ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διερεύνηση δυνατοτήτων παρασκευής κεραμικών μαζών από ιπτάμενη τέφρα του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ για την παραγωγή φίλτρων.

ΜΑΡΑΚΗΣ Θ. ΙΩΑΝΝΗΣ

<u>Εξεταστική Επιτροπή</u> Κωστάκης Γεώργιος, Ομότιμος Καθηγητής (επιβλέπων) Σταμπολιάδης Ηλίας, Καθηγητής Αλεβίζος Γεώργιος, Επίκουρος Καθηγητής

> Χανιά, Σεπτέμβρης , 2012

Αφιερώνεται στους γονείς μου ...

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό να συμβάλει στην διερεύνηση δυνατοτήτων εργαστηριακής παρασκευής πορωδών κεραμικών μαζών από ιπτάμενη τέφρα (Ι.Τ.) του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ σαν κύρια πρώτη ύλη, σε συνδυασμό με άργιλο της περιοχής που βρίσκεται ανατολικά του χωριού Σπηλιά, πυρήνα ελαιοκάρπου, σιμιγδάλι, σκωρία της ΛΑΡΚΟ Α.Ε. ή κυτταρίνη.

Σε ένα προκαταρκτικό στάδιο πραγματοποιήθηκαν κοκκομετρικός διαχωρισμός της ιπτάμενης τέφρας, της πυρήνας, της αργίλου και της σκωρίας καθώς και ποιοτικές ορυκτολογικές αναλύσεις με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ και χημικές αναλόσεις με τη μέθοδο φασματοσκοπίας ακτίνων-Χ φθορισμού. Στη συνέχεια παρασκευάστηκαν μείγματα μετά από ανάμειζη της Ι.Τ. με την άργιλο και τις άλλες αναφερθείσες πρώτες ύλες σε διάφορες αναλογίες με το ποσοστό της Ι.Τ. να υπερισχύει πάντα. Από τα μείγματα αυτά δημιουργήθηκαν, με προσθήκη ή όχι πλαστικοποιητών, πλαστικές μάζες από τις οποίες μορφοποιήθηκαν δοκίμια. Τα δοκίμια αυτά ψήθηκαν στους 850°, 950°, 1000°, 1050°, 1080° 1100° και 1150° C. Στα κεραμικά δοκίμια που προέκυψαν, προσδιορίστηκαν: η μεταβολή του αρχικού τους όγκου μετά την έψηση, η αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό, η υδατοαπορροφητικότητα, το πορώδες και η πυκνότητα. Στα κεραμικά δοκίμια που παρουσίασαν τις ικανοποιητικότερες τιμές στις παραπάνω ιδιότητες προσδιορίστηκαν ακόμη το μέγεθος των πόρων με ποροσιμετρία υδραργύρου, καθώς και η τελική ορυκτολογική τους σύσταση.

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω εργασιών καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως από το συνδυασμό της Ι.Τ. με την άργιλο και την πυρήνα ελαιοκάρπου είναι εφικτή η παρασκευή πορωδών κεραμικών μαζών.

προλογος

Για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Ομότιμο Καθηγητή κ. Γεώργιο Κωστάκη για την επιλογή του θέματος, το ενδιαφέρον του κατά την εκτέλεση του πειραματικού μέρους και για την καθοδήγηση του κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Ηλία Σταμπολιάδη και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Αλεβίζο για την καλή τους διάθεση να αφιερώσουν μέρος από τον χρόνο τους για τον εντοπισμό τυχόν διορθώσεων καθώς και την γενικότερη αζιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους επιστημονικούς συνεργάτες Δρ. Άννα Κρητικάκη και κ. Αντώνη Στρατάκη για την συνδρομή τους στην διεξαγωγή πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στα Εργαστήρια Κεραμικών και Υάλου και Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Όλγα Παντελάκη και τον κ. Στέλιο Μαυριγιαννάκη για την βοήθεια τους σε εργαστηριακούς ελέγχους και δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων και στο Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Στράτο Θωμαΐδη για την συνδρομή του σε ζητήματα όπως η προετοιμασία δειγμάτων αλλά και η σωστή χρήση εργαστηριακών οργάνων.

Τέλος οφείλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου για τη συνεχή και αμέριστη ηθική συμπαράσταση κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Πρώτες ύλες	1
1.2 Ιπτάμενη Τέφρα	1
1.2.1 Ορισμός-τρόπος παραγωγής	1
1.2.2. Κατηγορίες ιπτάμενης τέφρας	3
1.2.3 Χαρακτηριστικές ιδιότητες ιπτάμενης τέφρας	3
1.2.4 Ιδιότητες σε σχέση με την θερμοκρασία έψησης	4
1.2.5 Εφαρμογές ιπτάμενης τέφρας	5
1.3 Άργιλος	6
1.3.1 Γενικά	6
1.3.2 Ορυκτολογική σύσταση των αργίλων	7
1.3.3 Ταξινόμηση των αργίλων	7
1.3.4 Τεχνολογικές ιδιότητες των αργίλων	8
1.3.4.1 Συμπεριφορά κατά την ξήρανση	9
1.3.4.2 Πλαστικότητα και αντοχή εν ξηρώ	9
1.3.4.3 Συμπεριφορά κατά την έψηση	10
1.3.4.4 Άργιλος πειράματος Μ3	11
1.4 Πυρήνα ελαιοκάρπου	11
1.5 Σιμιγδάλι	12
1.6 Σκωρία	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΚΕΡΑΜΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ	13
2.1 Γενικά για τα κεραμικά υλικά	13
2.2 Κατάταξη κεραμικών υλικών	13
2.3 Πορώδη υλικά	15
2.3.1 Πορώδη κεραμικά	17
2.3.1.1 Κεραμικοί αφροί	18
2.3.1.2 Φίλτρα για διαχωρισμό σωματιδίων	19
2.3.1.3 Κεραμικές μεμβράνες	19
2.4 Μηχανισμός λειτουργίας των φίλτρων	21
2.5 Διάφορες δομές κεραμικών φίλτρων	24
2.5.1 Φίλτρα θερμών αεριών	24

2.5.1.1 Παγίδες αιθάλης	24
2.5.1.2 Cross-flow filters	25
2.5.1.3 Candle filters	26
2.5.1.4 Φίλτρα «βαθμωτού πορώδους»	26
2.5.2 Φίλτρα υγρών	27
2.6 Διαδικασία παραγωγής κεραμικών μαζών	27
2.6.1 Ανάμειξη	28
2.6.2 Μορφοποίηση	28
2.6.2.1 Χύτευση εν αιωρήση	28
2.6.2.2 Εξώθηση	29
2.6.2.3 Μορφοποίηση με συμπίεση	29
2.6.3 Ξήρανση	29
2.6.4 Έψηση	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘ/ΛΟΓΙΑ ΕΡΓ/ΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	32
3.1. Κοκκομετρικός Διαχωρισμός	32
3.1.1 Ξηρή Κοσκίνηση	32
3.1.2 Μέθοδος Atterberg	33
3.1.3 Κοκκομετρικές αναλύσεις με κοκκομετρικό αναλυτή Laser	34
3.2 Ορυκτολογικές αναλύσεις	36
3.3 Χημικές αναλύσεις	39
3.4 Προσδιορισμός θείου	42
3.5 Προσδιορισμός πυκνότητας Ι.Τ. και αργίλου με πυκνόμετρο	41
3.6 Συμπίεση κόνεως στα τελικά δοκίμια	42
3.7 Έψηση	43
3.8 Προσδιορισμός της αντοχής σε έμμεσο εφελκυσμό	44
3.9 Υδατοαπορροφητικότητα	46
3.10 Πορώδες-πυκνότητα δοκιμίων	47
3.10.1 Μέθοδος DIN EN 993-1	47
3.10.2 Ποροσιμετρία υδραργύρου	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	50
4.1 ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ	50
4.1.1 Κοκκομετρικός διαχωρισμός	50
Α) Ι.Τ. του ΑΙΠΤΟΑ	50
B) Πυρήνα ελαιοκάρπου	52

Γ) Άργιλος Μ3	53
Δ) Σκωρία	
4.1.2 Αποτελέσματα ορυκτολογικών αναλύσεων	55
4.1.2.1 Ορυκτολογική σύσταση της Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ	55
4.1.2.2 Ορυκτολογική σύσταση της αργίλου Μ3	56
4.1.2.3 Ορυκτολογική σύσταση της πυρήνας ελαιοκάρπου	57
4.1.3 Χημική σύσταση Ι.Τ, αργίλου M3 και σκωρίας	57
4.1.4 Προσδιορισμός πυκνότητας Ι.Τ. και αργίλου M3	
4.2 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ- ΤΕΛΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	60
4.2.1 Αναμείξεις-Παρασκευή δοκιμίων	60
4.2.1.1 Ι.Τ. και άργιλος M3	72
α. Μεταβολή όγκου κατά την έψηση	73
β. Πορώδες-Πυκνότητα-Υδατοαπορροφητικότητα	74
γ. Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό	77
4.2.1.2 Ι.Τ. και σκωρία	79
α. Μεταβολή όγκου κατά την έψηση	80
4.2.1.3 Ι.Τ., άργιλος, σκωρία και πυρήνα ελαιοκάρπου	82
α. Μεταβολή όγκου κατά την έψηση	83
β. Πορώδες-Πυκνότητα-Υδατοαπορροφητικότητα	85
4.2.1.4 Ι.Τ.,άργιλος και σιμιγδάλι	86
α. Μεταβολή όγκου κατά την έψηση	88
β. Πορώδες-Πυκνότητα-Υδατοαπορροφητικότητα	90
γ. Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό	91
4.2.1.5 Ι.Τ.,άργιλος και πυρήνα ελαιοκάρπου	93
α. Μεταβολή όγκου κατά την έψηση	94
β. Πορώδες-Πυκνότητα-Υδατοαπορροφητικότητα	96
γ. Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό	100
δ. Ορυκτολογική σύσταση των ψημένων μαζών	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106
ПАРАРТНМА	110

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως κύριο στόχο την διερεύνηση δυνατοτήτων εργαστηριακής παρασκευής πορωδών κεραμικών μαζών από ιπτάμενη τέφρα (Ι.Τ.) του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ ως κύρια πρώτη ύλη, σε ανάμειξη με άργιλο, πυρήνα ελαιοκάρπου, σιμιγδάλι ή σκωρία. Οι πορώδεις κεραμικές μάζες αποτελούν στερεά που αποτελούνται από πόρους και έχουν πορώδες από 30%-95%. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι οι ζεόλιθοι, τα καρβίδια του πυριτίου, η αλουμίνα, οι διατομίτες, τα πορώδη γυαλιά κ.α.. Με σκοπό την αξιοποίηση τους, μελετήθηκαν η Ι.Τ. που αποτελεί απόρριμμα των λιγνιτωρυχείων σε ανάμειξη με άργιλο της περιοχής που βρίσκεται ανατολικά του χωριού Σπηλιά για την βελτίωση της εργασιμότητας της σκέτης Ι.Τ. και πυρήνα ελαιοκάρπου για την δημιουργία πόρων μετά την έψηση των μαζών. Οι ιδιότητες που έχουν σημασία για τις πορώδεις κεραμικές μάζες είναι το πορώδες (>30%), η πυκνότητα, η υδατοαπορροφητικότητα, το μέγεθος των πόρων και οι μηχανικές αντοχές. Στη συνέχεια παρουσιάζονται λεπτομερώς οι πρώτες ύλες, οι ιδιότητες των κεραμικών φίλτρων, η μεθοδολογία των εργαστηριακών δοκιμών και τέλος τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων.

1.1 Πρώτες ύλες

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των δοκιμίων ήταν κυρίως ιπτάμενη τέφρα από τον ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ, άργιλος (M3), πυρήνα ελαιοκάρπου, σιμιγδάλι και σκωρία.

1.2 Ιπτάμενη Τέφρα

1.2.1 Ορισμός, τρόπος παραγωγής

Με τον όρο ιπτάμενη τέφρα ορίζεται το λεπτά διαμερισμένο υπόλειμμα που είναι αποτέλεσμα της καύσης κονιοποιημένου άνθρακα (ASTM-C618\84). Οι λιγνιτικές τέφρες είναι στερεά κατάλοιπα τα οποία παράγονται από την καύση των λιγνιτών στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (AHΣ) και διακρίνονται στις ιπτάμενες (I.T.) και στις υγρές τέφρες ή τέφρες δαπέδου.

Η ιπτάμενη τέφρα (Ι.Τ.) είναι ένα λεπτόκοκκο, χαλαρό υλικό το οποίο κατακρατείται στους αποκονιωτές των απαερίων των μονάδων καύσης και προέρχεται από τα

ανόργανα συστατικά και τις οργανικές ενώσεις του λιγνιτικού καυσίμου. Τα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας (Ι.Τ.) αποτελούνται από:

- Ορυκτά, μη εξαλλοιωθέντα κατά την καύση.
- Άμορφες φάσεις.
- Νεοσχηματισθείσες κρυσταλλικές φάσεις.
- Άκαυστο λιγνίτη.

Το μεγαλύτερο μέρος των σωματιδίων π.χ. των Ι.Τ. των ΑΗΣ της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου είναι μικρότερο των 63μm (Κωστάκης Γ., 1996).

Οι ιπτάμενες τέφρες ανάλογα με τη σύσταση τους έχουν ιδιότητες από τις οποίες εξαρτώνται τόσο οι δυνατότητες αξιοποίησης τους, όσο και αλληλεπιδράσεις με περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η ορυκτολογική και χημική σύσταση των λιγνιτικών τεφρών, εξαρτάται από τη σύσταση και τα χαρακτηριστικά του καυσίμου. Πολλές φορές όμως ιπτάμενες τέφρες που παράγονται από το ίδιο καύσιμο και έχουν παρόμοια χημική σύσταση, δύναται να έχουν διαφορετική ορυκτολογική σύσταση. Αυτό συμβαίνει επειδή η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία καύσης μπορεί να είναι διαφορετική. Από τη διαδικασία καύσης που χρησιμοποιείται εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό το ποσοστό των κρυσταλλικών φάσεων σε σχέση με τα άμορφα συστατικά της τέφρας (υαλώδη).

Γενικά, τα στάδια που ακολουθούνται μέχρι την καύση του λιγνίτη είναι:

- 1. Εξόρυξη του λιγνίτη και μεταφορά του στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς.
- 2. Πρόθραυση και ομογενοποίηση του λιγνίτη.
- 3. Αποθήκευση στα σιλό του σταθμού για την τροφοδοσία των λεβήτων.
- 4. Θραύση και ταυτόχρονη ξήρανση του λιγνίτη με καυσαέρια.
- Καύση του λιγνίτη στο φλογοθάλαμο της εστίας για την παραγωγή θερμικής ενέργειας.

Ο κονιοποιημένος λιγνίτης καίγεται αναπτύσσοντας στην εστία θερμοκρασία 1000-1100°C. Η θερμοκρασία μέσα στην εστία ελέγχεται και διατηρείται κάτω από το σημείο μαλάκυνσης της τέφρας (1200-1350°C), για να αποφευχθεί η τήξη της δημιουργούμενης τέφρας. Η τέφρα που παράγεται διακρίνεται στην ιπτάμενη τέφρα (fly ash), που παρασύρεται με τα καυσαέρια και αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της τέφρας και στην καταπίπτουσα ή υγρή τέφρα (bottom ash). Η καταπίπτουσα τέφρα περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό άκαυστου υλικού.

Ιδιαίτερα σημαντικό βήμα στην παραγωγή της τέφρας αποτελεί η μέθοδος καύσης του γαιάνθρακα. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται στους σταθμούς παραγωγής γαιάνθρακα

είναι η καύση κονιοποιημένου άνθρακα (pulverized coal combustion ή PCC) και η καύση σε ρευστοστερεά κλίνη (fluidized bed combustion ή FBC) (Δρακωνάκη, 1994).

1.2.2 Κατηγορίες ιπτάμενης τέφρας

Σύμφωνα με το ASTM C618 οι ιπτάμενες τέφρες γενικά, υποδιαιρούνται όσον αφορά τις υδραυλικές τους ιδιότητες σε τρεις κατηγορίες:

- Κατηγορία F: Με ποζολανικές ιδιότητες.
- Κατηγορία C: Εκτός των ποζολανικών ιδιοτήτων οι ιπτάμενες τέφρες της κατηγορίας C παρουσιάζουν και ιδιότητες τσιμέντου. Μερικές τέφρες κατηγορίας C έχουν ποσότητα ασβεστίου περισσότερο από 10% (Σακελλαρίου κ.ά, 1997).
- Kathyopía N: Περιλαμβάνουν ακατέργαστες ποζολάνες με τουλάχιστον 70% SiO_2 , Al_2O_3 και Fe_2O_3 (www.flyash.gr).

Επιπλέον μια άλλη διαφοροποίηση των ιπτάμενων τεφρών σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN197-1 διαχωρίζει τις τέφρες σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Στις πυριτικές τέφρες (V), οι οποίες περιέχουν λιγότερο από 10% CaO.
- Στις ασβεστολιθικές τέφρες (W), η οποίες περιέχουν 10-35% CaO.

Οι ελληνικές ιπτάμενες τέφρες ανήκουν στην κατηγορία των ασβεστολιθικών τεφρών (W) σύμφωνα με το EN197-1 και στην κατηγορία C σύμφωνα με το ASTM C 618, λόγω των υψηλών ποσοστών CaO που περιέχουν. Για την ιπτάμενη τέφρα της κατηγορίας C, το οξείδιο του ασβεστίου της ιπτάμενης τέφρας μπορεί να αντιδράσει με τα πυριτικά και αργιλικά υλικά που υπάρχουν σε αυτή (www.flyash.gr).

1.2.3 Χαρακτηριστικές ιδιότητες ιπτάμενης τέφρας

Η λεπτότητα της ιπτάμενης τέφρας διαμορφώνεται από το μέγεθος και το είδος των σωματιδίων της. Τα σπογγώδη σωματίδια δημιουργούνται από ταυτόχρονη τήξη διαφόρων ορυκτών ενώ τα πολύ μικρού μεγέθους σωματίδια της Ι.Τ. είναι κυρίως σφαιρικά και αποτελούνται από καθαρό γυαλί. Τα σπογγώδη είναι τα μεγαλύτερα και με τη μικρότερη ειδική επιφάνεια ενώ οι καθαρές υάλινες σφαίρες είναι μικρότερες και έχουν τη μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια.

To 55 - 65% του αριθμού των σωματιδίων έχουν διάμετρο μικρότερη από 3μm, αυτά όμως στο συνολικό βάρος συμμετέχουν λιγότερο από 10%. Ο περισσότερος άκαυστος

άνθρακας βρίσκεται στο κλάσμα το οποίο είναι μεγαλύτερο των 45μm (Joshi & Marsh, 1992).

Οι Ελληνικές ιπτάμενες τέφρες έχουν μία κατανομή κόκκων που βρίσκονται συνήθως στη περιοχή 0,2 έως 200μm με τους περισσότερους κόκκους συνήθως πάνω από 1 μm. Η ειδική επιφάνεια των τεφρών εκφρασμένη σαν λεπτότητα Blaine κυμαίνεται από 2500 έως 5500 cm²/g. Ως προς την πυκνότητα, οι τέφρες κυμαίνονται από 2,13 - 2,66 g/cm³ (Φτίκος κ.α. 1985).

Όσον αφορά το ειδικό βάρος των ιπταμένων τεφρών αυτό ποικίλει και εξαρτάται από το ειδικό βάρος των κενοσφαιρών, το οποίο είναι περίπου 1 g/cm³, ενώ των υπολοίπων σφαιρικών (χρώματος καφέ-μαύρου) είναι περίπου 4,8 g/cm³ και περιέχουν το 50 με 95% του ολικού σιδήρου της Ι.Τ. Τα σωματίδια του άκαυστου άνθρακα έχουν ένα ειδικό βάρος γύρω στο 1,3 g/cm³. Συνεπώς το ειδικό βάρος των Ι.Τ. εξαρτάται άμεσα από τα ποσοστά συμμετοχής των σωματιδίων αυτών στη σύνθεση της Ι.Τ (Joshi & Marsh, 1992).

Το ειδικό τους βάρος των Ελληνικών τεφρών παρουσιάζει τιμές από 1,9 ως 2,6 g/cm³.

1.2.4 Ιδιότητες ιπτάμενης τέφρας σε σχέση με την θερμοκρασία έψησης

Η παρασκευή κεραμικών μαζών προϋποθέτει την έψηση της ιπτάμενης τέφρας σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μελέτης που πραγματοποιήθηκε για τη παρασκευή κεραμικών από ανάμιξη ιπτάμενης τέφρας τύπου C και χαρτοπολτού στην Ιταλία, η κύρια ιδιότητα που ελέγχεται είναι η θερμοκρασία πυροσυσσωμάτωσης (E. Furlani et al., 2007). Στη συγκεκριμένη Ι.Τ. οι θερμοκρασίες πυροσυσσωμάτωσης κυμαίνονται από 1130 °C μέχρι και 1350 °C. Μεγαλύτερες περιεκτικότητες χημικών ενώσεων με υψηλό σημείο τήξης (π.γ. CaO, Al₂O₃, MgO, ZrO, Cr₂O₃) και οι μικρές περιεκτικότητες σε ενώσεις με χαμηλό σημείο τήξης (π.χ. Να2Ο, Κ2Ο κτλ), προσδίδουν τελικά στην Ι.Τ. υψηλή περιοχή θερμοκρασιών μαλάκυνσης (1350 °C). Πρέπει να αναφερθεί ότι η Ι.Τ. μόνη της έχει χαμηλή θερμοκρασία πυροσυσσωμάτωσης (1130 °C). Στην πραγματικότητα τα ψημένα δείγματα διατηρούν υψηλό εναπομένον πορώδες στους 1100° C. Μετά την πυροσυσσωμάτωση στην θερμοκρασία των 1130° C τα δείγματα Ι.Τ. αποτελούνται από μεγάλο ποσοστό υαλώδους φάσης. Τα δείγματα υαλοποιούνται εξολοκλήρου χάνοντας το αρχικό τους σχήμα ξεπερνώντας την θερμοκρασία 1140° C. Ενδιάμεσες συνθέσεις δείχνουν μια συνεχόμενη μείωση της υδατοαπορροφητικότητας μέχρι την θερμοκρασία πυροσυσσωμάτωσης πριν χαθεί το σχήμα εξαιτίας της δημιουργίας υγρής φάσης σε μεγάλο ποσοστό κατά την πυροσυσσωμάτωση. Μία ακόμη ιδιότητα της Ι.Τ. σε σχέση με τη θερμοκρασία είναι το χρώμα των δειγμάτων που προκύπτουν έπειτα από την έψηση. Αυτό ποικίλει και μπορεί παρουσιάζει ένα εύρος διάφορων τόνων του κίτρινου και καστανού, κάτι που οφείλεται κυρίως στην παρουσία του Fe₂O₃ στην αρχική σκόνη.

1.2.5 Εφαρμογές της ιπτάμενης τέφρας

Οι κυριότερες παραγωγοί ιπτάμενης τέφρας είναι οι χώρες που έχουν μεγάλα φυσικά αποθέματα άνθρακα, όπως οι Η.Π.Α., η Αγγλία, η Γερμανία. Όσον αφορά στη παγκόσμια παραγωγή τέφρας, αυτή ανήρχετο το 1984 σε 180 εκατομμύρια τόνους, με εκμετάλλευση του 16-17%. Στον (Πίνακα 1.2) που ακολουθεί παρουσιάζεται η ετήσια παραγωγή τέφρας σε διάφορες χώρες.

ΧΩΡΑ	ΕΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	
		ΤΕΦΡΑΣ	
		(million tones/gr)	
Н.П.А.	1984	62	
ΙΝΔΙΑ	1989	40	
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	1989	31,6	
ΠΟΛΩΝΙΑ	1985	30,5	
ΡΩΣΙΑ	1985	19,5	
ΑΓΓΛΙΑ	1987	13	
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	1985	10,4	
ΓΙΟΥΚΟΣΛΑΒΙΑ	1992	7,37	
ΚΑΝΑΔΑΣ	1987	5,25	
ΙΑΠΩΝΙΑ	1988	4,23	
ΙΤΑΛΙΑ	1987	1,2	

Πίνακας 1.1: Ετήσια παραγωγή ιπτάμενης τέφρας (Matko et.al,1997).

Το 1995, η παραγωγή τέφρας στην Ελλάδα ήταν περίπου 8 εκατομμύρια τόνοι. Από την ποσότητα αυτή το 70 % προήλθε από τους ΑΗΣ της Περιοχής Πτολεμαϊδας-Αμυνταίου και το υπόλοιπο από τους ΑΗΣ Μεγαλόπολης.

Οι μέχρι τώρα εφαρμογές της ιπτάμενης τέφρας σε παγκόσμιο επίπεδο είναι οι εξής:

- Στην παραγωγή τσιμέντου, ως πρόσθετο του τσιμέντου σε ποσοστό μέχρι 15-20% και σαν πρώτη ύλη στην φαρίνα του κλίνκερ σε ποσοστό 5%.
- Στην κατασκευή κεραμικών, δομικών στοιχείων (τούβλα, πλακίδια, κεραμίδια κ.α.).

- Στην οδοποιία και την κατασκευή φραγμάτων είτε ως υλικό βάσης ή υπόβασης, είτε ως πρόσθετο υλικό στον ασφαλτοτάπητα.
- Στην μεταλλουργία για ανάκτηση μετάλλων.
- Στην εξυγίανση βιομηχανικών αποβλήτων.
- Στην αποκατάσταση εδαφών, καθώς και στην κατασκευή χώρων υγειονομικής ταφής.
- Στην παραγωγή συνθετικών ζεόλιθων (Τσικαρδάνη et al., 2005).

1.3 Άργιλος

1.3.1 Γενικά

Οι άργιλοι σχηματίζονται μέσω απόθεσης προϊόντων αποσάθρωσης πετρωμάτων, τα οποία έχουν μεταφερθεί κυρίως από το νερό και σπανιότερα με τον αέρα, συχνά σε μεγάλες αποστάσεις, σε λεκάνες ή κόλπους. Περιλαμβάνουν κυρίως προϊόντα αποσάθρωσης, τα οποία πριν την καθίζηση τους βρίσκονταν επί μακρών εν αιωρήσει, είτε λόγω του πολύ μικρού μεγέθους είτε λόγω του φυλλώδους χαρακτήρα τους. Μαζί με αυτά συνυπάρχουν συχνά νεοσχηματιθέντα ορυκτά, κατάλοιπα οργανισμών και λίγο ή πολύ λεπτοδιαμερισμένες οργανικές ουσίες. Η άργιλος έχει χαρακτηριστεί σαν συνεκτική, κολλώδες μάζα εδάφους που όταν αναμιγνύεται με το νερό, όταν είναι υγρή, παίρνει αμέσως σχήμα, αλλά όταν ξηραίνεται γίνεται σκληρή και εύθρυπτη και διατηρεί το σχήμα της. Αν πυρωθεί, γίνεται ακόμα πιο σκληρή μάζα και δεν είναι πλέον ευπαθής στην δράση του νερού (Worrall W.E., 1986).

Στη Γεωλογία και την Ιζηματολογία άργιλοι ή πελίτες χαρακτηρίζονται πολύ λεπτόκοκκα πετρώματα που δεν έχουν υποστεί μεταμόρφωση ή διαγένεση. Στην περίπτωση αυτή η έννοια της αργίλου αφορά κατά κύριο λόγο ένα χαρακτηρισμό της κοκκομετρίας η οποία σχετίζεται άμεσα με συνθήκες σχηματισμού. Λόγω διακυμάνσεων της μεταφοράς και απόθεσης του υλικού εμφανίζονται συχνά στρωματοειδείς σχηματισμοί και μεταβαλλόμενη κοκκομετρική σύσταση. Σύμφωνα με τις Γερμανικές προδιαγραφές (DIN 66100) η άργιλος και η ιλύς είναι το κοκκομετρικό κλάσμα του ιζηματογενούς πετρώματος που έχει μέγεθος κόκκων < 0.045mm. Στο Αμερικάνικο σύστημα ταξινόμησης εξάλλου ορίζεται ως ιλύς (silt) το κλάσμα κόκκων διαμέτρου 2-50 μm και ως άργιλος το κλάσμα κόκκων < 2μm (Παναγιωτάκης Α.,1997).

