



ΤΜΗΜΑ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Διπλωματική Εργασία

“Μελέτη Συνθηκών Παρασκευής Κεραμικών Υλικών  
από Θαλάσσια Ιζήματα”

**Εμμανουήλ Εμμανουηλίδης**

**Εξεταστική Επιτροπή:**

Καθ. Κ. Κορνίτσας (Επιβλέπων)

Καθ. Δ. Βάμβουκα

Δρ. Α. Κρητικάκη

Χανιά

Σεπτέμβριος 2015

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	8
2.1    Θαλάσσια Ιζήματα.....	8
2.1.1    Εισαγωγή.....	8
2.1.2    Είδη και Χαρακτηριστικά των Ιζημάτων .....	9
2.2    Νοσοκομειακά Απόβλητα .....	11
2.2.1    Εισαγωγή.....	11
2.2.2 Είδη Νοσοκομειακών Αποβλήτων .....	12
i. Μολυσματικά Απόβλητα .....	12
ii. Παθολογικά Απόβλητα.....	12
iii. Αιχμηρά Αντικείμενα.....	13
iv. Φαρμακευτικά Απόβλητα .....	13
v. Γενοτοξικά Απόβλητα .....	14
vi. Χημικά Απόβλητα .....	15
vii. Απόβλητα με Υψηλή Περιεκτικότητα Βαρέων Μετάλλων .....	16
viii. Δοχεία Υπό Πίεση .....	17
ix. Ραδιενεργά Απόβλητα .....	17
2.2.3 Χρήση Νοσοκομειακών Αποβλήτων .....	18
2.3    Ιπτάμενη Τέφρα .....	19
2.3.1    Εισαγωγή.....	19
2.3.2    Παραγωγή και Φυσικοχημικά Χαρακτηριστικά Ιπτάμενης Τέφρας .....	20
2.3.3    Ορυκτολογική Σύσταση και Ιδιότητες Ιπτάμενης Τέφρας .....	20
2.3.4    Χρήσεις της Ιπτάμενης Τέφρας.....	23

2.4	Κεραμικά .....	23
2.4.1	Εισαγωγή.....	23
2.4.2	Ιδιότητες των Κεραμικών .....	24
i.	Μηχανική Ιδιότητα .....	24
ii.	Θερμικές Ιδιότητες Κεραμικών .....	26
2.4.3	Παραγωγική Διαδικασία Πορωδών Κεραμικών.....	27
2.4.4	Είδη Κεραμικών .....	30
2.4.5	Εφαρμογές.....	30
i.	Προηγμένα Δομικά Κεραμικά.....	30
ii.	Θερμικές Μηχανές .....	31
iii.	Παλινδρομικοί Κινητήρες.....	31
2.4.6	Κεραμικά Φίλτρα – Μembrάνες.....	32
i.	Φιλτράρισμα Θερμών Αερίων .....	33
ii.	Φίλτρα “Βαθμωτού Πορώδους” .....	33
iii.	Κεραμικές Μembrάνες.....	33
iv.	Ηλεκτρονικά Κεραμικά.....	35
v.	Πιεζοηλεκτρικά Υλικά .....	35
vi.	Διηλεκτρικά .....	35
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	37
3.1	Εισαγωγή.....	37
3.2	Πρώτες Ύλες .....	37
3.3	Χημική και Ορυκτολογική Σύσταση .....	37
3.4	Ξήρανση - Λειοτρίβηση – Αναμίξεις – Μορφοποίηση .....	41
3.5	Έψηση.....	45
3.6	Πορώδες – Πυκνότητα- Υδατοαπορροφητικότητα .....	46
3.7	Αντοχή σε Κάμψη 3 Σημείων .....	48
3.8	Θερμική Αγωγιμότητα .....	49
3.9	Ανθεκτικότητα Κεραμικών σε Διάφορα Περιβάλλοντα .....	50

3.10 Δοκιμή Τοξικότητας.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	55
4.1 Εισαγωγή.....	55
4.2. Αποτελέσματα Πορώδους Δομής και Πυκνότητας.....	55
4.3 Αντοχή σε Κάμψη 3 Σημείων .....	65
4.4 Θερμική Αγωγιμότητα .....	70
4.5 Αποτελέσματα Ανθεκτικότητας στη Διάβρωση .....	72
4.6 Αποτελέσματα Δοκιμής TCLP .....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	80
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	84

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Τεχνολογίας Κεραμικών και Υάλου της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης στο χρονικό διάστημα μεταξύ Φεβρουαρίου - Ιουλίου 2015 και αποτελεί μελέτη των συνθηκών παρασκευής κεραμικών υλικών από θαλάσσια ιζήματα.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν, μου παρείχαν τις απαραίτητες διευκρινίσεις και με καθοδήγησαν σε όλα τα στάδια της πειραματικής διαδικασίας ώστε να ολοκληρωθεί η παρούσα εργασία.

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Κορνίτσα της Σχολής Ορυκτών Πόρων αρχικά για την επιλογή του θέματος καθώς και για την εμπιστοσύνη του σ' εμένα.

Ευχαριστώ επίσης την Δρ Άννα Κρητικάκη της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων η οποία από την αρχή μέχρι το τέλος της εργασίας βοηθούσε και καθοδηγούσε ακούραστα με ουσιώδεις υποδείξεις. Η συμβολή της στην επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας ήταν καθοριστική.

Τις θερμές μου ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω επίσης στην Καθηγήτρια Δέσποινα Βάμβουκα για την αξιολόγηση της διπλωματικής μου εργασίας και την παρουσία της σε μια τόσο σημαντική στιγμή.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Δρ. Δήμητρα Ζαχαράκη για τις χρήσιμες συμβουλές της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για τη στήριξη και την αγάπη τους όλα αυτά τα χρόνια, τη Μπουμπού για την υπομονή και την αγάπη της, όλους τους καλούς φίλους που με στήριξαν και με βοήθησαν ο καθένας με τον δικό του τρόπο, το ΜΧC και τον Α.Σ.ΣΚΟΡΠΙΟΣ.

*Εμμανουήλ Εμμανουηλίδης*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από εξής βασικές ενότητες:

Α' Το Θεωρητικό μέρος

Β' Το Πειραματικό μέρος

Γ' Ανάλυση αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα

Το θεωρητικό μέρος περιλαμβάνει αναλυτικές περιγραφές για τα:

- ❖ Θαλάσσια Ιζήματα
- ❖ Νοσοκομειακά απόβλητα
- ❖ Ιπτάμενη Τέφρα
- ❖ Κεραμικά

Το Πειραματικό μέρος περιλαμβάνει όλη την διαδικασία διεξαγωγής των πειραμάτων, τις πρώτες ύλες, τη χημική και ορυκτολογική σύσταση, τη μορφοποίηση των δειγμάτων, την ξήρανση, την έψηση, την αντοχή σε κάμψη και διάβρωση, αντοχή σε ψύξη – θέρμανση κλπ.

Στη συνέχεια ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε σχέση με το πορώδες και την πυκνότητα των δειγμάτων, την επίδραση της θερμοκρασίας, την αντοχή τους, τα αποτελέσματα διάβρωσης, ψύξης – θέρμανσης κλπ.

Στο τελευταίο Κεφάλαιο αποτυπώνονται τα συμπεράσματα της πειραματικής διαδικασίας και οι προτάσεις μας για την χρήση των θαλάσσιων ιζημάτων στην παρασκευή κεραμικών υλικών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σημερινή τεχνολογική πρόοδος δημιουργεί συνεχώς την ανάγκη για δημιουργία νέων υλικών με όλο και πιο βελτιωμένες ιδιότητες και δυνατότητα κατασκευής εξειδικευμένων και πολύπλοκων δομών. Ταυτόχρονα ο ανταγωνισμός απαιτεί συνεχώς μείωση του κόστους παραγωγής των υλικών.

Επίσης, παράγοντας που ωθεί στη δημιουργία νέων υλικών με βελτιωμένες ιδιότητες είναι οι νομοθετικές ρυθμίσεις οι οποίες συνεχώς αυξάνουν τις απαιτήσεις για ακόμα πιο καθαρό περιβάλλον και περιορισμό των αιωρούμενων σωματιδίων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από την βιομηχανική δραστηριότητα αλλά και τη χρήση μηχανών όπως το αυτοκίνητο. Η χρήση λοιπόν βιομηχανικών και άλλων αποβλήτων, που ρυπαίνουν το περιβάλλον, στην παραγωγή εξειδικευμένων κεραμικών υλικών βοηθάει στη μείωση των περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων.

Τα προηγμένα κεραμικά υλικά έχουν πολύ μεγάλο εύρος εφαρμογών στον κατασκευαστικό τομέα αλλά και στη βιομηχανία όπως για παράδειγμα σε χώρες με αναπτυσσόμενη αυτοκινητοβιομηχανία όπου σημαντικά ερευνητικά προγράμματα κατευθύνονται στην έρευνα για δημιουργία νέων υλικών με φθηνότερο κόστος.

- Παραγωγή αδρανών υλικών από ιπτάμενη τέφρα και σκωρία κλιβάνου μετά από αεριοποίηση άνθρακα, διαδικασία που ακολουθείται στο εργοστάσιο ELCOGAS S.A στο Puertollano της Ισπανίας (*Aineto et al., 2015*).
- Παραγωγή πολύ ελαφρών κεραμικών από λυματολάσπη (*Qi et al., 2010*).
- Επιπτώσεις προσθήκης CaO στην κατασκευή αδρανών υλικών από ιζήματα (*Liao et al, 2011*).
- Κατασκευή ελαφρών αδρανών από ιπτάμενη τέφρα προερχόμενη από αποτέφρωση αστικών αποβλήτων (*Hwang et al., 2012*).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ερευνώνται οι συνθήκες παρασκευής κεραμικών υλικών από θαλάσσια ιζήματα από το λιμάνι της Σούδας και της Πάτρας, όπου υπάρχει αναξιοποίητη η πρώτη ύλη. Με βασικό συστατικό κάθε φορά ένα από τα παραπάνω ιζήματα δημιουργήθηκαν μίγματα με ιπτάμενη τέφρα από την Πτολεμαΐδα και τη Μεγαλόπολη καθώς και με Νοσοκομειακά απόβλητα σε μορφή σκόνης.

Κατά πόσο η χημική και ορυκτολογική σύσταση της πρώτης ύλης μπορεί να αποδειχτεί χρήσιμη για την κατασκευή κεραμικών υλικών με συγκεκριμένη αντοχή σε κάμψη, διάβρωση, κύκλους ψύξης και θέρμανσης κλπ αποτέλεσε το βασικό αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας. Στην εργασία παρουσιάζεται όλη η διαδικασία που ακολουθήθηκε με την ανάλυση των αποτελεσμάτων αλλά και των συμπερασμάτων.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

### 2.1 Θαλάσσια Ιζήματα

#### 2.1.1 Εισαγωγή

Τα ιζήματα αποτελούν μέρος του θαλάσσιου συστήματος, το οποίο περιλαμβάνει το υδατικό στοιχείο (υδάτινη στήλη), τον πυθμένα και κάτω από αυτόν, καθώς και το σύνολο των οργανισμών που ζουν, τρέφονται και αναπτύσσονται σε αυτό ([www.prosodol.gr/sites/prosodol.gr/files/4th%20G.e..pdf](http://www.prosodol.gr/sites/prosodol.gr/files/4th%20G.e..pdf)).

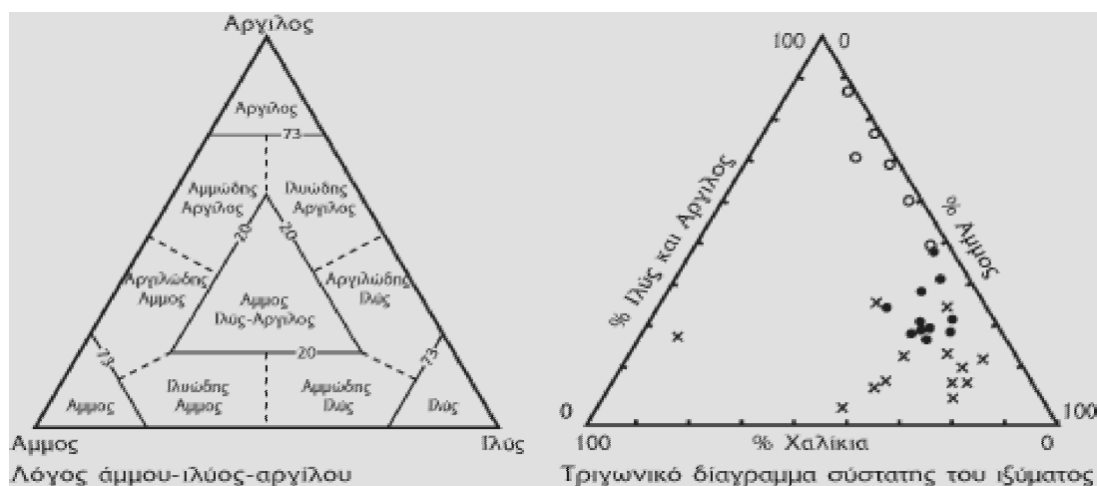
Τα ιζήματα είναι διαφόρων μεγεθών ανόργανοι και οργανικοί κόκκοι, οι οποίοι καθιζάνουν διαμέσου της υδάτινης στήλης και αποτίθενται στον ωκεάνιο πυθμένα σχηματίζοντας στο πέρασμα του γεωλογικού χρόνου, ένα κάλυμμα. Κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες (Πίνακας 2.1.) ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τη σύσταση και το περιβάλλον απόθεσης τους (Ζαχαρίας και συνεργ., 2004).

