκη 5% και 10% Red Mud (0,24% και 1,13% αντίστοιχα σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια). Στους 1050°C όπτησης με την προσθήκη 5% και 10% Red Mud η αύξηση της συρρίκνωσης είναι 0,29% και 0,39% αντίστοιχα σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια.
- Παρατηρείται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης από 950°C σε 1050°C αυξάνει τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, μειώνοντας έτσι τη θερμομονωτική συμπεριφορά των δοκιμίων. Ακόμα παρατηρείται ότι η ενσωμάτωση των αποβλήτων Red Mud σε ποσοστά 5% και 10% επίσης αυξάνει τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, μειώνοντας έτσι τη θερμομονωτική συμπεριφορά των δοκιμίων. Αυτό οφείλεται στην μείωση του πορώδους των δοκιμίων.
- Κατά τον έλεγχο της μηχανικής αντοχής των νέων κεραμικών δοκιμίων σε κάμψη 3 σημείων τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά και ικανοποιητικά. Στους 950°C όπτησης με την προσθήκη 5% και 10% Red Mud η αντοχή αυξήθηκε κατά 51,06% και 84,01% αντίστοιχα σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια. Ενώ στους 1050°C όπτησης με την προσθήκη 5% και 10% Red Mud η αντοχή αυξήθηκε κατά 21,47% και 36,13% αντίστοιχα σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια.
- Όπως προκύπτει από τις δοκιμές που έγιναν υπάρχει μείωση του πορώδους και του ανοικτού πορώδους με την αύξηση του ποσοστού των αποβλήτων Red Mud. Η τάση αυτή παρατηρείται και στις δύο θερμοκρασίες. Επίσης παρατηρείται ότι η

αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης από 950°C έως 1050°C μειώνει το πορώδες και το ανοικτό πορώδες.

- Η απορρόφηση του νερού (κρύο και ζεστό) από τα δοκίμια μειώνεται καθώς αυξάνεται η προστιθέμενη ποσότητα των αποβλήτων Red Mud. Αυτό οφείλεται στην μείωση του πορώδους των δοκιμίων όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Η τάση αυτή παρατηρείται και στις δύο θερμοκρασίες όπτησης.

Συνοψίζοντας πέραν των περιβαλλοντικών και οικονομικών οφελών, η δημιουργία κεραμικών με προσθήκη αποβλήτων Red Mud όπως φάνηκε από την εργασία είναι και προς όφελος τις ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Η προσθήκη σε μίγμα με 10% Red Mud έδωσε μικρότερη κατανάλωση ενέργειας κατά την όπτηση, μεγαλύτερες αντοχές σε κάμψη 3 σημείων, μείωση του πορώδους και της υδατοαπορροφητικότητας σε σχέση με την προσθήκη 5% Red Mud και πρότυπα δοκίμια. Θα πρότεινα να υπάρξει συνέχεια της έρευνας με μεγαλύτερα ποσοστά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Αναμουρλή Μαρία, 2014, 'Προηγμένα Κεραμικά υλικά – Τεχνολογικές εφαρμογές', Ηράκλειο

Γεωγιάδου Ζ. 2005 'Δομικά και διακοσμητικά υλικά', Εκδόσεις Ίων, Αθήνα

Τριανταφύλλου Χ. Αθανάσιος 2005 'Δομικά υλικά', Πάτρα

Ποντίκης Ι., (2007): "Αξιοποίηση της ερυθράς ιλύος στη βιομηχανία παραδοσιακών κεραμικών." Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πάτρα.

Φραγκίσκος Μ., (2004): "Παραγωγή στερεού αποθέσιμου συσσωματώματος από πολφό ερυθράς ιλύος με χρήση μεθόδων ηλεκτροαφυδάτωσης." Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Ξενόγλωσση

Anghel, N., Nitulescu, I. and Nicoara, T., Masonry ceramic facings from common clay and red mud. *Materiale de Constructii*, 1987

Brown, T. and Beretka, J., Red mud as a raw material for the heavy clay industry. *Ceramurgia*, 1984

Buraev, M. I. and Kushnir, L. I., Facing tiles obtained from hydromica clays and red mud *Kompleksn. Ispol'z. Miner. Syr'ya*, 1986

Cakici, A. I., Yanik, J., Ucar, S., Karayildirim, T. and Anil, H., Utilization of red mud as catalyst in conversion of waste oil and waste plastics to fuel. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2004