1.3.2 Ορυκτολογική σύσταση των αργίλων

Οι άργιλοι αποτελούνται από ένα αριθμό διαφόρων ορυκτών Τα κύρια ορυκτά των αργίλων χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Ομάδα καολινίτη: Περιλαμβάνονται τα ορυκτά νακρίτης, δικίτης, καολινίτης και αλλοϋσίτης.
- **Ομάδα μοντμοριλλονίτη:** Τα σπουδαιότερα ορυκτά της ομάδας είναι ο μοντμοριλλονίτης, ο νοτρονίτης, ο βεϋδελίητς, ο εκτορίτης και ο σαπωνίτης.
- Ομάδα μαρμαρυγιών: Οι μαρμαρυγίες αν και συναντώνται σε αργίλους, κυρίως σαν κατάλοιπα της αποσάθρωσης, όπως αναφέραμε, στη βιβλιογραφία συνήθως δεν θεωρούνται σαν καθεαυτού αργιλικά ορυκτά. Τα πιο γνωστά ορυκτά είναι ο μοσχοβίτης, ο φλογοπίτης, ο βιοτίτης και ο γλαυκονίτης.
- Ομάδα ιλλιτών: Οι ιλλίτες συναντώνται κυρίως σε ιζηματογενείς αργίλους
 και σχετίζονται με τον καολινίτη και τον μοντμοριλλονίτη.
- Ομάδα χλωριτών: Ο χαμοσίτης και το κλινόχωρο αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τυπικά παραδείγμτα της ομάδας των χλωριτών (Worrall W.E., 1986).

1.3.3 Ταξινόμηση των αργίλων

Οι άργιλοι διαχωρίζονται με βάση τις εφαρμογές τους στις εξής κατηγορίες:

- Άργιλοι αδρών κεραμικών (ordinary ceramics): είναι οι πλίνθοι των διαφόρων ειδών, τα κεραμίδια, τα πλακίδια δαπέδων και τοίχων. Η θερμοκρασία έψησης των κεραμικών αυτών κυμαίνεται κοντά στους 1000°C.
- Άργιλοι για λευκά κεραμικά και λιθοκέραμους: υψηλά ποσοστά χαλαζία και καολινίτη αλλά και ιλλιτικά ορυκτά. Σκληρή συμπαγής μάζα με έψηση στους 1200 °C.
- Πυρίμαχες άργιλοι: χρησιμοποιούνται για την παραγωγή σαμώτ, ως συνδετική ύλη στην βιομηχανία πυρίμαχων υλικών, πορσελάνη (π.χ. μονωτές ηλεκτρισμού). Υψηλά ποσοστά σε καολινιτικά ορυκτά και μεγάλη πυριμαχικότητα.
- Καολίνης για κεραμικά: οι καολίνες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πορσελάνης υψηλής ποιότητας ή λευκών κεραμικών. Υψηλά ποσοστά σε καολινίτη, μερικές φορές αλλούσίτη και μικρό ποσοστό ιλλίτη, χαλαζία και αστρίων (Κωστάκης Γ.,2003).

1.3.4 Τεχνολογικές ιδιότητες των αργίλων

Οι τεχνολογικές ιδιότητες των αργίλων καθορίζονται κατά κύριο λόγο από την ορυκτολογική σύσταση και την κοκκομετρική κατανομή των ορυκτών.

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό είναι ο τύπος των φυλλοπυριτικών ορυκτών της αργίλου. Τα φυλλοπυριτικά ορυκτά επιδρούν στην πλαστικότητα και την ικανότητα συνοχής της αργιλικής μάζας λόγω του μεγέθους των κόκκων και των ιδιοτήτων της επιφάνειάς των. Για παράδειγμα:

- Ο καολινίτης ανεβάζει την πυριμαχικότητα επειδή συνεισφέρει υψηλό ποσοστόσε A1₂O₃, χωρίς να περιέχει συστατικά που ευνοούν την τηκτικότητα.
- Ο ιλλίτης, οι μαρμαρυγίες, τα μοντμοριλλονιτικά ορυκτά όπως και οι χλωρίτες ευνοούν την πυροσυσσωμάτωση.

Η αντοχή εν ξηρώ εξαρτάται εν μέρει από το μέγεθος των κόκκων και ταυτόχρονα σε πιο αποφασιστικό βαθμό, από τα μοντμοριλλονιτικά ορυκτά.

Η ικανότητα υαλοποίησης (vitrification) επηρεάζεται από τους ιλλίτες, τους αστρίους και τα λεπτόκοκκα ανθρακικά. Οι άστριοι και τα ορυκτά του σιδήρου ευνοούν μάλιστα την υαλοποίηση περισσότερο όταν περιέχονται στην άργιλο σε μικρές ποσότητες. Χονδρόκοκκα ανθρακικά προκαλούν σπάσιμο του κεραμικού κατά το ψήσιμο (lime splits). Ο σιδηροπυρίτης και ο μαρκασίτης, που μπορεί να βρίσκονται σαν δευτερεύοντα ορυκτά στις αργίλους, σχηματίζουν κατά το ψήσιμο οξείδια και στην συνέχεια αντιδρώντας με άλλα αργιλικά ορυκτά, σε θερμοκρασίες άνω των 1100° C λεπτόρευστο τήγμα, το οποίο ρέει έξω από την κεραμική μάζα αφήνοντας κενά.

Η επιδεκτικότητα της πλαστικής μάζας στο πλάσιμο (εργασιμότητα) εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά και το ρΗ το οποίο σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την περιεκτικότητα σε SO₃.

Τα ορυκτά του σιδήρου, του τιτανίου και το οξείδιο του ασβεστίου καθορίζουν το χρώμα της ψημένης μάζας. Η γύψος, όταν υπάρχει σε μεγάλους κόκκους, ανεβάζει την περιεκτικότητα σε SO₃ και οδηγεί σε αποφλοιώσεις.

Ο χαλαζίας διευρύνει την δομή ενός σώματος και διευκολύνει με αυτό τον τρόπο τις διαδικασίες του στεγνώματος, ενώ από την άλλη πλευρά μπορεί να προκαλέσει δυσκολίες κατά τη διαδικασία του ψησίματος, λόγω της μετατροπής του από την μία φάση στην άλλη.

8

Οι χημικές αντιδράσεις κατά την διάρκεια του ψησίματος της αργιλικής μάζας είναι εν μέρει αντιδράσεις στερεάς κατάστασης ενώ μερικώς επιδρά και τετηγμένη φάση, δεδομένου ότι η τελευταία εμφανίζεται πάνω από τους περίπου 900° C.

Η φάση που κυριαρχεί στα ψημένα προϊόντα των συνήθων αργίλων είναι ο μουλλίτης, παράλληλα με την υαλώδη φάση που σχηματίζεται σε αρκετά υψηλότερες θερμοκρασίες. Αισθητή είναι επίσης η παρουσία του χριστοβαλίτη, του αιματίτη και του κορδιερίτη. Ο σχηματισμός του χριστοβαλίτη, ανταγωνίζεται την αφομοίωση του χαλαζία στην τετηγμένη φάση. Η παρουσία καταλοίπων χαλαζία ή νεοσχηματισθέντος χριστοβαλίτη προκαλεί μερικά προβλήματα στην φρύξη μετά το ψήσιμο, λόγω μετασχηματισμού φάσεως (Κωστάκης Γ.,2003).

1.3.4.1 Συμπεριφορά κατά την ξήρανση

Η ξήρανση της αργίλου έχει σημαντική τεχνολογική σημασία στην παραγωγή των κεραμικών. Όταν η πλαστική άργιλος ξηραίνεται συρρικνώνεται και αν η ξήρανση είναι ραγδαία τότε δημιουργούνται ρωγμές στο προϊόν. Κατά την ξήρανση η διαδικασία εξάτμισης του νερού γίνεται με την μετακίνηση του νερού που βρίσκεται μέσα στη μάζα προς την επιφάνεια της μάζας. Άργιλοι με αυξημένα ποσοστά σε ορυκτά της ομάδας των μοντμοριλλονιτών παρουσιάζουν κάποια προβλήματα κατά το στέγνωμα. Σύμφωνα με όσα έχουμε αναφέρει, όσο πιο λεπτόκοκκα είναι τα σωματίδια της αργίλου τόσο αυξάνεται η πλαστικότητα και η αντοχή εν ξηρώ. Είναι λοιπόν φανερό ότι το μέγιστο της πλαστικότητας και η βέλτιστη συμπεριφορά στεγνώματος δεν μπορούν να επιτευχθούν ταυτοχρόνως. Για τον λόγο αυτό οι τεγνικές διεργασίες της παραγωγής απαιτούν συμβιβασμό μεταξύ των ανταγωνιστικών τάσεων των δύο αυτών ιδιοτήτων που συναντώνται σε μία αργιλική μάζα. (Worrall W.E., 1986).

1.3.4.2 Πλαστικότητα και αντοχή εν ξηρώ

Με τον όρο πλαστικότητα (εργασιμότητα) εννοούμε την ιδιότητα των αργίλων να μετασχηματίζονται, όταν τους προσθέσουμε κατάλληλη ποσότητα νερού, σε μάζα πλαστική, ικανή να παίρνει και να διατηρεί το σχήμα που της δίνουμε χωρίς να χάνει τη συνοχή της. Η εργασιμότητα εξαρτάται κυρίως από δύο ιδιότητες των αργιλικών ορυκτών: Την λεπτότητα των κόκκων και το φυλλώδες σχήμα των φυλλοπυριτικών ορυκτών. Έτσι η βέλτιστη πλαστικότητα για την παραγωγική διαδικασία προκύπτει από συγκεκριμένο ποσοστό νερού. Υψηλότερη εργασιμότητα έχουν οι μοντμοριλλονιτικές

άργιλοι και ακολουθούν οι καολινιτικές, βεϊδελιτικές και ιλλιτικές άργιλοι. Βελτίωση της εργασιμότητας μπορούμε επίσης να πετύχουμε τεχνητά με ωρίμανση της αργίλου στον αέρα, με άλεση και με ανταλλαγή ιόντων Ca²⁺ και Mg²⁺ από Na⁺ και K⁺.

Το στέγνωμα της πλαστικής μάζας έχει ως αποτέλεσμα την απαλλαγή από τα λεπτά στρώματα του νερού που παρεμβάλλονται μεταξύ των σωματιδίων και την ενίσχυση της συνοχής μεταξύ των σωματιδίων της αργίλου με αποτέλεσμα να γίνεται αρκετά συμπαγής, ώστε να διατηρεί το σχήμα που της δώσαμε πριν στεγνώσει. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται αντοχή εν ξηρώ (green strength,Gruenfestigkeit) και είναι δυνατόν να προσδιοριστεί σύμφωνα με την Γερμανική προδιαγραφή DIN 51030. Για την συνοχή μεταξύ των σωματιδίων παίζει επίσης σημαντικό ρόλο ή ιοντοανταλλακτική ικανότητα των ορυκτών της αργίλου. Διογκούμενα ορυκτά όπως ο μοντμοριλλονίτης και οργανική ουσία λεπτομερώς διαμερισμένη στην πλαστική μάζα βελτιώνουν την παραπάνω ιδιότητα.

Σε ορισμένες αργίλους, κυρίως περιέχουσες μοντμοριλλονίτη σε μεγάλο ποσοστό, παρατηρείται επίσης το φαινόμενο της θιξοτροπίας (Κωστάκης Γ.,2003).

1.3.4.3 Συμπεριφορά κατά το ψήσιμο

Οι απαιτήσεις ως προς την συμπεριφορά της αργιλικής μάζας κατά το ψήσιμό της εξαρτάται από τον τύπο του κεραμικού το οποίο θέλουμε να παράγουμε. Πυρίμαχα είδη δεν πρέπει να μαλακώνουν σε θερμοκρασίες κάτω των 1500°C, πράγμα που συνεπάγεται αρκετά υψηλή θερμοκρασία ψησίματος. Άλλα προϊόντα όπως τα τούβλα, κεραμίδια και οι λιθοκέραμοι (stoneware) χρειάζεται να υποστούν τα πυροσυσσωμάτωση (sintering) σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες προκειμένου να αποκτήσουν την πυκνότητα που απαιτείται σε ορισμένες περιπτώσεις. Οι πόροι που έχει αρχικά η μάζα πληρούνται μερικώς ή ολικώς με υλικό μέσω διεργασιών διάχυσης. Η πυροσυσσωμάτωση έχει σαν αποτέλεσμα την σταθεροποίηση της μάζας και μπορεί να συνοδεύεται από συρρίκνωση ("μάζεμα") ή αλλαγή της πυκνότητας από το παραμένον πορώδες της μάζας. Το ανοικτό πορώδες (open εξαρτάται porosity, offene Porositaet), το οποίο είναι και ο σημαντικότερος παράγοντας σε σχέση με τα παραπάνω, μπορούμε να το προσδιορίσουμε προσδιορίζοντας την υδατοαπορροφητικότητα (water absorption, Wasserabsorption). Ο τρόπος προσδιορισμού της υδατοαπορροφητικότητας είναι απλός και είναι δυνατόν να γίνει σύμφωνα με τις προδιαγραφές της DIN 51056.

Επιπλέον μια άλλη ιδιότητα που προσδιορίζει τις αργίλους κατά την έψηση είναι το χρώμα. Το χρώμα το ψημένης μάζας είναι αποτέλεσμα της παρουσίας οξειδίων βαρέων μετάλλων (οξείδια σιδήρου ή τιτανίου) και εξαρτάται επίσης από την θερμοκρασία ψησίματος και την ατμόσφαιρα στο εσωτερικό του κλιβάνου (συνθήκες οξείδωσης ή αναγωγής). Διαφοροποιήσεις του χρώματος εμφανίζονται κατά την διάρκεια του σχηματισμού μίας τετηγμένης φάσης στην μάζα του κεραμικού κυμαίνεται από καστανό (λόγω του λειμωνίτη) μέχρι σκούρο καστανό (λόγω των οξειδίων του μαγγανίου) ή ακόμη και μαύρο (CEC-Federation Europeene de Fabricants De Curreanx Ceramiques).

1.3.4.4 Άργιλος πειράματος (M3)

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε άργιλος μιας εμφάνισης αργίλου του νομού Χανίων. Η τοποθεσία της εμφάνισης με κωδική ονομασία M3 βρίσκεται περίπου 25 χιλιόμετρα δυτικά της πόλης των Χανίων και 600 μέτρα ανατολικά του χωριού Σπηλιά. Σε αυτό το μέρος εντοπίστηκαν κυρίως μάργες και αργιλικές μάργες, στις οποίες παρουσιάζονται ενδιάμεσα στρώματα αργίλου χρώματος πράσινου, καφέ ή τεφρο-κίτρινου, διαφορετικού εύρους και πάχους. Αυτό το κοίτασμα ανήκει στα θαλάσσια απολιθώματα του πλειώκενου, το οποίο είναι ευρύτερα διαδεδομένο στην Κρήτη. Το δείγμα της αργίλου πάρθηκε από μια στρώση, στις δοκιμές που έγιναν με αραιωμένο υδροχλωρικό οξύ, αποδείχθηκε από πολύ φτωχό έως και αρκετά καθαρό σε CaCO₃ σε κάποια σημεία του κοιτάσματος.

1.4 Πυρήνα Ελαιοκάρπου

Η πυρήνα ελαιοκάρπου προκύπτει από την επεξεργασία των στερεών υπολειμμάτων που αφήνουν οι ελαιόκαρποι κατά την παραγωγή του λαδιού στα ελαιοτριβεία. Πρόκειται για ένα κοκκώδες λιγνοκυτταρινικό υλικό, με ημικυτταρίνη, κυτταρίνη και λιγνίνη ως κύρια συστατικά και παρουσιάζει ενδιαφέρον κυρίως επειδή αποτελεί σημαντική πρώτη ύλη για την παραγωγή ενεργού άνθρακα. Τα ορυκτολογικά συστατικά που εμπεριέχονται στην πυρήνα ελαιοκάρπου επηρεάζουν τα διάφορα στάδια της πυρόλυσης και την αεριοποίησης που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής ενεργοποίησης. Στην παρούσα εργασία η πυρήνα χρησιμοποιείται λόγω του ότι κατά την πρόσμιξη της με την Ι.Τ. και κατά την πύρωση της τελευταίας θα καεί και έτσι είναι δυνατόν να δημιουργήσει πόρους της τάξεως των 6-8μm (**Blanco Lopez M.C. et al, 2000**).

1.5 Σιμιγδάλι

Το σιμιγδάλι προέρχεται από την επεξεργασία του σιταριού και είναι μια οργανική ουσία που κατά την καύση της παράγει CO₂. Η προσθήκη του σιμιγδαλιού στη μάζα ιπτάμενης τέφρας και αργίλου θα μπορούσε κατά την έψηση της μάζας να οδηγήσει στη δημιουργία πορώδους στην ψημένη κεραμική μάζα. Για το σκοπό αυτό και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

1.6 Σκωρία

Η σκωρία παράγεται από τις ηλεκτρικές καμίνους κατά την παραγωγή σιδηρονικελίου (1650°C) παραλαμβάνεται σε κάδους και μεταφέρεται σε κατάλληλο χώρο όπου αποτίθεται από ύψος 3-5m και ψύχεται με νερό. Ακολουθεί μαγνητικός διαχωρισμός. Το μαγνητικό μέρος της, το οποίο μπορεί να περιέχει 1-2%Ni, επανατροφοδοτείται ενώ η υπόλοιπη ποσότητα αποθηκεύεται και πωλείται στη βιομηχανία τσιμέντου ή ως υλικό αμμοβολής.

Η βίαιη ψύξη με χρήση θαλασσινού νερού για την κοκκοποίηση της, έχει ως συνέπεια την πολύ ταχεία ψύξη και στερεοποίηση της σε άμορφη υαλώδη κατάσταση. Βραδύτερη ψύξη χωρίς υδροβολή είναι δυνατόν να προκαλέσει σχηματισμό σε συμπαγείς όγκους σκωρίας μερικώς ή ολικώς κρυσταλλωμένους, με πολύ μειωμένο πορώδες. Είναι προφανές ότι η χρήση θαλασσινού νερού (εάν είναι διαθέσιμο κοντά στη μεταλλουργία) είναι προτιμότερη για τους εξής λόγους:

- Για την απαγωγή εξαιρετικά μεγάλης ποσότητας ενέργειας, η οποία απαιτεί μεγάλη ποσότητα νερού.
- Για την τήρηση των συνθηκών ασφαλείας κατά την κοκκοποίηση της, η οποία είναι εξαιρετικά βίαιη διεργασία. Αυτό ουσιαστικά επιτυγχάνεται με την συνεχή διαθεσιμότητα του νερού χωρίς εξάρτηση από την επάρκεια της πηγής. Σε αντίθετη περίπτωση, εάν διαρρεύσει ρευστή σκωρία τότε μπορεί να προκληθούν μικρές ή μεγάλες εκρήξεις κατά την επαφή της με το νερό.

Για τα πειράματα της παρούσης εργασίας χρησιμποποιήθηκε σκωρία της εταιρείας ΛΑΡΚΟ Α.Ε. Η ετήσια παραγωγή σκωρίας ηλεκτροκαμίνων στη μονάδα της ΛΑΡΚΟ Α.Ε στη Λάρυμνα ανέρχεται σε 1.700.00 τόνους. Από αυτούς 450.000 τόνοι χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τσιμέντου και 150.000 τόνοι σε βιοτεχνίες παραγωγής υλικού αμμοβολής. Η υπόλοιπη ποσότητα απορρίπτεται στη θάλασσα (www.nationalslagassoc.org).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΚΕΡΑΜΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

2.1 Γενικά για τα κεραμικά υλικά

Κεραμικό υλικό είναι κάθε ανόργανο μη μεταλλικό υλικό, το οποίο έχει υποστεί θερμική κατεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες (>1000°C), είτε κατά το στάδιο της επεξεργασίας του είτε κατά το στάδιο της εφαρμογής του. Η λέξη κεραμικό προέρχεται από την ελληνική λέξη «κέραμος».

Μέχρι τα τελευταία πενήντα περίπου χρόνια, τα πιο σημαντικά υλικά σε αυτή την κατηγορία έφεραν τον όρο «παραδοσιακά κεραμικά», εκείνα των οποίων η κύρια πρώτη ύλη είναι η άργιλος. Κάποια από τα προϊόντα που θεωρούνται παραδοσιακά κεραμικά είναι τα τούβλα, τα κεραμικά πλακίδια, οι πορσελάνες και οι ύαλοι. Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη των μεθόδων παρασκευής, η χρήση των υλικών συγκεκριμένων προδιαγραφών και οι νέες και μοναδικές ιδιότητες των κεραμικώ που έχουν αναπτυχθεί οδήγησαν σε μια νέα γενιά αυτών των υλικών και ο όρος κεραμικά έχει αποκτήσει ένα πολύ ευρύτερο νόημα. Τα «προηγμένα» πλέον κεραμικά (με βάση την αλουμίνα Al₂O₃, την ζιρκονία ZrO₂, το καρβίδιο του πυριτίο SiC) βρίσκουν εφαρμογές σε τομείς της ζωής μας όπως: υπολογιστές, επικοινωνίες, ηλεκτρονικά ,αεροδιάστημα και μερικές ακόμη βιομηχανίες (**W. D.Callister Jr, 2004).**

2.2 Κατάταξη κεραμικών υλικών

Τα κεραμικά κατατάσσονται με βάση τις εφαρμογές τους, αλλά και με βάση την διαχρονική τους εξέλιξη σε:

- Παραδοσιακά κεραμικά.
- Πυρίμαχα.
- Κεραμικά προηγμένης τεχνολογίας.

Παραδοσιακά κεραμικά: Τα παραδοσιακά κεραμικά αποτελούν το παλαιότερο τμήμα των προϊόντων της σημερινής κεραμικής βιομηχανίας και περιλαμβάνουν τα προϊόντα της αγγειοπλαστικής, προϊόντα κεραμουργείας (δομικά κεραμικά), τα είδη οικιακής χρήσης, τα είδη υγιεινής, σωλήνες αποχέτευσης κ.λπ. (Παναγιωτάκης **A.,1997).**

Πυρίμαχα: Μια ακόμη σημαντική κατηγορία κεραμικών που χρησιμοποιούνται σε τεράστιες ποσότητες. Ανάμεσα στις εξαιρετικές τους ιδιότητες είναι η ικανότητά τους να αντιστέκονται στις υψηλές θερμοκρασίες χωρίς να λιώνουν ή να αλλοιώνονται.

Τα πιο συνηθισμένα πυρίμαχα είδη είναι τούβλα για επενδύσεις κλιβάνων, καλούπια για χύτευση μετάλλων κ.λπ. (W.D.Callister Jr, 2004).

Προηγμένα κεραμικά: Τα προηγμένα κεραμικά υλικά είναι υλικά αυξημένων απαιτήσεων, με ειδικές προδιαγραφές που δημιουργήθηκαν με την ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών. Είναι κυρίως οξείδια, καρβίδια, νιτρίδια και βορίδια που συνδυάζουν μοναδικές ιδιότητες όπως εξαιρετική μηχανική αντοχή, μεγάλη σκληρότητα, μοναδικές μαγνητικές, οπτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες, πολύ καλές θερμομηγανικές ιδιότητες που διατηρούνται σε υψηλή θερμοκρασία, θερμομονωτικές ιδιότητες, αντοχή σε θερμικούς αιφνιδιασμούς, κ.λ.π. Με προηγμένα δομικά κεραμικά κατασκευάζονται: εξαρτήματα μηχανών, βαλβίδες, κοπτικά εργαλεία, αντιτριβικά εξαρτήματα, βιοϊατρικά εξαρτήματα, εναλλάκτες θερμότητας, κλπ. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες εφαρμογές συνήθως υφίστανται έντονη μηχανική καταπόνηση υπό ταυτόχρονη θερμική φόρτιση. Ο συνδυασμός αυτός, ιδίως υπό συνθήκες κυκλικής λειτουργίας, οδηγεί σε εντονότατες μηγανικές και θερμικές τάσεις, ενώ ταυτόχρονα οι ιδιότητες του υλικού αλλάζουν με την μεταβολή της θερμοκρασίας και την πάροδο του χρόνου. Πρέπει, λοιπόν, να χαρακτηρίζονται από υψηλή αντοχή, δυσθραυστότητα, αντοχή σε θερμικούς αιφνιδιασμούς και διατήρηση όλων αυτών των μηγανικών ιδιοτήτων σε υψηλές θερμοκρασίες. Αρκετές από αυτές τις προϋποθέσεις πληρούνται από τις ακόλουθες τέσσερις οικογένειες κεραμικών υλικών:

- Κεραμικά με βάση την αλουμίνα (Al₂O₃).
- Κεραμικά με βάση την ζιρκονία (ZrO₂).
- Κεραμικά με βάση το καρβίδιο του πυριτίου (SiC).
- Κεραμικά με βάση το νιτρίδιο του πυριτίου (Si₃N₄) και τα SiAlONs (ενώσεις Si-Al-O-N).

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές και ηλεκτρομηχανικές εφαρμογές αντιπροσωπεύουν σήμερα το μεγαλύτερο τμήμα της αγοράς των προηγμένων κεραμικών, καταλαμβάνοντας περίπου το 60% της συνολικής παραγωγής τους. Τα υλικά αυτά αποτελούν μια ευρεία κατηγορία ενώσεων (από απλά οξείδια και νιτρίδια μέχρι πιο σύνθετες ενώσεις). Στις εφαρμογές τους περιλαμβάνονται: μονωτές, υλικά υποστρωμάτων, στοιχεία για ολοκληρωμένα κυκλώματα, πιεζοηλεκτρικά κεραμικά, υπεραγώγιμα κεραμικά, κ.ο.κ.



Εικ. 2.1: a. Κεραμικό 100% από αλουμίνα Al_2O_3 b. 50% Al_2O_3 -50% SiC. Φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) (Adem demir, Necat Atinkok, Department of Metal Education, Sakarya University).

Τα σύνθετα κεραμικά υλικά, που αποτελούν τον πιο πρόσφατα αναπτυγμένο τύπο κεραμικών, αποβλέπουν στην παραγωγή σύνθετων δομών κατάλληλων για υψηλής θερμοκρασίας βιομηχανικές και στρατιωτικές εφαρμογές. Οι κεραμικές επικαλύψεις έχουν θεωρηθεί ως η λύση εκεί που τα δομικά κεραμικά αποτυγχάνουν και περιλαμβάνουν θερμικές επικαλύψεις και εναποθέσεις με χημικές ή φυσικές μεθόδους και δέσμες ιόντων (Τσετσέκου, 2005).

2.3 Πορώδη υλικά

Ως πορώδη υλικά ορίζονται τα στερεά που αποτελούνται από πόρους. Το πορώδες είναι ο λόγος του όγκου των πόρων ενός υλικού προς το συνολικό όγκο. Γενικά τα πορώδη υλικά έχουν πορώδες από 20%-95%. Φυσικές ουσίες, όπως πέτρες και χώμα (π.χ. υδροφόρα στρώματα, δεξαμενές πετρελαίου), ζεόλιθοι, ξύλο, φελλός, το τσιμέντο και κεραμικά μπορούν να θεωρηθούν ως πορώδη μέσα.

Οι πόροι ταξινομούνται σε δυο κατηγορίες: οι ανοιχτοί πόροι που συνδέονται με την εξωτερική επιφάνεια του υλικού και οι κλειστοί πόροι που απομονώνονται από την εξωτερική επιφάνεια. Οι διαμπερείς πόροι αποτελούν είδος ανοιχτών πόρων, οι οποίοι έχουν τουλάχιστον δυο ανοίγματα που βρίσκονται σε δυο μέρη των πορωδών υλικών.



Εικ. 2.2: Τύποι πόρων.

Τα πορώδη μέταλλα, κεραμικά, γυαλιά είναι ιδιαιτέρως σημαντικά για τις βιομηχανικές εφαρμογές, στη χημεία, στη μηχανική, στη βιοτεχνολογία και στα ηλεκτρονικά (Πίνακας 2.1).

Ιδιότητες	Χαρτί	Πολυμερές	Μέταλλο	Γυαλί	Κεραμικό
Πυκνότητα	Μικρή	Μικρή	Υψηλή	Μέτρια	Μέτρια
Διαπερατότητα	Μικρή	Μικρή	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή
Αντοχή	Μικρή	Μέτρια	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή
Μέγεθος πόρων	Μικρό	Ελεγχόμενο	Ελεγχόμενο	Ελεγχόμενο	Ελεγχόμενο
Θερμική αντίσταση	Μικρή	Μικρή	Υψηλή	Υψηλή	Πολύ Υψηλή
Χημική αντίσταση	Μικρή	Μέτρια	Υψηλή	Υψηλή	Πολύ Υψηλή
Διάρκεια ζωής	Μικρή	Μικρή	Μεγάλη	Μεγάλη	Μεγάλη
Εργασιμότητα	Πολύ καλή	Πολύ καλή	Καλή	Μέτρια	Μέτρια
Κόστος	Χαμηλό	Χαμηλό	Μέτριο	Υψηλό	Μέτριο

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά πορωδών υλικών.