Πίνακας 2.1. Ταξινόμηση Wentworth

Όρια Διαβάθμισης		
Όνομα	χμ	μμ
Πέτρες	>256	
Μεγάλα βότσαλα	256-64	
Μικρά βότσαλα	64-4	
Κόκκος	4-2	
Πολύ αδρή άμμος	2-1	2000-1000
Αδρή άμμος	1-0,5	1000-500
Μεσαία άμμος	0,5-0,25	500-250
Λεπτή άμμος	0,25-0,125	250-125
Πολύλεπτή άμμος	0,125-0,0625	125-65
Ιλύς	0,0625-0,00006	62-0,06
Αργίλος	<0,00006	<0,06

\*πηγή: [www.aqualex.org](http://www.aqualex.org)

Τα ιζήματα διακρίνονται ανάλογα με τα μεγέθη των κόκκων που τα απαρτίζουν στα είδη που αναφέρονται σύμφωνα με την κατάταξη του Wentworth (Σχήμα 2.1.):



**Σχήμα 2.1.** Κατάταξη Wentworth

\*πηγή: [www.aqualex.org](http://www.aqualex.org)

### 2.1.2 Είδη και Χαρακτηριστικά των Ιζημάτων

Η σύσταση των ιζημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά της πηγής προέλευσης τους. Τα ιζήματα προέρχονται από:

- την αποσάθρωση και διάβρωση των πετρωμάτων της χέρσου
- τη δραστηριότητα των θαλάσσιων οργανισμών
- τις χημικές διεργασίες που αναπτύσσονται στο ωκεάνιο περιβάλλον
- τις ηφαιστειακές εκρήξεις, και
- το διάστημα

Τα ιζήματα που προέρχονται από την αποσάθρωση και διάβρωση των πετρωμάτων ανήκουν συνήθως στην κοκκομετρική κλάση των ιλύων και μεταφέρονται στο θαλάσσιο περιβάλλον κυρίως με τα νερά των ποταμών αλλά και με τον αέρα. Οι κόκκοι μεταφέρονται σε αιώρηση και η καθίζηση τους αρχίζει σχετικά αμέσως με την είσοδο τους στη θάλασσα. Τα μεγαλύτερα σωματίδια καθιζάνουν σε θέσεις κοντά στην έξοδο του ποταμού ενώ τα μικρότερα μπορεί να αιωρούνται και να κινούνται για χρόνια πριν την τελική καθίζηση τους. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν βασικά οι άργιλοι, οι οποίες

είναι και τα κύρια συστατικά των ιζημάτων στα πελαγικά ιζήματα μια και μπορούν, εξαιτίας του πολύ μικρού μεγέθους τους, να ταξιδεύσουν χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά από τον τόπο δημιουργίας τους. Έτσι, υπολογίζεται ότι στους ωκεανούς, το 50-70% των ιζημάτων έχει διάμετρο κόκκων  $<2\mu\text{m}$ , ενώ σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των  $5\mu\text{m}$  μπορεί να μείνουν σε αιώρηση για εκατοντάδες χρόνια πριν καταβυθιστούν, διαδικασία που επιταχύνεται με τη συσσώματωση με άλλα σωματίδια ή την ενσωμάτωση τους σε πελαγικούς οργανισμούς (*Ewing et al. 1973; Dean et al.. 1985*).

Στις αργίλους που αποτίθενται στα ιζήματα ανήκουν πυριτικά ορυκτά διαφόρων μορφών, ιδιοτήτων και σταθερότητας, με διάμετρο συνήθως μικρότερη των  $4\mu\text{m}$ . Χαρακτηρίζονται από την τάση να δημιουργούν συσσωματώματα και να δεσμεύουν νερό. Για το λόγο αυτό, τα νέα ή αλλιώς φρέσκα ιζήματα περιέχουν περισσότερο νερό και έχουν πηκτωματώδη μορφή ενώ με το πέρασμα του χρόνου και κάτω από την επίδραση της πίεσης τα υλικά χάνουν το νερό που περιέχουν και εμφανίζουν πλαστικές ιδιότητες. Σε μεγάλες πιέσεις μετατρέπονται σε πετρώματα (ιζηματογενή).

Ένα από τα δύο βασικά υλικά αυτής της εργασίας προέρχεται από το λιμάνι της Σούδας στα Χανιά. Η Σούδα είναι το κύριο εμπορικό λιμάνι στη βορειοδυτική Κρήτη και εκτός των άλλων στεγάζει και ναυτικό σταθμό των ΗΠΑ. Το λιμάνι της Σούδας καταλαμβάνει έκταση  $21\text{ km}^2$  και έχει μέγιστο βάθος νερού  $210\text{ m}$ . Ο κόλπος της Σούδας είναι μια τάφρος που σχηματίστηκε από τη συνεχή τεκτονική δραστηριότητα ρηγμάτων.

Τα ιζήματα του κόλπου έχουν συσσωρευτεί ως αποτέλεσμα της διάβρωσης των νεογενών και προνεογενών σχηματισμών των γύρω περιοχών. Οι νεογενείς σχηματισμοί περιλαμβάνουν μάργες, ασβεστόλιθους, ψαμμίτες, ασβεστούχα ή χαλαζιακά κροκαλοπαγή και λατυποπαγή. Οι προνεογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από ανακρυσταλλωμένους πλακώδεις ασβεστόλιθους και μάρμαρα, ανακρυσταλλωμένα ανθρακικά πετρώματα και χαλαζίτες (τεκτονικά καλύμματα των Φυλλιτών–Χαλαζίτης) (*Komnitsas et al., 2015*).

## **2.2 Νοσοκομειακά Απόβλητα**

### **2.2.1 Εισαγωγή**

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization), με τον όρο Ιατρικά Απόβλητα εννοούνται όλα εκείνα τα απόβλητα που παράγονται από δραστηριότητες που αφορούν στην υγειονομική περίθαλψη ανθρώπων ή ζώων σε Υγειονομικές Μονάδες (Υ.Μ), ερευνητικά εργαστήρια ή ερευνητικές δραστηριότητες που έχουν να κάνουν με φροντίδα υγείας, αλλά και από άλλες πηγές μικρότερες, όπως φροντίδα υγείας παρεχόμενη στο σπίτι (Καραμούτσου, 2007). Οι πηγές που παράγουν το μεγαλύτερο μέρος των αποβλήτων που προέρχονται από δραστηριότητες σχετικές με την υγεία, είναι τα νοσοκομεία αλλά και τα εργαστήρια και ερευνητικά κέντρα, νεκροτομεία και κέντρα όπου γίνονται αυτοψίες, εργαστήρια όπου γίνονται πειράματα σε ζώα, τράπεζες αίματος και γηροκομεία.

Στην Ελλάδα τα νοσοκομεία εμφανίζονται να παράγουν πολύ περισσότερα απόβλητα από αυτά που υπολογίζονται θεωρητικά με βάση διεθνείς δείκτες και σε σχέση με τον αριθμό κλινών κάθε νοσοκομείου κυρίως λόγω του μη σωστού διαχωρισμού των αποβλήτων σε όλες τις διαφορετικές κατηγορίες στην αρχική φάση.

Παρόμοια αποτελέσματα, δηλαδή έλλειψη σωτού διαχωρισμού αλλά και διαχείρισης των αποβλήτων, έδειξε έρευνα (Bakopoulos et al., 2005) που πραγματοποιήθηκε σε νοσοκομεία της Θεσσαλίας. Και οι δύο μελέτες ανέδειξαν την ανάγκη εκπόνησης εθνικής στρατηγικής στον τομέα της διαχείρισης των επικίνδυνων νοσοκομειακών αποβλήτων.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικά οι διάφορες κατηγορίες Ιατρικών Αποβλήτων.

## **2.2.2 Είδη Νοσοκομειακών Αποβλήτων**

### **i. Μολυσματικά Απόβλητα**

Τα μολυσματικά απόβλητα μπορεί να περιέχουν παθογόνα βακτήρια, ιούς, παράσιτα ή μύκητες σε συγκέντρωση ή ποσότητα ικανή να προκαλέσει ασθένειες σε ευαίσθητες ομάδες πληθυσμού. Η κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνει:

- Καλλιέργειες και αποθέματα αντιδραστηρίων από εργαστηριακά πειράματα.
- Απόβλητα από χειρουργικές επεμβάσεις και από αυτοψίες σε ασθενείς με μολυσματικές ασθένειες (π.χ. υφάσματα και υλικά ή εξοπλισμός που έχει έρθει σε επαφή με αίμα ή άλλα σωματικά υγρά).
- Απόβλητα από μολυσμένους ασθενείς σε θαλάμους απομόνωσης (π.χ. περιπτώματα, επίδεσμοι από μολυσμένες ή χειρουργικές πληγές, ενδύματα πολύ λερωμένα από ανθρώπινο αίμα ή άλλα σωματικά υγρά).
- Απόβλητα που ήταν σε επαφή με μολυσμένους ασθενείς που υποβάλλονται σε αιμοδιάλυση (π.χ. εξοπλισμός διάλυσης όπως σωληνώσεις και φίλτρα, πετσέτες μίας χρήσης, ποδιές, γάντια, και εργαστηριακά παλτά).
- Μολυσμένα ζώα από τα εργαστήρια (πειραματόζωα). Όλα τα υπόλοιπα όργανα ή υλικά που έχουν έρθει σε επαφή με μολυσμένα πρόσωπα ή ζώα.

Οι καλλιέργειες και τα αποθέματα αντιδραστηρίων με υψηλή μόλυνση, τα απόβλητα που προέρχονται από αυτοψίες, σώματα πειραματόζωων και άλλα απόβλητα που έχουν μολυνθεί ή έχουν έρθει σε επαφή με τέτοια αντιδραστήρια, ονομάζονται ιδιαίτερα μολυσματικά απόβλητα.

### **ii. Παθολογικά Απόβλητα**

Τα παθολογικά απόβλητα αποτελούνται από ιστούς, όργανα, ανθρώπινα μέλη, ανθρώπινα έμβρυα και σφάγια ζώων, αίμα και σωματικά υγρά. Στην

κατηγορία αυτή τα ανθρώπινα μέλη και τα μέλη των ζώων καλούνται και ανατομικά απόβλητα. Αυτή η κατηγορία θα έπρεπε να θεωρείται ως υποκατηγορία των μολυσματικών αποβλήτων παρόλο που συμπεριλαμβάνει τα υγιή ανθρώπινα μέλη. Τα ανατομικά απόβλητα μαζί με τα μολυσματικά αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο ποσοστό των επικίνδυνων αποβλήτων που προέρχονται από σχετικές με την υγεία δραστηριότητες, δηλαδή περίπου το 15% του συνόλου αυτών των αποβλήτων.

Σημειώνεται ότι στη διεθνή βιβλιογραφία τα μολυσματικά απόβλητα αναφέρονται ως infectious ή biohazardous ή regulated medical waste (RMW). Τα μολυσματικά θεωρούνται μαζί με τα χημικά, τα ραδιενεργά, τα φαρμακευτικά και τα δοχεία υπό πίεση, ως ειδικά απόβλητα που ελλοχεύουν κινδύνους για τη δημόσια υγεία (*Kerdsuwan, 2000*).

### **iii. Αιχμηρά Αντικείμενα**

Πρόκειται για αντικείμενα που χρησιμοποιούνται για τομές ή για παρακεντήσεις. Εδώ συμπεριλαμβάνονται και οι βελόνες, βελόνες, νυστέρια, καθώς και λεπίδες, μαχαίρια, συσκευές έγχυσης, πριόνια, σπασμένα γυαλιά και καρφιά. Ακόμη και αν δεν είναι μολυσμένα όλα τα παραπάνω υλικά θεωρούνται ως απόβλητα υψηλής επικινδυνότητας. Αντιπροσωπεύουν περίπου 1% του συνόλου των αποβλήτων των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την υγεία.

### **iv. Φαρμακευτικά Απόβλητα**

Τα φαρμακευτικά απόβλητα περιλαμβάνουν ληγμένα ή αχρησιμοποιήτα, φαρμακευτικά προϊόντα καθώς και φαρμακευτικά προϊόντα που έχουν διασκορπιστεί (χυθεί) ή είναι μολυσμένα, εμβόλια, και ορούς που δεν είναι πλέον απαραίτητα και πρέπει να εξουδετερωθούν και να διατεθούν σε κατάλληλο και ασφαλές μέρος. Η κατηγορία περιλαμβάνει επίσης στοιχεία που έχουν απορριφθεί αφού έχουν χρησιμοποιηθεί όπως μπουκάλια ή κουτιά με υπολείμματα, σωληνάκια σύνδεσης και φιαλίδια φαρμάκων.