Chabanova, S. N., Kurotchin, I. P. and Pasichnyk, P. I., Effect of iron-containing mineral additives on the sinterability of ceramic material. *Vestnik L'novskogo*

Politekhnikeskogo Instituta, 1983

di San Filippo, P. A. and Usai, G., The recycling of red mud from the Bayer Process, Part 1. Production of masonry bricks at a firing temperature of 950°C. Ziegelindustrie International, 1988a

di San Filippo, P. A. and Usai, G., The recycling of red mud from the Bayer Process, Part 2. Production of vitrified clayware at a firing temperature of over 1000°C. Ziegelindustrie International, 1988b

di San Filippo, P. A. Manufatti ceramic leggeri a base di fango rosso del processo Bayer e composizioni delle miscele relative. IT1212939, 1989

Gebruder Guilini Gmbh, a. Brick Production. GB 1373441, 1974a.

Gebruder Guilini Gmbh, a. Method for producing bricks from red mud. US 3886244, 1975a.

Gebruder Guilini Gmbh, b. Brick Production. GB 1354807, 1974b.

Gebruder Guilini Gmbh, b. Method for producing bricks from red mud. US 3886245, 1975b.

Haase, F., Application of industrial wastes in stoneware industry. Silikattechnik, 1965

Hausberg, J., Happel, U., Meyer, F. M., Mistry, M., Rohrlich, M., Koch, H., Martens, P. N., Schlimbach, J., Rombach, G. and Kruger, J., Global red mud reduction potential through optimised technologies and ore selection. Mineral Resources Engineering, 2000

Lottermoser G. Bernd 2010 'Mine Wastes', Australia

Klotz, J. M. Ceramic product and method of making same. US 3879211, 1975

Knight, J. C., Wagh, A. S. and Reid, W. A., The mechanical properties of ceramics from bauxite waste. J. Mater. Sci., 1986

Krgovic, M. M., Blagojevic, N. Z., Jacimovic, Z. K. and Zejak, R., Possibilities of using red mud as raw materials mixture component for production of bricks. Research Journal

of Chemistry and Environment, 2004

Moya, J. S., Morales, F. and Garcia, V. A., Ceramic use of red mud from alumina plants. Bol. Soc. Esp. Ceram. V., 1987

Mymrin, V., de Araujo Ponte, H., Ferreira, L. O. and Vazquez, V. A., Environment-friendly method of high alkaline bauxite's Red Mud and ferrous slag utilization as an example of green chemistry. Green Chem., 2003

Paredes, J. R., Ordonez, S., Vega, A. and Diez, F. V., Catalytic combustion of methane over red mud-based catalysts. Applied Catalysis, B: Environmental, 2004

Perez, R. G. A., Guitian, R. F. and De Aza Pendas, S., Industrial obtaining of ceramic materials from the Bayer proces red mud's. Bol. Soc. Esp. Ceram. V., 1999

Pirkanniemi, K. and Sillanpaa, M., Heterogeneous water phase catalysis as an environmental application: a review. Chemosphere, 2002

Plunkert, P., A., Bauxite and Alumina. Minerals Information, U.S. Geological Survey, 1996.

Plunkert, P., A., Bauxite and Alumina. Minerals Commodity Summaries, U.S. Geological Survey, 2007.

Puskas, F. Process for the utilization in the ceramics industry of red mud in from alumina plants. US 4368273, 1983

Prasad, P. M., Kachhawaha, J. S., Gupta, R. C., Mankhand, T. R. and Sharma, J. M. Studies on utilization of red mud. In Proceedings of the Proceedings of International Conference on Progress in Metallurgical Research: Fundametnal and Applied Aspects, 1986

Sglavo, V. M., Maurina, S., Conci, A., Salviati, A., Carturan, G. and Cocco, G., Bauxite "red mud" in the ceramic industry. Part 2: production of clay-based ceramics. J. Eur. Ceram. Soc., 2000

Shiyanovskaya, R. A., Possibility for using the residues of bauxite concentration for

ceramic tile production. *Steklo Keram.*, 1977

Stivanakis, V., Pontikes, I., Angelopoulos, G. N., Boufounos, D. and Fafoutis, D., On the utilization of red mud in the heavy clay industry in Greece. *Advances in Science and Technology*, 2003