Για τις περισσότερες βιομηχανικές εφαρμογές των πορωδών υλικών, απαιτούνται οι ανοιχτοί πόροι. Πορώδη υλικά για φίλτρα, παράγοντες καταλυτών και βιολογικών αντιδραστήρων χρειάζεται να έχουν μεγάλο ανοιχτό πορώδες. Στους ανοιχτούς πόρους, οι διαμπερείς πόροι είναι αναγκαίοι για βιομηχανικές εφαρμογές όπως τα φίλτρα ή για κατανομή αερίων. Κλειστά πορώδη υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως για ηχητικούς και θερμικούς μονωτές ή χαμηλής βαρύτητας δομικά συστατικά. Η παρουσία των ανοιχτών πόρων στα υλικά αλλάζουν τις ιδιότητες των υλικών και δυο αλλαγές συμβαίνουν: η μείωση της πυκνότητας και η αύξηση της ειδικής επιφάνειας. Αυτές οι αλλαγές δημιουργούν χρήσιμες ιδιότητες όπως υδατοπερατότητα, διήθηση και μόνωση. Στενό μέγεθος των πόρων είναι σημαντικό για παράδειγμα στα πορώδη φίλτρα αφού επιτρέπουν την επιλεκτική απορρόφηση. Επιπλέον, μια αύξηση του πορώδους μειώνει τις μηχανικές ιδιότητες και η μικρή μηχανική αντοχή περιορίζει τις λειτουργικές συνθήκες για πορώδη υλικά και κατά συνέπεια αυξάνει τις απαιτούμενες διαστάσεις των πορωδών υλικών (Ishizaki K.et al.,1998).

2.3.1 Πορώδη κεραμικά

Τα τελευταία χρόνια τα πορώδη κεραμικά χρησιμοποιούνται επιτυχώς σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας λόγω των χαρακτηριστικών τους όπως είναι αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, καταλυτική δράση, αντίσταση στη φθορά και τη διάβρωση. Χαρακτηριστικά παραδείγματα πορωδών κεραμικών είναι αυτά του οξειδίου του αργιλίου και του καρβιδίου του πυριτίου. Ισχυρά, ομοιόμορφα πορώδη κεραμικά που έχουν ανοικτό πορώδες 40-50% με μια στριφνή δομή πόρων και είναι διαθέσιμα σε μεγέθη πόρων που κυμαίνονται από 0.25 έως 90 μm. Στα πορώδης κεραμικά π.χ. των οξειδίων του αργιλίου, είναι διαθέσιμος σε μεγέθη πόρων 6, 15, 30, 50, 60 και 90 μm. Επιπλέον, κεραμικές μεμβράνες με μέγεθος πόρων 0.25, 1, 3 και 6 μm είναι π.χ. το οξείδιο του αργιλίου πυκνότητα 2.2 g/cm³, και έχει μια μέγιστη λειτουργούσα θερμοκρασία 1400F. Αυτά τα τυποποιημένα πορώδη κεραμικά υλικά είναι φυσικά υδρόφιλα.

Τα πορώδη κεραμικά κόβονται εύκολα χρησιμοποιώντας τους συμβατικούς κόπτες διαμαντιού, δεδομένου ότι δεν είναι όλκιμα και οι κόκκοι αφαιρούνται. Η πορώδης κεραμική δομή δεν επηρεάζεται με την κοπή και τη λείανση. Τα περισσότερα πορώδη κεραμικά υλικά είναι ανθεκτικά στους διαλύτες και έχουν την καλή όξινη αντίσταση με εξαίρεση τα υδροχλωρικά και φωσφορικά οξέα. Τα πλεονεκτήματα των πορωδών κεραμικών είναι ότι είναι όχι μόνο μηχανικά ισχυρά αλλά είναι και αδρανή και μπορούν να καθαριστούν και να επαναχρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές. Τα πορώδη κεραμικά χρησιμοποιούνται ως:

- Φίλτρα: το μέγεθος των πόρων εξαρτάται από την εφαρμογή.
- Καταλύτες: το μέγεθος των πόρων εξαρτάται από την εφαρμογή.
- Βιολογικοί αντιδραστήρες: για βακτήρια 5-30μm, για ένζυμα 10-100μm.
- Φίλτρα διαχωρισμού αερίων >1μm.
- Αισθητήρες: το μέγεθος των πόρων εξαρτάται από την εφαρμογή.

Αντιτριβικές εφαρμογές(μηχανικά μέρη όπως βαλβίδες για το χειρισμό διαβρωτικών υγρών που προκύπτουν από διεργασίες κοπής, λείανσης κ.ά.): >1μm.

Παρόλα αυτά οι προοπτικές των πορωδών κεραμικών δεν έχουν αξιοποιηθεί όσο θα έπρεπε και αυτό συμβαίνει γιατί παρουσιάζουν κάποια προβλήματα, όπως:

- Ψαθυρότητα.
- Δυσκολία ελέγχου του τελικού μεγέθους των πόρων.
- Πολυπλοκότητα διεργασιών παραγωγής.
- Μειωμένες μηχανικές αντοχές.

Για να ξεπεραστούν αυτές οι δυσκολίες, οι ερευνητές προσεγγίζουν επιστημονικά τα τεχνολογικά προβλήματα από την παραγωγή κόνεων των πρώτων υλών μέχρι τον έλεγχο ποιότητας των τελικών προϊόντων (Ishizaki K.et al.,1998).

Τα πορώδη μπορούν να ταξινομηθούν με διαφορετικά κριτήρια όπως το μέγεθος των πόρων, το σχήμα των πόρων, τα υλικά και τις μεθόδους παραγωγής. Οι κύριοι τύποι των κεραμικών φίλτρων από πλευράς πορώδους δομής είναι οι ακόλουθοι:

- Κεραμικοί αφροί.
- Φίλτρα για διαχωρισμό σωματιδίων.
- Κεραμικές μεμβράνες (Στουρνάρας K.I.,2007).

2.3.1.1 Κεραμικοί αφροί

Οι κεραμικοί αφροί είναι δομές με πολύ μεγάλο πορώδες τόσο που το πορώδες αποτελεί μια συνεχή φάση. Οι δομές αυτές μπορούν να κατασκευασθούν από διάφορα κεραμικά υλικά. Η αρχή της κατασκευής βασίζεται στον εμποτισμό μιας αφρώδους πλαστικής μήτρας από πολυουρεθάνη με πολτό της κεραμικής κόνεως και επακόλουθη ξήρανση και έψηση. Οι αφρώδεις αυτές κεραμικές δομές έχουν συνολικό πορώδες που μπορεί να φθάσει μέχρι και 80%, και έτσι πολύ μικρότερο βάρος από αντίστοιχες συμπαγείς δομές. Το μεγάλο πορώδες διευκολύνει κατά πολύ την δίοδο των υγρών μέσα από το φίλτρο. Η πτώση πίεσης είναι πολύ μικρή. Οι προδιαγραφές αυτών των φίλτρων δίδονται συνήθως σε ppi (pores per inch/πόροι ανά 1 inch μήκος). Στο εμπόριο κυκλοφορούν ήδη προϊόντα που κυμαίνονται από 10 έως 100ppi. Ένα από τα ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά αυτών των δομών είναι ότι παρά τις διαφορές στο μέγεθος πόρων, η πυκνότητα παραμένει σχεδόν σταθερή και μπορεί να ρυθμιστεί στο 10-30% της θεωρητικής. Μπορούν εύκολα να κατασκευαστούν σε μεγάλες διαστάσεις και ήδη χρησιμοποιούνται ευρύτατα παραλληλεπίπεδες δομές 60cmx40cmx5cm. Για τυπικό φιλτράρισμα αλουμινίου π.χ. ένα τέτοιο φίλτρο μπορεί να δεχθεί και μέχρι 50tons τήγματος.

Το πλεονέκτημα των συγκεκριμένων φίλτρων είναι ότι συγκρατούνται σωματίδια πολύ μικρότερων διαστάσεων από ότι οι πόροι του κεραμικού υλικού. Έτσι, ενώ τα τυπικά μεγέθη πόρων είναι από 200-1500μm, η αποτελεσματικότητα κατακράτησης των κεραμικών αφρών είναι 90-95% για σωματίδια μεγέθους 20-25μm, ενώ κατακρατούνται και σωματίδια μέχρι 5μm (αλλά σε μικρότερα ποσοστά) (Στουρνάρας Κ.Ι.,2007).

2.3.1.2 Φίλτρα για διαχωρισμό σωματιδίων

Τα φίλτρα για διαχωρισμό σωματιδίων είναι πορώδεις δομές με πόρους πάνω από 1μm και πορώδες 40-50%. Παρασκευάζονται με την μέθοδο της εξώθησης που ακολουθείται από ξήρανση και πυροσυσσωμάτωση. Βρίσκουν εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία ως παγίδες αιθάλης, ως συστήματα απομάκρυνσης σωματιδίων από θερμά απαέρια αλλά και για κατακράτηση σωματιδίων από υγρά απόβλητα.

2.3.1.3 Κεραμικές μεμβράνες

Οι ανόργανες κεραμικές μεμβράνες αποτελούν μια σημαντική κατηγορία στον χώρο της μικροδιήθησης και της υπερδιήθησης με αλματώδη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Οι κεραμικές μεμβράνες αποτελούνται συνήθως από δύο ή περισσότερα στρώματα. Μια μακροπορώδης στοιβάδα αποτελεί το υπόστρωμα, ενώ πάνω σε αυτή επικάθονται ένα ή περισσότερα στρώματα μικρότερου μεγέθους. Σύμφωνα με τον IUPAC οι πορώδεις κεραμικές μεμβράνες ταξινομούνται σε 3 βασικές κατηγορίες. Στην Εικ. 2.3 καταγράφεται το μέγεθος των πόρων που κυριαρχεί για κάθε τύπο μεμβράνης.



Εικ.2.3: Ταξινόμηση μεγέθους πόρων κατά IUPAC.

Η ταξινόμηση των κεραμικών μεμβρανών γίνεται επίσης με διάφορα άλλα κριτήρια. Στη περίπτωση που γίνεται με βάση τη δομή τους διακρίνονται σε συμμετρικές και ασύμμετρες. Οι συμμετρικές μεμβράνες χαρακτηρίζονται από ομοιόμορφη δομή και κατανομή μεγέθους πόρων σε όλη την έκταση της μεμβράνης ενώ οι ασύμμετρες αποτελούνται από διαδοχικά στρώματα διαφορετικής κατανομής μεγέθους πόρων. Το πορώδες υπόστρωμα παρέχει την απαραίτητη μηχανική αντοχή στο σύστημα με πάχος μερικών mm και μέγεθος πόρων μεγαλυτέρου του ενός μm. Όταν δεν περιέχονται ανώτερα στρώματα, το υπόστρωμα μπορεί να λειτουργήσει σαν φίλτρο μικροδιήθησης. Γενικά τα υποστρώματα μπορεί να είναι κοίλοι σωλήνες, επίπεδες επιφάνειες ή κυψελοειδείς δομές. Οι συνηθέστεροι μέθοδοι παρασκευής τους είναι η εξώθηση και η υγρή χύτευση. Όσον αφορά στο επίστρωμα, χαρακτηρίζεται από μικρότερο πάχος και μικρότερο μέγεθος πόρων, ενώ ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζει ο βαθμός πρόσφυσής του και η ποιότητα της επικάλυψης. Η επικάλυψη πραγματοποιείται κυρίως με τεχνικές υγρής χύτευσης και εμβάπτισης (dip-coating) **(Κρητικάκη Α.,2009).**



Εικ.2.4: Πορώδεις κεραμικές μεμβράνες.

Οι μακροπορώδεις κεραμικές μεμβράνες έχουν μέγεθος πόρων μεταξύ 0.1–1 μm και πορώδες 40-60%. Οι μεσοπορώδεις κεραμικές μεμβράνες έχουν πάχος 2-10 μm πάνω σε υπόστρωμα βαθμωτού πορώδους, μέγεθος πόρων μεταξύ 2–100 nm και πορώδες 40-50%. Παρασκευάζονται με dip-coating σε διάλυμα σωματιδίων 10-50 nm. Οι μικροπορώδεις κεραμικές μεμβράνες έχουν πάχος της τάξης του 1 μm πάνω σε υπόστρωμα βαθμωτού πορώδους με μέγεθος πόρων μικρότερο του 1nm, παρασκευάζονται με dip coating όπως και οι μεσοπορώδεις μεμβράνες. Οι εφαρμογές τους εντοπίζονται κυρίως στον καθαρισμό του νερού από οργανικούς διαλύτες και υδρογονάνθρακες καθώς και στον διαχωρισμό του υδρογόνου από μεθάνιο ή διοξείδιο του άνθρακα (pervaporation, gas permeation) (Στουρνάρας Κ.Ι.,2007).

2.4 Μηχανισμός λειτουργίας των φίλτρων

Το φιλτράρισμα, ως μια φυσική λειτουργία είναι πολύ σημαντικό στη χημεία για το διαχωρισμό των υλικών διαφορετικής χημικής σύνθεσης σε διάλυμα (ή στερεών τα οποία μπορούν να διαλυθούν), αρχικά χρησιμοποιώντας ένα αντιδραστήριο για την καταβύθιση ενός από τα υλικά και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο για το διαχωρισμό των στερεών από τα άλλα υλικά (s) (www.en.wikipedia.org).

Ο μηχανισμός λειτουργίας των φίλτρων αποτελείται από διάφορες διεργασίες, τη διήθηση και τη προσρόφηση. Αρχικά το φιλτράρισμα μπορεί να γίνεται με βάση το μηχανισμό της διήθησης, η οποία είναι η απομάκρυνση στερεών σωματιδίων από ένα ρευστό, περνώντας το ρευστό μέσα από ένα διηθητικό μέσο, στο οποίο κατακρατούνται τα στερεά. Οι διηθήσεις που γίνονται στη βιομηχανία καταλαμβάνουν μια ευρεία κλίμακα, από απλές κατακρατήσεις στερεών έως πολύπλοκους διαχωρισμούς. Το ρευστό μπορεί να είναι υγρό ή αέριο. Στη βιομηχανική διήθηση το περιεχόμενο της τροφοδοσίας σε στερεά κυμαίνεται από ίχνη έως υψηλά ποσοστά. Λόγω της μεγάλης ποικιλίας υλικών που πρέπει να διηθηθούν και των πολύ διαφορετικών συνθηκών επεξεργασίας, έχουν αναπτυχθεί πολλοί τύποι φίλτρων, μερικοί από τους οποίους παρουσιάζονται στην Εικ. 2.4. (Βλάχος Γ.,2003).



Εικ.2.5: Μηχανισμοί διήθησης: φίλτρο πλακούντα(a), φίλτρο καθαρισμού(b), φίλτρο εγκάρσιας ροής(c).

Το ρευστό ρέει μέσα από ένα διηθητικό μέσο λόγω διαφοράς πίεσης. Άρα τα φίλτρα ταξινομούνται σε αυτά που λειτουργούν με πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής στην ανάντη πλευρά του διηθητικού μέσου και σε αυτά που λειτουργούν με ατμοσφαιρική πίεση στην ανάντη πλευρά και κενό στην κατάντη πλευρά. Πιέσεις μεγαλύτερες της ατμοσφαιρικής μπορούν να αναπτυχθούν με τη δύναμη της βαρύτητας, όταν αυτή ενεργεί σε μια στήλη υγρού, με μια αντλία ή με ένα φυσητήρα ή με τη φυγόκεντρο δύναμη. Τα περισσότερα βιομηχανικά φίλτρα είναι φίλτρα πίεσης ή φίλτρα κενού ή φυγοκεντρικοί διαχωριστές. Η λειτουργία τους μπορεί να είναι συνεχής ή ασυνεχής, ανάλογα με το αν η απομάκρυνση των στερεών είναι σταθερή ή διακοπτόμενη. Κατά τη διάρκεια ενός μεγάλου μέρους του κύκλου λειτουργίας ενός ασυνεχούς φίλτρου, η ροή του υγρού μέσω του φίλτρου είναι συνεχής, αλλά πρέπει να διακόπτεται περιοδικά για να επιτρέπει την απομάκρυνση των στερεών και του ρευστού δε διακόπτεται σε όλη τη διάρκεια της λειτουργίας της συσκευής. Τα φίλτρα χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- Τα φίλτρα πλακούντα.
- Τα φίλτρα καθαρισμού.
- Τα φίλτρα εγκάρσιας ροής.

Τα φίλτρα πλακούντα διαχωρίζουν σχετικά μεγάλες ποσότητες στερεών ως πλακούντα (συσσωρευμένο στερεό) κρυστάλλων ή ιλύος, όπως φαίνεται στην Εικ. 2.4a. Πολλές φορές περιλαμβάνουν διατάξεις για πλύση του πλακούντα και για απομάκρυνση μέρους του υγρού από τα στερεά πριν την έξοδο. Τα φίλτρα καθαρισμού απομακρύνουν μικρές ποσότητες στερεών και παράγουν καθαρά αέρια ή πολύ καθαρά υγρά, όπως τα ποτά. Τα στερεά σωματίδια παγιδεύονται στο διηθητικό μέσο, όπως φαίνεται στην Εικ. 2.4b, ή στις εξωτερικές του επιφάνειες. Τα φίλτρα καθαρισμού διαφέρουν από τα κόσκινα στο ότι οι πόροι του διηθητικού μέσου διήθησης έχουν πολύ μεγαλύτερη διάμετρο από τα σωματίδια που πρόκειται να απομακρυνθούν. Σε ένα φίλτρο εγκάρσιας ροής το αιώρημα της τροφοδοσίας ρέει υπό πίεση με αρκετά μεγάλη ταχύτητα μέσα από το διηθητικό μέσο Εικ. 2.4c. Πάνω στην επιφάνεια του ψίλτρου μπορεί να σχηματιστεί ένα λεπτό στρώμα στερεών, όμως η υψηλή ταχύτητα του υγρού εμποδίζει τη συσσώρευση του στρώματος (**Βλάχος Γ.,2003).**

Έναν επιπλέον μηχανισμός λειτουργίας του φίλτρου αποτελεί και η προσρόφηση. Η προσρόφηση (adsorption) μιας ουσίας γίνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης σε μια διεπιφάνεια υγρού-στερεού ή αερίου-στερεού. Η χημική ουσία που συγκεντρώνεται ή προσροφάται στη διεπιφάνεια, καλείται προσρόφημα (adsorbate) και το στερεό στην επιφάνεια του οποίου γίνεται η προσρόφηση καλείται προσροφητικό υλικό ή προσροφητής (adsorbent). Τα προσροφητικά υλικά χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς, όπως η επεξεργασία του νερού, των υγρών αποβλήτων κ.α. Τα πιο γνωστά προσροφητικά υλικά είναι ο ενεργός άνθρακας, οι οργανικές ρητίνες, το ενεργό οξείδιο του αργιλίου, η ιπτάμενη τέφρα κ.α. (Λέκκας,1996).

Τα προσροφημένα μόρια συγκρατούνται στην επιφάνεια του προσροφητή με διάφορες χημικές δυνάμεις, όπως δεσμούς υδρογόνου, αλληλεπιδράσεις διπόλων και δυνάμεις Van der Waals. Όταν η προσρόφηση οφείλεται σε ηλεκτρικές δυνάμεις έλξης, έχουμε την περίπτωση των ιοντεναλλακτών, όπου το διαλυμένο ιόν συγκρατείται στην επιφάνεια του στερεού από αντίθετα ηλεκτροστατικά φορτία. Η προσρόφηση που οφείλεται στις δυνάμεις Van der Waals ονομάζεται φυσική προσρόφηση. Κατά την προσρόφηση αυτή, τα προσροφώμενα μόρια κινούνται ελεύθερα στην επιφάνεια προσρόφησης και δεν έχουν συγκεκριμένο πεδίο συγκράτησης. Εάν το προσρόφημα αντιδρά χημικά με την επιφάνεια προσρόφησης, έχουμε τη χημική προσρόφηση. Γενικά, η φυσική προσρόφηση παρατηρείται στις χαμηλές θερμοκρασίες και χαρακτηρίζεται από χαμηλή ενέργεια προσρόφησης, ενώ η χημική προσρόφηση παρατηρείται σε υψηλές θερμοκρασίες και χαρακτηρίζεται από υψηλές ενέργειες προσρόφησης. Η συγκέντρωση των προσροφόμενων στην επιφάνεια μορίων, μπορεί επίσης να είναι αποτέλεσμα του λυόφοβου χαρακτήρα των διαλυμένων στην υγρή φάση μορίων. Συνήθως, στα περισσότερα συστήματα η προσρόφηση προκαλείται από τον συνδυασμό των διεργασιών αυτών.

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας στην προσρόφηση είναι η διαλυτότητα μιας ουσίας στην επιφάνεια υγρού-στερεού. Εάν δεν υπάρχει συμβατότητα ανάμεσα στο διαλυμένο μόριο με το νερό, η ουσία θα κινηθεί προς τη στερεή φάση. Κατά την προσρόφηση διαλυμένων ουσιών σε μια επιφάνεια, η συγκέντρωση της προσροφόμενης ουσίας πάνω στην επιφάνεια αυξάνει μέχρι μιας τιμής. Περαιτέρω προσρόφηση μορίων, συνεπάγεται αποδέσμευση ήδη προσροφημένων ουσιών. Παρατηρείται δηλαδή, μια δυναμική ισορροπία μεταξύ της διαλυμένης ουσίας και της συγκέντρωσής της στην επιφάνεια του προσροφητή (Λέκκας, 1996).

23

2.5 Διάφορες δομές κεραμικών φίλτρων.

Τα κεραμικά φίλτρα χρησιμοποιούνται ήδη ευρύτατα σε μια σειρά από διεργασίες. Στο σύνολο τους παρουσιάζουν αυξημένες μηχανικές αντοχές, αντοχή σε διαβρωτικό περιβάλλον, αντοχή σε θερμικές καταπονήσεις και μεγάλη διάρκεια ζωής. Σημαντική παράμετρος στην επιλογή του φίλτρου είναι το κόστος κατασκευής του αλλά και η ευκολία καθαρισμού και επαναχρησιμοποίησης.

Παρακάτω, θα περιγράψουμε ορισμένες δομές κεραμικών φίλτρων που χρησιμοποιούνται σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας για το φιλτράρισμα αερίων, στερεών ή υγρών.

2.5.1 Φίλτρα θερμών αεριών

Οι διαδικασίες που απαιτούν καθαρισμό αερίων από αιωρούμενα σωματίδια είναι πάρα πολλές. Τυπικό παράδειγμα αποτελούν τα καυσαέρια των πετρελαιοκινητήρων των αυτοκινήτων τα οποία εκπέμπουν σημαντικό ποσοστό σωματιδίων αιθάλης (καπνιάς). Άλλα παραδείγματα έχουν να κάνουν με το φιλτράρισμα αερίων από βιομηχανικές διεργασίες υψηλών θερμοκρασιών (κλίβανοι τσιμέντου, μεταλλευμάτων, καύση και αεριοποίηση του άνθρακα, κλπ). Για τις διαδικασίες αυτές γρησιμοποιούνται πολλά είδη φίλτρων, που βασίζονται σε διαφορετικές αρχές λειτουργίας όπως κυκλώνες, καταιονιστήρες, ηλεκτροστατικά φίλτρα, σακκόφιλτρα, κλπ. Όπως φαίνεται, τα πορώδη κεραμικά φίλτρα παρουσιάζουν το υψηλότερο ποσοστό κατακράτησης για σωματίδια μεγέθους της τάξεως των λίγων μm. Παρακάτω θα περιγράψουμε τους συνηθέστερους τύπους κεραμικών φίλτρων για φιλτράρισμα αερίων που έχουν ήδη βρει βιομηχανική εφαρμογή (Τσετσέκου A.,2005).

2.5.1.1 Παγίδες αιθάλης

Τα οχήματα με κινητήρες diesel (φορτηγά, λεωφορεία, ταξί) εκπέμπουν σημαντικό ποσοστό επικίνδυνων σωματιδίων αιθάλης και αποτελούν σήμερα την σοβαρότερη πηγή μόλυνσης της ατμόσφαιρας στα αστικά κέντρα. Η νομοθεσία επιβάλλει την μείωση των εκπομπών κάτω από κάποια όρια τα οποία συνεχώς γίνονται αυστηρότερα.

Τα σωματίδια αυτά είναι δυνατόν να κατακρατηθούν μέσα σε ένα κεραμικό φίλτρο, γνωστό με το όνομα "παγίδα αιθάλης", είναι ουσιαστικά μια κυψελοειδής δομή μέσα από το πορώδες τοίχωμα της οποίας αναγκάζονται να διέλθουν τα καυσαέρια. Κατά τη δίοδο, αυτή του αερίου μέσα από το τοίχωμα, τα σωματίδια αιθάλης παγιδεύονται μέσα στους πόρους του κεραμικού υλικού, ενώ το αέριο διέρχεται.

Οι παράγοντες που ρυθμίζουν την αποτελεσματικότητα της κατακράτησης, είναι η πορώδης δομή και η πυκνότητα των κυψελίδων. Οι σύγχρονες παγίδες αιθάλης έχουν πορώδες της τάξεως του 50% μέσο μέγεθος πόρων 5-20μm, πυκνότητα καναλιών 100κελιά/inch² και πάχος τοιχώματος 500μm. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που παρουσιάζουν είναι ο καθαρισμός του φίλτρου από τα συσσωρευμένα σωματίδια (αναγέννηση) που επιτυγχάνεται με καύση της αιθάλης με τη διοχέτευση θερμού ρεύματος αέρα.

Το κύριο υλικό από το οποίο κατασκευάζονται είναι ο κορδιερίτης (2MgO*2A1₂0₃*5Si0₂), που παρουσιάζει πολύ μεγάλη αντίσταση στους θερμικούς αιφνιδιασμούς. Το τιτανικό αλουμίνιο που παρουσιάζει υψηλότερη πυριμαχικότητα δοκιμάζεται ήδη πειραματικά (Ishizaki K.et al.,1998).

2.5.1.2 Cross-flow filters

Ο μηχανισμός της κατακράτησης των σωματιδίων μέσα στα τοιχώματα πορωδών φίλτρων εφαρμόζεται και στην περίπτωση των κυψελωτών φίλτρων διασταυρούμενης ροής (cross-flow filters). Αυτού του είδους τα φίλτρα αποτελούνται από διαδοχικά επίπεδα στρώματα που περιέχουν κανάλια ροής ανοικτά το ένα άκρο και κλειστά στο άλλο και τοποθετούνται κάθετα μεταξύ τους. Με την προσθήκη κατάλληλης συγκολλητικής ουσίας και επακόλουθη πύρωση, σχηματίζεται μια μονολιθική δομή. Οι κυψελοειδείς αυτές δομές συνδυάζουν την μεγάλη επιφάνεια ροής των αερίων (ώστε να αποφεύγεται η μεγάλη πτώση πίεσης) με μεγάλη επιφάνεια για κατακράτηση σωματιδίων (τα πολλά πορώδη τοιχώματα των καναλιών). Για την κατασκευή cross-flow filters χρησιμοποιούνται πυρίμαχες φάσεις οξειδίων. Φίλτρα διαστάσεων 12"x12"x14" έχουν υπερβεί επιτυχώς τις 8.000 ώρες λειτουργίας εν θερμώ. Η αμερικανική εταιρεία Westinghouse έχει αναπτύξει τέτοια φίλτρα που μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλές πιέσεις (10-30atm) και υψηλές θερμοκρασίες (650-900°C) και να απομακρύνουν ιπτάμενα σωματίδια τέφρας από αέρια που προορίζονται για στροβιλοκινητήρες. Η αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου φίλτρου είναι τόσο μεγάλη, ώστε το φίλτρο πληροί όλους τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως τα ηλεκτροστατικά φίλτρα που χρησιμοποιούνται συνήθως σε τέτοιες εφαρμογές. Το κύριο πρόβλημα αυτού του είδους φίλτρων είναι ότι οι επί μέρους παράλληλες στιβάδες τείνουν να αποκολληθούν μεταξύ τους (delamination) ενώ συχνά δημιουργούνται και ρωγματώσεις στα σημεία συγκόλλησης (Τσετσέκου A.,2005).