Τα φαρμακευτικά απόβλητα αντιπροσωπεύουν περίπου το 3% του συνόλου των αποβλήτων των ανωτέρω δραστηριοτήτων.

#### **ν. Γενοτοξικά Απόβλητα**

Τα γενοτοξικά απόβλητα είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα και μπορούν να έχουν μεταλλακτικές, τερατογόνες ή καρκινογόνες ιδιότητες. Δημιουργούν σοβαρά προβλήματα ασφάλειας τόσο όσο βρίσκονται εντός του νοσοκομείου, όσο και μετά τη διάθεσή τους και απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. Στα γενοτοξικά απόβλητα μπορούν να συμπεριληφθούν ορισμένα κυτταροστατικά φάρμακα, προϊόντα εμετού, ούρα και περιττώματα από ασθενείς στους οποίους χορηγούνται κυτταροστατικά φάρμακα, χημικές ουσίες και ραδιενεργά υλικά. Τα πιο συνηθισμένα γενοτοξικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται σε δραστηριότητες σχετικές με την υγεία είναι:

- Προϊόντα ταξινομημένα ως καρκινογόνα:

- Χημικά: βενζόλιο.
- Κυτταροτοξικά και άλλα φάρμακα.
- Ραδιενεργές ουσίες.

-Προϊόντα ταξινομημένα ως πιθανά καρκινογόνα:

Τα κυτταροτοξικά απόβλητα παράγονται από διάφορες πηγές και μπορούν να περιλάβουν τα εξής:

- Μολυσμένα υλικά από την προετοιμασία και τη χορήγηση φαρμάκων, όπως σύριγγες, βελόνες, μετρητές, φιαλίδια, συσκευασίες.
- Ληγμένα φάρμακα, περίσσεια διαλυμάτων, φάρμακα που επιστρέφονται από τους θαλάμους των νοσοκομείων.
- Ούρα, περιττώματα, προϊόντα εμετού από τους ασθενείς, που μπορεί να περιέχουν ενδεχομένως επικίνδυνες ποσότητες των χρησιμοποιημένων κυτταροτοξικών φαρμάκων και που πρέπει να θεωρούνται γενοτοξικά για τουλάχιστον 48 ώρες και μερικές φορές μέχρι 1 εβδομάδα μετά από τη χορήγηση φαρμάκων.

Στα εξειδικευμένα ογκολογικά νοσοκομεία, τα γενotoξικά απόβλητα (που περιέχουν κυτταροστατικές ή ραδιενεργές ουσίες) αποτελούν τουλάχιστον το 1% των συνολικών αποβλήτων υγειονομικής περίθαλψης.

#### **vi. Χημικά Απόβλητα**

Τα χημικά απόβλητα αποτελούνται από απορριφθέν υγρό και χημικά αέρια που μπορεί να προέρχονται από διαγνωστική και πειραματική εργασία, από εργασίες καθαριότητας ή απολύμανσης. Τα χημικά απόβλητα από την υγειονομική περίθαλψη μπορούν να είναι επικίνδυνα ή όχι. Στα πλαίσια της προστασίας της υγείας θεωρούνται επικίνδυνα εάν έχουν τουλάχιστον μια από τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Τοξικά
- Διαβρωτικά (π.χ. οξέα  $\text{pH} < 2$  και βάσεις  $\text{pH} > 12$ )
- Εύφλεκτα
- Αντιδραστικά (εκρηκτικές ύλες, δραστικά με το νερό, ευαίσθητα σε δονήσεις)
- Γενotoξικά (π.χ. κυτοστατικά φάρμακα)

Στα μη επικίνδυνα χημικά απόβλητα περιλαμβάνονται χημικές ουσίες που δεν έχουν καμία από τις ανωτέρω ιδιότητες, όπως τα σάκχαρα, τα αμινοξέα και ορισμένα οργανικά και ανόργανα άλατα.

Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενοι τύποι επικίνδυνων χημικών ουσιών στη συντήρηση των κέντρων και των νοσοκομείων υγειονομικής περίθαλψης, οι οποίοι είναι και οι πλέον πιθανοί να βρεθούν στα απόβλητα είναι:

- **Φορμαλδεΰδη:** Αποτελεί σημαντική πηγή χημικών αποβλήτων στα νοσοκομεία και χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό και την απολύμανση του εξοπλισμού, τη συντήρηση δειγμάτων, την απολύμανση υγρών μολυσματικών αποβλήτων, την παθολογία, τις αυτοψίες καθώς και στις μονάδες θεραπείας.
- **Φωτογραφικές χημικές ουσίες:** Στα ακτινολογικά τμήματα χρησιμοποιούνται φωτογραφικά στερεωτικά διαλύματα και διαλύματα για εμφάνιση.



- **Διαλύτες:** Απόβλητα που περιέχουν διαλύτες παράγονται σε διάφορα τμήματα ενός νοσοκομείου όπως π.χ. παθολογικά και ιστολογικά εργαστήρια, τμήματα μηχανικής κ.α. Οι διαλύτες που χρησιμοποιούνται στα νοσοκομεία περιλαμβάνουν αλογονωμένα συστατικά (χλωρομεθάνιο, χλωροφόρμιο, τριχλωροαιθυλένιο, ψυκτικές ουσίες), καθώς και μη αλογονωμένα συστατικά (ξυλένιο, μεθανόλη, ακετόνη, ισοπροπανόλη, τολουένιο, αιθυλεστέρα, ακετονιτρίλιο).
- **Οργανικές χημικές ουσίες:** Απολυμαντικά και καθαριστικά διαλύματα που περιέχουν φαινόλες και χρησιμοποιούνται για το τρίψιμο των πατωμάτων, υπερχλωρικά άλατα που χρησιμοποιούνται σε διάφορες εργασίες και στα πλυντήρια, λάδια αντλιών και χρησιμοποιημένα λάδια μηχανής από οχήματα, εντομοκτόνα κ.ά..
- **Ανόργανες χημικές ουσίες:** Τα ανόργανα χημικά απόβλητα αποτελούνται κυρίως από οξέα και αλκάλια (θειικά, υδροχλωρικά, νιτρικά και χρωμικά οξέα, διαλύματα υδροξειδίου του ασβεστίου και αμμωνίας) οξειδωτικά (υπερμαγγανικό κάλιο, διχρωμικό κάλιο), αναγωγικά (όξινο θειώδες νάτριο, θειώδες νάτριο).

#### **vii. Απόβλητα με Υψηλή Περιεκτικότητα Βαρέων Μετάλλων**

Τα απόβλητα υψηλής περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα αντιπροσωπεύουν μια υποκατηγορία επικίνδυνων χημικών αποβλήτων και είναι συνήθως ιδιαίτερα τοξικά. Τα απόβλητα υδραργύρου παράγονται συνήθως από την έκχυση υδραργύρου από σπασμένο κλινικό εξοπλισμό, αλλά ο όγκος τους μειώνεται με την αντικατάσταση του εξοπλισμού αυτού από εξοπλισμό που περιέχει τα βαρέα μέταλλα σε στερεή και όχι σε υγρή κατάσταση (θερμόμετρα, πιεσόμετρα κ.α.). Τα υπολείμματα από την οδοντιατρική έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε υδράργυρο.

Τα απόβλητα καδμίου προέρχονται κυρίως από τις απορριφθείσες μπαταρίες. Ο μόλυβδος χρησιμοποιείται για τη θωράκιση των διαγνωστικών τμημάτων ώστε να μην εκπέμπεται ραδιενέργεια στους γύρω χώρους. Τέλος διάφορα φάρμακα περιέχουν αρσενικό, αλλά αυτά ταξινομούνται στα φαρμακευτικά απόβλητα.

### **viii. Δοχεία Υπό Πίεση**

Πολλοί τύποι αερίων χρησιμοποιούνται στην υγειονομική περίθαλψη και αποθηκεύονται συχνά σε κυλίνδρους σταθερής ατμοσφαιρικής πίεσης, καθώς και σε δοχεία αερολύματος (αεροζόλ). Πολλά από αυτά όταν αδειάσουν ή δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω (αν και μπορεί ακόμα να περιέχουν υπολείμματα), είναι επαναχρησιμοποιήσιμα, αλλά ορισμένα δοχεία (κυρίως δοχεία αερολύματος) πρέπει να διατεθούν καθώς είναι μιας χρήσεως.

Είτε είναι αδρανή είτε ενδεχομένως επιβλαβή, τα αέρια σε δοχεία υπό πίεση πρέπει πάντα να αντιμετωπίζονται με προσοχή καθώς τα δοχεία μπορεί να εκραγούν σε περίπτωση πυρκαγιάς ή σε περίπτωση τυχαίας διάτρησης. Τα πλέον συνηθισμένα αέρια που χρησιμοποιούνται στην υγειονομική περίθαλψη είναι:

- Αναισθητικά αέρια.
- Οξείδιο αιθυλενίου.
- Οξυγόνο.
- Συμπιεσμένος αέρας.

### **ix. Ραδιενεργά Απόβλητα**

Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες δεν μπορούν να ανιχνευθούν από τις ανθρώπινες αισθήσεις και - εκτός από τα εγκαύματα, που μπορούν να εμφανιστούν στις εκτεθειμένες περιοχές – δεν προκαλούν συνήθως κανένα άμεσο αποτέλεσμα εκτός αν το άτομο λάβει μια πολύ υψηλή δόση. Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες που ενδιαφέρουν την ιατρική περιλαμβάνουν τις ακτίνες Χ, τα σωματίδια α και β, και τις ακτίνες γ που εκπέμπονται από τις ραδιενεργές ουσίες. Μια σημαντική πρακτική διαφορά μεταξύ αυτών των τύπων ακτινοβολιών είναι ότι οι ακτίνες Χ από τους σωλήνες των ακτίνων Χ, εκπέμπονται μόνο όταν παραγωγικός εξοπλισμός είναι σε λειτουργία, ενώ η ακτινοβολία από τα ραδιονουκλείδια δεν παύει ποτέ να εκπέμπεται και μπορεί να αποφευχθεί μόνο με την προστασία του υλικού.

Τα ραδιονουκλεΐδια υποβάλλονται συνεχώς σε αυθόρμητη διάσπαση (γνωστή ως "ραδιενεργός αποσύνθεση"), στην οποία ελευθερώνεται ενέργεια με συνέπεια το σχηματισμό νέων νουκλειδίων. Η διαδικασία συνοδεύεται από την εκπομπή ενός ή περισσότερων τύπων ακτινοβολιών, όπως σωματίδια α και β και ακτίνες γ που προκαλούν τον ιονισμό του ενδοκυτταρικού υλικού.

Η διάσπαση τους μετριέται με βάση το χρόνο που απαιτείται ώστε η ραδιενέργεια να μειωθεί στο μισό, δηλ. την "ημιζωή". Κάθε ραδιονουκλεΐδιο έχει μια χαρακτηριστική ημιζωή, η οποία είναι σταθερή και από την οποία μπορεί να προσδιοριστεί. Οι ημιζωές κυμαίνονται από μέρη ενός δευτερολέπτου ως εκατομμύρια έτη.

### **2.2.3 Χρήση Νοσοκομειακών Αποβλήτων**

Λόγω της επικινδυνότητας των νοσοκομειακών αποβλήτων προβλέπεται από την νομοθεσία διεθνώς η καταστροφή τους με ειδικές μεθόδους και διαδικασίες. Η πιο γνωστή είναι η αποτέφρωση σε κλιβάνους και σε μεγάλες θερμοκρασίες ώστε η παραγόμενη τέφρα να είναι απαλλαγμένη από παθογόνους οργανισμούς και να μπορεί να απορριφθεί σε χωματερές μαζί με τα οικιακά απόβλητα.

Επειδή οι παραγόμενες ποσότητες της τέφρας των νοσοκομειακών αποβλήτων είναι πολύ μεγάλες έχουν γίνει μελέτες για την αξιοποίησή της σε διάφορους τομείς όπως οικοδομικά υλικά (τσιμέντο, τούβλα) κλπ. Η περιεκτικότητα της τέφρας σε μεταλλικά στοιχεία (Πίνακας 2.2.) αυξάνει την σκληρότητα των υλικών όταν προστίθεται ως μίγμα. Για παράδειγμα έχει διαπιστωθεί αύξηση της αντοχής σε θλίψη του σκυροδέματος όταν περιέχει τέφρα από νοσοκομειακά απόβλητα (*Nayef et al., 2004*).