Tanaka, H., Yamada, K., Sasaki, M. and Suzuki, I. Ceramic product from red mud. JP 78-14639, 1979

Tauber, T., Hill, R. K., Crook, D. N. and Murray, M. J., Red mud residues from alumina production as a raw material for heavy clay products. *J. Aust. Ceram. Soc.*, 1971

Tsakiridis, P. E., Agatzini-Leonardou, S. and Oustadakis, P., Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker. *J. Hazard. Mater.*, 2004

Yamamoto, K. and Kojima, K., Utilization of waste materials for ceramics. *Aichi-ken Tokoname Yogyo Gijutsu Senta Hokoku*, 1979

Yang, Y.-D., Sommerville, I. D., McLean, A., Bi, X. and Hou, J. The use of waste materials from aluminum production as refining fluxes for hot metal and liquid steel. In *Proceedings of the 5th International Symposium on Waste Processing and Recycling in Mineral and Metallurgical Industries*, 2004

Youssef, N. F., Shater, M. O., Abadir, M. F. and Ibrahim, O. A., Utilization of red mud in the manufacture of ceramic tiles. *Key Eng. Mater.*, 2002

Ηλεκτρονική

Europarl.europa.eu, 02/12/2015, 'Κυκλική οικονομία: χρησιμοποίησε το ξανά!' <http://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/economy/20151201STO05603/kuklike-oikonomia-khresimopoiесе-to-xana>

smartcities.ellak.gr, 13/8/2018, ‘Κυκλική Οικονομία και Δήμοι: Μία επίκαιρη, ενδιαφέρουσα και δύσκολη λύση

<https://smartcities.ellak.gr/2018/08/13/kikliki-ikonomia-ke-dimi-mia-epikeri-endiaferousa-ke-diskoli-lisi/>

ec.europa.eu., ‘Προς μια κυκλική οικονομία’

https://ec.europa.eu/commission/priorities/jobs-growth-and-investment/towards-circular-economy_el

ec.europa.eu , 22/05/2018, ‘Κυκλική οικονομία: Οι νέοι ενωσιακοί κανόνες’

https://ec.europa.eu/greece/news/20180522/eu_circular_economy_waste_recycling_el
http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3846_el.htm

Αναστασοπούλου Μ., Βασιλείου Β. και Καραλής Κ., 2012, ‘Ανακύκλωση οικοδομικών απορριμμάτων’, Πάτρα

http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teepatra/profil/oe/TAB5329975/OE-2012-TEE-ANAKYKLWSH_AEKK.pdf

Οδηγία 2008/98/EK

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/el/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0098>

Νόμος 4042/2012 – ΦΕΚ 24/Α/13-2-2012

<https://www.e-nomothesia.gr/kat-periballon/apobleta/n-4042-2012.html>

Κανονισμός (ΕΚ) 1272/2008

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2008.353.01.0001.01.ELL

Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 1357/2014

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2014.365.01.0089.01.ELL

Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 305/2011

<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:EL:PDF>

<http://www.mytilneos.gr>

<http://www.alcan.com>

www.redmud.org

www.aluminium.org

<https://www.wikipedia.org/>

www.refil.gr

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα 1^ο

Σύσταση: Πηλώδες χόμα 100% (με όπτηση στους 950°C)