2.5.1.3 Candle filters

Μια άλλη εναλλακτική σχεδίαση για καθαρισμό αερίων είναι τα λεγόμενα candle filters τα οποία είναι συστοιχίες πορωδών σωλήνων κλειστών στο ένα άκρο, με τυπικές διαστάσεις 1-1,5m μήκος, 60mm εξωτερική διάμετρο και 10-15mm πάχος τοιχώματος. Οι σωλήνες αυτοί είτε εδράζονται σε μια ειδική βάση ή κρέμονται από μια κατάλληλη υποδοχή και εσωκλείονται μέσα σε ειδικούς θαλάμους. Το αέριο σ' αυτή την περίπτωση εξαναγκάζεται να περάσει μέσα από το πορώδες τοίχωμα του κεραμικού ώστε να φιλτραριστεί. Το κυρίως χρησιμοποιούμενο υλικό για την κατασκευή των candle filters είναι το καρβίδιο του πυριτίου (SiC) το οποίο μορφοποιείται με την βοήθεια μιας συνδετικής κεραμικής φάσης. Εναλλακτικά χρησιμοποιούνται επίσης αλουμινοπυριτικά υλικά, αλουμίνα, αλουμίνα/μουλλίτης, ή σύνθετα υλικά αποτελούμενα από ίνες SiC σε μήτρα SiC. Εν γένει, πάντως τα candle filters παρουσιάζουν αντοχή σε θερμοκρασίες 1100°C ικανότητα κατακράτησης πολύ μικρών σωματιδίων (με μέγεθος κάτω του 1μm) με υψηλά ποσοστά αποτελεσματικότητας και υψηλή μηχανική αντοχή (αντέχουν πιέσεις αερίων μέχρι 35 atm) (Τσετσέκου Α.,2005).

2.5.1.4 Φίλτρα «βαθμωτού πορώδους»

Πολύ αποτελεσματικά φίλτρα είναι αυτά του «βαθμωτού πορώδους» τα οποία επιτυγχάνουν πολύ μεγάλη κατακράτηση σωματιδίων με ταυτόχρονα πολύ μικρή πτώση πίεσης. Σε αυτές τις δομές η κύρια μάζα του φίλτρου παρουσιάζει πόρους μεγάλου μεγέθους από όπου μπορεί να διέρχεται σχετικά εύκολα το αέριο ρεύμα. Η εξωτερική επιφάνεια του φίλτρου καλύπτεται με μια λεπτή στιβάδα από κεραμικό υλικό με πολύ μικρότερο μέσο μέγεθος πόρων. Αυτή η «βαθμωτή» δομή αποτρέπει τα σωματίδια από το να εισχωρήσουν μέσα στον κύριο όγκο του φίλτρου, απ' όπου διέρχεται το αέριο. Έτσι τα σωματίδια σχηματίζουν ένα επιφανειακό στρώμα στα τοιχώματα των καναλιών. Όταν αυτό το στρώμα υπερβεί κάποιο συγκεκριμένο πάχος και αρχίσει να παρουσιάζεται αυξημένη πτώση πίεσης λαμβάνει χώρα η αναγέννηση του φίλτρου με ρεύμα αερίων αντίθετης φοράς. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους είναι: πολύ υψηλή επιφάνεια φιλτραρίσματος ανά μονάδα όγκου (540m²/m³), πολύ

χαμηλή πτώση πίεσης, λειτουργία σε θερμοκρασίες μέχρι 1000°C και πλήρης κατακράτηση σωματιδίων κάτω των 10μm (Kritikaki A et. al, 2008).

2.5.2 Φίλτρα υγρών

Σε πολλές βιομηχανικές διαδικασίες που έχουν να κάνουν με τήξη μετάλλων (αλουμίνιο, χάλυβες, κλπ) και όπου το μέταλλο πρόκειται να λάβει τελική μορφή πολύ λεπτών φύλλων, είναι απαραίτητος ο καθαρισμός του τήγματος από προσμίξεις που τυχόν μεταφέρει. Η κυριότερη απαίτηση από ένα τέτοιο φίλτρο είναι κατ' αρχήν (όπως και στην περίπτωση του φιλτραρίσματος αερίων) μεγάλη αποτελεσματικότητα κατακράτησης. Το κρίσιμο μέγεθος των προς κατακράτηση σωματιδίων γίνεται όλο και μικρότερο καθώς οι ποιοτικές προδιαγραφές των τελικών προϊόντων αυξάνουν και απαιτούν ολοένα και λεπτότερα τοιχώματα ή πολύ μεγάλη καθαρότητα για εφαρμογές υψηλής τεχνολογίας (computer discs, αεροδιαστημικές εφαρμογές). Επί πλέον απαιτήσεις είναι αυξημένη θερμική, μηχανική και χημική αντοχή και μικρή πτώση πίεσης ώστε να μπορούν να επιτευχθούν υψηλοί ρυθμοί χύτευσης. Για τέτοιες εφαρμογές έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια ειδικά κεραμικά φίλτρα γνωστά με το όνομα "κεραμικοί αφροί" (ceramic foams) (**Woyanski J, et al, 1992).**



Εικ.2.6:Πορώδη κεραμικά.

2.6 Διαδικασία παραγωγής κεραμικών μαζών

Η παραγωγική διαδικασία των κεραμικών (τόσο των παραδοσιακών, όσο και των προηγμένων κεραμικών) περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

• Προετοιμασία των πρώτων υλών (λειοτρίβηση, ξήρανση, ανάμιξη κ.λπ.).

- Μορφοποίηση.
- Έψηση (πυροσυσσωμάτωση).

2.6.1 Ανάμειξη

Στο πρώτο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας η κεραμική σκόνη συνήθως αναμειγνύεται με νερό μέχρι να δημιουργηθεί μία πλαστική μάζα. Η διαδικασία της ανάμειξης λαμβάνει τέλος όταν δημιουργηθεί μάζα ικανής μορφοποίησης στον εξωθητή. Τυχόν φυσαλίδες εντός της μάζας απομακρύνονται με χρήση κενού αέρος.

2.6.2 Μορφοποίηση

Κατά το στάδιο της μορφοποίησης η κεραμική μάζα διαμορφώνεται σε σώμα συγκεκριμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών (διαστάσεις, καμπυλότητα, σχήμα, διάτρητο ή μη). Για τον καθορισμό των γεωμετρικών διαστάσεων λαμβάνεται υπόψη η συρρίκνωση (μεταβολή αρχικού μεγέθους) ώστε το κεραμικό αντικείμενο μετά το ψήσιμο να έχει τις επιθυμητές διαστάσεις. Η πλέον κατάλληλη μέθοδος για την μορφοποίηση ενός συγκεκριμένου αντικειμένου και η αντίστοιχη επεξεργασία της μάζας εξαρτώνται από το γεωμετρικό σχήμα, τις διαστάσεις, την πολυπλοκότητα του αντικειμένου, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης καθώς και από την απαιτούμενη ποιότητα και τον ρυθμός παραγωγής (**Terpstra R.A,1995**).

- Χύτευση εν αιωρήση (slip casting).
- Εξώθηση.
- Συμπίεση.

2.6.2.1 Χύτευση εν αιωρήση (slip casting)

Ο αγγλικός όρος slip δηλώνει το εναιώρημα των πρώτων υλών στο νερό. Όταν αυτό χύνεται μέσα σε ένα πορώδες εκμαγείο (συνήθως κατασκευασμένο από γαλλικό γύψο), το νερό του εναιωρήματος απορροφάται από το εκμαγείο αφήνοντας πίσω μια στερεή στρώση επάνω στο τοίχωμα της μήτρας, το πάχος του οποίου εξαρτάται από το χρόνο. Η διαδικασία μπορεί να συνεχιστεί μέχρι να στερεοποιηθεί όλη η κοιλότητα της μήτρας (**W. D.Callister Jr, 2004**).

2.6.2.2 Εξώθηση

Μία άλλη διαδικασία μορφοποίησης είναι η εξώθηση. Βασίζεται κυρίως στις ρεολογικές ιδιότητες των αργίλων. Όταν τα ανόργανα συστατικά των αργίλων αναμιχθούν με νερό, αποκτούν πλαστικότητα (είναι πολύ εύπλαστα), και μπορούν να μορφοποιηθούν χωρίς να δημιουργούνται ρωγμές. Όμως έχουν χαμηλές μηχανικές αντοχές. Η πιο συνήθης υδροπλαστική τεχνική μορφοποίησης είναι η εξώθηση, κατά την οποία μια πλαστική μάζα ωθείται να περάσει μέσα από ένα στόμιο καλουπιού με την επιθυμητή γεωμετρία διατομής. Συνήθως η εύπλαστη αυτή μάζα ωθείται μέσα από το καλούπι με τη βοήθεια ενός μηχανοκίνητου κοχλία, συχνά σε θάλαμο κενού, ώστε να απομακρυνθούν οι φυσαλίδες που μπορεί να βρίσκονται μέσα στη μάζα. Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται κυρίως για την κατασκευή τούβλων, σωλήνων, πλακιδίων και κεραμικών τεμαχίων (**W. D.Callister Jr, 2004**).

2.6.2.3 Μορφοποίηση με συμπίεση

Η μορφοποίηση αυτού του είδους πραγματοποιείται επιβάλλοντας πίεση μέσω ενός εμβόλου στην ξηρή ή με λίγη υγρασία σκόνη μέσα σε ένα σκληρό μεταλλικό καλούπι. Η σκόνη συμπιέζεται στο επιθυμητό σχήμα που δίνεται από το καλούπι ενώ συνήθως η παρουσία υγρασίας ενισχύει την προσκόλληση των κόκκων και βελτιώνει την αντοχή του μορφοποιημένου σώματος. Στόχος είναι να κρατηθεί το επίπεδο της υγρασίας όσο πιο χαμηλά γίνεται ώστε να μειωθεί η συρρίκνωση στο ελάχιστο. Τα προβλήματα που σχετίζονται με την συμπίεση των κεραμικών μαζών είναι το μέγεθος των κόκκων και ο καταμερισμός της πίεσης. Τα μέρη των κεραμικών αναμίξεων είναι συμπιεσμένα μέχρι ενός ορίου πυκνότητας (**W.D.Callister Jr, 2004**).

2.6.3 Ξήρανση και Έψηση

2.6.3.1 Ξήρανση

Μετά την μορφοποίηση ενός αντικειμένου όπου απαιτείται η προσθήκη νερού ακολουθεί το στάδιο της ξήρανσης (απομάκρυνση νερού). Η προσοχή που απαιτείται έτσι ώστε το αντικείμενο να μην αποκτήσει ραγίσματα ή να παραμορφωθεί είναι μεγάλη. Στα πρώτα στάδια της ξήρανσης οι κόκκοι μιας μάζας ουσιαστικά περιβάλλονται από λεπτό υμένιο νερού και χωρίζονται μεταξύ τους. Η ξήρανση στις εσωτερικές περιοχές του κεραμικού επιτυγχάνεται με τη μετακίνηση των μορίων του νερού προς την επιφάνεια όπου πραγματοποιείται η εξάτμιση. Ένας παράγοντας που
επηρεάζει την συρρίκνωση, εκτός από την θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος, είναι το πάχος του σώματος του αντικειμένου. Σε δοκίμια με μεγάλο πάχος ευνοείται περισσότερο η ανομοιόμορφη συρρίκνωση και η δημιουργία ατελειών σε σύγκριση με τα λεπτά. Όσο προχωράει η διαδικασία της ξήρανσης και το νερό απομακρύνεται η απόσταση των σωματιδίων μικραίνει (συρρίκνωση) (Kingery W.D.et al., 1975).

2.6.3.2 Έψηση

Αμέσως μετά την ξήρανση ακολουθεί το στάδιο της έψησης κατά το οποίο η κεραμική μάζα πυρώνεται σε θερμοκρασίες 700 με 1800°C. Φαινόμενα όπως η ανακρυστάλλωση (χαλαζίας Α-χαλαζίας Β), ο σχηματισμός τήγματος, οι αντιδράσεις διάφορων φάσεων με άλλες ή με το τήγμα λαμβάνουν χώρα κατά την έψηση. Στις πυριτικές ενώσεις συμβάλλει σημαντικά η παρουσία τήγματος. Σε σώματα που αποτελούνται από αργίλους, αστρίους και χαλαζία το τήγμα αναμένεται να πρωτοεμφανιστεί σε θερμοκρασία 950° C, αυτό προκύπτει από το σύστημα K₂O-Al₂O₃- SiO₂, στην πράξη όμως μπορεί να παρατηρηθεί γύρω στους 920° C λόγω παρουσίας μικρών προσμίξεων όπως ο αλβίτης στον καλιούχο άστριο ή οξείδια αλκαλικών γαιών ή οξείδια του σιδήρου στα αργιλικά ορυκτά (**Kingery W.D.et al., 1975**).

Η θερμοκρασία έψησης εξαρτάται από την σύσταση και τις επιθυμητές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Όσο αυξάνει η θερμοκρασία τόσο αυξάνει η πυκνότητα του δοκιμίου. Παράλληλα παρατηρείται μείωση του πορώδους του. Τα θεμελιώδη όμως φαινόμενα που συνοδεύουν την έψηση είναι η ανακρυστάλλωση και ενδεχομένως η μεγέθυνση των κρυσταλλιτών κατά την οποία επέρχεται η δομική διασύνδεση των κόκκων της κεραμικής σκόνης πυροσυσσωμάτωση (sintering) και το σώμα αποκτά μηχανική αντοχή με ταυτόχρονη συρρίκνωση του όγκου λόγω περιορισμού ή εξάλειψης των πόρων. Η πυροσυσσωμάτωση εξαρτάται κυρίως από:

- Τη θερμοκρασία έψησης.
- Τη διάρκεια έψησης.
- Το ρυθμό ανόδου και καθόδου της θερμοκρασίας.
- Την ατμόσφαιρα.
- Την πυκνότητα πάκτωσης.
- Τη χημική σύσταση.

- Την λεπτότητα των κόκκων.
- Την κατάσταση της δομής των κρυστάλλων.



Εικ.2.7: Αρχικό στάδιο πυροσυσσωμάτωσης με εξάτμιση- συμπύκνωση.

Όπως είναι γνωστό από την θεωρία , η κινητήρια δύναμη για την πυροσυσσωμάτωση μιας κόνεως είναι η ταπείνωση της ελεύθερης ενθαλπίας λόγω της μείωσης της συνολικής επιφάνειας των σωματιδίων. Η ενέργεια της επιφάνειας ανά μονάδα όγκου είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τη διάμετρο των σωματιδίων. Κατά συνέπεια μικρό μέγεθος κόκκου οδηγεί σε μεγαλύτερη ενέργεια και πυροσυσσωμάτωση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, επιταχύνοντας τον ρυθμό περιορισμού των πόρων. Επομένως, η παρουσία λεπτόκοκκων κόνεων οδηγεί σε λεπτόκοκκα υλικά με υψηλή πυκνότητα και μικρότερο πορώδες. Αν λοιπόν επιζητείται αύξηση του πορώδους σε μια εφαρμογή, τότε συνιστάται η πυροσυσσωμάτωση χονδρόκοκκων κόνεων. Η παραπάνω παραδοχή αποτελεί ένα γενικό κανόνα ωστόσο όμως στην πράξη η επίδραση του μεγέθους των αρχικών κόνεων συνδέεται στενά και με την κοκκομετρική κατανομή τους. Έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία ότι μια στενή κατανομή κόκκων προσδίδει μεγαλύτερη ομοιογένεια περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο την μεγέθυνση τυχόν ατελειών που μπορεί να βρίσκονται στη δομή των προς έψηση υλικών. Η πυροσυσσωμάτωση χονδρόκοκκων κόνεων συμβάλει στη δημιουργία δομών με υψηλό πορώδες. Δεδομένου ότι η ομοιομορφία της κατανομής αποτελεί ζητούμενο για τη σχεδίαση άριστων υλικών, η επιλογή στενής κατανομής αποτελούμενης από χονδρόκοκκα σωματίδια οδηγεί επίσης σε προϊόντα με υψηλό πορώδες (Κρητικάκη Α.,2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Το σύνολο των εργασιών πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια:

Στο προπαρασκευαστικό στάδιο έγινε:

- Ο κλασματικός διαχωρισμός των δειγμάτων ιπταμένης τέφρας του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ, της πυρήνας ελαιοκάρπου (με ξηρή κοσκίνηση) και της αργίλου (με τη μέθοδο Atterberg).
- Οι ορυκτολογικές (με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X) και χημικές αναλύσεις (με τη μέθοδο φασματοσκοπίας ακτινών –X).
- Οι κοκκομετρικές αναλύσεις (με τη χρήση κοκκομετρικού αναλυτή Laser) στα παραπάνω υλικά.

Στο δεύτερο και τελικό στάδιο έγινε:

- Η παρασκευή των δοκιμίων (κυλινδρικών δισκίων) με την ανάμιξη των υλικών σε διάφορες αναλογίες.
- Έψηση και προσδιορισμός του πορώδους, της υδατοαπορροφητικότητας, της πυκνότητας, του μεγέθους των πόρων (σε συγκεκριμένα δοκίμια) καθώς και των αντοχών τους.

3.1. Κοκκομετρικός Διαχωρισμός

3.1.1 Ξηρή Κοσκίνηση

Για το διαχωρισμό των δειγμάτων της Ι.Τ. του ΑΗΣ Αχλάδας-Μελίτης και της πυρήνας ελαιοκάρπου σε κλάσματα διαφόρων μεγεθών πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της ξηρής κοσκίνησης. Η σειρά κοσκίνων που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Γερμανική DIN 4188 (Retsch, Germany).

Μετά το πέρας της κοσκίνισης, το υλικό το οποίο είχε συγκρατηθεί από κάθε κόσκινο μεταφερόταν στη ζυγαριά για τη μέτρηση του βάρους του, ενώ τα τεμάχια τα οποία είχαν σφηνωθεί στους βρόγχους των κοσκίνων απομακρύνονταν με ελαφριά πίεση χρησιμοποιώντας βούρτσα.

Το υπόλειμμα από κάθε κόσκινο και το τελικό διερχόμενο ζυγίζονταν χωριστά και τα αποτελέσματα αθροίζονταν (**Φραγκίσκος Α.,1979**).



Εικ.3.1: Κόσκινα σειράς DIN 4188 (Retsch, Germany).

3.1.2 Μέθοδος Atterberg

Ο ιδιαίτερα λεπτόκοκκος χαρακτήρας της αργίλου (M3) μας οδήγησε στην χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου. Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στην ελεύθερη καθίζηση των σωματιδίων μέσα στο νερό. Συγκεκριμένα σ' ένα κυλινδρικό δοχείο ύψους L= 30 cm εισάγεται το προς εξέταση υλικό (άργιλος), μαζί με διασπορέα (Darvan C, αμμωνιακό άλας του πολυμεθακρυλικού οξέος) σε νερό. Τα σωματίδια μετά από κάποια αρχική ανάδευση και ομοιογενοποίηση του αιωρήματος καθιζάνουν ελεύθερα. Το αιώρημα τοποθετήθηκε στο σωλήνα καθίζησης Atterberg (Εικ.3.2).



Εικ.3.2: Σωλήνες καθίζησης Atterberg.

Ο διαχωρισμός των κλασμάτων έγινε σύμφωνα με την ελεύθερη καθίζηση των τεμαχιδίων λαμβάνοντας κάθε φορά το αιώρημα πάνω από την στάθμη εκροής του σωλήνα Atterberg με το παραμένον αιώρημα να αποτελεί το αμέσως λεπτόκοκκο υλικό. Μετά το πέρας του εκάστοτε χρόνου προστίθεται στο συμπύκνωμα που βρίσκεται στο κατώτερο σημείο του σωλήνα νερό μέχρι το ανώτερο σημείο του και αναδεύεται μετρώντας διαφορετικό χρόνο κάθε φορά. Σε συγκεκριμένο χρόνο παραμονής (t) του αιωρήματος λαμβάνεται αντίστοιχα συγκεκριμένο κλάσμα αργίλου διαμέτρου (D) και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$t = \frac{h*18*n}{D^2* d_{sf} - d_{liq} * g}$$
, όπου

- $t = \chi \rho \delta v \delta \zeta \pi \alpha \rho \alpha \mu \delta v \delta \zeta$
- $h = \dot{\upsilon}\psi \upsilon \varsigma \, \sigma \tau \eta \lambda \eta \varsigma \, Atterberg \, [cm]$
- n = ι ξώδες υγρού (νερού)
- $D = \tau o \mu \epsilon \gamma \epsilon \theta o \varsigma \tau w \sigma \omega \mu \alpha \tau i \delta (\omega v [\mu m])$
- $d_{sf} = \pi u \kappa v \delta \tau \eta \tau a \sigma \varphi a (pa \zeta [gr/cm³])$
- $d_{liq} = \pi \nu \kappa \nu \delta \tau \eta \tau \alpha \nu \gamma \rho o \psi (\nu \epsilon \rho o \psi) [gr/cm³]$
- g = επιτάχυνση της βαρύτητας

Τα κλάσματα που λαμβάνονται κυμαίνονται από 2 έως 36μm. Είναι αδύνατον να συλλέξουμε όλους του κόκκους με διάμετρο πλησίον στη διάμετρο διαχωρισμού διότι θα έπρεπε να επαναλάβουμε άπειρες φορές την διαδικασία. Η προσθήκη του διασπορέα δημιουργεί απωστικές δυνάμεις καθώς ενεργοποιούνται οι επιφάνειες των τεμαχιδίων και αποφεύγονται τα συσσωματώματα (Σταμπολιάδης Η., 2004).

3.1.3 Κοκκομετρικές αναλύσεις με κοκκομετρικό αναλυτή Laser

Για τις κοκκομετρικές αναλύσεις λεπτών κλασμάτων (Ι.Τ. και αργίλου) χρησιμοποιήθηκε και ο κοκκομετρικός αναλυτής Laser του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης (Εικ.3.3) για επαλήθευση των αποτελεσμάτων, που προέκυψαν από τον διαχωρισμό με κόσκινα και με τη μέθοδο Atterberg.

Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στην εκτροπή των ακτίνων Laser από την ευθεία πορεία τους, όταν αυτές προσπίπτουν σε κόκκους. Η γωνία εκτροπής

εξαρτάται από το μέγεθος του κόκκου και συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο το μέγεθος, τόσο μικρότερη η γωνία εκτροπής και αντίστροφα.

Οι βασικές μονάδες από τις οποίες αποτελείται ο αναλυτής αυτός είναι:

1. Οπτική μονάδα μέτρησης (optical measurement unit):

Η οπτική μονάδα μέτρησης του αναλυτή περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη:

- Πομπό (transmitter), που περιλαμβάνει τη μονάδα του Laser.
- Δέκτη (receiver), που περιλαμβάνει τη μονάδα του ανιχνευτή.
- Το κελί μέτρησης.
- Φακό (range lens). Ο φακός που χρησιμοποιήθηκε αναλύει κόκκους με μέγεθος από 0,5-880 μm.
- 2. Μονάδα αιώρησης του δείγματος (sample suspension unit): Στην μονάδα αυτή διασπείρεται το προς εξέταση υλικό μέσα σε αλκοόλη. Η μονάδα αυτή περιλαμβάνει, επίσης, ένα σύστημα υπερήχων και ανάδευσης για την διασπορά των συνεκτικών υλικών και για την αποφυγή της κροκίδωσης των κόκκων. Κατά την διαδικασία της μέτρησης το αιώρημα με τη βοήθεια μιας αντλίας, κυκλοφορεί συνεχώς μεταξύ του κελιού μέτρησης και της δεξαμενής (sample suspension unit).
- 3. Σύστημα υπολογιστή: Ο αναλυτής Laser περιλαμβάνει, ένα σύστημα υπολογιστή ο οποίος είναι συμβατός με το λειτουργικό πρόγραμμα της Malvern, και έναν εκτυπωτή HP Desklet 600 ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την εκτύπωση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.



Εικ.3.3: Κοκκομετρικός αναλυτής Laser του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού.

3.2 Ορυκτολογικές αναλύσεις

Ο προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης των Ι.Τ., της αργίλου και της πυρήνας πραγματοποιήθηκε με το περιθλασίμετρο ακτίνων-X (XRD) τύπου D8 Advance της Bruker (Εικ.3.4) του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Εικ.3.4: Περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ βασίζεται στο φαινόμενο της περίθλασης των ακτίνων-Χ πάνω στους κρυστάλλους.

Έστω ότι το πλέγμα ενός κρυστάλλου (Εικ.3.5) αποτελείται από ομάδες πλεγματικών επιπέδων τα οποία σε κάθε ομάδα είναι παράλληλα και διαδέχεται το ένα το άλλο πάντα στην ίδια απόσταση, d.

Εάν Ε1, Ε2, Ε3, τα πλεγματικά επίπεδα ενός κρυστάλλου, Α1, Α2, δύο ακτίνες-Χ του μήκους κύματος λ των ακτίνων, θ, η γωνία με την οποία προσπίπτουν οι ακτίνες, και n, η τάξη της ανάκλασης συμφώνα με την εξίσωση του Bragg ισχύει:

$n\lambda = 2dsin\theta$

Με τη μέθοδο του περιθλασιμέτρου ακτίνων-Χ., η οποία χαίρει ευρείας εφαρμογής, καθίστανται δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτινών-Χ που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως.



Εικ.3.5: Ανάκλαση ακτίνων -Χ στα πλεγματικά επίπεδα ενός κρυστάλλου.

Οι βασικές μονάδες που συνθέτουν ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ είναι (Εικ.3.6) η μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης, η λυχνία ακτίνων-Χ, το γωνιόμετρο (σε κατακόρυφη θέση), ο απαριθμητής των ακτίνων-Χ με την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων και η μονάδα του μικροϋπολογιστή μέσω του οποίου καθοδηγείται ολόκληρο το σύστημα και αξιολογούνται τα δεδομένα (Κωστάκης Γ., 1999).



Εικόνα 3.6: Σχηματική παράσταση της διάταξης εστιασμού των ακτίνων–Χ. 1) λυχνία ακτίνων-Χ, 2) διαφράγματα, 3) παρασκεύασμα, 4) βάση απαριθμητή ακτίνων–Χ και 5) απαριθμητής ακτίνων–Χ.

Το παρασκεύασμα τοποθετείται στον δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασιμέτρου, ο οποίος βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε να παραμένει πάντα στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων –Χ και μάλιστα έτσι ώστε το επίπεδο του παρασκευάσματος να είναι πάντα κάθετο προς το επίπεδο του κύκλου.

Ταυτόχρονα ως προς τον ίδιο άξονα γύρω από τον οποίο διαγράφει τον κύκλο, περιστρέφεται ο απαριθμητής με κάποια σταθερή γωνιακή ταχύτητα 2θ/min και το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα θ/min ίση προς το ήμισυ εκείνης του απαριθμητή έτσι ώστε με τη σύγχρονη αυτή μετατόπιση του απαριθμητή και τη περιστροφή του δείγματος ο απαριθμητής να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος όπως και στο σημείο εξόδου των ακτίνων –Χ της λυχνίας. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η καταγραφή της ακτινοβολίας που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων –Χ των προερχόμενων από την λυχνία ώστε να πληρούται για κάποια ομάδα πλεγματικών επιπέδων η εξίσωση του Bragg. Παράλληλα, όπως όλες οι μέθοδοι ανάλυσης, έτσι και η περιθλασιμετρία ακτίνων-

Μερικά από τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου που την καθιστούν μοναδική είναι

Χ έχει κάποιους περιορισμούς κατά την εφαρμογή της (Whiston C., 1987).

τα ακόλουθα:

- 1. Απαιτείται μια μικρή ποσότητα υλικού.
- 2. Μη καταστροφική μέθοδος.
- Η ικανότητα καθορισμού του κρυσταλλικού τύπου ενός υλικού όταν αυτό παρουσιάζει το φαινόμενο του πολυμορφισμού.

Παράλληλα, όπως όλες οι μέθοδοι ανάλυσης, έτσι και η περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ έχει κάποιους περιορισμούς κατά την εφαρμογή της. Για παράδειγμα, δεν είναι δυνατό να γίνει ταυτοποίηση υλικών στις περιπτώσεις όπου πρόκειται για κρυσταλλικά (άμορφα) συστατικά ή φάσεις που βρίσκονται μέσα σε ένα μείγμα σε πολύ μικρή περιεκτικότητα.