**Πίνακας 2.2.** Ανάλυση μετάλλων από τέφρα νοσοκομειακών αποβλήτων

	Fly ash (dry scrubber)	Bottom ash (primary chamber)
Loss of ignition (%)	31	11
Chromium (mg/kg)	43	100
Cadmium (mg/kg)	14	30
Copper (mg/kg)	18	300
Mercury (mg/kg)	9000	1000
Zinc (mg/kg)	414	9000
Lead (mg/kg)	127	300
Aluminum (mg/kg)	643	80000
Iron (mg/kg)	60000	10000

## 2.3 Ιπτάμενη Τέφρα

### 2.3.1 Εισαγωγή

Ως ιπτάμενη τέφρα ορίζεται το στερεό υπόλειμμα καύσης του άνθρακα, το οποίο απομακρύνεται από το σημείο καύσης με τα παραγόμενα αέρια και περισυλλέγεται στη μονάδα ελέγχου απαερίων. Είναι ένα ετερογενές υλικό, η σύσταση του οποίου καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του στερεού καυσίμου και τη διαδικασία της καύσης. Η διάθεση της ιπτάμενης τέφρας αποτελεί μείζον περιβαλλοντικό ζήτημα για τις εγκαταστάσεις καύσης άνθρακα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μεγάλες ποσότητες ιπτάμενης τέφρας που παράγονται καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν κατά την απόθεση προκαλούν σημαντικά προβλήματα (Φαλέγκας, 2014).

Στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα, ο άνθρακας παραμένει το βασικότερο καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας παγκοσμίως, ενώ χώρες με υψηλό πληθυσμό όπως η Κίνα, οι Η.Π.Α. και η Ινδία είναι άμεσα εξαρτώμενες από τον άνθρακα (Twardowska and Stefaniak, 2006). Από την ετήσια παραγωγή της ιπτάμενης τέφρας 12% περίπου αγοράζεται από τις εγχώριες τσιμεντοβιομηχανίες και χρησιμοποιείται στην παραγωγή τσιμέντου. Η χρήση αυτή ξεκίνησε στις αρχές του 1980 και αποτελούσε μέχρι πρόσφατα την μοναδική χρήση της τέφρας στις δομικές κατασκευές.

### **2.3.2 Παραγωγή και Φυσικοχημικά Χαρακτηριστικά Ιπτάμενης Τέφρας**

Η ιπτάμενη τέφρα δημιουργείται κατά την καύση στερεών καυσίμων και κατακρατείται στη μονάδα ελέγχου των απαερίων καύσης (φίλτρα). Το στερεό καύσιμο αφού κονιοποιηθεί οδηγείται στη διαδικασία της καύσης. Κατά τη θέρμανση του κονιοποιημένου καυσίμου απελευθερώνονται τα πτητικά συστατικά τα οποία αναφλέγονται και στη συνέχεια η φλόγα μεταδίδεται στα στερεά συστατικά. Με την καύση των οργανικών συστατικών, τα ανόργανα συστατικά τήκονται και συνενώνονται σχηματίζοντας σωματίδια διαφόρων διαμέτρων. Τα παραγόμενα σωματίδια, τα οποία είναι κυρίως σφαιρικά, στη συνέχεια υπόκεινται σε άλλες διαδικασίες όπως είναι η διόγκωση, λόγω απελευθέρωσης αερίων από το εσωτερικό ή από επιφανειακές αντιδράσεις με συστατικά των καυσαερίων ή έκρηξη των διογκωμένων σωματιδίων και σχηματισμό σωματιδίων μικρότερων διαστάσεων (Ίτσκος, 2000).

Τα ανόργανα συστατικά λαμβάνουν μέρος σε διάφορες αντιδράσεις, όπως η θερμική διάσπαση, οξειδωση κ.ά. Καθώς τα σωματίδια της ανόργανης ύλης μεταφέρονται σε χώρους χαμηλότερων θερμοκρασιών ψύχονται σταδιακά και στερεοποιούνται (Vassilev and Vassileva, 2005). Κατά την πορεία των σωματιδίων προς την καμινάδα τα συστατικά που είχαν εξαεριωθεί στο φλογοθάλαμο συμπυκνώνονται στην επιφάνεια των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας. Παράλληλα συμμετέχουν σε διάφορες αντιδράσεις με τα συστατικά των καυσαερίων (π.χ.  $\text{SO}_2$ ). Έτσι, κατά την πορεία των σωματιδίων ιπτάμενης τέφρας προς την εγκατάσταση αποκονίωσης, η σύστασή τους διαφοροποιείται, με τα σωματίδια μικρότερων διαστάσεων (τα οποία έχουν μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια) να παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα συμμετοχής σε διάφορες αντιδράσεις (Davison et al., 1974). Τα χαρακτηριστικά της ιπτάμενης τέφρας εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την πηγή του γαιάνθρακα και από τις συνθήκες καύσης.

### **2.3.3 Ορυκτολογική Σύσταση και Ιδιότητες Ιπτάμενης Τέφρας**

Κατά την καύση οι διάφορες μεταλλικές φάσεις που περιέχονται στον άνθρακα τήκονται, αντιδρούν ή μετασχηματίζονται με ταυτόχρονη ανακατανομή των κύριων συστατικών και των ιχνοστοιχείων. Οι κυριότερες ορυκτολογικές

φάσεις που απαντώνται στην ιπτάμενη τέφρα περιλαμβάνουν χαλαζία, αργιλό-πυριτικά ορυκτά όπως ο μολύβης ( $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_3$ ) και οξείδια του σιδήρου. Ασβεστούχες αργιλο-πυριτικές φάσεις και οξείδια του ασβεστίου/μαγνησίου περιέχονται σε τέφρες που προέρχονται από την καύση άνθρακα υψηλής περιεκτικότητας σε ασβέστιο.

Ο σίδηρος που περιέχεται στον άνθρακα ως σιδηροπυρίτης κατά το μεγαλύτερο μέρος του περνάει στην ιπτάμενη τέφρα με τη μορφή των οξειδίων του σιδήρου. Το ποσοστό της μάζας των συστατικών που περιέχονται στην ιπτάμενη τέφρα σε κρυσταλλική μορφή κυμαίνεται συνήθως από 20 έως 60 %, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό περιλαμβάνει άμορφη, κυρίως υαλώδη φάση (*Kostakis, 2009; Vassilev et al., 2003*). Ωστόσο, η άμορφη υαλώδης φάση στην ιπτάμενη τέφρα μπορεί να φτάσει σε ποσοστό έως 90 % (*Moreno et al., 2005*). Επίσης, στην ιπτάμενη τέφρα περιέχεται ένα ποσοστό άκαυστου άνθρακα (συνήθως 3-4%), ο οποίος απαντάται ως πορώδη σωματίδια με σκελετική δομή.

Η προέλευση των ορυκτολογικών συστατικών της ιπτάμενης τέφρας μπορεί να είναι:

- **Πρωτογενής:** Ορυκτά και φάσεις που περιέχονται στον άνθρακα και δεν έχουν υποστεί κάποια μεταβολή κατά την καύση (πυριτικά, οξείδια, ηφαιστειογενές γυαλί και σωματίδια άνθρακα), δευτερογενείς φάσεις που δημιουργούνται κατά την καύση (μαγνητίτης, αιματίτης, μετα-καοлинίτης, μολύβης, ανυδρίτης, άσβεστος, πυριτικά Ca-Mg, γυαλί, οπτάνθρακας).
- **Τριτογενής:** Ορυκτά και φάσεις που δημιουργούνται κατά τη μεταφορά και αποθήκευση των στερεών αποβλήτων (θειικά, ανθρακικά και οξυ-υδροξείδια).

Οι πυριτικές φάσεις είναι κυρίως πρωτογενή ορυκτά και δευτερογενή προϊόντα και πιο σπάνια τριτογενείς φάσεις διαφόρων κλαστικών, συγγενετικών και επιγενετικών ορυκτών στον άνθρακα (*Vassilev and Vassileva, 1996*). Ο χαλαζίας είναι το πιο διαδεδομένο ορυκτό που περιέχεται στην ιπτάμενη τέφρα. Απαντάται σε γωνιώδεις έως στρογγυλεμένους τεμαχισμένους κόκκους. Γενικά το μέγεθος των κόκκων είναι μεταξύ 5 και 70

μm. Οι πυριτικές φάσεις περιλαμβάνουν κυρίως χαλαζία, χριστοβαλίτη, καολινίτη, ιλλίτη, μοσχοβίτη, πλαγιόκλαστα, αστρίους και μουλίτη. Οι ορυκτολογικές φάσεις οξειδίων περιλαμβάνουν συνήθως μαγνητίτη, αιματίτη και άσβεστο, ενώ οι συνηθέστερες ορυκτολογικές φάσεις που περιέχουν θειικά περιλαμβάνουν γύψο και ανυδρίτη. Μελέτη των φάσεων που περιέχονται σε δείγματα ιπτάμενης τέφρας έδειξε ότι η ορυκτολογική φάση κυμαινόταν από 17 έως 31 %, ενώ το υπόλοιπα ποσοστό της ιπτάμενης τέφρας ήταν άμορφη υαλώδης φάση (*Vassilev et al., 2003*). Στην ίδια μελέτη, το μεγαλύτερο ποσοστό της ορυκτολογικής φάσης που ανιχνεύτηκε ήταν χαλαζίας και μουλίτης. Το ποσοστό του χαλαζία στην ορυκτολογική φάση κυμαινόταν από 26 έως 37 % και του μουλίτη από 32 έως 46 %.

Ο χαλαζίας μπορεί να έχει πρωτογενή και δευτερογενή προέλευση. Ο δευτερογενής χαλαζίας έχει υποστεί πολύμορφους μετασχηματισμούς και έχει σχηματιστεί από το διοξείδιο του πυριτίου που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της μεταβολής των αργιλικών ορυκτών, του μαρμαρυγία και των αστρίων, σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 900 °C.

Σχετικά με τις ελληνικές τέφρες, έχουν χαρακτηριστεί (*Parayianni et al., 1996*) ως ασβεστο-αργίλο-πυριτικής σύστασης με ποζολανικές ή και υδραυλικές ιδιότητες. Ειδικότερα οι τέφρες περιοχής Πτολεμαΐδας, ανήκουν κατά τα αμερικανικά πρότυπα στην κλάση C δηλαδή στην κατηγορία τεφρών υψηλού ποσοστού CaO, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 15-35%, σε αντίθεση με τις τέφρες της περιοχής Μεγαλουπόλεως που ανήκουν στη κλάση F όπου το CaO είναι μικρότερο του 10% (*Tsimas et al., 2000*). Ουσιαστικά αυτοί είναι οι κύριοι παράγοντες που διακρίνουν τις Ελληνικές ιπτάμενες τέφρες σε ποζολανικές και υδραυλικές. Έτσι, οι τέφρες περιοχής Μεγαλόπολης, στις οποίες το SiO<sub>2</sub> συναντάται σε μεγαλύτερο ποσοστό, εμφανίζουν, κατά κανόνα, μεγαλύτερη ποζολανική δράση, εντονότερη τάση δηλαδή να αντιδράσουν με το Ca(OH)<sub>2</sub> που παράγεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου.

### 2.3.4 Χρήσεις της Ιπτάμενης Τέφρας

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι αξιοποίησης της ιπτάμενης τέφρας είναι η χρήση της στην παραγωγή τσιμέντου και ως δομικό υλικό. Άλλες λιγότερο διαδεδομένες εφαρμογές περιλαμβάνουν τη χρήση της στη γεωργία ως εδαφοβελτιωτικό, ως μέσο σταθεροποίησης άλλων στερεών αποβλήτων, για παραγωγή συνθετικών ζεόλιθων και για την απορρύπανση βιομηχανικών αποβλήτων.

Το βασικότερο πρόβλημα που προκύπτει κατά τη διάθεση της ιπτάμενης τέφρας σε χώρους απόθεσης ή ακόμη κατά την αξιοποίησή της, είναι η μεταφορά ορισμένων συστατικών από τη στερεή στην υγρή φάση όταν η ιπτάμενη τέφρα έρθει σε επαφή με το νερό.

Ο Πίνακας 2.3. απεικονίζει την χρήση τέφρας για παραγωγή βιομηχανικών υλικών σε διάφορες χώρες.