Πίνακας Παρ.1.1: Πίνακας διαστάσεων και βάρους δοκιμίων πριν και μετά την όπτηση

Α/Α	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΟΓΚΟΥ (%)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ (%)
	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)		
1	22,98	46,94	74,77	148,48	22,69	46,86	74,72	137,70	1,50	7,26
2	23,36	47,06	73,51	146,05	23,01	46,82	73,03	135,39	2,64	7,30
3	23,04	47,14	73,20	145,78	22,87	46,93	72,64	135,16	1,94	7,28
4	23,43	46,91	75,06	148,21	23,23	46,75	74,91	137,43	1,39	7,27
5	23,36	47,06	74,67	147,80	23,18	46,71	74,56	137,06	1,65	7,27
6	23,17	48,00	75,50	151,35	23,16	47,19	75,37	140,40	1,90	7,23
7	22,97	46,89	73,21	145,97	22,82	46,86	72,92	135,33	1,11	7,29
8	23,05	46,81	75,03	147,24	22,86	46,72	74,97	136,53	1,09	7,27
9	22,86	46,90	73,99	144,43	22,80	46,70	73,75	133,96	1,01	7,25
10	23,26	47,32	76,15	150,09	23,24	47,00	75,88	139,16	1,11	7,28
11	23,28	47,12	75,29	151,08	23,13	47,09	75,12	140,14	0,93	7,24
12	23,20	47,24	73,99	144,92	23,00	46,82	73,67	134,39	2,17	7,27
13	23,11	47,48	73,16	147,11	23,08	47,18	73,08	136,38	0,87	7,29
14	23,04	47,25	73,88	147,07	22,94	47,12	73,88	136,40	0,71	7,26
15	22,93	47,00	75,63	147,97	22,93	46,73	75,40	137,20	0,88	7,28
16	23,09	47,12	74,65	146,04	22,83	46,83	74,62	138,17	1,77	5,39
17	22,92	47,10	75,64	149,05	22,91	46,85	73,94	135,43	2,81	9,14
18				54,62				50,58		7,40
19				55,39				51,31		7,37
20				56,10				51,98		7,34
M.O.	23,12	47,14	74,55	133,74	22,98	46,89	74,26	124,01	1,50	7,28

Πίνακας Παρ.1.2: Κάμψη 3 σημείων

Α/Α Δοκιμίου	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN)	MOR
1	46,94	22,98	2,20	4,79
2	47,06	23,36	2,32	4,88
5	47,06	23,36	2,88	6,06
7	46,89	22,97	2,15	4,69
8	46,81	23,05	2,68	5,82
9	46,90	22,86	2,22	4,89
M.O				5,19

Πίνακας Παρ.1.3: Αποτελέσματα μετρήσεων Αγωγιμότητας.

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΠΑΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (mm)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (°C)	k (W/mk)	M.O. k (W/mk)
18	22,72	25,78	0,415	0,438
19	23,16	25,87	0,446	
20	23,41	25,98	0,454	

Πίνακας Παρ.1.4: Αποτελέσματα μετρήσεων Υδατοαπορροφητικότητας

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	Βάρος Ξηρού Δοκιμίου (gr)	Βάρος Υγρού Δοκιμίου (24h gr)	WA % (COLD)	Βάρος Υγρού Δοκιμίου (5h gr)	WA % (BOILING)
10	139,16	161,19	15,83	161,80	16,27
11	140,14	162,34	15,84	162,83	16,19
12	134,39	155,61	15,79	156,14	16,18
13	136,38	158,05	15,89	158,37	16,12
14	136,40	157,56	15,51	158,20	15,98
ΣΥΝΟΛΟ	686,47	794,75	15,77	797,34	16,15

Παράρτημα 2^ο

Σύσταση: Πηλώδες χρώμα 100% (με όπτηση στους 1050°C)

Πίνακας Παρ.2.1: Πίνακας διαστάσεων και βάρους δοκιμίων πριν και μετά την όπτηση

Α/Α	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΟΓΚΟΥ (%)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ (%)
	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)		
1	23,05	46,96	73,58	144,37	22,77	46,70	73,00	133,76	2,54	7,35
2	22,93	47,24	75,98	148,15	22,74	46,44	75,72	137,25	2,84	7,36
3	23,19	47,22	72,86	147,13	22,94	46,82	72,74	136,33	2,08	7,34
4	23,42	47,30	74,29	146,94	23,11	46,75	73,21	136,17	3,89	7,33
5	23,13	47,13	72,90	145,83	22,94	46,50	72,15	135,08	3,15	7,37
6	23,31	47,43	75,35	150,88	23,08	46,89	74,88	139,80	2,72	7,34
7	23,85	47,45	75,70	150,99	23,37	46,98	74,83	139,93	4,10	7,32
8	23,07	47,28	75,36	148,75	22,90	46,61	74,68	137,84	3,03	7,33
9	23,76	47,07	73,61	144,50	23,22	46,65	72,82	133,94	4,18	7,31
10	23,07	47,09	74,56	143,11	22,78	46,52	74,06	132,61	3,11	7,34
11	23,42	47,21	75,92	151,08	23,24	46,95	75,67	139,96	1,64	7,36
12	23,06	47,08	74,25	146,03	22,74	46,62	73,08	135,35	3,89	7,31
13	23,21	46,84	76,41	147,72	22,76	46,46	75,59	136,90	3,78	7,32
14	23,24	46,88	76,20	150,21	22,70	46,41	75,53	139,19	4,15	7,34
15	22,91	46,86	74,02	143,74	22,74	46,30	73,67	133,15	2,39	7,37
16	23,30	47,40	75,39	149,45	22,97	46,60	75,10	138,47	3,45	7,35
17	23,31	47,74	76,29	149,74	23,07	46,68	75,93	138,69	3,68	7,38
18				53,10				49,16		7,42
19				55,56				51,41		7,47
20				53,25				49,31		7,40
M.O.	23,25	47,19	74,86	133,53	22,95	46,64	74,27	123,72	3,21	7,36