Επίσης ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται κατά την ταυτοποίηση όταν πρόκειται για: πολυφασικά μείγματα, λόγω της αλληλοεπικάλυψης των ανακλάσεων, φάσεις που παρουσιάζουν εκλεκτικό προσανατολισμό, ατέλειες δομής ή έχουν πολύ μικρές γωνίες ανάκλασης.

Τα δείγματα Ι.Τ. τα οποία εξετάστηκαν με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων –Χ στα πλαίσια της παρούσας εργασίας λειοτριβήθηκαν έτσι ώστε να έχουν μέγεθος κόκκων <45μm τοποθετήθηκαν με τον ίδιο τρόπο και σε περίπου ίδιες ποσότητες σε δειγματοφορείς. Όλοι οι δειγματοφορείς παρέμεναν πριν την ακτινοσκόπηση τους σε ξηραντήρα ώστε να αποφευχθεί η απορρόφηση υγρασίας από την ατμόσφαιρα.

Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων της ιπτάμενης τέφρας πραγματοποιήθηκε με χρήση λυχνίας Cu, καταμετρητή Lynxeye με φίλτρο Ni ,τάση λυχνίας U=35KV και ένταση ρεύματος I=35mA. Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων Ι.Τ. έγινε σε γωνίες μεταξύ 4-70° 2θ.

3.3 Χημικές αναλύσεις

Η χημική ανάλυση των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο φασματοσκοπίας ακτινών-Χ φθορισμού (XRF), χρησιμοποιήθηκε το φασματοσκόπιο S2 Ranger της Bruker του Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Στην (Εικ.3.7) φαίνονται τα διαφορετικά μέρη του συστήματος φασματοσκοπίας ακτίνων –Χ φθορισμού:

- Τη λυχνία παραγωγής πρωτογενούς ακτινοβολίας X (Εικ.3.7, X-ray tube).
- Τον δειγματοφορέα (Εικ.3.7, Α).
- Το φίλτρο πρωτογενούς ακτινοβολίας.
- Τον ευθυγραμμιστή (B,D).
- Τον αναλυτή κρύσταλλο (C).
- Τον ανιχνευτή (Ε).
- Το ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής.

Η αρχή λειτουργίας του φασματοφωτόμετρου XRF είναι (Εικ.3.7): Πρωτογενείς ακτίνες X₁ που εκπέμπονται από τη πηγή, προξενούν εκπομπή χαρακτηριστικών δευτερογενών ακτινών X₂ από το δείγμα (φθορισμός), των οποίων οι ενέργειες είναι μικρότερες από την ενέργεια των πρωτογενών ακτινών X₁, εξαρτώνται δε από τα στοιχεία που περιέχει το δείγμα.

Η δέσμη των ακτινών X₂ φθορισμού διέρχεται από τον ευθυγραμμιστή για να γίνει παράλληλη και προσπίπτει στον αναλυτή κρύσταλλο όπου και περιθλάται. Η περιθλώμενη αυτή ακτινοβολία μετριέται από τον ανιχνευτή και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο καταγράφεται.

Από το μήκος κύματος των ακτινών -Χ προσδιορίζεται το είδος των στοιχείων του δείγματος (ποιοτική ανάλυση), ενώ από την ένταση τους η σύσταση (ποσοτική ανάλυση) (Whiston C, 1987).

Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων της ιπτάμενης τέφρας πραγματοποιήθηκε με χρήση λυχνίας Pd, με τάση λυχνίας U=30KV, και ένταση ρεύματος I=100μA. Οι συνθήκες μέτρησης των δειγμάτων ήταν ένταση I=250µA, και τάση μέτρησης 40KV για τα βαριά στοιχεία (Fe, Mn, Ti, Ca, K) και 20KV για τα ελαφριά (P, Si, Al, Mg, Na).



Εικ.3.7: Σχηματική παράσταση της διάταξης Φασματομέτρου. του Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Τα δείγματα στα οποία προσδιορίστηκε η χημική σύσταση με τη παραπάνω μέθοδο λειοτριβήθηκαν σε κοκκομετρία κάτω των 60 μm και στη συνέχεια πιέστηκαν εντός ειδικής μήτρας, με πίεση 150 atm, αφού προηγουμένως είχαν περιβληθεί από βορικό οξύ για τη δημιουργία ανθεκτικών δισκίων με λεία επιφάνεια.

3.4 Προσδιορισμός Θείου

Ο προσδιορισμός του θείου πραγματοποιήθηκε με την χρήση επαγωγικού φούρνου και αναλυτή (συσκευή LECO) του εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην καύση του δείγματος σε επαγωγικό φούρνο και ακολούθως στην ιωδομετρική ογκομέτρηση του διοξειδίου του θείου που παράγεται κατά την καύση του δείγματος. Το δείγμα τοποθετείται σε χωνευτήριο καύσης (ελεύθερο θείου) και αφού σκεπαστεί με ειδικό κάλυμμα, καίγεται με ρεύμα οξυγόνου σε επαγωγικό φούρνο. Στα δείγματα προστίθεται σαν επιταχυντής της καύσης μία μεζούρα (1gr) σιδήρου (ελεύθερο θείου) που παρέχει αγώγιμη μάζα και μία μεζούρα κασσίτερου που λειτουργεί ως σιλλίπασμα.

Μέσα σε ένα λεπτό η θερμοκρασία του δείγματος ανεβαίνει στους 2000°C, το θείο μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου το οποίο αμέσως και αυτόματα, ογκομετρείται, παρουσία αμύλου, με το διάλυμα KI-KIO₃ και με τη χρήση βαθμονομημένου ογκομετρικού σωλήνα.



Εικ.3.8: Διάταξη επαγωγικού φούρνου και συσκευής LECO.

<u>Υπολογισμοί</u>

Το διάλυμα KIO₃ 0,444gr/lt δίνει περιεκτικότητα σε θείο (%) του δείγματος βάση της σχέσης:

%S=ένδειξη ογκομετρικού σωλήνα x 1,000/βάρος δείγματος

Αφαιρείται η τιμή που αντιστοιχεί στον τυφλό προσδιορισμό.

3.5 Προσδιορισμός πυκνότητας Ι.Τ. και αργίλου (M3) με χρήση του πυκνόμετρου Ο προσδιορισμός της πυκνότητας μικρών κρυσταλλικών κόκκων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο του πυκνόμετρου ή της ληκύθου. Το πυκνόμετρο είναι ένα μικρό φιαλίδιο, που έχει όγκο 2έως 20cm³ και ένα πώμα με τριχοειδή οπή. Οι κόκκοι του κρυστάλλου μετά από ζύγιση τους στον αέρα τοποθετούνται σε ένα υγρό (συνήθως νερό ή κάποιο οργαγνικό υγρό). Η πυκνότητα προκύπτει από τη σχέση:

$D=B_u/B_u+B_x-B_y$

όπου B_u το βάρος του κρυστάλλου, B_x το βάρος του πυκνόμετρου, όταν είναι γεμάτο με το υγρό και B_y το βάρος του πυκνόμετρου όταν περιέχει τους κόκκους του κρυστάλλου και είναι συμπληρωμένο με το υγρό. Η μέθοδος αυτή, εφόσον η θερμοκρασία του υγρού και του δείγματος διατηρείται κατά τη ζύγιση και εφόσον απομακρύνονται οι φυσαλίδες του αέρα που ευρίσκονται επί των κόκκων ή ανάμεσα σε αυτούς, επιτρέπει τον προσδιορισμό της πυκνότητας με μεγάλη ακρίβεια (Κωστάκης Γ.,2005).

3.6 Συμπίεση κόνεως στα τελικά δοκίμια

Για την κατασκευή των τελικών δοκιμίων η διαδικασία μορφοποίησης των κεραμικών πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο της μονοαζονικής συμπίεσης κόνεως σε υδραυλική πρέσα (Εικ.3.8). Η κονιοποιημένη μάζα της Ι.Τ. που συνήθως περιέχει μια μικρή ποσότητα νερού (0,5gr) ή άλλου συνδετικού, στην περίπτωσή μας η άργιλος (M3), και τα οργανικά υλικά συμπυκνώνονται στο επιθυμητό σχήμα με συμπίεση. Η διαδικασία μορφοποίησης με συμπίεση γίνεται επιβάλλοντας πίεση μέσω ενός εμβόλου σε ξηρή ή ημίξηρή σκόνη των πρώτων υλών μέσα σ' ένα σκληρό μεταλλικό καλούπι. Η σκόνη συμπιέζεται στο τελικό επιθυμητό σχήμα. Η υγρασία στην σκόνη βοηθάει στην προσκόλληση των κόκκων και βελτιώνει την αντοχή εν ξηρώ του τελικού δοκιμίου. Με τη μέθοδο αυτή δημιουργείται πλαστική παραμόρφωση των σωματιδίων κατά την συμπίεση όπως ίσως να συμβαίνει με τις μεταλλικές σκόνες, με την συμπίεση να μεταδίδεται σε μία μοναδική κατεύθυνση. Το κομμάτι που σχηματίζεται παίρνει τη μορφή του καλουπιού και των μεταλλικών δίσκων (platens) μέσω των οποίων ασκείται η πίεση. Η μέθοδος αυτή περιορίζεται σε σχήματα που είναι σχετικά απλά. Στην παρούσα εργασία το σχήμα των δοκιμίων είναι: α) κυλινδρικές ταμπλέτες διαστάσεων: 40mm η διάμετρος και 20-30mm το ύψος (W.D.Callister Jr, 2004).



Εικ.3.9: Υδραυλική πρέσα του Εργαστηρίου Γεωχημείας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

3.7 Έψηση

Μετά από το στάδιο της τελικής μορφοποίησης των δοκιμίων ακολούθησε η έψηση τους σε ηλεκτρικά θερμαινόμενο κλίβανο του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας (Εικ.3.9) σε οξειδωτικές συνθήκες, με μέγιστη θερμοκρασία τους 1200°C. Η θερμοκρασία πύρωσης εξαρτάται από την σύσταση και τις επιθυμητές ιδιότητες του τελικού δοκιμίου. Κατά την διαδικασία της έψησης η πυκνότητα αυξάνεται (άρα και οι μηχανικές αντοχές) ενώ το πορώδες μειώνεται. Η ανακρυστάλλωση και η πυροσυσσωμάτωση (sintering) κατά την οποία επέρχεται η δομική διασύνδεση των κόκκων της κεραμικής μάζας, αποτελούν τα δύο θεμελιώδη φαινόμενα που συνοδεύουν σχεδόν πάντα την έψηση. Ο ρυθμός ανόδου της θερμοκρασίας 10° C/λεπτό. Από τη στιγμή που η θερμοκρασία φθάσει την επιθυμητή κάθε φορά, η έψηση διαρκεί 1h. Τα δοκίμια των αρχικών αναμίξεων ψήθηκαν και σε 4h. Καθώς τα δοκίμια δεν παρουσίασαν καμία διαφοροποίηση και για λόγους οικονομίας, αποφασίστηκε η έψηση τους να διαρκεί 1h. Οι θερμοκρασίες στις οποίες δοκιμάστηκαν οι κεραμικές μάζες ήταν οι ακόλουθες: 850, 950,1000,1050,1080,1150°C.



Εικ.3.10: Ηλεκτρικά θερμαινόμενος κλίβανος του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας Πολυτεχνείου Κρήτης.

3.8 Προσδιορισμός της αντοχής σε έμμεσο εφελκυσμό

Στα κεραμικά δοκίμια (ταμπλέτες) προσδιορίστηκε η αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό με τη μέθοδο Brazil (δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης) που βασίζεται στην πειραματική παρατήρηση σύμφωνα με την οποία τα περισσότερα πετρώματα που βρίσκονται σε δισδιάστατα εντατικά πεδία αστοχούν σε εφελκυσμό όταν η μία κύρια τάση είναι εφελκυστική και η άλλη κύρια τάση θλιπτική με τιμή μικρότερη από το τριπλάσιο της εφελκυστικής τάσης. Έτσι σύμφωνα με την εμπειρία του εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων μπορεί κανείς έμμεσα να συσχετίσει την αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό με την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σαν το ένα τρίτο της αντοχής σε εφελκυσμό, πάντα σε πετρώματα. Τα δοκίμια είναι της μορφής κυλινδρικών ταμπλέτων. Ο εξοπλισμός περιλάμβανε τα ακόλουθα όργανα και συσκευές (Εικ.3.10):



Εικ.3.11: Σύστημα δοκιμής σε έμμεσο εφελκυσμό.

α) Συσκευή δοκιμής: Η συσκευή επέβαλε σταθερό ρυθμό φόρτισης στο δοκίμιο και συγχρόνως να είχε τη δυνατότητα να μετρήσει ή/και να καταγράψει το επιβαλλόμενο φορτίο.

β) Πλάκες φόρτισης: Οι πλάκες φόρτισης μετέφεραν το φορτίο στο δοκίμιο και ήταν παράλληλες μεταξύ τους.

 γ) Σιαγόνες φόρτισης: Το δοκίμιο φορτίστηκε μέσω δύο χαλύβδινων σιαγόνων με τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Ημιελλειπτικό ή Ημικυλινδρικό άνοιγμα: Το άνοιγμα που σχηματίζουν μεταξύ τους οι δυο σιαγόνες πρέπει να επιτρέπει την έδραση δοκιμίων που έχουν τη μορφή δίσκου έτσι, ώστε οι σιαγόνες και το δοκίμιο να βρίσκονται σε επαφή κατά τόξο 10° τη στιγμή της αστοχίας.
- Πύρροι ευθυγράμμισης: Οι πύρροι που συγκρατούν τις δυο σιαγόνες,
 επιτρέποντας κίνηση μόνο κατά την κατακόρυφη διεύθυνση.
- Σφαιρική κεφαλή έδρασης: Η πάνω σιαγόνα πρέπει να δέχεται το θλιπτικό φορτίο μέσω σφαιρικής κεφαλής έδρασης.

 δ) Καταγραφικό όργανο: Συνιστάται η απευθείας καταγραφή της καμπύλης φορτίουμετατόπισης με τη χρήση καταγραφικού οργάνου με δύο εισόδους (X-Y recorder) (Αγιουτάντης Ζ.,2002). Η αντοχή σε εφελκυσμό (Το) υπολογίζεται, σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$T_{o} = \frac{2 * F_{\max}}{\pi * R * D} = \frac{0.637 * F_{\max}}{R * D} [MPa],$$

όπου:

- F_{max} : το μέγιστο φορτίο
- **R**: διάμετρος κυλινδρικού δοκιμίου(m)
- **D**: το πλάτος κυλινδρικού δοκιμίου (m)

3.9 Υδατοαπορροφητικότητα

Υδατοαπορροφητικότητα καλείται η επί τοις εκατό (%) ποσοστιαία αύξηση της μάζας ενός κεραμικού μετά την εμβάπτιση του στο νερό για ορισμένο χρονικό διάστημα. Η δοκιμή έγινε σύμφωνα με το πρότυπο DIN 51056. Όταν ένα κεραμικό δοκίμιο βυθιστεί μέσα σε νερό δε γίνεται πλήρωση όλων των κενών του με νερό γιατί πολλά από αυτά είναι απομονωμένα αλλά και κάποια ποσότητα αέρα παραμένει εγκλωβισμένη από το νερό και δε διαφεύγει. Χρησιμοποιούνται:

- Φούρνος ξήρανσης ικανός να λειτουργεί στους $110 \pm 5^{\circ}$ C.
- Υδατόλουτρο.
- Ζυγός με ακρίβεια 0,01g.
- Ξηραντήρας.

Το δείγμα, που αποτελείται από κάποιο αριθμό κομματιών του δοκιμίου, ξηραίνεται στο φούρνο στους 110 ± 5 °C μέχρι σταθερού βάρους. Στη συνέχεια ψύχεται σε θερμοκρασίας περιβάλλοντος και ζυγίζεται κάθε δοκίμιο ξεχωριστά . Τα δοκίμια τοποθετούνται κατακόρυφα και δίχως να εφάπτονται μεταξύ τους σε απιονισμένο νερό μέσα στη συσκευή θέρμανσης (υδατόλουτρο), διατηρώντας την στάθμη του νερού 5 cm πάνω από τα δοκίμια. Θερμαίνεται το νερό μέχρι βρασμού για 2 ώρες και στη συνέχεια αφήνουμε τα δοκίμια να ψυχθούν για 4 ώρες. Με ένα απορροφητικό πανάκι σκουπίζονται ελαφρά την επιφάνειά τους και ζυγίζονται πάλι, το κάθε δοκίμιο ξεχωριστά. Για κάθε πλακίδιο υπολογίζεται η υδατοαπορροφητικότητα (W_a)ως ποσοστό % του ξηρού του βάρους από τη σχέση:

$$W_a = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1}\right) * 100, [\%]$$

όπου:

- **m**₁: μάζα ξηρών δοκιμίων (ακρίβεια 0,01gr)
- m₂: μάζας των εμβαπτισμένων δοκιμίων (ακρίβεια 0,01gr)

Η μέση υδατοαπορροφητικότητα του δείγματος υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων όλων των πλακιδίων.

3.10 Πορώδες-Πυκνότητα

Στα κεραμικά δοκίμια προσδιορίστηκε το πορώδες και η πυκνότητά τους με τη μέθοδο DIN EN 993-1 και συμπληρωματικά στα δοκίμια με ιδιαίτερο ενδιαφέρον, έγινε η μέτρηση του πορώδους, της πυκνότητας και του μεγέθους των πόρων με την ποροσιμετρία υδραργύρου.

3.10.1 Μέθοδος DIN EN 993-1

Ο προσδιορισμός της πυκνότητας και του πορώδους των κεραμικών δοκιμίων γίνεται με τη μέθοδο DIN EN 993-1. Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο ήταν η παρακάτω (Εικ.3.11):

- 1. Προσδιορισμός μάζας m_1 (ακρίβεια 0,01gr) του ξηρού δοκιμίου με τον ζυγό.
- 2. Τοποθέτηση δοκιμίου εντός του δοχείου και ερμητικό κλείσιμο.
- 3. Δημιουργία κενού για 15min.
- Πλήρωση του δοχείου με νερό ως το 50% του ύψους των δοκιμίων. Αναμονή για 30min.
- 5. Αναμονή επιπλέον για 30min με το καπάκι του δοχείου να παραμένει κλειστό για να είναι βέβαιο ότι το νερό έχει εισχωρήσει σε όλους τους πόρους.
- Προσδιορισμός της φαινόμενης μάζας του εμβαπτισμένου δοκιμίου m₂ με ζύγιση (ακρίβεια 0,01gr). του δίσκου του ζυγού με το δοκίμιο εντός του δοχείου με το νερό.
- 7. Μέτρηση θερμοκρασίας νερού $(\pm 1^{\circ} C)$.
- 8. Προσδιορισμός της εμβαπτισμένης μάζας m₃ (ακρίβεια 0,01gr).Τα δοκίμια απομακρύνονται από το νερό σκουπίζονται με υγρό μαλακό ύφασμα ώστε να απομακρυνθούν σταγόνες από την επιφάνεια και ζυγίζονται στο ζυγό ο δίσκος του οποίου βρίσκεται εκτός νερού.



Εικ.3.12: Πειραματική διάταξη της μεθόδου DIN EN 993-1.

Το φαινόμενο πορώδες (πα) υπολογίζεται:

$$\pi\alpha(\%) = \left[\frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_2}\right] * 100 \ [\% V/V],$$

Η πυκνότητα (ρ_b):

$$\rho_b = [\frac{m_1}{m_3 - m_2}]^* \rho_{liq} [gr/cm^3], όπου:$$

- **m**₁: μάζα ξηρών δοκιμίων (ακρίβεια 0,01gr)
- m₂: μάζας των εμβαπτισμένων δοκιμίων σε ζυγό εντός δοχείου με (ακρίβεια 0,01gr)
- m3: εμβαπτισμένης μάζας σε ζυγό εκτός νερού (ακρίβεια 0,01gr)
- ρ_{liq}: πυκνότητα υγρού(νερό) σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, υπολογίζεται από πίνακες

3.10.2 Ποροσιμετρία Υδραργύρου

Ο προσδιορισμός της πυκνότητας της πορώδους δομής και της κατανομής μεγέθους των πόρων σε ορισμένα δοκίμια ιδιαίτερου ενδιαφέροντος πραγματοποιήθηκε και με τη βοήθεια ποροσίμετρου υδραργύρου σύμφωνα με την DIN EN 993-1.

Στη μέθοδο αυτή, ο υδράργυρος αποτελεί το μέσο που εισχωρεί στους πόρους του δείγματος. Επειδή, ο υδράργυρος δε διαβρέχει τα περισσότερα στερεά, απαιτείται

εφαρμογή υψηλής πίεσης προκειμένου να εισχωρήσει μέσα στους πόρους του στερεού, και μάλιστα όσο πιο μικροί είναι αυτοί οι πόροι, τόσο πιο μεγάλη πίεση απαιτείται. Η εξίσωση που συσχετίζει την εφαρμοζόμενη πίεση ΔP με την ακτίνα r των πόρων (με την υπόθεση ότι οι πόροι έχουν κυλινδρική γεωμετρία), είναι η εξίσωση Washburn:

$$\Delta P = \frac{2\gamma\cos\theta}{r}$$

όπου:

γ: επιφανειακή τάση του Hg

θ: η γωνία διαβροχής του υδραργύρου με το δείγμα (ίση με 140^{0})

Το ποροσίμετρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν του τύπου AUTOPORE IV 9510 της εταιρείας MICROMERITICS (Εικ.12). Η συσκευή αυτή διαθέτει δύο θύρες χαμηλής πίεσης και μία υψηλής πίεσης. Το δείγμα εισάγεται στο όργανο μέσω των πενετομέτρων με τη μορφή σκόνης.

Η διαδικασία μέτρησης απαιτεί αρχικά την δημιουργία κενού ώστε να απομονωθεί ο αέρας από τους πόρους και στη συνέχεια εφαρμόζεται πίεση ώστε να εισέλθει ο υδράργυρος στους πόρους. Η αντιστοιχία πίεσης-μεγέθους πόρων (εξίσωση Washburn) στη συγκεκριμένη τιμή πίεσης καταγράφεται σε διάγραμμα από το οποίο λαμβάνεται η κατανομή μεγέθους πόρων του δείγματος.



Εικόνα 3.13: Ποροσίμετρο υδραργύρου του Εργαστηρίου Κεραμικών και Υάλου του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Αρχικά ζυγίζεται το δείγμα (δοκίμια που έχουν ψηθεί) και στη συνέχεια το προς εξέταση δείγμα εισάγεται στο πενετόμετρο και ζυγίζεται. Κατόπιν, το πενετόμετρο εισάγεται στη θύρα χαμηλής πίεσης. Στο στάδιο αυτό η μέγιστη πίεση που ασκείται είναι περίπου 30psia. Μόλις ολοκληρωθεί η ανάλυση χαμηλής πίεσης το πενετόμετρο ζυγίζεται ξανά και τοποθετείται στη θύρα υψηλής πίεσης. Στο στάδιο αυτό, η μέγιστη πίεση που ασκείται στο που ασκείται δυγίζεται ξανά και τοποθετείται στη θύρα υψηλής πίεσης.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτουν με τη βοήθεια του λογισμικού του οργάνου ανάλογα με τις ιδιότητες του δείγματος και τις παραμέτρους ανάλυσης. Στο φύλλο excel των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται αναλυτικά οι συνθήκες του πειράματος, οι ιδιότητες των πενετομέτρων και σημαντικές τιμές που χαρακτηρίζουν το δείγμα, δηλαδή οι τιμές της μέσης διαμέτρου των πόρων (median pore diameter), της φαινόμενης πυκνότητας (apparent density), της συνολικής πυκνότητας (bulk density), του πορώδους και του συνολικού όγκου Hg που εισχωρεί στους πόρους. (Σημειώσεις εργαστήριο τεχνολογίας κεραμικών και υάλου).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ

4.1.1 Κοκκομετρικός διαχωρισμός

Α) Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ

Για την κοκκομετρική κατανομή της Ι.Τ, της πυρήνας και της σκωρίας χρησιμοποιήθηκαν 100g δείγματος καθώς και μια διαφορετική σειρά κόσκινων για το καθένα. Η κοσκίνηση έγινε εν ξηρώ. Για την Ι.Τ ακολουθήθηκε η εξής σειρά: 160μm, 140μm, 71μm, 36μm, 20μm. Τα αποτέλεσμα αυτού του προσδιορισμού φαίνονται στον Πίνακα 1 και την Εικ.4.1. Επιπλέον στον Πίνακα 1 και στα διαγράμματα 1,2 του Παραρτήματος δίνονται τα αποτελέσματα του αναλυτή Laser της Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ.

Κλάσματα		
[µm]	Βάρος [wt%]	Βάρος Αθροιστικά Διερχόμενο [wt%]
+160	0	100
140-160	10,04	89,96
71 -140	13,02	76,94
36-71	19,86	57,08
20-36	53,88	3,2
-20	3,20	0
Σύνολο	100	

Πίνακας 4.1.: Κοκκομετρική κατανομή ιπταμένης τέφρας ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ.

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.1 και το Σχήμα 4.1 το μεγαλύτερο μέρος της Ι.Τ. έχει μέγεθος κόκκων μεταξύ 20 και 160μm.



Σχήμα 4.1.: Κοκκομετρική κατανομή Ι.Τ. ΛΙΠΤΟΛ.

B) Πυρήνα ελαιοκάρπου

Για την πυρήνα χρησιμοποιήθηκε η εξής σειρά κοσκίνων: 2240μm, 1600μm, 900 μm, 450μm, 280μm.

Κλάσματα [μm]	Βάρος [wt%]	Βάρος Αθροιστικά Διερχόμενο [wt%]
+2240	25,44	100
1600-2240	27,03	74,55
900-1600	31,81	47,52
450-900	10,25	15,71
280-450	2,35	5,46
-280	3,12	3,12
Σύνολο	100	

Πίνακας 4.2: Κοκκομετρική κατανομή δείγματος πυρήνας ελαιοκάρπου.



Σχήμα 4.2.: Κατανομή βάρους από τα κόσκινα υλικού πυρήνας ελαιοκάρπου.



Σχήμα 4.3: Κοκκομετρική κατανομή της πυρήνας ελαιοκάρπου.

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2 και τα Σχημάτα 4.2 και 4.3. Όπως προκύπτει το μεγαλύτερο μέρος των κόκκων της πυρήνας ελαιοκάρπου έχει μέγεθος μεταξύ 2240 και 280 μm.

Γ) Άργιλος Μ3

Για τον διαχωρισμό του κλάσματος της αργίλου M3 που έγινε με την βοήθεια της μεθόδου καθίζησης Atterberg, χρησιμοποιήθηκε δείγμα βάρους 6.013g, στο οποίο προστέθηκαν 0,2g διασπορέα Darvan C (για την αποφυγή δημιουργίας συσσωματωμάτων) σε νερό. Το αιώρημα που προέκυψε εισάγεται στο σωλήνα καθίζησης και σε προκαθορισμένο κάθε φορά χρόνο παραμονής λαμβανόταν το αντίστοιχο κλάσμα. Οι χρόνοι παραμονής που υπολογίστηκαν είναι οι ακόλουθοι: 5min, 16min, 33min, 1h και 4min, 2h και 59min και 26h και 51min. Τα κλάσματα που ελήφθησαν σ' αυτούς τους χρόνους για την άργιλο M3 είναι αντίστοιχα τα εξής: 71μm, 36μm, 20μm, 14μm, 10μm, 6μm και 2 μm.

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης με την μέθοδο Atterberg παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3 και τα Σχήμα 4.4. Στις Εικ.3 και 4 και στον Πίνακα 2 του Παραρτήματος δίνονται τα αποτελέσματα του αναλυτή Laser για την άργιλο M3.

Κλάσματα [μm]	Βάρος [wt%]
36-71	12,69
20-36	25,36
14-20	17,47
10-14	19,89
6-10	13,39
2-6	5,37
-2	5,83
Σύνολο	100

Πίνακας 4.3: Κοκκομετρική κατανομή αργίλου M3 με τη μέθοδο Atterberg.



Σχήμα 4.4: Κατανομή βάρους των κλασμάτων αργίλου M3 με τη μέθοδο Atterberg.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4.5 το μεγαλύτερο μέρος της αργίλου βρίσκεται μεταξύ των κλασμάτων 20-36μm.