**Πίνακας 2.3.** Παραγωγή υλικών από τέφρα. (FA = Ιπτάμενη Τέφρα)

Country	CCR type	Application
India	CCRs	Various brick productions
Japan	Ashes	Development of artificial Z-sand for Civil Engineering applications
USA	FA	Non-fired bricks
Australia	FA	1000° fired bricks
USA	FA	Fired bricks
Taiwan	FA	Fired and non-fired bricks using ashes mixed with pond sludge
Turkey	FA	Fired bricks
Russia	Ashes and mining wastes	Construction ceramic materials
Israel	FA	Cement and fine sand replacement in concrete
Turkey	FA, BA, furnace slag	Cement and fine sand replacement in concrete
USA	BA and FA	Enhancement of rammed earth constructions
Sweden	BA	Light fill material
Spain	FA and slag	Light weight aggregates
Netherlands	FA	Bricks and concrete

## 2.4 Κεραμικά

### 2.4.1 Εισαγωγή

Ως κεραμικό ορίζεται οποιοδήποτε ανόργανο μη μεταλλικό υλικό το οποίο έχει υποστεί θερμική επεξεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες είτε κατά το στάδιο της επεξεργασίας είτε κατά το στάδιο της εφαρμογής. Δεδομένου του γενικού χαρακτήρα του ορισμού των κεραμικών συνεπάγεται ότι στα κεραμικά υλικά συμπεριλαμβάνεται ένα μεγάλο φάσμα υλικών όπως οι αργιλικές πρώτες ύλες για τη παρασκευή των παραδοσιακών κεραμικών, το γυαλί, τα οξειδία, καρβίδια, νιτρίδια, βορίδια καθώς επίσης το τσιμέντο και το σκυρόδεμα



(Κρητικάκη και συνεργ., 2014). Με βάση τη διαχρονική τους εξέλιξη τα κεραμικά κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα παραδοσιακά και τα προηγμένα. Προϊόντα της πρώτης κατηγορίας είναι η πορσελάνη, τα τούβλα, τα κεραμικά πλακίδια καθώς επίσης τα γυαλιά και τα πυρίμαχα. Τα προηγμένα κεραμικά έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια και βρίσκουν εφαρμογές σε πολλούς τομείς της τεχνολογίας. Στη κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται τα κεραμικά που χρησιμοποιούνται στη βιοϊατρική (εμφυτεύματα), στη μηχανολογία, στον τομέα της οπτικής (οπτικές ίνες), της ηλεκτρονικής (ημιαγωγοί, αισθητήρες), στο περιβάλλον (φίλτρα, μεμβράνες κ.λπ). Τα προηγμένα κεραμικά μπορεί να είναι είτε μονοφασικά (καρβίδιο του πυριτίου, νιτρίδιο του πυριτίου, νιτρίδιο του αλουμινίου κ.λ.π) είτε πολυφασικά υλικά και στη πλειοψηφία τους αποτελούνται από ένα οξείδιο. Συνηθέστερα οξείδια που συναντώνται είναι η αλούμινα, η ζirkονία η τιτανία, η μαγνησία κ.λ.π. Τα κεραμικά καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών εξαιτίας των σημαντικών ιδιοτήτων που κατέχουν έναντι άλλων υλικών όπως η δυνατότητα χρήσης τους σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών λόγω του υψηλού σημείου τήξεως, υψηλή σκληρότητα, χημική σταθερότητα, χαμηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, υψηλές τιμές του μέτρου ελαστικότητας, αντοχή σε θλίψη.

## 2.4.2 Ιδιότητες των Κεραμικών

### ι. Μηχανική Ιδιότητα

- **Ψαθυρή θραύση:** Τα κεραμικά υλικά υστερούν στις περισσότερες εφαρμογές που απαιτούνται υψηλές μηχανικές αντοχές, εξαιτίας της τάσης που παρουσιάζουν για ψαθυρή καταστροφική θραύση με πολύ μικρή απορρόφηση ενέργειας. Οι μηχανικές ιδιότητες των κεραμικών χαρακτηρίζονται από ελαστική συμπεριφορά μέχρι τη θραύση, οπότε ισχύει ο νόμος του Hook :

$$\sigma = \varepsilon E \quad (2)$$

όπου  $E$  είναι το μέτρο ελαστικότητας.

Η θραύση είναι ψαθυρή σε μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και ατομικό επίπεδο και οφείλεται στην αδυναμία διολίσθησης των πλεγματικών επιπέδων (Σισκάκης, 2000). Η μειωμένη τιμή της αντοχής των κεραμικών ερμηνεύεται από την παρουσία ατελειών στο υλικό που λειτουργούν ως ενισχυτές τάσεων. Οι ατέλειες μπορεί να είναι επιφανειακές ρωγμές, εσωτερικοί πόροι ή και γωνίες κόκκων που δεν μπορούν να απομακρυνθούν.

Το μέτρο της ικανότητας του κεραμικού να αντιστέκεται στη θραύση όταν υπάρχει ρωγή, καθορίζεται συναρτήσει της δυσθραυστότητας. Ο κρίσιμος συντελεστής έντασης τάσης σε κατάσταση επίπεδης παραμόρφωσης  $K_{IC}$  ορίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$K_{IC} = Y\sigma\sqrt{\pi a} \quad (3)$$

όπου  $Y$  μια αδιάστατη παράμετρος που εξαρτάται από τη γεωμετρία του δοκιμίου και της ρωγμής,  $\sigma$  είναι η εφαρμοζόμενη τάση και  $a$  είναι το μήκος της ρωγμής.

Οι τιμές του κρίσιμου συντελεστή έντασης τάσης για τα κεραμικά είναι μικρότερες από των μετάλλων και κυμαίνονται στα  $10\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ . Η αντοχή θραύσης επηρεάζεται επίσης και από το μέγεθος και τον όγκο του δοκιμίου.

• **Αντοχή σε κάμψη:** Οι μηχανικές αντοχές των κεραμικών αξιολογούνται με βάση τον έλεγχο αντοχής σε κάμψη 2-4 σημείων. Η μαθηματική σχέση που συνδέει την τάση με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου και την εφαρμοζόμενη δύναμη είναι η παρακάτω:

$$\sigma = \frac{Fl}{\pi r^3} \quad (4)$$

όπου  $\sigma$  είναι η τάση σε Pa,  $F$  η δύναμη σε N και  $r$  η ακτίνα σε m. Ως μήκος  $l$  ορίζεται η απόσταση των σημείων στήριξης.

• **Σκληρότητα:** Ως σκληρότητα ενός υλικού θεωρείται η αντίστασή του σε τοπική πλαστική παραμόρφωση από ένα άλλο σώμα. Η σκληρότητα αποτελεί μέτρο της αντίστασης των υλικών σε χάραξη, σε τριβή και σε φθορά και δεν είναι απόλυτη ιδιότητα, αλλά σχετική, με την οποία συγκρίνουμε υλικά μεταξύ τους. Τα κεραμικά αποτελούν τα σκληρότερα υλικά. Οι τιμές της σκληρότητας

εκφράζονται με το όνομα της μεθόδου μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της (π.χ. σκληρότητα Knoop, Vickers, Rockwell κλπ.), το φορτίο και το χρόνο επιβολής. Στον Πίνακα 2.4. παρουσιάζονται οι τιμές σκληρότητας κατά Knoop για διάφορα κεραμικά.

**Πίνακας 2.4.** Τιμές σκληρότητας κατά Knoop κοινών κεραμικών

Υλικό	Σκληρότητα Knoop
<b>Διαμάντι</b>	7000
<b>Καρβίδιο πυριτίου</b>	2500
<b>Οξείδιο αλουμινίου</b>	2100
<b>Γυαλί</b>	550

## ii. Θερμικές Ιδιότητες Κεραμικών

• **Θερμική αγωγιμότητα:** Η θερμική αγωγιμότητα των κεραμικών οφείλεται στην μεταφορά θερμότητας μέσω των πλεγματικών ταλαντώσεων. Η τιμή της συγκριτικά με τα μέταλλα είναι μικρή, για αυτό και τα κεραμικά χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές για θερμική μόνωση. Ορισμένα ωστόσο μονοφασικά κεραμικά όπως το BeO, SiC και το διαμάντι παρουσιάζουν υψηλές τιμές θερμικής αγωγιμότητας που ξεπερνά τα 1000W/mK. Οι υψηλές τιμές ερμηνεύονται από τον ισχυρό δεσμό, την κρυσταλλική τελειότητα, και την απουσία κέντρων σκέδασης των πλεγματικών ταλαντώσεων.

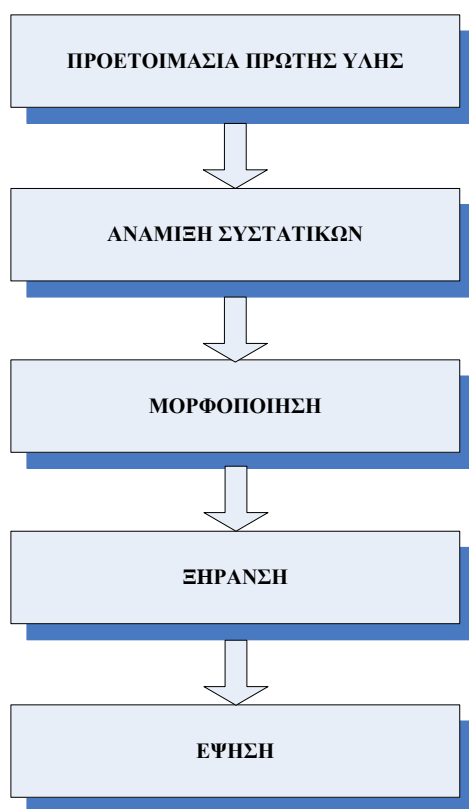
Η θερμική αγωγιμότητα ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας σύμφωνα με τη σχέση:

$$q = -k \frac{dT}{dx} \quad (5)$$

όπου q είναι η ροή θερμότητας ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας, k η θερμική αγωγιμότητα και  $\frac{dT}{dx}$  η θερμοκρασιακή βαθμίδα του μέσου.

### 2.4.3 Παραγωγική Διαδικασία Πορωδών Κεραμικών

Η δημιουργία κεραμικών ακολουθεί τα βασικά στάδια παρασκευής που παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.2.



**Σχήμα 2.2.** Βασικά στάδια παρασκευής κεραμικών

- **Επιλογή πρώτης ύλης:** Η διαδικασία επιλογής της πρώτης ύλης για την παρασκευή ενός κεραμικού προϊόντος αποτελεί το πρώτο σημαντικό στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας, καθώς βάσει αυτής της επιλογής θα καθορισθεί η εν γένει απόδοση του τελικού προϊόντος. Πρέπει λοιπόν να επιλεγεί ένα υλικό το οποίο παρουσιάζει καλύτερο συνδυασμό ιδιοτήτων για την εφαρμογή που προορίζεται.
- **Προετοιμασία Πρώτης Ύλης:** Το στάδιο της επιλογής ακολουθεί η κατάλληλη προετοιμασία των υλικών για την μορφοποίησή τους. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τη μετατροπή των πρώτων υλών σε σκόνη με ελεγχόμενο μέγεθος σωματιδίων μέσω διεργασιών λειοτρίβησης και ταξινόμησης κατά

μέγεθος. Μέσω αυτής της διαδικασίας το αρχικό υλικό έχει το απαιτούμενο εύρος μεγέθους σωματιδίων και αυξημένη ειδική επιφάνεια, γεγονός που το καθιστά ενεργό στα επόμενα στάδια της διαδικασίας. Οι ιδιότητες αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντικές γιατί όπως αναφέρεται και σε επόμενη ενότητα καθορίζουν την πορώδη δομή και την πυκνότητα του τελικού προϊόντος.

- **Λειοτρίβηση:** Η κατάτμηση της πρώτης ύλης πραγματοποιείται σε ξηρή μορφή ή υπό μορφή αιωρήματος με τη χρήση μηχανικών μέσων. Η ξηρή λειοτρίβηση πραγματοποιείται με μέσα κεραμικά άλεσης σε ειδικές διατάξεις που ονομάζονται μύλοι τριβής. Η επιλογή του σχήματος των μέσων άλεσης είναι εξίσου σημαντική καθώς επηρεάζει την κοκκομετρική κατανομή των κόνεων. Έτσι, οι σφαίρες οδηγούν στην παραγωγή ευρείας κατανομής μεγέθους κόκκων, ενώ στενότερη κατανομή παρουσιάζει η χρήση κυλίνδρων (Παντελής, 1996). Το μέσο μέγεθος των σωματιδίων που προκύπτουν με ξηρή λειοτρίβηση είναι της τάξης των 2μm γι'αυτό και για μικρότερα μεγέθη επιλέγεται υγρή λειοτρίβηση. Η υγρή λειοτρίβηση πραγματοποιείται με τη δημιουργία κατάλληλου αιωρήματος της σκόνης σε ειδικούς σφαιρόμυλους (ball milling) με τη χρήση αλεστικών μέσων.

- **Μορφοποίηση με συμπίεση:** Στο στάδιο της διαμόρφωσης τα κεραμικά μίγματα αναμειγνύονται και χυτεύονται για να παραχθεί ένα συνεκτικό σώμα του επιθυμητού σχήματος και μεγέθους. Η ξηρή διαμόρφωση αποτελείται από ταυτόχρονη συμπίεση των ξηρών κεραμικών κόνεων σε ένα άκαμπτο ή εύκαμπτο καλούπι (Αναμουρλή, 2014)

Οι ακόλουθες τεχνικές συμμετέχουν στη μορφοποίηση των κεραμικών κόνεων σε ένα επιθυμητό σχήμα:

- A. Μονοαξονική συμπίεση (**Uniaxial Pressing**)
- B. Ισοστατική συμπίεση (**Isostatic Pressing**)
- C. Χύτευση με Έγχυση (**Injection Molding**)
- D. Εξώθηση (**Extrusion**)
- E. Χύτευση με ολίσθηση (**Slip Casting**)
- F. Χύτευση με Gel (**Gel Casting**)
- G. Χύτευση με ταινία (**Tape Casting**)

Η μονοαξονική συμπίεση σε μήτρα είναι η μέθοδος συμπίεσης κόνεως, όπου η σκόνη τοποθετείται σε μία μήτρα στην οποία εφαρμόζεται μονοαξονική πίεση από πρέσα υδραυλική ή μηχανική. Η μονοαξονική πίεση (μήτρα) χρησιμοποιείται αποτελεσματικά και για τη μαζική παραγωγή των απλών εξαρτημάτων.