Πίνακας Παρ.2.2: Κάμψη 3 σημείων

Α/Α Δοκιμίου	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN)	MOR
1	46,96	23,05	3,11	6,73
2	47,24	22,93	3,94	8,57
3	47,22	23,19	3,94	8,38
6	47,43	23,31	3,17	6,64
7	47,45	23,85	3,73	7,46
8	47,28	23,07	3,37	7,23
M.O				7,50

Πίνακας Παρ.2.3: Αποτελέσματα μετρήσεων Αγωγιμότητας.

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΠΑΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (mm)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (°C)	k (W/mk)	M.O. k (W/mk)
18	22,75	25,81	0,448	0,483
19	22,79	25,94	0,480	
20	22,51	26,09	0,522	

Πίνακας Παρ.2.4: Αποτελέσματα μετρήσεων Υδατοαπορροφητικότητας

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	Βάρος Ξηρού Δοκιμίου (gr)	Βάρος Υγρού Δοκιμίου (24h gr)	WA % (COLD)	Βάρος Υγρού Δοκιμίου (5h gr)	WA % (BOILING)
10	132,61	150,87	13,77	153,61	15,84
11	139,96	159,16	13,72	161,94	15,70
12	135,35	153,74	13,59	156,95	15,96
13	136,90	155,35	13,48	158,66	15,89
14	139,19	157,48	13,14	159,06	14,28
ΣΥΝΟΛΟ	684,01	776,60	13,54	790,22	15,53

Παράρτημα 3^ο

Σύσταση: Red Mud 5% (με όπτηση στους 950°C)

Πίνακας Παρ.3.1: Πίνακας διαστάσεων και βάρους δοκιμίων πριν και μετά την όπτηση

Α/Α	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΟΓΚΟΥ (%)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ (%)
	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)		
1	23,26	47,14	73,49	149,90	23,16	46,90	73,13	136,53	1,42	8,92
2	23,51	47,49	74,27	151,19	23,18	47,04	73,78	137,86	2,98	8,82
3	23,23	47,18	73,40	151,51	23,05	46,95	73,36	138,17	1,31	8,80
4	23,21	47,21	73,17	150,78	23,10	46,95	73,13	137,52	1,08	8,79
5	23,31	47,28	74,20	151,54	23,11	47,04	73,68	138,20	2,05	8,80
6	23,42	47,45	74,40	150,66	23,17	47,03	74,05	137,36	2,40	8,83
7	23,47	47,52	74,08	150,83	23,12	47,31	73,72	137,52	2,40	8,82
8	23,28	47,26	73,15	150,41	23,16	47,09	72,81	137,10	1,33	8,85
9	23,35	47,43	72,64	148,62	23,16	47,02	72,37	135,35	2,04	8,93
10	23,19	47,35	72,66	148,95	23,12	47,27	72,45	135,76	0,76	8,86
11	23,16	47,20	72,98	150,68	22,99	47,02	72,51	137,36	1,75	8,84
12	23,31	47,64	73,21	150,91	23,09	47,14	72,61	137,66	2,79	8,78
13	23,20	47,33	74,94	150,52	23,06	47,10	74,17	137,32	2,10	8,77
14	23,29	47,33	73,70	150,11	23,10	47,24	73,54	136,92	1,22	8,79
15	23,43	47,38	73,38	150,85	23,35	47,14	72,88	137,64	1,52	8,76
16	23,18	47,21	73,49	150,48	23,10	47,07	73,27	137,27	0,94	8,78
17	23,22	47,26	73,69	150,98	23,19	47,00	73,11	137,71	1,46	8,79
18				56,65				51,50		9,09
19				55,01				49,98		9,14
20				55,18				50,14		9,13
M.O.	23,30	47,33	73,58	136,29	23,13	47,08	73,21	124,24	1,74	8,86

Πίνακας Παρ.3.2: Κάμψη 3 σημείων

A/A Δοκιμίου	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN)	MOR
2	47,49	23,51	4,03	8,29
3	47,18	23,23	3,48	7,38
4	47,21	23,21	3,90	8,28
7	47,52	23,47	3,51	7,24
8	47,26	23,28	3,86	8,14
9	47,43	23,35	3,70	7,73
M.O				7,84

Πίνακας Παρ.3.3: Αποτελέσματα μετρήσεων Αγωγιμότητας.