Δ) Σκωρία

Για την σκωρία χρησιμοποιήθηκε η εξής σειρά κοσκίνων: +2360μm, 1700μm, 1000μm.

Κλάσματα [μm]	Βάρος [wt%]
+2360	14,7
1700-2360	15,8
1000-1700	35,0
-1000	34,5
Σύνολο	100

Πίνακας 4.4: Κοκκομετρική κατανομή δείγματος σκωρίας.

4.1.2. Αποτελέσματα ορυκτολογικών αναλύσεων

4.1.2.1. Ορυκτολογική σύσταση της Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ

Τα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων του δείγματος Ι.Τ. από τον ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5. και το αντίστοιχο ακτινογράφημα στο παράρτημα (σελ 119).

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.5 τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά της Ι.Τ. είναι ο ανυδρίτης, ο ασβεστίτης, ο γκελενίτης, ο μπραουνμιλλερίτης, η άσβεστος ενώ υψηλά είναι τα ποσοστά σε χαλαζία και αστρίους. Οι ορυκτολογικές φάσεις ασβεστίτης, χαλαζίας, άστριοι και μαρμαρυγίας θεωρούνται ότι αποτελούν συστατικά του αρχικού εξορυσσόμενου λιγνίτη. Κατά τη διαδικασία καύσεως σε χαμηλές θερμοκρασίες δημιουργείται ο ανυδρίτης. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι μέρος του ασβεστίτη που προσδιορίζεται στην τέφρα πιθανόν να έχει δευτερογενή προέλευση, καθώς έχει αναφερθεί ότι σε συνθήκες παρατεταμένης έκθεσης στην ατμόσφαιρα τέφρας πλούσιας σε άσβεστο (lime), γίνεται μετατροπή της σε ανθρακικό ασβέστιο.

Φάσεις	Σύσταση Ι.Τ
Ψάδεις	1,1,
Ασβεστίτης	10
Ανυδρίτης	11
Άσβεστος-Πορτλανδίτης	10
Γκελενίτης	9
Μπραουνμιλερίτης	10
Αστριοι	7
Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	4
Χαλαζίας	3
Αιματίτης	2
Περίκλαστο	3
Μαγενίτης/Μερβινίτης	3
Αμορφα	28
Σύνολο	100

Πίνακας 4.5.: Ορυκτολογική σύσταση της Ι.Τ. ΑΙΠΤΟΛ (Θωμαΐδης Ε.,2009).

4.1.2.2 Ορυκτολογική σύσταση της αργίλου (M3)

Τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης του δείγματος της αργίλου M3 παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6. και το αντίστοιχο ακτινογραφήμα στο παράρτημα (σελ 117).

Τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά την αργίλου είναι τα ακόλουθα:

ο μοσχοβίτης/ιλλίτης, ο χαλαζίας, ο παραγωνίτης, ο ασβεστίτης, το ρουτίλιο καθώς και ένα σημαντικό ποσοστό σε άμορφα.

Πίνακας 4.6.: Ορυκτολογική σύσταση αργίλου M3 (Θωμαΐδης Ε.,2009).

	Σύσταση
Φάσεις	Αργίλου Μ3
Μοσχοβίτης/Ιλλίτης	47
Χαλαζίας	25
Παραγωνίτης	11
Ασβεστίτης	5
Ρουτίλιο	2
Πυροφυλλίτης	2
Κλινόχωρο	1
Άμορφα	7
Σύνολο	100

4.1.2.3. Ορυκτολογική σύσταση της πυρήνας ελαιοκάρπου.

Τα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων των δειγμάτων της πυρήνας παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7 και το αντίστοιχο ακτινογράφημα της στο παράρτημα (σελ 118). Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.7 τα κύρια ορυκτολογικά χαρακτηριστικά της είναι: ο χαλαζίας (SiO₂), ο ασβεστίτης (CaCO₃), και ενδεχομένως η άσβεστος (CaO). Επιπλέον υπάρχει πιθανότητα να εμπεριέχει υδροξυλαπατίτη (Ca₅(PO₄)₃(OH)), ανυδρίτη (CaSO₄), και φωσφορικές ενώσεις $x(PO_4)$. Οι πιθανές φωσφορικές ενώσεις είναι ο ταρανακίτης, ο γουιτλοκίτης, ο λανγκμπεινίτης και ο αρροτζαδίτης. Όσον αφορά την τέφρα της πυρήνας που προκύπτει από την καύση 1,004gr στους 1050°C για 2h έμειναν 0,072gr (απώλεια πύρωσης 92,83%)

Πίνακας 4.7: Ορυκτολογική ημιποσοτική σύσταση πυρήνας ελαιοκάρπου.

Φάσεις	Ημιποσοτική Σύσταση Πυρήνας
Χαλαζίας	++
Ασβεστίτης	+++
Άσβεστος	i
Ανυδρίτης	+
Υδροξιλαπατίτης	+
Φωσφορικές Ενώσεις	+

Ημιποσοτική Σύσταση Πυρήνας : (+++ = πολύ, ++ = μέτρια, + = λίγο, ο = πολύ λίγο, i = ίχνη)

4.1.3. Χημική σύσταση Ι.Τ., αργίλου Μ3 και σκωρίας

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων της ιπτάμενης τέφρας του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ και της αργίλου της περιοχής ανατολικά του χωριού Σπηλιά (M3) παρουσιάζονται σε ποσοστά όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.8.

Στοιχεία	І.Т. ЛІПТОЛ	Άργιλος Μ3
SiO ₂ (%)	34,04	53,87
$Al_2O_3(\%)$	12,06	22,07
$Fe_2O_3(\%)$	5,92	6,99
CaO (%)	33,41	2,85
MgO (%)	4,03	1,43
SO ₃ (%)	5,90	0,00
Na ₂ O (%)	0,00	0,02
K ₂ O (%)	1,10	3,91
TiO ₂ (%)	0,73	1,08
MnO(%)	0,04	0,07
$P_2O_5(\%)$	0,19	0,00
LOI (%)	2,68	7,50
SUM (%)	100,10	99,79

Πίνακας 4.8: Χημική σύσταση της Ι.Τ. και της αργίλου.

Παρατηρούμε ότι η I.T. είναι πλούσια σε SiO₂ και CaO ενώ διαθέτει ικανοποιητική ποσότητα Al₂O₃ και SO₃. Το αυξημένο ποσοστό ασβεστίου στην ιπτάμενη τέφρα αποδίδεται στην αυξημένη συμμετοχή ασβεστίτη στα ενδοστρωμένα υλικά ενώ η παρουσία αυθιγενούς σιδηροπυρίτη και δευτερογενών θεϊικών ορυκτών του σιδήρου των αλκαλίων και των αλκαλικών γαιών, καθώς και αυτοφυούς θείου σε σχισμές και ασυνέχειες του λιγνίτη δικαιολογεί την ύπαρξη του SO₃ στην I.T.

Η άργιλος είναι πλούσια σε SiO₂ και Al₂O₃, ενώ η παρουσία K₂O φαίνεται να είναι ικανοποιητική ώστε να ευνοείται η πυροσυσσωμάτωση κατά την έψηση, των μαζών στις οποίες προστίθεται.

Παρακάτω (Πίνακας 4.9) παρατίθεται και η χημική σύσταση του δείγματος της σκωρίας.

Στοιχεία	Σκωρία		
SiO ₂ (%)	26,71		
$Al_2O_3(\%)$	6,53		
$Fe_2O_3(\%)$	49,02		
CaO (%)	6,47		
MgO (%)	3,45		
$Cr_2O_3(\%)$	2,98		
K ₂ O (%)	0,62		
TiO ₂ (%)	0,37		
MnO(%)	0,43		
$P_2O_5(\%)$	0,12		
$SO_{3}(\%)$	0,44		
Co(%)	0,14		
Ni(%)	0,11		
SUM (%)	97,39		

Πίνακας 4.9: Χημική σύσταση σκωρίας.

4.1.4. Προσδιορισμός πυκνότητας Ι.Τ. και αργίλου (M3)

Η πυκνότητα της Ι.Τ. και της αργίλου που προέκυψε με την χρήση της μεθόδου του πυκνόμετρου ή της λυκήθου φαιίνεται στον Πίνακα 4.10 :

Πίνακας 4.10: Πυκνότητα Ι.Τ. και αργίλου Μ3.

Στοιχεία	Πυκνότητα (g/cm ³)
І.Т. ЛІПТОЛ	2,24
Άργιλος Μ3	2,53

4.2 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ- ΤΕΛΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

4.2.1. Αναμείξεις-Παρασκευή δοκιμίων

Για την επιτυχή παρασκευή ενός κεραμικού προϊόντος με τις επιθυμητές ιδιότητες, είναι ιδιαίτερα σημαντική η σωστή επιλογή των πρώτων υλών. Οι πρώτες ύλες επιλέχθηκαν βάση των ιδιοτήτων που προσδίδουν στην κεραμική μάζα. Τα υλικά που χρησιμοποιηθήκαν για την παρασκευή των δοκιμίων είναι, όπως αναφέρθηκε τα ακόλουθα: α) Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ στο μεγαλύτερο ποσοστό του μείγματος β) η άργιλος M3, διότι αναμένεται να προσδώσει πλαστικότητα στο μίγμα και να ευνοήσει την πυροσυσσωμάτωση γ) η σκωρία, διότι λόγω σύστασης αναμένεται να ευνοήσει την πυροσυσσωμάτωση δ) η πυρήνα ελαιοκάρπου ή το σιμιγδάλι επειδή παράγουν CO₂ όταν καίγονται, που μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία πορώδους στις κεραμικές μάζες ε) Η κυτταρίνη επειδή αναμένεται να ευνοήσει την εργασιμότητα των μαζών καθώς και να δημιουργήσει πορώδες.

Στην προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα ποσοστό πορώδους τουλάχιστον 40-50% στα δοκίμια έγιναν οι ακόλουθες αναμείξεις όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.11.

Τα δοκίμια όπως αναφέρθηκε είχαν τη μορφή κυλινδρικών ταμπλετών 40x20 έως 30mm.

Συγκεκριμένα παρασκευάστηκαν δείγματα από τις αναμείξεις που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.11.

	Συστατικά των αναμείξεων (%βάρους)								
α/α	ι/α				Σκωρία				
	Ι.Τ ΛΙΠΤΟΛ	Άργιλος Μ3	+0,9mm	0,45-0,9mm	-0,28mm	Σιμ/δάλι	Κυττ/νη	+0,63mm	-0,28mm
1	75	25					-		
2	85	15							
3	70							30	
4	80							20	
5	68	30				2			
6	65	30				2,5	2,5		
7	65	30				5			
8	66	25		5			4		
9	66,5	28,5		3			2		
10	66	25			5		4		
11	66,5	28,5			3		2		
12	72	18				10			
13	63	27				10			
14	56	24				20			
15	64	16				20			
16	63	27		10					
17	70	20		10					
18	70	15		15					
19	56	24		20					
20	63	27	10						
21	63	27			10				
22	70	20			10				
23	70	15			15				
24	56	24			20				
25	65	25		5					5
26	65	25		3			2		5

Πίνακας 4.11: Αναμείξεις Ι.Τ. με άργιλο, σκωρία, πυρήνα, σιμιγδάλι και κυτταρίνη.

Τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν από τις αναμείξεις του πίνακα 4.11 προέρχονται από τις παρακάτω ομάδες , ανάλογες του συνδυασμού των πρώτων υλών:

- Ι.Τ. με άργιλο.
- I.T. με σκωρία.
- Ι.Τ. με σκωρία, άργιλο και πυρήνα ελαιοκάρπου.
- Ι.Τ. με άργιλο και σιμιγδάλι.
- Ι.Τ. με άργιλο, πυρήνα ελαιοκάρπου (κλασμάτων >0,9, 0,45-0,9 και <0,28mm) και κυτταρίνη.

4.2.1.1 Ι.Τ. και άργιλος

Από την Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ και της αργίλου της περιοχής Σπηλιά (M3) εξετάστηκαν οι κεραμικές μάζες που προέκυψαν από συνολικά 2 μείγματα (Πιν.4.11, 1-2). Οι αναλογίες των συστατικών σε αυτές τις αναμείξεις ήταν (Εικ.4.1):

- 75% Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ + 25% άργιλο M3
- 85% Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ + 15% άργιλο M3



Εικ.4.1: Κεραμικές μάζες από 75% Ι.Τ. + 25% άργιλο M3 (α), 85% Ι.Τ.+ 15% άργιλο M3 (β)

Οι κεραμικές μάζες που προέκυψαν από αυτές τις δύο αναμείξεις ψήθηκαν όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφ.3) στις θερμοκρασίες 850°, 950°, 1000°, 1050°, 1000°, 1150°C για 1h και για 4h αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δοκίμια θερμοκρασιών κάτω των 1000°C αν και συμπαγή διατηρούσαν μια εύθρυπτη υφή, κάτι που υποδηλώνει την απουσία πυροσυσσωμάτωσης.

α. Μεταβολή όγκου κατά την έψηση

Η μεταβολή μεγέθους των δοκιμίων σε συνάρτηση προς την θερμοκρασία έψησης παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.7-4.8. Όπως προκύπτει από τα Σχήματα 4.7 και 4.8 σε όλα τα δοκίμια παρατηρήθηκε μεταβολή μεγέθους κατά τη διεύθυνση της διαμέτρου και τη διεύθυνση του πάχους. Γενικά δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές όσον αφορά τις αναλογίες της ανάμειξης, ωστόσο η ανάμειξη με μεγαλύτερο ποσοστό σε Ι.Τ. παρουσιάζει και μεγαλύτερη τάση αύξησης του μεγέθους του δοκιμίου.

Η συγκεκριμένη συμπεριφορά παρατηρείται μόνο στους 850°, 950°, 1000° και 1050°C καθώς στους 1100° παρατηρείται μείωση της διαμέτρου και του πάχους που γίνεται ακόμη πιο έντονη (συρρίκνωση) στους 1150°C. Στους 1050°C διαπιστώνεται η μεγαλύτερη αυξηση σε ποσοστό 2,5% (διάμετρος) για την αναλογία 85% I.T.+15% M3 (4h) και 3,5% (πάχος) για την αναλογία 75% I.T.+15% M3 (1h) στους 950°C.



Σχήμα 4.7: Μεταβολή κατά τη διάμετρο του δοκιμίου μετά από 1h και 4h έψησης.



Σχήμα 4.8: Μεταβολή κατά το πάχος του δοκιμίου μετά από 1h και 4h έψησης.

β. Πορώδες-Πυκνότητα-Υδατοαπορροφητικότητα

Τα αποτελέσματα του φαινόμενου πορώδους, της πυκνότητας και της υδατοαπορροφητικότητας των κεραμικών μαζών που προσδιορίστηκαν με την μέθοδο DIN EN 993-1 δίνονται στους Πίνακες 4.12, 4.13 και στα Σχήματα 4.9 και 4.10.

	75%	5 I.T. +25%	M3	85% I.T. +15% M3			
T [°C] για 1h	Πορώδες [%v/V]	Πυκνότητα [g/cm ³]	Υδατ. [%wt]	Πορώδες [%v/V]	Πυκνότητα [g/cm ³]	Υδατ.[%]	
850	42,36	1,38	33,25	48,36	1,34	38,07	
950	37,62	1,44	27,42	40,30	1,40	30,24	
1000	34,58	1,48	26,10	40,52	1,37	32,50	
1050	33,75	1,63	25,52	34,42	1,56	26,25	
1100	31,80	1,75	23,34	30,19	1,78	22,00	
1150	28,65	1,82	16,09	26,46	1,93	17,50	

Πίνακας 4.12: Πορώδες-πυκνότητα-υδατοαπορροφητικότητα αναμείξεων Ι.Τ. και αργίλων για έψηση σε 1h.

Πίνακας 4.13: Πορώδες-πυκνότητα-υδατοαπορροφητικότητα αναμείξεων Ι.Τ. και αργίλων για έψηση σε 4h.

	75% I.T. +25% M3			85% I.T. +15% M3		
Τ [°C] για 4h	Πορώδες [%v/V]	Πυκνότητα [g/cm ³]	Υδατ. [%wt]	Πορώδες [%v/V]	Πυκνότητα [g/cm ³]	Υδατ.[%]
850	41,94	1,40	30,34	42,51	1,38	34,89
950	37,54	1,45	28,86	38,65	1,42	30,04
1000	37,15	1,47	28,32	36,67	1,40	27,40
1050	30,35	1,66	20,38	34,55	1,55	24,95
1100	29,80	1,77	18,10	27,30	1,89	15,89
1150	23,34	1,97	16,46	20,45	2,05	11,26


Σχήμα 4.9: Πορώδες των κεραμικών δοκιμίων σε σχέση με τη θερμοκρασία έψησης



Σχήμα 4.10: Πυκνότητα των κεραμικών δοκιμίων σε σχέση με τη θερμοκρασία έψηση.

Από τους παραπάνω πίνακες και διαγράμματα φαίνεται ότι το πορώδες στις συγκεκριμένες αναμείξεις πλησιάζει σε ικανοποιητικές τιμές. Η μεγαλύτερη τιμή πορώδους παρατηρείται στον Πίνακα 4.12 στους 850°C της ανάμειξης 85% I.T.+15% M3 (1h) και φτάνει το 48,36%. Γενικά δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές του πορώδους μεταξύ των δύο αναμείξεων αν και η ανάμειξη με μεγαλύτερο ποσοστό σε Ι.Τ. παρουσιάζει συνολικά μεγαλύτερες τιμές πορώδους. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μειώνεται το πορώδους παρατηρούμε στους 1150° C. Ακόμη η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται και αύξηση της πυκνότητας των κεραμικών δοκιμίων. Οι διαφορές στην έψηση των δοκιμίων στην 1h από τις 4h είναι μηδαμινές, οπότε επιλέγεται η έψηση στην 1h για καθαρά οικονομικούς λόγους.

Παρατηρούμε ότι η υδατοαπορροφητικότητα συμβαδίζει με το πορώδες και φτάνει, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.12 και 4.13, μέχρι το 38,07% στους 850°C ενώ δεν ξεπερνά το 11,26% στους 1150°C. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τόσο μειώνεται η υδατοαπορροφητικότητα με εξαίρεση ορισμένες περιπτώσεις στις οποίες το πορώδες έχει αυξηθεί ελάχιστα από χαμηλότερη σε υψηλότερη θερμοκρασία.

γ. Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό.

Η αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό (μέθοδος Brazil) που απέκτησαν τα δοκίμια όλων των αναμείξεων μετά την έψηση παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.14 και στα Σχήματα 4.11-4.12.

	75% I.T.+ 25% M3		85%I.T.	+15%M3
TIPOL	Αντοχή [MPa] για Ih	Αντοχή [MPa] για 4h	Αντοχή [MPa] για 1h	Αντοχή [MPa] για 4h
850	0,22	0,36	0,85	1,41
950	50,34	148,59	55,5	64,48
1000	176,46	193,76	152,67	167,78
1050	184,05	256,67	189,65	208,23
1100	346,23	334,48	240,35	265,27
1150	446,76	834,56	359,45	628,77

Πίνακας 4.14: Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό για τις αναμείξεις με Ι.Τ. και αργίλους.



Σχήμα 4.11: Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό σε σχέση με τη θερμοκρασία έψησης για 1h έψησης.



Σχήμα 4.12: Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό σε σχέση με τη θερμοκρασία έψησης για 4h έψησης.

Για τα δοκίμια που περιέχουν μόνο ιπτάμενη τέφρα και άργιλο προκύπτει ότι η αύξηση του ποσοστού της αργίλου ευνοεί την αντοχή ιδιαίτερα σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 1000° C.

Γενικά από τις μετρήσεις της αντοχής που παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.11-4.12 και τον Πίνακα 4.14 διακρίνεται ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται και η αντοχή. Οι τιμές της αντοχής στους 850° και 950°C δεν είναι ικανοποιητικές κάτι που υποδηλώνει την απουσία πυροσυσσωμάτωσης ενώ στους 1150°C για τις 4h έψησης παρατηρείται η μεγαλύτερη τιμή αντοχής (834.56MPa). Υπενθυμίζουμε ότι η αντίστοιχη τιμή πορώδους για την συγκεκριμένη αναλογία και θερμοκρασία ήταν της τάξεως του 23,34% και συνεπώς η συνεκτίμηση δεν είναι θετική. Από τη σύγκριση των τιμών αυτών με τις αντίστοιχες της βιβλιογραφίας (Furlani E. et al, 2007) προκύπτει ότι είναι ικανοποιητικές.

4.2.1.2 Ι.Τ. και σκωρία

Από την Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ και την σκωρία (+0,631mm) παρασκευάστηκαν δείγματα από τις αναμείξεις 3-4 του (Πιν.4.11). Τα δοκίμια είναι της μορφής κυλινδρικών δισκίων. Οι θερμοκρασίες έψησης είναι οι 850°, 950°, 1050° και 1150° C για 1h και 4h.



Εικ.4.2: Κεραμικές μάζες ανάμειξης 70% Ι.Τ.+30% σκωρία (α), ανάμειξης 80% Ι.Τ.+20% σκωρία (β).



Εικ.4.3: Κεραμική μάζα ανάμειξης 70% Ι.Τ.+30% σκωρίας μετά από έψηση 1
h στους 1150° C.

Όπως παρατηρούμε και από τις εικόνες των δοκιμίων μετά από την έψηση τους, στο σύνολο τους είναι έντονη η παρουσία ρωγμών. Στην θερμοκρασία των 1150 ° C η σκωρία έχει αντιδράσει ιδιαίτερα έντονα καθώς είναι φανερή η παρουσία συσσωματωμάτων και ρωγμών.

α. Μεταβολή όγκου κατά την έψηση

Η μεταβολή μεγέθους των δοκιμίων σε συνάρτηση προς την θερμοκρασία έψησης παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.13 και 4.14. Όπως προκύπτει από τα Σχήματα 4.13-4.14 σε όλα τα δοκίμια παρατηρήθηκε μεταβολή μεγέθους κατά τη διεύθυνση της διαμέτρου και τη διεύθυνση του πάχους. Γενικά δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές όσον αφορά τις αναλογίες της ανάμειξης και την διάρκεια έψησης αλλά και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται μία τάση αύξησης της διαμέτρου και του πάχους των δοκιμίων με την παράλληλη αύξηση της θερμοκρασίας. Η μεγαλύτερη αύξηση της διαμέτρου παρατηρείται στους 1150°C για 4h έψησης και αγγίζει το 8%. Η μεγαλύτερη αύξηση του πάχους παρατηρείται πάλι στους 1150°C για 1h έψησης και φτάνει το 28%.



Σχήμα 4.13: Μεταβολή κατά τη διάμετρο των δοκιμίων μετά από 1h και 4h έψησης.



Σχήμα 4.14: Μεταβολή κατά το πάχος των δοκιμίων μετά από 1h και 4h έψησης.

Η υπερβολική αύξηση του πάχους των δοκιμίων καθώς και οι ρωγμές που αναπτύσσονται μετά την έψηση των δοκιμίων οφείλονται σε ένα βαθμό στην παρουσία της Ι.Τ. ωστόσο δεν δικαιολογούνται σε τέτοιο βαθμό. Η παρουσία συσσωματωμάτων σκωρίας είναι ιδιαίτερα έντονη στους 1150°C. Στην επόμενη ενότητα έχουν παρασκευαστεί δοκίμια με μειωμένη συμμετοχή σκωρίας ακόμη μικρότερης κοκκομετρίας και επιπλέον ύπαρξη αργίλου (M3) και πυρήνας ελαιοκάρπου για την δημιουργία πορώδους.

4.2.1.3 Ι.Τ. , άργιλος, σκωρία και πυρήνα ελαιοκάρπου

Στην ενότητα αυτή δεν περιοριστήκαμε στον κοκκομετρικό διαχωρισμό της σκωρίας με σκοπό την χρήση του κλάσματος (+0,631mm). Με λειοτρίβηση της σκωρίας προέκυψε κλάσμα αντίστοιχο του μικρότερου κλάματος της πυρήνας (-0,28mm) το οποίο και χρησιμοποιήσαμε.

Από την Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ, την άργιλο M3, την σκωρία (-0,28mm) και την πυρήνα ελαιοκάρπου (0,45-0,9mm) παρασκευάστηκαν δείγματα από τα μείγματα 25-26 του (Πιν.4.11). Τα δοκίμια είναι της μορφής κυλινδρικών δισκίων. Οι θερμοκρασίες έψησης είναι οι 1050°C, 1080°C, 1100°C και 1150°C για 1h.



Εικ.4.4: Αναμείξεις 65%Ι.Τ.+25%Μ3+5%πυρήνα+5%σκωρία (α), 65%Ι.Τ.+25%Μ3+3%πυρήνα+2%κυτταρίνη+5%σκωρία (β).



Εικ.4.5: Κεραμικές μάζες που προέκυψαν μετά από την έψηση.

α. Μεταβολή όγκου κατά την έψηση

Η μεταβολή μεγέθους των δοκιμίων σε συνάρτηση με την θερμοκρασία έψησης παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.15 και 4.16. Όπως προκύπτει από τα Σχήματα 4.15-4.16 σε όλα τα δοκίμια παρατηρήθηκε μεταβολή μεγέθους κατά τη διεύθυνση της διαμέτρου και τη διεύθυνση του πάχους. Γενικά δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές όσον αφορά τις αναλογίες της ανάμειξης. Η τάση αύξησης της διαμέτρου και του πάχους των δοκιμίων κινείται σε σημαντικά χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση τα δοκίμια της προηγούμενης ενότητας, κάτι που προφανώς οφείλεται στην μειωμένη συμμετοχή του ποσοστού της σκωρίας καθώς και την χρήση μικρότερου κλάσματος της. Η μεγαλύτερη αύξηση της διαμέτρου παρατηρείται στους 1080°C για την ανάμειξη 26 του Πίνακα 4.11 και αγγίζει το 1,6%. Η μεγαλύτερη αύξηση του πάχους παρατηρείται στους 1100°C πάλι για την ανάμειξη 26 και φτάνει το 3,1%. Τέλος στους 1150 °C τα δισκία μας παρουσιάζουν μικρή συρρίκνωση της τάξεως του 0,5-2% τόσο στη διάμετρο όσο και στο πάχος τους, κάτι που είχε παρατηρηθεί και στις αρχικές αναμείξεις 1-2 (Πιν.4.11) με την συμμετοχή Ι.Τ. και αργίλου M3.



Σχήμα 4.15: Μεταβολή κατά τη διάμετρο των δοκιμίων μετά από 1h έψησης



Σχήμα 4.16: Μεταβολή κατά το πάχος των δοκιμίων μετά από 1h έψησης.

β. Πορώδες-Πυκνότητα-Υδατοαπορροφητικότητα

Τα αποτελέσματα του προσδιορισμού του φαινόμενου πορώδους, της πυκνότητας και της υδατοαπορροφητικότητας των κεραμικών δοκιμίων με την μέθοδο DIN EN 993-1 δίνονται στον Πίνακα 4.15 και στα Σχήματα 4.17-4.18.

Πίνακας 4.15: Αποτελέσματα πορώδους και πυκνότητας κεραμικών δοκιμίων αναμείξεων 25-26.

	65%I.T.+25	%M3+5%πυρ	+5%σκωρία	65%I.T+25%M3+2	2%Κυτ/νη+3%πυρ+	5%σκωρία
Т [°С]	Πορώδες [% v/V]	Πυκνότητα [g/cm ³]	Υδατ. [% wt]	Πορώδες [%v/V]	Πυκνότητα [g/cm ³]	Υδατ.[%]
1050	41,13	1,55	29,76	42,92	1,5	32,00
1080	42,50	1,52	30,26	42,41	1,58	31,81
1100	38,34	1,65	28,57	37,54	1,66	27,75
1150	28,32	1,87	20,26	30,62	1,79	22,33



Σχήμα 4.17: Πορώδες των δοκιμίων σε σχέση με τη θερμοκρασία έψησης.



Σχήμα 4.18: Πυκνότητα των δοκιμίων σε σχέση με τη θερμοκρασία έψησης.

Παρατηρούμε πως στους 1050°, 1080° και 1100°C το πορώδες και στις δύο αναμείξεις ξεπερνά το 30% ενώ στους 1150°C κινείται οριακά στην τιμή αυτή. Η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται μείωση του πορώδους και ταυτόχρονη αύξηση της πυκνότητας. Ακόμη η υδατοαπορροφητικότητα ακολουθεί την μεταβολή του πορώδους.