Η διαδικασία η οποία διεξάγεται σε θερμοκρασία δωματίου ονομάζεται **διαδικασία εν ψυχρώ** ενώ σε περίπτωση που η διαδικασία συμπίεσεως διεξάγεται σε αυξημένη θερμοκρασία λέγεται **διαδικασία εν θερμώ**.

•**Έψηση με Πυροσυσσωμάτωση:** Η μελέτη των συνθηκών της πυροσυσσωμάτωσης αποτελεί το σημαντικότερο μέσο ελέγχου των ιδιοτήτων των κεραμικών καθώς οι βασικότερες αλλαγές που λαμβάνουν χώρα κατά την εξέλιξή της, καθορίζουν τις τελικές ιδιότητες του αντικειμένου. Αποτέλεσμα της έψησης του ωμού μορφοποιημένου δοκιμίου είναι η δημιουργία ενός συνεκτικού πυκνού προϊόντος. Η μετατροπή αυτή συνοδεύεται από μεταβολές στο σχήμα και το μέγεθος των αρχικών πρώτων υλών, στο πορώδες και τη μορφή των πόρων. Οι μεταβολές των αρχικών πρώτων υλών με τη σειρά τους επηρεάζονται από τις συνθήκες πυροσυσσωμάτωσης (χρόνος θερμοκρασία) και από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες τους (ιδιότητες (μέγεθος, σχήμα κόνεων, κατανομή μεγέθους κόκκων, καθαρότητα).

Ως πυροσυσσωμάτωση χαρακτηρίζεται η διεργασία της δομικής διασύνδεσης των κόκκων ενός υλικού κατά την έψηση, με ταυτόχρονη μεταβολή στο σχήμα και το μέγεθος των πόρων. Κατά την διάρκεια του φαινομένου, λόγω διάχυσης των ιόντων μέσω των σημείων επαφής των σωματιδίων δημιουργούνται γέφυρες μεταξύ των σωματιδίων με την μορφή των “λαιμών” που ουσιαστικά συνδέουν τα σωματίδια. Παράλληλα, ο κενός χώρος μεταξύ των γειτονικών σωματιδίων γίνεται πόρος. Σε αυτό το στάδιο η πυκνότητα της αρχικής σκόνης μπορεί να είναι 50% έως 60% της θεωρητικής. Όσο εξελίσσεται η διαδικασία οι πόροι γίνονται μικρότεροι και περισσότερο σφαιρικοί ενώ η πυκνότητα πλησιάζει το 70-92% της θεωρητικής.

#### 2.4.4 Είδη Κεραμικών

Τα κεραμικά κατατάσσονται με βάση τις εφαρμογές τους σε δυο μεγάλες κατηγορίες: τα παραδοσιακά και τα προηγμένα κεραμικά. Τα προηγμένα κεραμικά συνδυάζουν εξαιρετικές ιδιότητες, όπως αντοχή σε θερμικούς αιφνιδιασμούς, αντοχή στη διάβρωση και την οξείδωση, θερμομορμωτικές ιδιότητες, οπτικές, μαγνητικές και ηλεκτρικές ιδιότητες. Ο τομέας των προηγμένων κεραμικών αναπτύχθηκε τα τελευταία 50 χρόνια λόγω των αυξημένων απαιτήσεων σε εξειδικευμένα υλικά. Στα παραδοσιακά κεραμικά συγκαταλέγονται τα προϊόντα που βασίζονται στην άργιλο, τα πυρίμαχα, το γυαλί, αλλά και το τσιμέντο. Στον Πίνακα 2.5. παρουσιάζεται η κατάταξη των κεραμικών με βάση τις βασικότερες εφαρμογές τους (Τσετσέκου, 2004).

**Πίνακας 2.5** Κατάταξη Κεραμικών

	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΥΛΙΚΟ	ΕΦΑΡΜΟΓΗ
	Προϊόντα αγγειοπλαστικής	Πορσελάνη σκληρή μαλακή, πυροχώματα	Είδη εστίασεως, πλακίδια, είδη υγιεινής, ηλεκτρονικοί μονωτές
	Προϊόντα κεραμουργείας	Πηλός	Τούβλα, κεραμίδια, πλακίδια δαπέδου
	Κοπτικά λειαντικά	Αλούμινα, καρβίδια πυριτίου – βολφραμίου, διαμάντι	Εργαλεία κοπής λειανσης
	Πυρίμαχα	Αλούμινα, αργιλοπυριτικά, μαγνησία, σπινέλιος	Επενδύσεις φούρνων, καλούπια για χύτευση μετάλλων
<b>ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΚΕΡΑΜΙΚΑ</b>	Γυαλιά	Γυαλί, υαλοκεραμικά, υαλώματα	Γυάλινα είδη, υαλοπίνακες εφυσωμένα αντικείμενα
	Τσιμέντα	Υδραυλική κονία από άσβεστο, αλουμίνα, πυριτία	Δομικά προϊόντα
	Τεχνικά κεραμικά	Οξείδια, καρβίδια, νιτρίδια, βορίδια, σύνθετα κεραμικά	Σε πολλούς τομείς των νέων τεχνολογιών
	Ηλεκτρονικά κεραμικά		

#### 2.4.5 Εφαρμογές

##### ι. Προηγμένα Δομικά Κεραμικά

Οι εφαρμογές σε στροβιλοκινητήρες και κινητήρες ντίζελ εξακολουθούν να αποτελούν τον πρώτο στόχο των προηγμένων χωρών καθώς οι

αυτοκινητοβιομηχανίες παρουσιάζουν μεγάλο δυναμικό αγοράς. Οι χώρες με σημαντική αυτοκινητοβιομηχανία προσπαθούν να προστατεύσουν τα οικονομικά τους συμφέροντα στις έντονες συνθήκες του διεθνούς ανταγωνισμού και έτσι δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι τα μεγαλύτερα προγράμματα για έρευνα και ανάπτυξη έχουν ξεκινήσει από την Ιαπωνία, τις Η.Π.Α., την Γερμανία και την Σουηδία (και σε μικρότερο βαθμό την Αγγλία).

Εκτός των πιθανών εφαρμογών σε θερμικές μηχανές, σημαντικό μέρος των εφαρμογών καλύπτουν επίσης τα κοπτικά εργαλεία, τα αντιτριβικά μέρη, οι εφαρμογές σε εναλλάκτες θερμότητας και τα βιοϋλικά.

## **ii. Θερμικές Μηχανές**

Οι εφαρμογές των κεραμικών υλικών σε μηχανές εσωτερικής καύσεως αποτελούν πεδίο έντονου ερευνητικού ενδιαφέροντος τα τελευταία χρόνια.

Η θερμοδυναμική αποτελεσματικότητα (βαθμός απόδοσης) όλων των κινητήρων εσωτερικής καύσεως - παλινδρομικών και στροβιλοκινητήρων - περιορίζεται από την μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας. Η χρήση υλικών με υψηλή μηχανική αντοχή, πυριμαχικότητα και αντοχή σε θερμικούς αιφνιδιασμούς, όπως νιτρίδιο του πυριτίου, καρβίδιο του πυριτίου και ζirkονία, επιτρέπει υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας και συνεπώς βελτίωση στην κατανάλωση καυσίμων. Ένας αριθμός από δευτερογενή οφέλη προκύπτει επίσης από την αντικατάσταση μετάλλων με κεραμικά υλικά. Στους στροβιλοκινητήρες, η αντικατάσταση των μεταλλικών υπερ-κραμάτων, ελαττώνει την εξάρτηση από στρατηγικώς σημαντικά υλικά όπως το κοβάλτιο. Η ελάττωση του βάρους αποτελεί επίσης ένα σημαντικό πλεονέκτημα καθώς η μικρότερη αδράνεια των ελαφρότερων υλικών συνεισφέρει περαιτέρω στην ενεργειακή αποτελεσματικότητα του κινητήρα. Τέλος, η υψηλή θερμική αντοχή και οι θερμομονωτικές ιδιότητες των κεραμικών μπορούν - τουλάχιστον θεωρητικά - να οδηγήσουν σε πλήρη εξάλειψη των ψυκτικών συστημάτων.

## **iii. Παλινδρομικοί Κινητήρες**

Η είσοδος των προηγμένων κεραμικών στον τομέα των παλινδρομικών κινητήρων εσωτερικής καύσεως καθορίζεται τόσο από θέματα τόσο απόδοσης όσο και προστασίας του περιβάλλοντος. Η έμφαση κυρίως στο



δεύτερο θέμα έχει οδηγήσει στην εισαγωγή κεραμικών συστατικών σε ντηζελομηχανές μεσαίου και μεγάλου μεγέθους στις ΗΠΑ. Στον Πίνακα 2.6. δίνονται τα διάφορα κεραμικά εξαρτήματα που έχουν μπει σε λειτουργία στην παραγωγή.

**Πίνακας 2.6.** Κεραμικά εξαρτήματα που έχουν εισέλθει στο στάδιο της μαζικής παραγωγής

Εξάρτημα	Κατασκευαστής	Τύπος κινητήρα	Κεραμικό Υλικό	Όφελος
Τροφοδότης (αυτοκίνητα)	Nissan Toyota Isuzu	Ανάφλεξης με σπινθήρα	$\text{Si}_3\text{N}_4$	Μικρότερη αδράνεια
Τροφοδότης (φορτηγά)	Detroit Diesel Caterpillar	Ντήζελ	$\text{Si}_3\text{N}_4$	Μικρότερη καθυστέρηση Μειωμένες εκπομπές
Glow plug (“κεραμικό μπουζί”)	Isuzu	Ντήζελ	$\text{Si}_3\text{N}_4$	Γρηγορότερο ξεκίνημα
Προθάλαμος καύσεως (θάλαμος στροβιλισμού)	Isuzu Toyota Mazda	Ντήζελ	$\text{Si}_3\text{N}_4$	Μειωμένες εκπομπές Γρηγορότερο ξεκίνημα Χαμηλότερος θόρυβος
Rocker arm pads	Mitsubishi	Ανάφλεξης με σπινθήρα	$\text{Si}_3\text{N}_4$	Μικρότερη τριβή
Χιτώνια θυρίδων	Porsche	Ανάφλεξης με σπινθήρα	$\text{Al}_2\text{TiO}_5$	Μειωμένες εκπομπές Λιγότερη ψύξη
Fuel injector link	Cummins	Ντήζελ	$\text{Si}_3\text{N}_4$	Μικρότερη τριβή Μειωμένες εκπομπές
Εκκεντροφόρο	Detroit Diesel	Ντήζελ	$\text{Si}_3\text{N}_4$	Μειωμένες εκπομπές

#### 2.4.6 Κεραμικά Φίλτρα – Μεμβράνες

Κεραμικά φίλτρα χρησιμοποιούνται ήδη ευρύτατα σε μια σειρά από βιομηχανικές εφαρμογές. Καθώς η τεχνολογική πρόοδος οδηγεί σε υλικά με ολοένα και βελτιωμένες ιδιότητες, με δυνατότητες κατασκευής εξειδικευμένων και πολύπλοκων δομών, με ταυτόχρονη μείωση του κόστους παραγωγής, είναι σχεδόν βέβαιο ότι τα κεραμικά φίλτρα θα διεισδύσουν βαθμιαία σε όλο και περισσότερες εφαρμογές.

### **i. Φιλτράρισμα Θερμών Αερίων**

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 χρησιμοποιούνται πολλά είδη φίλτρων, που βασίζονται σε διαφορετικές αρχές λειτουργίας όπως κυκλώνες, ηλεκτροστατικά φίλτρα, σακκόφιλτρα, κλπ (Zeidlera et al., 2014).

### **ii. 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, από 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.