A/A ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΠΑΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (mm)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (°C)	k (W/mk)	M.O. k (W/mk)
18	23,18	25,92	0,464	0,462
19	22,76	25,98	0,473	
20	22,86	25,95	0,450	

Πίνακας Παρ.3.4: Αποτελέσματα μετρήσεων Υδατοαπορροφητικότητας

A/A ΔΟΚΙΜΙΟΥ	Βάρος Ξηρού Δοκιμίου (gr)	Βάρος Υγρού Δοκιμίου (24h gr)	WA % (COLD)	Βάρος Υγρού Δοκιμίου (5h gr)	WA % (BOILING)
10	135,76	155,20	14,32	157,18	15,78
11	137,36	156,26	13,76	158,83	15,63
12	137,66	157,45	14,38	158,93	15,45
13	137,32	156,39	13,89	158,94	15,74
14	136,92	156,19	14,07	158,54	15,79
ΣΥΝΟΛΟ	685,02	781,49	14,08	792,42	15,68

Παράρτημα 4^ο

Σύσταση: Red Mud 5% (με όπτηση στους 1050°C)

Πίνακας Παρ.4.1: Πίνακας διαστάσεων και βάρους δοκιμίων πριν και μετά την όπτηση

Α/Α	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΟΓΚΟΥ (%)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ (%)
	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)		
1	23,34	47,25	73,51	150,21	22,88	46,86	73,18	136,87	3,22	8,88
2	23,32	47,57	74,05	150,93	23,00	47,03	73,74	137,44	2,90	8,94
3	23,35	47,67	74,28	150,75	22,90	47,06	73,46	137,42	4,25	8,84
4	23,28	47,53	73,66	150,19	22,92	47,11	73,37	136,67	2,80	9,00
5	23,39	47,37	73,66	151,40	23,11	46,92	73,28	137,76	2,64	9,01
6	23,39	47,31	74,07	152,04	23,06	46,84	73,24	138,51	3,48	8,90
7	23,36	47,98	74,12	151,39	23,03	46,90	73,29	137,97	4,72	8,86
8	24,43	47,39	73,50	151,26	24,04	46,80	72,90	137,72	3,61	8,95
9	23,25	47,68	73,50	152,19	22,90	46,92	73,30	138,70	3,34	8,86
10	23,48	47,40	73,09	149,21	23,14	46,83	72,29	135,79	3,70	8,99
11	23,17	47,43	73,32	150,72	22,83	46,78	73,04	137,18	3,19	8,98
12	23,73	47,43	73,38	148,13	23,44	46,87	72,77	134,59	3,20	9,14
13	23,29	47,23	73,17	150,06	22,84	46,73	72,62	136,79	3,70	10,31
14	23,49	47,91	74,05	150,90	23,03	47,00	73,32	137,39	4,77	9,35
15	23,23	47,50	73,02	150,02	22,93	46,65	72,66	136,57	3,54	8,42
16	23,23	47,42	73,65	152,23	22,91	46,84	73,12	138,73	3,28	10,29
17	23,37	47,35	73,70	150,82	22,98	46,87	73,28	137,36	3,22	8,02
18				54,1				49,12		9,21
19				57,07				51,82		9,20
20				56,11				50,84		9,39
M.O.	23,42	47,50	73,63	136,49	23,06	46,88	73,11	124,26	3,50	9,08

Πίνακας Παρ.4.2: Κάμψη 3 σημείων

Α/Α Δοκιμίου	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN)	MOR
3	47,67	23,35	4,57	9,49
4	47,53	23,28	4,30	9,01
5	47,37	23,39	4,23	8,81
6	47,31	23,39	4,55	9,49
7	47,98	23,36	4,55	9,38
8	47,39	24,43	4,42	8,44
M.O				9,11

Πίνακας Παρ.4.3: Αποτελέσματα μετρήσεων Αγωγιμότητας.