Η ανάμειξη 65%I.T+25%M3+3%Πυρήνα+2%Kυτ/νη+5%Σκωρία παρουσίασε το μεγαλύτερο ποσοστό πορώδους στους 1050°C, (42,92%).

4.2.1.4 Ι.Τ. , άργιλος και σιμιγδάλι

Από την Ι.Τ., την άργιλο και το σιμιγδάλι παρασκευάστηκαν δείγματα από τις 7 παρακάτω αναμείξεις (Πιν.4.11, 5-7 και 12-15). Τα δοκίμια είναι της μορφής κυλινδρικών δισκίων. Τα τελευταία ψήθηκαν στις θερμοκρασίες των 1050°, 1080°, 1100°, και 1150°C για 1h. Αποκλείστηκαν εκείνα που έπειτα από την έψηση καταστρέφονταν. Οι αναμίξεις που απορρίφτηκαν είναι οι ακόλουθες:

- 72% I.T. + 18% M3+ 10% σιμιγδάλι,
- 63% I.T. + 27% M3 + 10% σιμιγδάλι,
- 56% I.T. + 24% M3+ 20% σιμιγδάλι,

• 64% I.T. + 16% M3 + 20% σιμιγδάλι,

Η προσθήκη του σιμιγδαλιού έγινε με σκοπό την δημιουργία πορώδους. Οι αναμείξεις που έδωσαν συμπαγή δοκίμια μετά από την έψηση τους είναι οι ακόλουθες:

- 68% I.T. +30% M3 + 2% σιμιγδάλι,
- 65% I.T. +30% M3 + 2,5% σιμιγδάλι + 2,5% κυτταρίνη,
- 65% I.T. +30% M3 + 5% σιμιγδάλι.

Στα κεραμικά δοκίμια προσδιορίστηκαν: α) η μεταβολή μεγέθους (διαμέτρου-πάχους) β) η αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό (μέθοδος Brazil) λόγω του σχήματος των κεραμικών δοκιμίων και γ) το πορώδες, η πυκνότητα και η υδατοαπορροφητικότητα.





Εικ.4.6: Ανάμειξη 72% Ι.Τ. + 18% M3+ 10% σιμιγδάλι πριν από την έψηση (α), μετά την έψηση (β) και (γ).



Εικ.4.7: Κεραμικές μάζες αναμείξεων 68% Ι.Τ. +30% M3 + 2% σιμιγδάλι, 65% Ι.Τ.
+30% M3 + 2,5% σιμιγδάλι + 2,5% κυτταρίνη, 65% Ι.Τ. +30% M3 + 5% σιμιγδάλι.

α. Μεταβολή όγκου κατά την έψηση

Η μεταβολή μεγέθους των δοκιμίων σε συνάρτηση προς την θερμοκρασία έψησης παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.19 και 4.20. Όπως προκύπτει από τα Σχήματα 4.19 και 4.20 σε όλα τα δοκίμια παρατηρήθηκε μεταβολή μεγέθους κατά τη διεύθυνση της διαμέτρου και τη διεύθυνση του πάχους. Γενικά δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές όσον αφορά τις αναλογίες της ανάμειξης. Σημειώνουμε πως στους 1050° και 1080°C εντοπίζουμε αύξηση τόσο της διαμέτρου όσο και του πάχους των δοκιμίων η οποία συνεχίζει να υφίσταται σε μικρότερο βαθμό και στους 1100 °C ενώ στους 1150°C παρατηρούμε μία τάση συρρίκνωσης των δοκιμίων. Η μεγαλύτερη αύξηση διαμέτρου παρατηρείται στους 1050°C για την ανάμειξη Νο7 του Πίνακα 4.11 (65%I.T.+30%M3+5%Σιμιγδάλι) και αγγίζει το 2%. Στους 1150 °C για την ανάμειξη Νο5 παρατηρούμε συρρίκνωση του δοκιμίου κατά το πάχος του που φτάνει το 0,7%.



Σχήμα 4.19: Μεταβολή κατά την διάμετρο του δοκιμίου.



Σχήμα 4.20: Μεταβολή κατά το πάχος του δοκιμίου.

β. Πορώδες-Πυκνότητα-Υδατοαπορροφητικότητα

Τα αποτελέσματα του φαινόμενου πορώδους, της πυκνότητας και της υδατοαπορροφητικότητας των κεραμικών δοκιμίων δίνονται στον Πίνακα 4.16 και στα Σχήματα 4.21-4.22. Το μείγμα 7 του Πίνακα 4.11 (65%I.T.+30%M3+5%Σιμ/λι) δεν ελέγχτηκε αφού οι τιμές αντοχής που παρουσίασε ήταν χαμηλές.

Πίνακας 4.16: Αποτελέσματα πορώδους και πυκνότητας κεραμικών δοκιμίων με σιμιγδάλι.

	68%I.T.	+30%M3+29	% Σιμ/λι	65%Ι.Τ+30%Μ3+2,5%Σιμ/λι+2,5%Κυτ/νη				
Т [°С]	Πορώδες [% v/V]	Πυκνότητα [g/cm ³]	Υδατ. [%wt]	Πορώδες [% v/V]	Πυκνότητα [g/cm ³]	Υδατ.[%]		
1050	37,42	1,51	27,45	38,67	1,49	27,34		
1080	36,58	1,59	26,14	37,24	1,58	26,42		
1100	36,47	1,67	24,36	37,55	1,57	25,57		
1150	29,03	1,82	17,97	28,25	1,89	15,21		



Σχήμα 4.21: Πορώδες των δοκιμίων σε σχέση με τη θερμοκρασία έψησης.



Σχήμα 4.22: Πυκνότητα των δοκιμίων σε σχέση με τη θερμοκρασία έψησης.

Όπως παρατηρούμε στους 1050°, 1080° και 1100°C το πορώδες και στις δύο αναμίξεις ξεπερνά το 30% ενώ στους 1150°C όχι. Η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται μείωση του πορώδους και ταυτόχρονη αύξηση της πυκνότητας. Τέλος η υδατοαπορροφητικότητα ακολουθεί την μεταβολή του πορώδους. Η ανάμειξη 65%I.T+30%M3+2,5%Σιμ/λι+2,5%Κυτ/νη παρουσίασε το μεγαλύτερο ποσοστό πορώδους στους 1050°C, (38,67%).

γ. Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό

Η αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό (μέθοδος Brazil) που απέκτησαν τα δοκίμια όλων των αναμείξεων μετά την έψηση παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.17.

Πίνακας 4.17: Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό κυλινδρικών δισκίων με σιμιγδάλι.

	Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό (MPa)					
T [°C]	68%I.T. + 30%M3 +2%Σιμ/λι	65%Ι.Τ+30%Μ3+2,5%Σιμ/λι+2,5%Κυτ/νη	65%I.T.+30%M3+5%Σιμ/λι			
1050	215,67	205,87	64,65			
1080	243,54	223,45	72,45			
1100	255,59	242,65	84,32			
1150	224,37	249,34	88,78			

Από τον Πίνακα 4.17 παρατηρείται ότι οι τιμές της αντοχής των δύο πρώτων αναμείξεων κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα ενώ στην τελευταία ανάμιξη όπου το ποσοστό του σιμιγδαλιού φτάνει το 5% οι αντοχές μειώνονται σημαντικά. Στην δεύτερη ανάμειξη η κυτταρίνη που έχει ουσιαστικά αντικαταστήσει ένα ποσοστό Ι.Τ. δεν επιδρά αρνητικά στην αντοχή των δοκιμίων σε αντίθεση με την τρίτη ανάμειξη του Πίνακα 4.17 όπου η αύξηση του ποσοστού του σιμιγδαλιού μείωσε σε μεγάλο βαθμό τις αντοχές των δοκιμίων. Είναι φανερό πως η άνοδος της θερμοκρασίας επιφέρει μία μικρή αύξηση της αντοχής των δοκιμίων. Οι τιμές της αντοχής για τις δύο πρώτες αναμείξεις κρίνεται αρκετά ικανοποιητική (Furlani E. et al,2007).



Σχήμα 4.23: Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό σε σχέση με τη θερμοκρασία έψησης για 1h έψησης.

4.2.1.5 Ι.Τ., άργιλος και πυρήνα ελαιοκάρπου

Από την Ι.Τ., την άργιλο και την πυρήνα ελαιοκάρπου παρασκευάστηκαν δείγματα από 13 αναμείξεις (Πιν.4.11 Νο 8-11 και 16-24). Από τα κυλινδρικά δισκία που παρασκευάστηκαν με τον τρόπο που περιγράφηκε στο Κεφ.3 αποκλείστηκαν εκείνα που δεν μορφοποιήθηκαν (Εικ.4.8). Οι αναμείξεις που δεν μορφοποιήθηκαν ή έδωσαν δοκίμια ιδιαίτερα εύθρυπτα είναι οι εξής:

- 63% Ι.Τ. + 27% άργιλο M3+10% 0,45-0,9mm πυρήνα,
- 70% Ι.Τ. + 20% άργιλο M3 + 10% 0,45-0,9mm πυρήνα,
- 70% Ι.Τ. + 15% άργιλο M3 + 15% 0,45-0,9mm πυρήνα,
- 56%I.T.+24% M3+20% 0,45-0,9 mm πυρήνα,
- 63% Ι.Τ. +27% M3 + 10% 0.9mm πυρήνα,
- 63% Ι.Τ. +27% M3 + 10% -0.28mm πυρήνα,
- 70% Ι.Τ. +20% M3+ 10% -0.28mm πυρήνα,
- 70% Ι.Τ. +15% M3 + 15% -0.28mm πυρήνα,
- 56%I.T.+24% M3+20% -0.28 πυρήνα.



Εικ.4.8: Αναμείξεις με διάφορα ποσοστά πυρήνας που δεν μορφοποιήθηκαν.

Οι αναμείξεις Νο 8-11 του Πιν.4.11 που έδωσαν συμπαγή δοκίμια (Εικ.4.9) είναι:

- 66% Ι.Τ. + 25% άργιλο M3+5% -0,28mm πυρήνα + 4% κυτταρίνη,
- 66,5% I.T. + 28,5% άργιλο M3 + 3% -0,28mm πυρήνα+2% κυτταρίνη.
- 66% Ι.Τ. + 25% άργιλο M3+5% 0,45-0,9mm πυρήνα + 4% κυτταρίνη,
- 66,5% Ι.Τ. + 28,5% άργιλο M3 + 3% 0,45-0,9mm πυρήνα+2% κυτταρίνη.

Τα δοκίμια ψήθηκαν σε θερμοκρασίες 1050°, 1080° και 1150° C για 1h και σε αυτά προσδιορίστηκαν το πορώδες, η πυκνότητα και η υδατοαπορροφητικότητα, η αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό, η μεταβολή του μεγέθους κατά τη έψηση, το μέγεθος των πόρων καθώς και οι ορυκτολογικές συστάσεις μετά την έψηση.



Εικ.4.9: Αναμίξεις που έδωσαν συμπαγής κεραμικές μάζες και εξετάστηκαν.

α. Μεταβολή όγκου κατά την έψηση

Η μεταβολή μεγέθους των δοκιμίων σε συνάρτηση προς την θερμοκρασία έψησης παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.24 και 4.25. Όπως προκύπτει από τα Σχήματα 4.24 και 4.25 σε όλα τα δοκίμια παρατηρήθηκε μεταβολή μεγέθους κατά τη διεύθυνση της διαμέτρου και τη διεύθυνση του πάχους. Σημειώνουμε πως στους 1080°C εντοπίζουμε αύξηση τόσο της διαμέτρου όσο και του πάχους των δοκιμίων η οποία συνεχίζει να υφίσταται σε μικρότερο βαθμό και στους 1100°C ενώ στους 1150°C παρατηρούμε μία τάση συρρίκνωσης των δοκιμίων. Στους 1150°C για την ανάμειξη

66% Ι.Τ. + 25% άργιλο M3+5% 0,45-0,9mm πυρήνα + 4% κυτταρίνη το ποσοστό συρρίκνωσης των δοκιμίων ξεπερνά το 2% για τη διάμετρο και το 4% για το πάχος του δοκιμίου. Για την ανάμιξη 66,5% Ι.Τ. + 28,5% άργιλο M3 + 3% 0,45-0,9mm πυρήνα+2% κυτταρίνη στην ίδια θερμοκρασία τα αντίστοιχα ποσοστά είναι αρκετά μικρότερα. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι η παρουσία οργανικών και συνδετικών υλικών (πυρήνας, κυτταρίνης) επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά των δοκιμίων κατά την έψηση.



Σχήμα 4.24: Μεταβολή κατά τη διάμετρο του δοκιμίου μετά από 1h έψησης.



Σχήμα 4.25: Μεταβολή κατά το πάχος του δοκιμίου μετά από 1h έψησης.

β. Πορώδες-Πυκνότητα-Υδατοαπορροφητικότητα

Τα αποτελέσματα του φαινόμενου πορώδους, της πυκνότητας και της υδατοαπορροφητικότητας των κυλινδρικών δισκίων δίνονται στους Πίνακες 4.18-4.19, καθώς επίσης και τα αποτελέσματα της ποροσιμετρίας υδραργύρου για τα ίδια δοκίμια με σκοπό τον προσδιορισμό του μεγέθους των πόρων που δημιουργεί η πυρήνα κατά την καύση της δίνονται στον Πίνακα 4.20.

	66%I.T. 0,28	.+25%M3+5° mm)+4%Kv	%Πυρ.(- τ/νη	66,5%I.T.+28,5%M3+3%Πυρ.(- 0,28mm)+2%Κυτ/νη			
T [°C]	Πορώδες [% v/V]	Πυκνότητ α [g/cm ³]	Υδατ. [% wt]	Πορώδες [%v/V]	Πυκνότητ α [g/cm ³]	Υδατ.[%]	
1080	43,11	1,54	31,75	42,43	1,63	31,42	
1100	42,07	1,57	30,13	41,89	1,60	30,98	
1150	29,89	1,69	21,18	28,63	1,88	20,34	

Πίνακας 4.18: Πορώδες, πυκνότητα και υδατοαπορροφητικότητα κυλινδρικών δισκίων προσδιορισμένο με την μέθοδο DIN EN 993-1.

Πίνακας 4.19: Πορώδες, πυκνότητα και υδατοαπορροφητικότητα κυλινδρικών δισκίων προσδιορισμένο με την μέθοδο DIN EN 993-1.

	66%I.T.+25%M3+5%Πυρ.(0,45- 0,9mm)+4%Κυτ/νη			66,5%I.T.+28,5%M3+3%Πυρ.(0,45 -0,9mm)+2%Kυτ/νη			
Т [°С]	Πορώδες [%v/V]	Πυκνότητ α [g/cm ³]	Υδατ. [%wt]	Πορώδες [%v/V]	Πυκνότητ α [g/cm ³]	Υδατ.[%]	
1080	46,11	1,45	35,52	46,06	1,54	34,03	
1100	44,04	1,49	34,32	46,50	1,49	34,54	
1150	29,30	1,76	20,34	31,60	1,78	21,24	



Σχήμα 4.26: Πορώδες των δοκιμίων σε σχέση με τη θερμοκρασία έψησης.



Σχήμα 4.27: Πυκνότητα των δοκιμίων σε σχέση με τη θερμοκρασία έψησης.

Επιπλέον, το πορώδες, η πυκνότητα καθώς και το μέγεθος των πόρων των δοκιμίων προσδιορίστηκε και με την μέθοδο ποροσιμετρίας υδραργύρου (Hg).

	66%I.T.+25%M3+4%Kυτ/νη +5% πυρ 0.45-0.9mm			66,5%I.T.+28,5%M3+2%Kυτ/νη +3% πυρ 0.45-0.9mm			
T[°C]	μέση διαμέτρου των πόρων[μm] (median pore diameter)	συνολική πυκνότητα [g/ml] (bulk density)	Πορώδες [% ν/V]	μέση διαμέτρου των πόρων[μm] (median pore diameter)	συνολική πυκνότητα [g/ml] (bulk density)	Πορώδες [% v/V]	
1080	1,99	1,35	49,64	1,98	1,37	49,22	
1100	2,94	1,43	48,02	2,30	1,35	52,71	
1150	11,09	1,66	27,26	6,34	1,78	33,67	

Πίνακας 4.20: Πορώδες, πυκνότητα και μέγεθος πόρων κυλινδρικών δισκίων προσδιορισμένο με την μέθοδο ποροσιμετρίας Hg.

Η μέθοδος DIN EN 993-1 έδωσε αρκετά ικανοποιητικές τιμές πορώδους για τα δοκίμια μας. Η ανάμιξη 66%I.T.+25%M3+5%Πυρ.(0,45-0,9mm)+4%Kυτ/νη στους 1080°C είχε σαν αποτέλεσμα δοκίμια πορώδους της τάξεως του 46,11% ενώ στους 1100°C και οι δύο αναμείξεις έδωσαν πορώδες της τάξεως του 44-46,50%. Το πορώδες ξεπερνά το 40% στις θερμοκρασίες 1080° και 1100°C για τις αναμείξεις και με τα δύο ποσοστά πυρήνας (0,28mm), (0,45-0,9mm). Για επαλήθευση των αποτελεσμάτων της μεθόδου DIN EN 993-1 έγινε η μέτρηση του πορώδους των δοκιμίων με πυρήνα μεγέθους (0,45-0,9mm) με τη μέθοδο ποροσιμετρίας Hg. Το πορώδες φθάνει σε τιμές άνω του 40% κάτι που καθιστά τα δοκίμια μας ικανά να λειτουργήσουν ως μηχανισμοί φιλτραρίσματος.

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του πορώδους και της πυκνότητας των μεθόδων DIN EN 993-1 και ποροσιμετρίας Hg φαίνεται πως στην θερμοκρασία των 1150° C το πορώδες είναι περίπου 30% και η πυκνότητα κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα, κάτι το οποίο καθιστά τα δοκίμια ακατάλληλα ως φίλτρα. Επομένως, η θερμοκρασία των 1150° C δεν γίνεται δεκτή για αυτή τους τη χρήση. Για τις θερμοκρασίες των 1080 °C και 1100°C η διάμετρος των πόρων κυμαίνεται από 1,98-2,94μm.

γ. Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό

Η αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό (μέθοδος Brazil) που απέκτησαν τα δοκίμια όλων των αναμείξεων μετά την έψηση παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.21.

	Αντοχή[MPa]						
T [°C]	66% I.T. +25% M3	66,5% I.T. +28,5% M3	66% I.T. +25% M3	66,5% I.T. +28,5% M3			
	+5% πυρ	+3% πυρ	+5% πυρ 0,45-	+3% πυρ 0,45-			
	-0,28mm+4%κυτ/νη	-0,28mm+2%κυτ/νη	0,9mm+4%κυτ/νη	0,9mm+2%κυτ/νη			
1080	124,45	156,23	112,04	131,58			
1100	128,87	145,34	134,00	153,45			
1150	162,32	214,78	178,25	207,30			

Πίνακας 4.21: Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό κυλινδρικών δισκίων με πυρήνα.

Από τον πίνακα 4.21 γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις τιμές της αντοχής μεταξύ των δύο αναμείξεων, ωστόσο το μεγαλύτερο ποσοστό οργανικού υλικού (πυρήνας) καθώς και κυτταρίνης στις αναμείξεις 66%Ι.Τ.+25%M3+5%Πυρήνα+4%Κυτ/νη μειώνει τις αντοχές.



Σχήμα 4.28: Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό σε σχέση με τη θερμοκρασία έψησης για 1 h έψησης.

δ. Ορυκτολογική σύσταση των ψημένων μαζών.

Τα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων των ψημένων δοκιμίων των αναμείξεων που έδωσαν τα υψηλότερα πορώδη, δηλαδή των αναμείξεων: α) 66% IT+25%M3+5%πυρήνα 0,45-0,9mm+4%κυτ/νη, β) 66,5%IT+28,5%M3+3% πυρήνα 0,45-0,9mm+2%κυτ/νη, παρουσιάζονται στα ακτινογραφήματα του παραρτήματος (σελ. 120-123).

Όπως προέκυψε οι κύριες φάσεις των ψημένων δειγμάτων είναι: ο διοψίδιος, ο χαλαζίας, ο αλβίτης, ο αιματίτης, ο γκελενίτης και το ρουτίλιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ο βασικός στόχος της ερευνητικής διαδικασίας της παρούσας εργασίας είναι η παραγωγή κεραμικών μαζών από Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ, άργιλο της περιοχής που βρίσκεται κοντά στο χωριό Σπηλιά (M3), πυρήνας ελαιοκάρπου, σιμιγδαλιού ή σκωρίας. Μετά από το προσπαρασκευαστικό στάδιο που περιελάμβανε ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις καθώς και κοκκομετρικό διαχωρισμό των πρώτων υλών, η προσοχή στράφηκε στην δυνατότητα παραγωγής μαζών καλής εργασιμότητας (πλαστικότητας). Από τα δοκίμια που διαμορφώθηκαν μετά από έψηση ένα μέρος παρουσίασε αποδεκτό πορώδες >30%, αποδεκτές μηχανικές αντοχές καθώς και ικανή διάμετρο πόρων. Συγκεκριμένα:

- a. Οι αναμείξεις που περιελάμβαναν Ι.Τ. και άργιλο ήταν: 85% Ι.Τ.+ 15% M3-75% Ι.Τ.+25% Μ3. Η εργασιμότητα των μαζών που προέκυψαν από αυτές τις αναμίξεις ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητική και η διαμόρφωση των δοκιμίων (κυλινδρικά δισκία) πραγματοποιήθηκε χωρίς προβλήματα, ενώ τα δοκίμια ψήθηκαν στη συνέχεια σε θερμοκρασίες 850-1150 °C με βήμα 50 °C. Στις θερμοκρασίες μέχρι και 1000°C προέκυψαν κεραμικά δοκίμια πορώδους 34,58% έως και 48,36% . Ωστόσο οι τιμές της αντοχής στους 850° και 950° C δεν κάτι υποδηλώνει ήταν ικανοποιητικές που την απουσία πυροσυσσωμάτωσης η οποία γίνεται αντιληπτή και με γυμνό μάτι λόγω της εύθρυπτης επιφάνειας των δοκιμίων. Σε έψηση 1050 και 1100 °C το πορώδες ήταν ~30% ενώ στους 1150°C τα δοκίμια είχαν αρχίσει να λιώνουν παρουσιάζοντας αρκετά μειωμένο πορώδες ~20%. Οι μηχανικές αντοχές πάνω από τους 1000°C κρίνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικές. Τέλος δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές μεταβολές μεταξύ 1h και 4h έψησης.
- b. Στις επόμενες αναμείξεις χρησιμοποιήθηκε Ι.Τ., άργιλος και σιμιγδάλι. Οι αναμιξεις 75% Ι.Τ. + 18% M3+ 10% σιμιγδάλι, 63% Ι.Τ. + 27% M3 + 10% σιμιγδάλι, 56% Ι.Τ. + 24% M3+ 20% σιμιγδάλι, 64% Ι.Τ. + 16% M3 + 20% σιμιγδάλι έδωσαν μάζες με ικανοποιητική εργασιμότητα, αλλά μετά την έψηση τους παρατηρήθηκαν έντονες ρωγματώσεις και θρυμματισμός πιθανότατα από τον ατμό του νερού που ελευθερώνεται από το σιμιγδάλι καθώς καίγεται, επειδή το ίδιο αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα υδατάνθρακα (Εικ.4.6β). Οι αναμείξεις με συμμετοχή μικρότερου ποσοστού σιμιγδαλιού 68% Ι.Τ. + 30% άργιλο + 2% σιμιγδάλι, 65% Ι.Τ. + 30% άργιλο + 2,5% σιμιγδάλι+2,5%

κυτταρίνη που έπειτα από την έψηση έδωσαν συνεκτική κεραμική μάζα (Εικ.4.7) παρουσίασαν πορώδες της τάξεως του 37% σε θερμοκρασίες 1050,1080,1100 °C καθώς και αντοχές σε έμμεσο εφελκυσμό άνω των 200MPa. Η ανάμειξη 65% Ι.Τ. +30% M3 + 5% σιμιγδάλι είχε σαν αποτέλεσμα κεραμικές μάζες αρκετά μειωμένων αντοχών ~72MPa που ψήθηκαν στους 1080 °C.

c. Από Ι.Τ., άργιλο και πυρήνα ελαιοκάρπου παρασκευάστηκαν 13 μείγματα. Σε
9 από αυτά δεν κατέστη δυνατή η μορφοποίηση αφού μετά από την συμπίεση δεν ήταν ικανοποιητική η συνεκτικότητα τους (Εικ.4.8).

Οι αναμείξεις που έδωσαν αντιθέτως συμπαγή δοκίμια είναι:

- 66%I.T. + 25% ά M3+5% -0,28mm πυρήνα + 4% κυτταρίνη,
- 66,5% Ι.Τ. + 28,5% M3 + 3% -0,28mm πυρήνα+2% κυτταρίνη,
- 66% Ι.Τ. + 25% M3+5% 0,45-0,9mm πυρήνα + 4% κυτταρίνη,
- 66,5 Ι.Τ. + 28,5%M3 + 3% 0,45-0,9mm πυρήνα+2% κυτταρίνη, (Εικ.4.9).

Μετά από έψηση των τελευταίων στους 1050, 1080 και 1150°C οι κεραμικές μάζες που προέκυψαν από τα μείγματα που περιείχαν αρχικά το κλάσμα <0,28mm παρουσίασαν πορώδες της τάξεως του 43% και αντοχές σε έμμεσο εφελκυσμό ~140MPa. Στα μείγματα που χρησιμοποιήθηκε κλάσμα πυρήνας 0,45-0,9mm τόσο η εργασιμότητα όσο και η αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό των μαζών ήταν ικανοποιητικές ~140MPa ενώ το πορώδες για πρώτη φορά έφθασε το 47% σε έψηση 1100°C, (Πίνακας 4.19). Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με αντίστοιχα της βιβλιογραφίας προκύπτει ότι τόσο το πορώδες (Ishizaki K.et al,1998) όσο και οι μηχανικές αντοχές (Furlani E. et al,2007) των κεραμικών μαζών που παρασκευάστηκαν θεωρούνται ικανοποιητικές για τη χρήση τους σαν κεραμικά φίλτρα. Η μέθοδος ποροσιμετρίας υδραργύρου (Hg) επιβεβαίωσε τα δεδομένα του πορώδους και της πυκνόητας ~1,35g/ml που προέκυψαν από την μέθοδο DIN EN 993-1 και ταυτόχρονα μας έδωσε το μέσο μέγεθος των πόρων των κυλινδρικών δισκίων ~3μm.

 d. Από τα μείγματα Ι.Τ. και σκωρίας <0,63mm, 70% Ι.Τ.+30% σκωρία, 80% Ι.Τ.+20% σκωρία προέκυψαν κεραμικές μάζες με ικανοποιητική εργασιμότητα, αλλά μετά την έψηση των δοκιμίων που διαμορφώθηκαν παρατηρήθηκε υπερβολική αύξηση του αρχικού όγκου (Εικ.4.2-4.3). Χαρακτηριστική είναι η αύξηση του πάχους των δοκιμίων κατά 28% της ανάμειξης 70% Ι.Τ.+30% σκωρία που ψήθηκαν στους 1150 °C για 1h (Σχήμα 4.14).