### **iii. Κεραμικές Μεμβράνες**

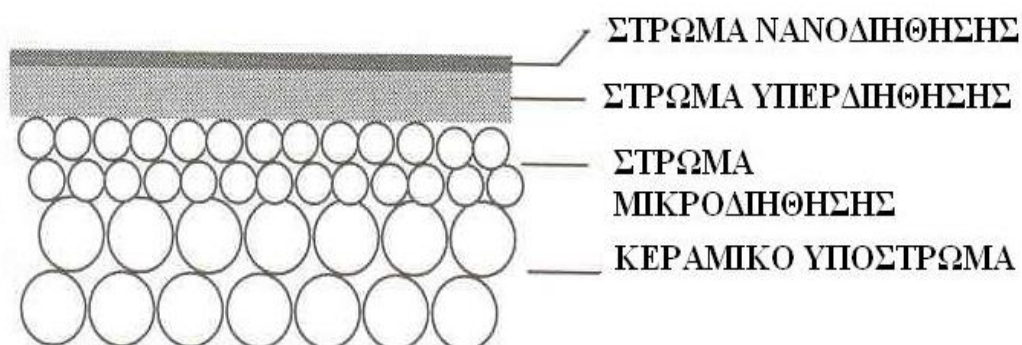
Οι ανόργανες κεραμικές μεμβράνες αποτελούν μια σημαντική κατηγορία στον χώρο της μικροδιήθησης και της υπερδιήθησης με αλματώδη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Οι κεραμικές μεμβράνες, που είναι εμπορικά διαθέσιμες στους τομείς της βιομηχανίας τροφίμων, ποτών και της βιοτεχνολογίας αντικαθιστούν περίπου το 12% των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται γι’αυτές τις εφαρμογές. 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. Στον Πίνακα 2.7. (Hsieh, 1996) καταγράφεται το μέγεθος των πόρων και οι μηχανισμοί μεταφοράς που κυριαρχούν για κάθε τύπο μεμβράνης.

**Πίνακας 2.7.**Κατηγορίες πορωδών κεραμικών μεμβρανών

Είδος	Μέγεθος πόρων (nm)	Μηχανισμός
<b>Μακροπορώδη</b>	>50	Σούρωμα (sieving)
<b>Μεσοπορώδη</b>	2-50	Σούρωμα (Knudsen)
<b>Μικροπορώδη</b>	<2	Διάχυση-Διάλυση

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. Στο Σχήμα 2.3. ((Hsieh, 1996) παρουσιάζεται η τυπική δομή μιας ασύμμετρης πορώδους κεραμικής μεμβράνης.



**Σχήμα 2.3.** Τυπική δομή πορώδους κεραμικής μεμβράνης

Το πορώδες υπόστρωμα παρέχει την απαραίτητη μηχανική αντοχή στο σύστημα με πάχος μερικών *mm* και μέγεθος πόρων μεγαλύτερου του ενός *μm*. Όταν δεν περιέχονται ανώτερα στρώματα, το υπόστρωμα μπορεί να λειτουργήσει ως 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).

#### **iv. Ηλεκτρονικά Κεραμικά**

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές και ηλεκτρομηχανικές εφαρμογές αντιπροσωπεύουν σήμερα το μεγαλύτερο τμήμα της αγοράς των προηγμένων κεραμικών, της οποίας καταλαμβάνουν περίπου το 60%. Τα υλικά αυτά αποτελούν μια ευρεία κατηγορία ενώσεων, ξεκινώντας από απλά οξειδία και νιτρίδια μέχρι πιο σύνθετες ενώσεις. Οι εφαρμογές ποικίλουν από μονωτές και υλικά υποστρωμάτων μέχρι στοιχεία για ολοκληρωμένα κυκλώματα, πιεζοηλεκτρικά κεραμικά, και τα πλέον πρόσφατα ανεπτυγμένα υπεραγώγιμα κεραμικά υψηλής θερμοκρασίας.

#### **v. Πιεζοηλεκτρικά Υλικά**

Ο χαλαζίας ήταν το πρώτο πιεζοηλεκτρικό κεραμικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1950 εισήχθησαν τα στερεά διαλύματα ζirkονιούχου μολύβδου / τιτανιούχου μολύβδου (PZT), ενώ στη συνέχεια επιχειρήθηκαν αντικαταστάσεις των ιόντων Pb με άλλα ιόντα (doping) όπως λανθάνιο, νιόβιο, αντιμόνιο, βολφράμιο, σίδηρος, μαγγάνιο, νικέλιο ή κοβάλτιο και η ανάπτυξη νέων προϊόντων.

#### **vi. Διηλεκτρικά**

Οι σύγχρονες τάσεις για τη συνεχή μείωση μεγέθους των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων απαιτούν πυκνωτές με ικανότητα αποθήκευσης όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ενέργειας στη μονάδα του όγκου. Συνεπώς εντατική έρευνα

διεξάγεται προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης διηλεκτρικών υλικών με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διηλεκτρική σταθερά και προς την κατεύθυνση της βελτίωσης των τεχνικών παρασκευής. Η διηλεκτρική σταθερά είναι ίση με το λόγο  $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$  όπου  $\epsilon$  είναι η διαπερατότητα του διηλεκτρικού μέσου και  $\epsilon_0$  η διαπερατότητα μια παγκόσμια σταθερά με τιμή  $8,85 \times 10^{-12} \text{F/m}$ . Το  $\text{BaTiO}_3$  είναι από τα πρώτα διηλεκτρικά που χρησιμοποιήθηκαν (οι διηλεκτρικές του ιδιότητες ανακαλύφθηκαν το 1940). Αντικαταστάσεις του Ba με Sr, Ca ή Pb και δημιουργία πιο σύνθετων δομών όπως  $\text{PbTiO}_3$  ντοπαρισμένο με  $\text{PbMgNbO}_3$  ή  $\text{CaTiO}_3$  με  $\text{PbNiWO}_3$  (Matsushita Electric Industrial Co) ή υλικά όπως  $\text{PbZrO}_3$ ,  $\text{PbMgWO}_3$  (NEC) οδηγούν σε υλικά με πολύ υψηλές διηλεκτρικές σταθερές. Η διηλεκτρική σταθερά παίρνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας και εκφράζει την αύξηση της ικανότητας αποθήκευσης φορτίων του πυκνωτή, λόγω της εισαγωγής διηλεκτρικού μέσου ανάμεσα στους οπλισμούς του. Για παράδειγμα η διηλεκτρική σταθερά του  $\text{BaTiO}_3$  είναι μεταξύ 1000 και 5000, ενώ γύρω στο 20000 είναι αυτή του  $\text{BaZrTiO}_3$  ή του  $\text{PbMgNbO}_3$ .

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

### **3.1 Εισαγωγή**

Για τη μελέτη των συνθηκών παρασκευής κεραμικών υλικών από θαλάσσια ιζήματα, δημιουργήθηκαν δοκίμια με ανάμιξη της βασικής ύλης, την οποία αποτελούν ιζήματα από τα λιμάνια της Σούδας και της Πάτρας τα οποία έχουν περάσει από πρώτα από λειοτρίβηση, με Ιπτάμενη τέφρα από Πτολεμαΐδα, Μεγαλόπολη και τέφρα από Νοσοκομειακά απόβλητα, σε διαφορετικές ποσοστώσεις % w/w.

Τα δοκίμια αυτά αφού υποστούν όλη τη διαδικασία μορφοποίησης, ξήρανσης, έψησης κλπ που περιγράφεται παρακάτω, δοκιμάζονται ως προς την αντοχή τους σε κάμψη, πορώδες, αντοχή σε διάβρωση καθώς και σε κύκλους ψύξης – θέρμανσης.

### **3.2 Πρώτες Ύλες**

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για τη παραγωγή κεραμικών υλικών είναι θαλάσσια ιζήματα από το λιμάνια της Σούδας και της Πάτρας, ιπτάμενη τέφρα από τον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας και Μεγαλόπολης καθώς και τέφρα από καύση νοσοκομειακών αποβλήτων.

### **3.3 Χημική και Ορυκτολογική Σύσταση**

Η χημική σύσταση των βασικών πρώτων υλών πραγματοποιήθηκε με φασματομέτρο ακτίνων-Χ διασκορπιζόμενης ενέργειας (XRF-EDS) Bruker-AXS τύπου S2Range. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. 1 που ακολουθεί.

**Πίνακας 3.1.** Χημική σύσταση (% w/w) αρχικών πρώτων υλών

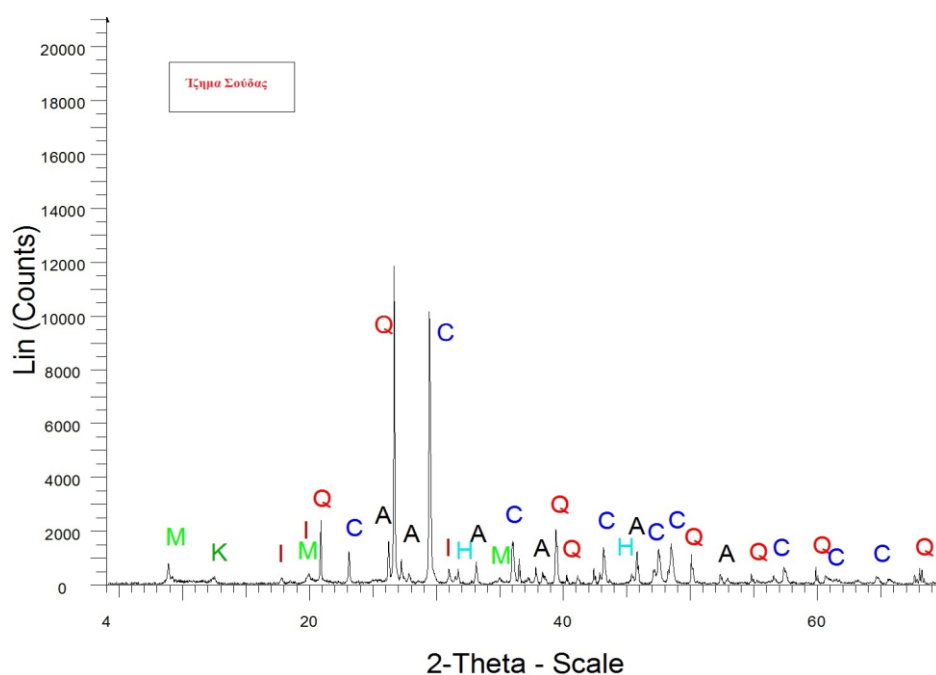
	Ίζημα Πάτρας	Ίζημα Σούδας	Ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας	Ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης	Νοσοκομειακά Απόβλητα
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(tot)</b>	2.63	3.62	5.6	7.52	5.95
<b>SiO<sub>2</sub></b>	37.10	29.10	33.4	47.68	16.23
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4.97	6.49	13.1	18.44	7.67
<b>CaO</b>	21.30	24.50	31.85	9.94	33.32
<b>MgO</b>	1.55	1.34	3.67	2.65	3.79
<b>MnO</b>	0.10	0.03	0.18		
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1.16	0.09	0.46	0.37	4.65
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1.41	0.68	0.76	1.44	0.8
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.09	0.31	-	0.28	1.37
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.34	0.38	0.71	0.76	4
<b>SO<sub>3</sub></b>	0.62	1.10	6.58	2.76	0.76
<b>CO<sub>2</sub></b>				3.87	
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>					1.33
<b>S</b>					
<b>C</b>					
<b>Ni</b>					
<b>Co</b>					
<b>LOI</b>	29.50	29.20	2.7	4.3	
Σύνολο	98.61	96.80	99.01	100	91.48

Όσον αφορά στα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων παρατηρείται ότι τα θαλάσσια ιζήματα Πάτρας και Σούδας παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά σε SiO<sub>2</sub> ~30-37%% και CaO που κυμαίνονται από 20-24%w/w. Εξίσου υψηλή είναι και η τιμή της απώλειας πύρωσης που φτάνει το 30%. Τα δείγματα των ιπτάμενων τεφρών παρουσιάζουν επίσης υψηλά ποσοστά σε SiO<sub>2</sub> που στη Μεγαλόπολη φτάνει και το 47,68% ενώ η κύρια διαφορά τους είναι στη περιεκτικότητά τους σε CaO όπου η τέφρα Πτολεμαΐδας έχει 31,85% και η Μεγαλόπολη μόλις 9,94% και στο ποσοστό Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> όπου η ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης περιέχει 18,44% έναντι 13,1% της τέφρας Πτολεμαΐδας. Το σχετικά υψηλό ποσοστό του Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> αποτέλεσε καθοριστικό παράγοντα για την επιλογή της συγκεκριμένης πρώτης ύλης δεδομένου ότι προσδίδει πλαστικότητα και καλύτερη εργασιμότητα στις κεραμικές συνθέσεις. Το δείγμα της τέφρας νοσοκομειακών αποβλήτων αντιστοίχως παρουσιάζει εξίσου υψηλά ποσοστά σε CaO ~33% ενώ εξίσου σημαντικά είναι και τα ποσοστά του SiO<sub>2</sub> που φτάνει το 16,23% και σε Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (7,68 %). Το ποσοστό του CaO αποτέλεσε επίσης δείκτη για την επιλογή των αρχικών πρώτων υλών καθώς

προσδίδει ποζολανικές και υδραυλικές ιδιότητες σε πιθανή χρήση των κεραμικών στην οδοποιία.