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΠΑΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (mm)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (°C)	k (W/mk)	M.O. k (W/mk)
18	22,68	26,15	0,524	0,505
19	22,81	26,12	0,501	
20	22,63	26,07	0,491	

Πίνακας Παρ.4.4: Αποτελέσματα μετρήσεων Υδατοαπορροφητικότητας

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	Βάρος Ξηρού Δοκιμίου (gr)	Βάρος Υγρού Δοκιμίου (24h gr)	WA % (COLD)	Βάρος Υγρού Δοκιμίου (5h gr)	WA % (BOILING)
10	135,79	153,05	12,71	156,86	15,52
11	137,18	154,80	12,84	157,71	14,97
12	134,59	152,01	12,94	155,16	15,28
13	136,79	153,62	12,30	157,96	15,48
14	137,39	155,52	13,20	158,97	15,71
ΣΥΝΟΛΟ	681,74	769,00	12,80	786,66	15,39

Παράρτημα 5°

Σύσταση: Red Mud 10% (με όπτηση στους 950°C)

Πίνακας Παρ.5.1: Πίνακας διαστάσεων και βάρους δοκιμίων πριν και μετά την όπτηση

Α/Α	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΟΓΚΟΥ (%)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ (%)
	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)		
1	23,32	47,59	72,94	151,43	23,07	46,97	72,83	137,22	2,51	9,38
2	23,69	47,25	73,36	152,46	23,41	46,98	72,93	138,19	2,32	9,36
3	23,59	47,11	73,21	152,71	23,20	46,91	73,08	138,37	2,24	9,39
4	23,41	47,11	74,31	151,96	23,02	46,88	73,55	137,68	3,15	9,40
5	23,48	47,35	74,36	152,52	23,17	46,98	73,73	138,21	2,92	9,38
6	23,60	47,43	72,92	150,61	23,25	46,86	72,68	136,49	2,99	9,38
7	23,69	47,37	73,73	153,80	23,25	46,93	73,48	139,37	3,10	9,38
8	23,49	47,19	73,56	151,97	23,21	46,99	72,98	137,71	2,39	9,38
9	23,34	47,59	74,36	152,77	23,04	47,01	73,78	138,47	3,25	9,36
10	23,37	47,26	73,60	151,41	23,14	46,95	73,32	137,25	2,01	9,35
11	23,39	47,25	73,02	150,87	23,31	46,72	72,95	136,74	1,55	9,37
12	23,35	47,41	73,47	151,86	23,13	46,93	73,05	137,58	2,51	9,40
13	23,48	47,06	74,21	151,53	23,08	47,04	73,61	137,33	2,54	9,37
14	23,36	47,18	73,73	152,40	23,21	46,81	73,14	138,08	2,21	9,40
15	23,59	47,15	74,03	152,81	23,35	46,86	73,62	138,49	2,17	9,37
16	23,83	47,30	73,65	152,87	23,23	46,88	72,95	138,52	4,30	9,39
17	23,48	47,74	73,26	152,96	23,17	47,37	72,93	138,62	2,53	9,38
18				57,78				52,29		9,50
19				58,54				52,97		9,51
20				57,18				51,74		9,51
M.O.	23,50	47,31	73,63	138,02	23,19	46,95	73,21	125,07	2,63	9,40

Πίνακας Παρ.5.2: Κάμψη 3 σημείων

Α/Α Δοκιμίου	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN)	MOR
1	47,59	23,32	4,54	9,47
2	47,25	23,69	4,40	8,96
3	47,11	23,59	4,84	9,97
4	47,11	23,41	4,50	9,41
5	47,35	23,48	4,91	10,16
8	47,19	23,49	4,51	9,35
M.O				9,55

Πίνακας Παρ.5.3: Αποτελέσματα μετρήσεων Αγωγιμότητας.