Από τα μείγματα I.T., αργίλου, πυρήνας 0,45-0,9mm και σκωρίας <0,28mm, 65%I.T.+25%M3+5%πυρήνα+5%σκωρία,65%I.T.+25%M3+3%πυρήνα+5%σ κωρία+2%κυτταρίνη προέκυψαν κεραμικές μάζες στις οποίες παρατηρήθηκε αύξηση του όγκου που ήταν ωστόσο μικρότερη από αυτή των αναμίξεων με ποσοστό σκωρίας 20 και 30%. Η χρησιμοποίηση μικρού ποσοστού σκωρίας καθώς και η χρήση μικρότερου κλάσματος της, φαίνεται να λειτούργησαν θετικά καθώς δεν παρατηρούνται ρωγματώσεις στην επιφάνεια των δοκιμίων και συσσωματώματα κόκκων σκωρίας στους 1150 °C (Εικ.4.5). Το πορώδες των δοκιμίων έφθασε το 40% σε έψηση 1050 °C ενώ δεν ξεπέρασε το 30% σε έψηση 1150 °C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από την παρούσα μελέτη με σκοπό την δημιουργία πορώδους κεραμικής μάζας από Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ σε ανάμειξη με άργιλο, πυρήνα ελαιοκάρπου, σιμιγδάλι, σκωρία ή κυτταρίνη προέκυψαν τα παρακάτω:

- Το μεγαλύτερο πορώδες (52,71%) απέκτησαν οι κεραμικές μάζες που προέκυψαν από την έψηση των μειγμάτων που περιείχαν 66,5% Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ, 28,5% άργιλο της περιοχής «Σπηλιά», 3% πυρήνα ελαιοκάρπου του κλάσματος 0,45-0,9mm και 2% κυτταρίνη στους 1100° C για 1h. Η μηχανική αντοχή των κεραμικών αυτών μαζών κυμάνθηκε σε ικανοποιητικά επίπεδα (150MPa). Τα δοκίμια παρουσίασαν μέσο μέγεθος πόρων (2,30μm) και συνολική πυκνότητα (1,37g/ml).
- Η ανάμειξη 66% Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ, 25% άργιλο της περιοχής «Σπηλιά», 5% πυρήνα ελαιοκάρπου του κλάσματος 0,45-0,9mm και 4% κυτταρίνη μετά από έψηση στους 1080°C για 1h έδωσε επίσης δοκίμια υψηλού πορώδους (49,64%). Η μέση διάμετρος πόρων ήταν (~2μm) και η πυκνότητα έφθασε το (1,35% g/ml).
- 3. Η έψηση, εν γένει, σε θερμοκρασίες κάτω των 1000°C δεν έδωσε κεραμικές μάζες με επαρκή βαθμό πυροσυσσωμάτωσης. Ενώ οι διαφορές ανάμεσα στις κεραμικές μάζες που ψήθηκαν 1h και σε αυτές που ψήθηκαν 4h είναι μικρές.
- 4. Η προσθήκη μεγάλου ποσοστού σιμιγδαλιού (>10%) στις αναμείξεις δημιούργησε προβλήματα συνοχής των κεραμικών μαζών που προέκυψαν λόγω της εξάτμισης του νερού σε χαμηλές θερμοκρασίες. Τα δοκίμια με ποσοστό σιμιγδαλιού (<2,5%) δεν θρυμματίζονταν μεν μετά από την έψηση τους ωστόσο το πορώδες δεν έφτασε στα αναμενόμενα επίπεδα (38,67%).</p>
- 5. Η προσθήκη της σκωρίας δεν είχε κάποια ουσιαστική επίδραση στην δημιουργία πορώδους.
- Η χρήση της κυτταρίνης (2-4%) ως συνδετικού υλικού συντέλεσε στην καλύτερη εργασιμότητα των μαζών.
- Προτείνεται η εξέταση του βαθμού διαπερατότητας των κεραμικών μαζών προκειμένου να συγκεκριμενοποιηθούν τα είδη των φίλτρων που θα μπορούσαν να παραχθούν από τις αναμείξεις των πρώτων υλών της παρούσης εργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση

- Ζ.Γ. Αγιουτάντης (2002): Στοιχεία Γεωμηχανικής, Μηχανική Πετρωμάτων, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
- Βλάχος Γ. (2003): Μελέτη της διηθητικής ικανότητας κεραμικών φίλτρων στην απομάκρυνση υδάτινων ρυπαντικών φορτίων, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Δρακωνάκη Δ. (1994): Εκχύλιση τοξικών συστατικών από ιπτάμενη τέφρα,
 Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά.
- Ζαχαράκη Δήμητρα. (2004): Σύνθεση και ιδιότητες γεωπολυμερών από σκωρίες ηλεκτρικής καμίνου παραγωγής σιδηρονικελίου, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Θωμαΐδης Ε. (2009): Διερεύνηση δυνατοτήτων αξιοποίησης της ερυθράς ιλύος του Αγ. Νικολάου Βοιωτίας στην παρασκευή δομικών κεραμικών, Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Ν.Καλογεράκης ,Ν. Π. Νικολαΐδης (2008): Μέτρα Φιλικά Προς το Περιβάλλον: 10 Εναλλακτικές Προτάσεις Επεξεργασίας Αποβλήτων Ελαιουργείων, Environmental Friendly Technologies for Rural Development, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά.
- Κρητικάκη Α. (2009): Πορώδη κεραμικά για περιβαλλοντικές εφαρμογές, Διατριβή για τη μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για την απόκτηση του Διδακτορικού Διπλώματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Κωστάκης Γ. (1996): Σύσταση και τεχνολογικές χρήσεις των λιγνιτικών τεφρών των ΑΗΣ της Δ.Ε.Η. της περιοχής Πτολεμαΐδας Αμυνταίου, Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Χανιά.
- Κωστάκης Γ. (1999): Κεφάλαια ακτινοσκοπίας κρυστάλλων, Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Χανιά.
- Κωστάκης Γ. (2003): Εισαγωγή στην Αξιολόγηση των Βιομηχανικών Ορυκτών, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Κωστάκης Γ. (2004): Μελέτη της σύστασης της τέφρας λιγνιτικών ΑΗΣ της
 Δ.Ε.Η. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Κωστάκης Γ. (2005): Συστηματική Ορυκτολογία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

- Λέκκας Θ.Δ.(1996): "Περιβαλλοντική Μηχανική 1: Διαχείριση υδάτινων πόρων", Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.
- Παναγιωτάκης Α.Π.(1997): Αξιολόγηση των δυνατοτήτων χρησιμοποίησης αργιλοχωμάτων των επαρχιών Κυδωνίας και Κισσάμου του Ν. Χανίων στη βιομηχανία παραδοσιακών κεραμικών, Μεταπτυχιακή εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Σταμπολιάδης Η. (2001): Μηχανική των τεμαχιδίων, Σημειώσεις για τους σπουδαστές του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.
- Στουρνάρας Κ.Ι.(2007): Πορώδεις Κεραμικές Δομές Η Εμπειρία της ΕΚΕΠΥ, 3ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Πορωδών Υλικών, 1-2 Νοεμβρίου 2007, ΕΚΕΠΥ Α.Ε., Χαλκίδα.
- Τσετσέκου Α.(2005): Κεραμικά, Σημειώσεις Μηχ.Ο.Π., Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Τσικαρδάνη Ε. και Παπανικολάου Δ. (2005): Μελέτη σκοπιμότητας βιωσιμότητας ου εργοστασίου επεξεργασίας ιπτάμενης τέφρας. Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης Ινστιτούτο Τεχνολογίας Πρακτικά ημερίδας. Κοζάνη, Ιανουάριος 2005.
- Φραγκίσκος Α.Ζ. (1990): Η μελέτη του εμπλουτισμού των μεταλλευμάτων και βιομηχανικών ορυκτών, Ε.Μ.Π. Αθήνα.
- Φτίκος Χ.,Τσίμας Σ., Μαρσέλος Ν., Καλός Γ., Μπατζιάς Φ., Ιορδάνης Π. (1985): Μελέτη των Δυνατοτήτων Αξιοποίησης των Ελληνικών Ιπτάμενων Τεφρών.

Ξενόγλωσση

- Adem D. (2004): Effect of gas pressure infiltration on microstructure and bending strength of porous Al2O3/SiC reinforced aluminium matrix composites, Sakarya University.
- M. Aineto, A. Acosta, I. Iglesias (2006): The role of a coal gasification fly ash as clay additive in building ceramic, Journal of the European Ceramic Society 26 (2006) 3783–3787.
- M. W. Barsoum(2003): Fundamentals of Ceramics, Department of Materials Engineering, Drexel University, USA.
- M.C. Blanko Lopez, A. Martinez-Alonso, J.M.D. Tascon(2000): Mineral Matter Characterization in Olive Stones by Joint Use of LTA, XRD, FT-IR and SEM-EDX, Applied Spectroscopy Vol. 54, Number 11,2000.

- W.D. Callister, Jr (2004): Επιστήμη και Τεχνολογία των Υλικών, Εκδόσεις Τζιολά, Αθήνα.
- \circ CEC-Federation Europeenne de Fabricants de Curreanx Ceramiques, St. Jacobs- Strabe 25, Ελβετία.
- o Deevi, S. C. and Sikka, V.K. (1996): Intermetallics, 357-375.
- E.Furlani, S, Bruckner, D. Minichelli, S. Maschio (2007): Synthesis and characterization of ceramics from coal fly ash and incinerated paper mill sludge, Ceramics International, doi:10.1016/j.ceramint.2007.08.002.
- K. Ishizaki, S. Komarneni, M. Nanko(1998): Porous Materials, Process technology and applications, Kluwer Academic Publishers, London.
- Joshi R.C. & B.K. March (1987): Effect of a sub-bituminous Fly Ash and its properties as sulfate resistance of sand cement mortars.
- Kingery W.D., Bowen H.K, Uhlmann D.R. (1975): Introduction to Ceramics, a Wiley-Interscience Publication, New York.
- Kostakis G. And Stratakis A. (2005): Minerologische Untersuchung von Lignitaschen der Kraftwerke von Ag. Dimitrios und Achlada-Meliti. DMG Beih Eur. J. Mineral vol. 17, No.1, 2005 §73.
- Koukouzas N., E. Kakaras, P. Grammelis(2004): The lignite electricitygenerating sector in Greece: Current status and future prospects, Int. J. Energy Res. 2004; 28:785–798.
- Kritikaki A, Tsetsekou A.(2008): Fabrication of porous alumina ceramics from powder mixtures with sol-gel derived nanometer alumina: Effect of mixing method, Journal of the European Ceramic Society, doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2008.10.011.
- Oueralt I., X. Ouerol, A Lopez-Soler, F. Plana(1997): Use of coal fly ash for ceramics: a case study for a large Spanish power station, Fuel Vol, 76, No. 8, pp. 787-791, 1997.
- Samara C. (2005): Chemical mass balance source apportionment of TSP in a lignite-burning area of Western Macedonia, Greece, Atmospheric Environment 39 (2005) 6430–6443.
- Skodras G., P. Grammelis E. Kakaras, D. Karangelos, M. Anagnostakis, E. Hinis (2007): Quality characteristics of Greek fly ashes and potential uses, Fuel Processing Technology 88 (2007) 77–85.
- Thomaidis S., Kostakis G. and Stratakis A. (2007): Mineralogical investigation of fly ashes of the electricity power stations of the Ptolemais Amynteon district (Greece) Koeln Goldschmidt 2007, §A1017.

• Worral W.E. (1986): Clays and Ceramic Raw Materials, Elsevier Applied Science Publishers, London, New York.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- o www.dei.gr, (22/7/11).
- o www.flyash.gr, (25/7/09).
- \circ www.nationalslagassoc.org, (14/2/12).
- www.en.wikipedia.org, (25/7/09).

ПАРАРТНМА

- Α. Πίνακες
- Β. Διαγράμματα-Ακτινογραφήματα

Α. Πίνακες

		Result: Ar	nalysis Report			
Sample ID: LIPTOL Sample File: KWSTAKIS Sample Path: G:\ Sample Notes:		Sam Run Number: Record Numbe	ple Details 2 r: 1	Measur Analyse Result	red: Fri Mar 28 2008 ed: Fri Mar 28 2008 Source: Analysed	1:58PM 1:58PM
Range Lens: 300RF mm Presentation: 30JD Analysis Model: Polydispers Modifications: None	Beam Length: 2 [Particle R.I. = (1 e	Systa .40 mm 1.5295, 1.0000);	em Details Dispersant R.I. =	Sampler: None 1.3300]	Obso Re:	curation: 15.1 sidual: 0.542 sidual: 0.554 sidual: 0.5545 sidual: 0.5542 sidual: 0.5545 sidual: 0.5545 sidual: 0.5
Distribution Type: Volume Mean Diameters: D [4, 3] = 44.81 um	Concentration = D (v, 0.1) = 3.9 D [3, 2] = 4.58	Resul 0.0102 %Vol 96 um um	t Statistics Density = 2.650 g D (v, 0.5) = 26.99 Span = 3.706E+00	1 / cub. cm 5 um	Specific S.A. = D (v, 0.9) = 103.8 Uniformity = 1.230	0.4941 sq. m / 6 um E+00
Size Low (um) In.% (0.05) (0.00) (0.05) (0.00) (0.06) (0.01) (0.06) (0.02) (0.08) (0.04) (0.09) (0.07) (0.09) (0.07) (0.09) (0.07) (0.11) (0.11) (0.13) (0.16) (0.15) (0.22) (0.17) (0.28) (0.20) (0.33) (0.23) (0.35) (0.27) (0.32) (0.31) (0.27) (0.36) (0.24) (0.42) (0.22) (0.56) (0.22) (0.56) (0.22) (0.56) (0.22) (0.56) (0.22) (0.57) (0.22) (0.58) (0.22) (0.58) (0.22) (0.58) (0.22) (0.58) (0.22) (0.58) (0.22) (0.51) (0.66) (1.24) </th <th>Size High. (µm) 0.06 0.07 0.08 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.20 0.23 0.27 0.31 0.36 0.42 0.49 0.58 0.65 0.68 0.78 0.91 1.06 1.24 1.44 1.68 1.95 2.28 2.65 3.09 3.60 4.19 4.38 5.69 6.63</th> <th>Under% 0.00 0.001 0.02 0.06 0.13 0.24 0.40 0.62 0.791 1.24 1.59 1.91 2.42 2.65 2.87 3.37 3.70 4.07 4.49 4.96 6.64 7.36 8.21 9.24 10.51 12.05 13.84 15.95</th> <th>Size Low (um) 6.63 7.72 9.00 10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.56 41.43 48.27 56.23 65.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.58 163.77 190.80 222.28 258.95 301.68 351.46 409.45 477.01 555.71 647.41 754.23</th> <th>In % 2.42 2.74 3.07 3.39 3.71 4.03 4.60 4.84 5.04 5.17 5.23 5.16 4.74 4.14 3.43 2.14 4.14 3.43 2.14 4.14 1.77 1.03 0.79 0.43 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00</th> <th>Size High (um) 7.72 9.00 10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.56 41.43 48.27 56.23 65.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.55 163.77 190.80 222.28 258.95 301.68 351.46 409.45 477.01 555.71 647.41 754.23 878.67</th> <th>Under% 18.37 21.12 24.18 27.57 31.29 35.31 39.64 44.24 49.08 54.11 59.29 64.52 69.75 74.91 79.65 83.79 87.22 89.96 92.10 93.80 95.23 96.51 97.67 98.70 99.48 99.92 100.00 100.00 100.00 100.00</th>	Size High. (µm) 0.06 0.07 0.08 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.20 0.23 0.27 0.31 0.36 0.42 0.49 0.58 0.65 0.68 0.78 0.91 1.06 1.24 1.44 1.68 1.95 2.28 2.65 3.09 3.60 4.19 4.38 5.69 6.63	Under% 0.00 0.001 0.02 0.06 0.13 0.24 0.40 0.62 0.791 1.24 1.59 1.91 2.42 2.65 2.87 3.37 3.70 4.07 4.49 4.96 6.64 7.36 8.21 9.24 10.51 12.05 13.84 15.95	Size Low (um) 6.63 7.72 9.00 10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.56 41.43 48.27 56.23 65.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.58 163.77 190.80 222.28 258.95 301.68 351.46 409.45 477.01 555.71 647.41 754.23	In % 2.42 2.74 3.07 3.39 3.71 4.03 4.60 4.84 5.04 5.17 5.23 5.16 4.74 4.14 3.43 2.14 4.14 3.43 2.14 4.14 1.77 1.03 0.79 0.43 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	Size High (um) 7.72 9.00 10.48 12.21 14.22 16.57 19.31 22.49 26.20 30.53 35.56 41.43 48.27 56.23 65.51 76.32 88.91 103.58 120.67 140.55 163.77 190.80 222.28 258.95 301.68 351.46 409.45 477.01 555.71 647.41 754.23 878.67	Under% 18.37 21.12 24.18 27.57 31.29 35.31 39.64 44.24 49.08 54.11 59.29 64.52 69.75 74.91 79.65 83.79 87.22 89.96 92.10 93.80 95.23 96.51 97.67 98.70 99.48 99.92 100.00 100.00 100.00 100.00
10		Volu	me (%)			
						60 40 20

Πίνακας 1: Αποτελέσματα κοκκομετρικής κατανομής Ι.Τ. ΔΙΠΤΟΔ με Laser.
			Rèsult: An	alysis Report			
semple ID: M3 Sample File: KWSTAKIS Sample Path: G:\ Sample Notes:		Sample Details Run Number: 6 Measured: Fri Mar 28 2008 2:08PM Record Number: 4 Analysed: Fri Mar 28 2008 2:08PM Result Source: Analysed #					
Range Lens: 300RF mm Presentation: 30JD Analysis Model: Polydisperse		System Details Sampler: None Beam Length: 2.40 mm Sampler: None [Particle R.I. = (1.5295, 1.0000); Dispersant R.I. = (1.3300]			Obscuration: 25.6 % Residual: 0.522 %		
			Decul	Statistics			
Distribution Type Mean Diameters D [4, 3] = 13.5	e: Volume : 2 um	Concentration = D (v, 0.1) = 2.49 D [3, 2] = 4.25 t	Result 0.0161 %Vol 9 um im	Density = 2.650 g D (v, 0.5) = 9.84 Span = 2.765E+00	/ cub. cm um	Specific S.A. = D (v, 0.9) = 29.70 Uniformity = 8.559	0.5322 sq. m /) um E-01
Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.93	7.72	39.95
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	6.26	9.00	46.22
0.08	0.01	0.09	0.02	10.48	6 46	12.21	52.00
0.09	0.03	0.11	0.05	12.21	6.36	14.22	65.46
0.11	0.05	0.13	0.10	14.22	6.18	16.57	71.64
0.13	0.07	0.15	0.17	16.57	5.70	19.31	77.34
0.17	0.14	0.20	0.28	22.49	5.10	22.49	82.45
0.20	0.18	0.23	0.60	26.20	3.74	30.53	90.62
0.23	0.19	0.27	0.79	30.53	3.04	35.56	93.65
0.27	0.18	0.31	0.97	35.56	2.37	41.43	96.02
0.31	0.17	0.36	1.14	41.43	1.74	48.27	97.76
0.38	0.17	0.42	1.31	48.27	1.19	56.23	98.95
0.49	0.23	0.58	1.74	65.51	0.34	76.32	100.00
0.58	0.30	0.67	2.05	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	0.39	0.78	2.43	88.91	0.00	103.58	100.00
0.91	0.61	1.06	2.93	103.58	0.00	120.67	100.00
1.06	0.74	1.24	4.28	140.58	0.00	163 77	100.00
1.24	0.88	1.44	5.16	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	1.04	1.68	6.20	190.80	0.00	222.28	100.00
1.08	1.25	1.95	7.45	222.28	0.00	258.95	100.00
2.28	1.86	2.65	10.81	301.68	0.00	301.68	100.00
2.65	2.30	3.09	13.12	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	2.86	3.60	15.97	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.51	4.19	19.48	477.01	0.00	555.71	100.00
4.88	4.88	5.69	28.57	647.41	0.00	647.41	100.00
5.69	5.45	6.63	34.03	754.23	0.00	878.67	100.00
			Volu	me (%)			
10				ana ana ang ang ang ang ang ang ang ang	() () ()()()()()()()()()()()()()()()()		100
							80
1.4							60
							Ua
-							40
0							20
0.01	0.1		1.0	10.0	100	.0 1	000.0
			Particle Di	ameter (um.)			

Πίνακας 2: Αποτελέσματα κοκκομετρικής κατανομής αργίλου M3 με Laser.

Πίνακας 3: Αποτελέσματα πορώδους και πυκνότητας των ταμπλετών σύστασης 66% IT+25% M3 +5% πυρήνα 0.45-0.9 mm+4κυτ/νη.

1080° C						
66% IT+25% M3 +5% πυρ + 4%κυτ/νη	Πορώδες (% v/v)	Πυκνότητα(g/cm ³)	Υδατοαπορροφητικότητα (%)			
1	46,22	1,42	35,85			
2	46,30	1,37	35,92			
3	45,82	1,55	34,78			
МО	46,11	1,45	35,52			

Πίνακας 4: Αποτελέσματα πορώδους και πυκνότητας των ταμπλετών σύστασης 66% ΙΤ+25% M3 +5% πυρήνα 0.45-0.9 mm+4κυτ/νη.

1100° C						
66% IT+25% M3 +5% πυρ + 4%κυτ/νη	Πορώδες (% v/v)	Πυκνότητα(g/cm ³)	Υδατοαπορροφητικότητα (%)			
1	44,18	1,48	34,27			
2	43,70	1,51	34,10			
3	44,25	1,47	34,58			
МО	44,04	1,49	34,32			

Πίνακας 5: Αποτελέσματα πορώδους και πυκνότητας των ταμπλετών σύστασης 66% IT+25% M3 +5% πυρήνα 0.45-0.9 mm+4κυτ/νη.

1150° C						
66% IT+25% M3 +5% πυρ + 4%κυτ/νη	Πορώδες (% v/v)	Πυκνότητα(g/cm ³)	Υδατοαπορροφητικότητα (%)			
1	28,29	1,72	26,54			
2	29,07	1,78	27,32			
3	30,53	1,79	28,15			
МО	29,30	1,76	27,34			

Πίνακας 6: Απ	οτελέσματα τ	τορώδους και	ι πυκνότητας	των ταμπλε	πών σύστασης
66,	5% IT+28,5%	6 M3 +3% πυ	ρήνα 0.45-0.	9 mm+2κυτ	:/vη.

1080° C						
66,5% IT+28,5% M3 +3% πυρ + 2%κυτ/νη	Πορώδες (% v/v)	Πυκνότητα(g/cm ³)	Υδατοαπορροφητικότητα (%)			
1	46,62	1,52	34,24			
2	45,89	1,54	34,05			
3	45,68	1,56	33,80			
МО	46,06	1,54	34,03			

Πίνακας 7: Αποτελέσματα πορώδους και πυκνότητας των ταμπλετών σύστασης 66,5% IT+28,5% M3 +3% πυρήνα 0.45-0.9 mm+2κυτ/νη.

1100° C						
66,5% IT+28,5% M3 +3% πυρ + 2%κυτ/νη	Πορώδες (% v/v)	Πυκνότητα(g/cm ³)	Υδατοαπορροφητικότητα (%)			
1	48,31	1,37	36,32			
2	45,88	1,54	33,95			
3	45,30	1,58	33,95			
MO	46,50	1,49	34,54			

Πίνακας 8: Αποτελέσματα πορώδους και πυκνότητας των ταμπλετών σύστασης 66,5% IT+28,5% M3 +3% πυρήνα 0.45-0.9 mm+2κυτ/νη.

1150° C						
66,5% IT+28,5% M3	Πορώδες		VS(0/)			
$+3\% \pi 0\rho + 2\% \kappa 0\tau/v\eta$	(%0 V/V)	Πυκνοτητα(g/cm)	ι σατοαπορροφητικοτητα (%)			
1	30,28	1,79	20,22			
2	28,44	1,87	17,34			
3	36,08	1,68	26,15			
MO	31,60	1,78	21,24			

Β. Διαγράμματα-Ακτινογραφήματα



Εικ.1: Κοκκομετρική κατανομή Ι.Τ. (Laser).



Εικ.2: Κατανομή Βάρους Ι.Τ. (Laser)



Εικ.3: Κοκκομετρική κατανομή αργίλου M3 (Laser).



Εικ.4: Κατανομή Βάρους αργίλου M3 (Laser).



A 00-002-0056 (D) - Illite - KAI2Si3AIO10(OH)2 - Y: 7.61 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -O1-083-0971 (C) - Kaolinite - Al2(Si2O5)(OH)4 - Y: 11.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 1. -V01-082-0577 (C) - Muscovite 2 ITM RG1 - KAI2(AISi3O10)(OH)2 - Y: 7.49 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO3) - Y: 12.15 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/lc PDF 3.1 -©00-003-0016 (D) - Montmorillonite, syn - Al2O3.4SiO2.xH2O - Y: 5.59 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -

🔳 00-010-0357 (N) - Sanidine, potassian, disordered, syn - (Na,K)(Si3Al)O8 - Y: 9.96 % - d x by: 1. - WL 00-042-1414 (D) - Biotite-1 ITM RG - K(Mg,Fe+2)3(AI,Fe+3)Si3O10(OH,F)2 - Y: 16.68 % - d x by: 1. -● 00-010-0495 (I) - Phlogopite-1 ITM RG - KMg3(Si3AI)O10(OH)2 - Y: 12.51 % - d x by: 1. - WL: 1.5406

Εικ.5: Ακτινογράφημα περιθλασιμετρίας ακτίνων -Χ της αργίλου περιοχής «Σπηλιά» M3.



Εικ.6: Ακτινογράφημα περιθλασιμετρίας ακτίνων -Χ της πυρήνας ελαιοκάρπου.



IT LIPTOL ARXIKO

Εικ.7: Ακτινογράφημα περιθλασιμετρίας ακτίνων -Χ της Ι.Τ. του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ.

▲ 00-030-0226 (*) - Brownmillerite, syn - Ca2(Al,Fe)2O5 - Y: 11.14 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic ▼ 00-004-0829 (D) - Periclase, syn - MgO - Y: 8.47 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 2.1 -



Operations: Import 0.0-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 53.40 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.009 - I/Ic PDF 3

Our contraction of the subscription of th

Εικ.8: Ακτινογράφημα περιθλασιμετρίας ακτίνων – X της ανάμειξης 66%I.T.+25%M3+4%Kυτ/νη+5% πυρ 0.45-0.9mm στους 1080°C.



B-1080C - File: d8090671.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° Operations: Import

00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 49.27 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.009 - l/lc PDF 3
00-024-0072 (D) - Hematite - Fe2O3 - Y: 11.89 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03800 - b 5.03800 - c 13.77200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3 (148) - 6 - 302.722 - F27=
01-089-1580 (C) - Gehlenite, syn - Ca2Al(Al1.22Si0.7806.78)(OH)0.22 + Y: 104.72 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.68180 - b 7.68180 - c 5.06750 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - R-4
01-076-0318 (A) - Rutile, syn - TiO2 - Y: 14.94 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 4.60010 - c 2.96540 - alpha 94.330 - beta 116.570 - gamma 90.000 - Primitive - R-4 (M) - 4 - 664.194 - l/lc P
01-076-0318 (A) - Rutile, syn - TiO2 - Y: 14.94 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.72700 - b 8.91200 - c 5.24500 - alpha 90.000 - beta 90.000

Εικ.9: Ακτινογράφημα περιθλασιμετρίας ακτίνων -Χ της ανάμειξης 66,5%Ι.Τ.+28,5%Μ3+2%Κυτ/νη+3% πυρ 0.45-0.9mm στους 1080°C.



A-1100C - File: d8090672.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° Operations: Import

00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 50.46 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.009 - l/lc PDF 3
00-024-0072 (D) - Hematite - Fe2O3 - Y: 12.18 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03800 - c 13.77200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3 (148) - 6 - 302.722 - F27=
01-089-1580 (C) - Gehlenite, syn - Ca2Al(Al1.22Si0.7806.78)(OH)0.22 + Y: 107.24 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.68180 - b 7.68180 - c 5.06750 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - R-4
01-076-0318 (A) - Rutile, syn - TiO2 - Y: 15.30 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 4.60010 - c 2.96540 - alpha 90.000 - beta 90.000 - primitive - P4/mnm (136) - 2 - 62.7506 - l/lc PDF
01-076-0237 (C) - Diopside subcalcic - Ca0.8Mg1.2(SiO3)2 - Y: 75.67 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.72700 - b 8.91200 - c 5.24500 - alpha 90.000 - beta 90.000

Εικ.10: Ακτινογράφημα περιθλασιμετρίας ακτίνων – X της ανάμειξης 66%I.T.+25%M3+4%Kυτ/νη+5% πυρ 0.45-0.9mm στους 1100°C.



B-1100C - File: d8090673.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° Operations: Import

00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 52.54 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.009 - l/lc PDF 3
00-024-0072 (D) - Hematite - Fe2O3 - Y: 12.68 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03800 - c 13.77200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3 (148) - 6 - 302.722 - F27=
01-089-1580 (C) - Gehlenite, syn - Ca2Al(Al1.22Si0.7806.78)(OH)0.22 + Y: 111.67 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 7.68180 - b 7.68180 - c 5.06750 - alpha 90.000 - beta 9

Eik.11: Ακτινογράφημα περιθλασιμετρίας ακτίνων – X της ανάμειξης 66,5%I.T.+28,5%M3+2%Kυτ/νη+3% πυρ 0.45-0.9mm στους 1100°C.