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΠΑΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (mm)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (°C)	k (W/mk)	M.O. k (W/mk)
18	23,03	25,91	0,484	0,486
19	23,16	25,98	0,472	
20	23,10	25,98	0,502	

Πίνακας Παρ.5.4: Αποτελέσματα μετρήσεων Υδατοαπορροφητικότητας

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	Βάρος Ξηρού Δοκιμίου (gr)	Βάρος Υγρού Δοκιμίου (24h gr)	WA % (COLD)	Βάρος Υγρού Δοκιμίου (5h gr)	WA % (BOILING)
10	137,25	157,34	14,64	158,49	15,48
11	136,74	155,21	13,51	157,30	15,04
12	137,58	156,28	13,59	158,77	15,40
13	137,33	156,10	13,67	158,64	15,52
14	138,08	156,67	13,46	159,21	15,30
ΣΥΝΟΛΟ	686,98	781,60	13,77	792,41	15,35

Παράρτημα 6°

Σύσταση: Red Mud 10% (με όπτηση στους 1050°C)

Πίνακας Παρ.6.1: Πίνακας διαστάσεων και βάρους δοκιμίων πριν και μετά την όπτηση

Α/Α	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΟΓΚΟΥ (%)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ (%)
	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)		
1	23,36	47,15	74,15	153,16	23,15	46,75	73,36	138,68	2,79	9,45
2	23,32	47,10	72,86	151,71	23,20	46,61	72,49	137,35	2,05	9,47
3	23,55	47,10	73,40	151,07	22,94	46,59	72,66	136,77	4,62	9,47
4	23,58	47,08	73,78	151,45	23,06	46,54	73,10	137,09	4,22	9,48
5	23,31	47,35	73,87	153,60	22,90	46,77	72,99	139,04	4,12	9,48
6	23,52	47,25	73,87	152,65	23,25	46,75	73,21	138,25	3,07	9,43
7	23,56	47,05	72,87	150,92	23,16	46,55	72,45	136,66	3,30	9,45
8	23,38	47,47	73,25	154,13	23,06	46,89	73,11	139,48	2,76	9,50
9	23,45	47,49	72,97	151,79	23,07	46,58	72,45	137,44	4,19	9,45
10	23,33	47,12	73,46	151,41	23,01	46,60	72,65	137,13	3,54	9,43
11	23,48	47,48	72,94	151,91	23,11	46,55	72,86	137,49	3,61	9,49
12	23,42	47,00	73,92	152,69	22,98	46,56	73,07	138,26	3,92	9,45
13	23,49	47,18	73,71	153,07	23,20	46,60	73,11	138,61	3,24	9,45
14	23,62	47,90	73,79	153,30	23,33	46,74	72,77	138,77	4,95	9,48
15	23,46	47,30	73,11	152,57	22,97	46,64	72,46	138,14	4,31	9,46
16	23,35	47,53	73,67	151,44	22,97	46,64	73,51	137,12	3,68	9,46
17	23,19	47,49	73,41	152,09	22,93	46,66	73,32	137,76	2,97	9,42
18				55,35				50,07		9,54
19				57,06				51,59		9,59
20				57,67				52,17		9,54
M.O.	23,43	47,30	73,47	137,95	23,08	46,65	72,92	124,89	3,61	9,47

Πίνακας Παρ.6.2: Κάμψη 3 σημείων

Α/Α Δοκιμίου	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN)	MOR
1	47,15	23,36	4,98	10,45
2	47,10	23,32	4,54	9,57
3	47,10	23,55	5,21	10,77
6	47,25	23,52	4,44	9,17
7	47,05	23,56	5,05	10,44
8	47,47	23,38	5,22	10,86
M.O				10,21

Πίνακας Παρ.6.3: Αποτελέσματα μετρήσεων Αγωγιμότητας.

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΠΑΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (mm)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (°C)	k (W/mk)	M.O. k (W/mk)
18	22,75	26,18	0,527	0,529
19	23,08	26,18	0,533	
20	22,97	26,20	0,528	

Πίνακας Παρ.6.4: Αποτελέσματα μετρήσεων Υδατοαπορροφητικότητας

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	Βάρος Ξηρού Δοκιμίου (gr)	Βάρος Υγρού Δοκιμίου (24h gr)	WA % (COLD)	Βάρος Υγρού Δοκιμίου (5h gr)	WA % (BOILING)
10	137,13	153,77	12,13	157,89	15,14
11	137,49	153,54	11,67	157,80	14,77
12	138,26	154,82	11,98	159,06	15,04
13	138,61	154,77	11,66	159,07	14,76
14	138,77	154,79	11,54	158,90	14,51
ΣΥΝΟΛΟ	690,26	771,69	11,80	792,72	14,84