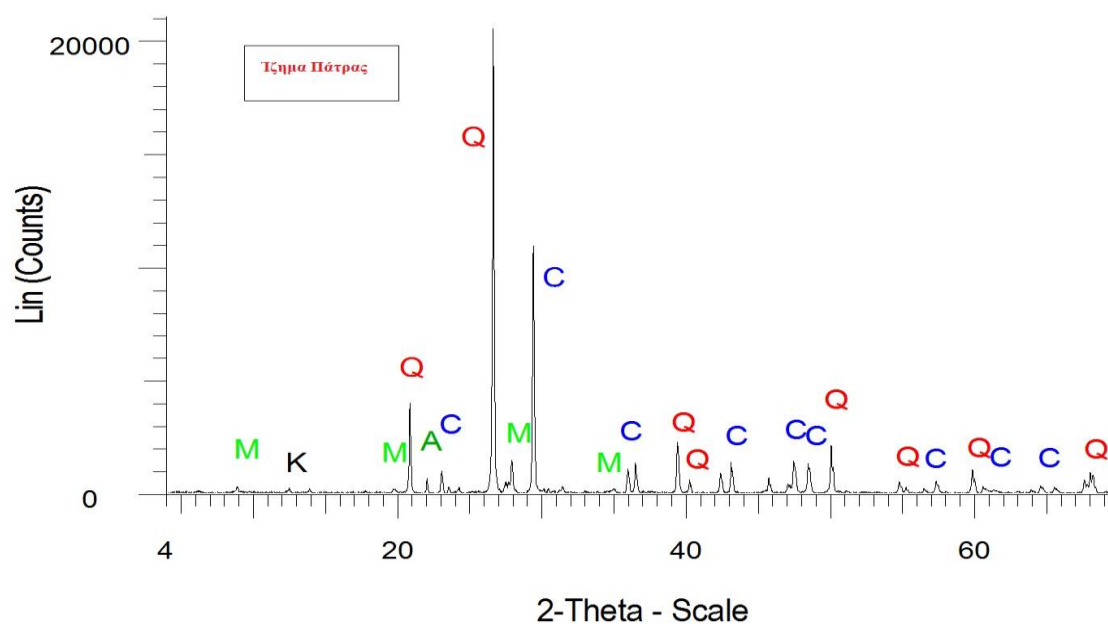
Η ορυκτολογική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με περιθλασίμετρο τύπου Bruker D8 Advance με χρήση λυχνίας Cu. Το φάσμα σάρωσης κυμαίνεται από  $3^\circ$  έως  $70^\circ 2\theta$ , με βήμα  $0.03^\circ$  και χρόνο μέτρησης 4 sec/βήμα. Η ποιοτική ανάλυση πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού Diffrac Plus (Bruker) και τη βάση δεδομένων PDF.

Τα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων των αρχικών πρώτων υλών παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.1 - 3.3. Αναλυτικότερα για τα θαλάσσια ιζήματα Πάτρας όπως παρατηρείται οι κυριότερες ορυκτολογικές φάσεις που ανιχνεύονται είναι ο χαλαζίας  $\text{SiO}_2$ , και ο Ασβεστίτης  $\text{CaCO}_3$  ενώ στα ιζήματα της Σούδας εμπεριέχεται σε σημαντικό ποσοστό και Αραγωνίτης  $\text{CaCO}_3$ .

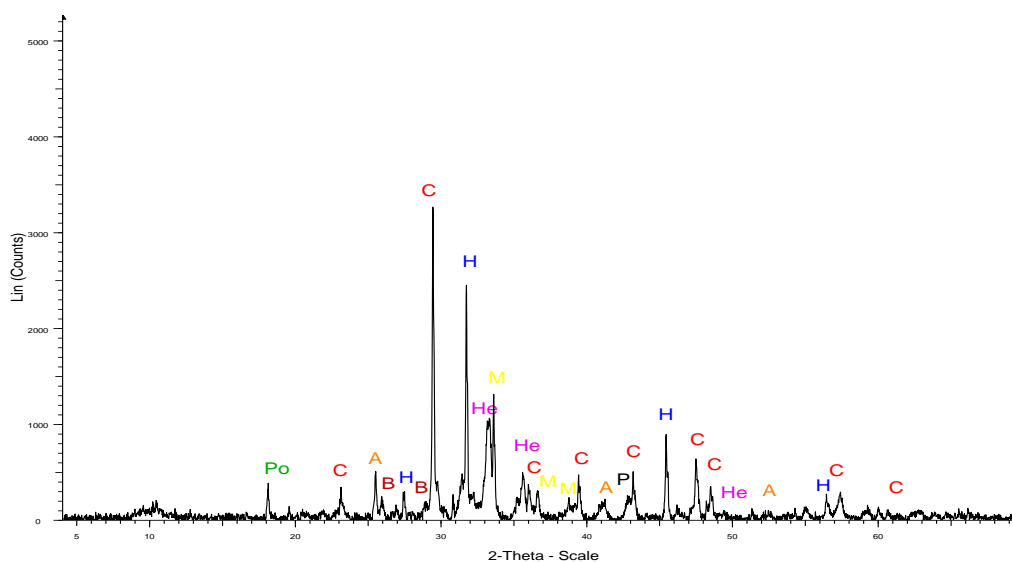


**Σχήμα 3.1** Ορυκτολογική σύσταση ιζήματος Σούδας (Q: Χαλαζίας, A : Αραγωνίτης, C: Ασβεστίτης, I Ιλίτης)





**Σχήμα 3.2** Ορυκτολογική σύσταση ιζήματος Πάτρας (Q: Χαλαζίας, A : Αραγωνίτης, C: Ασβεστίτης



**Σχήμα 3.3** Ορυκτολογική σύσταση νοσοκομειακών αποβλήτων (C ασβεστίτης, P Περίκλαστο, A αλίτης, M μερβινίτης He, αιματίτης Po πορτλανδίτης.

Η ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας περιέχει χαλαζία  $\text{SiO}_2$ , ασβεστίτη  $\text{CaCO}_3$ , ανυδρίτη  $\text{CaSO}_4$ , γκελενίτη  $\text{Ca}_2(\text{Al}(\text{AlSi})\text{O}_7)$ , πλαγιόκλαστα, άσβεστο  $\text{CaO}$  και πορτλανδίτη  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Η ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης προέρχεται από τον αντίστοιχο λιγνιτικό σταθμό της Πελοποννήσου και οι κυριότερες ορυκτολογικές φάσεις που ανιχνεύονται είναι χαλαζίας  $\text{SiO}_2$ , ασβεστίτης  $\text{CaCO}_3$ , μαγνησιούχος ασβεστίτης  $(\text{Mg}_{0.2}\text{Ca}_{0.8})(\text{CO}_3)$ , γκελενίτης  $\text{Ca}_2(\text{Al}(\text{AlSi})\text{O}_7)$ , ανυδρίτης  $\text{CaSO}_4$ , αλβίτης  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ , άσβεστος  $\text{CaO}$ , και αιματίτης  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Οι κυριότερες ορυκτολογικές φάσεις στο δείγμα της τέφρας νοσοκομειακών αποβλήτων είναι οι: ασβεστίτης  $\text{CaCO}_3$ , αλίτης  $\text{NaCl}$ , μερβινίτης  $\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$  περίκλαστο  $\text{MgO}$ , ανυδρίτης  $\text{CaSO}_4$ , αιματίτης  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , πορτλανδίτης  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  και βαρύτης  $\text{BaSO}_4$ .

### 3.4 Ξήρανση - Λειοτρίβηση – Αναμίξεις – Μορφοποίηση

Οι αρχικές πρώτες ύλες που επιλέχθηκαν για την παρασκευή των κεραμικών δεν χρησιμοποιούνται ως έχουν αλλά πραγματοποιείται κατάλληλη επεξεργασία τους που περιλαμβάνει αρχικά την απομάκρυνση της επιπλέον υγρασίας, τη λειοτρίβηση για τη μείωση των συσσωματωμάτων και τη δημιουργία λεπτότερου υλικού, τη κατάλληλη ομογενοποίηση των μιγμάτων για την ευκολότερη μορφοποίηση των παραγόμενων συνθέσεων. Αναλυτικότερα η διαδικασία που ακολουθείται περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- **Ξήρανση:** Οι αρχικές πρώτες ύλες και ιδιαίτερα τα θαλάσσια ιζήματα ευρίσκονται σε νωπή κατάσταση. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή των δοκιμών πρέπει να αφαιρεθεί η υγρασία που περιέχουν. Η αφαίρεση της υγρασίας πραγματοποιήθηκε με τοποθέτηση της πρώτης ύλης σε πυριαντήριο (carbolite) και θερμοκρασία που σταδιακά έφτανε τους  $110^\circ\text{C}$  για 24 ώρες.

- **Λειοτρίβηση:** Η πρώτη ύλη μετά την φάση της ξήρανσης τοποθετήθηκε αρχικά σε μύλους τριβής με ράβδους στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού καθώς και σε πλανητικό μύλο Bico Pulvifierizer ώστε να προκύψει λεπτόκοκκο υλικό με απουσία συσσωματωμάτων που δυσχεραίνουν τη μορφοποίηση και

υποβαθμίζουν τις τελικές ιδιότητες των παραγόμενων κεραμικών. Η κοκκομετρική ανάλυση με αναλυτή Laser Mastersizer S (Malvern Instruments) των αρχικών πρώτων υλών μετά τη λειοτρίβησή τους παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.2. που ακολουθεί.

**Πίνακας 3.2.** D<sub>50</sub> αρχικών πρώτων υλών - Κοκκομετρική ανάλυση με laser

Πρώτη Ύλη	d <sub>50</sub> (μm)
Ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαίδας	30
Ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης	89
Τέφρα Νοσοκομειακών Αποβλήτων	9
ΐζημα Πάτρας	8
ΐζημα Σούδας	9

• **Αναμίξεις:** Έχοντας όλα τα υλικά σε μορφή σκόνης πραγματοποιήθηκαν για τους σκοπούς της εργασίας αναμίξεις με διαφορετικές ποσοστώσεις % w/w και με διαφορετικούς συνδυασμούς διατηρώντας τον κανόνα, ένα εκ των θαλασσίων ιζημάτων και δεύτερο συστατικό ένα εκ των υπολοίπων (ιπτάμενη τέφρα και νοσοκομειακά απόβλητα). Στο τελικό μίγμα χρησιμοποιήθηκε νερό σα συνδετικό υλικό ώστε να επιτευχθεί ποσοστό υγρασίας 10-13 % περίπου. Αναλυτικότερα οι συνθέσεις που μελετήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3.



**Εικόνα 3.1.** Αναμίξεις ιζημάτων πριν απο το στάδιο της μορφοποίησης

**Πίνακας 3.3.** Συνθέσεις κεραμικών μαζών

ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΙΖΗΜΑ	ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ
		%w/w
Πάτρα	Ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαίδας	25-50-75-100
Πάτρα	Ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης	25-50-75-100
Πάτρα	Τέφρα νοσοκομειακών αποβλήτων	25-50-75-100
Σούδα	Ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαίδας	25-50-75-100
Σούδα	Ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης	25-50-75-100
Σούδα	Τέφρα Νοσοκομειακών Αποβλήτων	25-50-75-100
Πάτρα-Σούδα		50-50

- **Μορφοποίηση:** Μετά την ανάμιξη η εύπλαστη μάζα τοποθετείται μέσα στο καλούπι - μήτρα και στη συνέχεια εφαρμόζουμε συμπίεση σε πρέσσα μέχρι η πίεση να φτάσει στα 50 bar. Μετά την αποσυμπίεση εφαρμόζουμε την διαδικασία εξώθησης ώστε να καταλήξουμε στο τελικό δοκίμιο.



**Εικόνα 3.2.** Καλούπι / Μήτρα



**Εικόνα 3.3.** Τοποθέτηση του υλικού στη μήτρα



**Εικόνα 3.4.** Συσκευή Μορφοποίησης/Πρέσσα

### 3.5 Έψηση

Η έψηση των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε στον ηλεκτρικό κλίβανο υψηλών Θερμοκρασιών (Nabertherm LHT/08/70) του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Κεραμικών και Υάλου. Η έψηση έγινε για όλα τα δοκίμια στους 950, 1000, 1100, 1150 και 1200 °C με ρυθμό ανόδου 3 °C/min και παραμονή στη τελική θερμοκρασία για 2 ώρες.



**Εικόνα 3.5.** Δοκίμιο πριν τη διαδικασία της έψησης



**Εικόνα 3.6.** Δοκίμιο μετά τη διαδικασία της έψησης

### 3.6 Πορώδες – Πυκνότητα- Υδατοαπορροφητικότητα

Μετά τη φάση της έψησης υπολογίστηκε το ανοικτό πορώδες, η φαινόμενη πυκνότητα και η υδατοαπορροφητικότητα των κεραμικών σύμφωνα με τη πρότυπη δοκιμή κατά DIN EN993-1. Σύμφωνα με τη μέθοδο αρχικά ζυγίζονται τα ξηρά δείγματα ( $m_1$ ). Στη συνέχεια τοποθετούνται σε ξηραντήρα και επιβάλλεται κενό. Κατόπιν προστίθεται στο ξηραντήρα το μέσο κορεσμού (νερό) και δημιουργείται εκ νέου κενό. Τα δείγματα παραμένουν στο νερό για 1 ημέρα έτσι ώστε όλοι οι πόροι να έχουν πληρωθεί με το νερό. Ακολούθως, ζυγίζονται τα δείγματα αρχικά μέσα στο νερό ( $m_2$ ) και έπειτα στον αέρα δηλαδή με την υγρασία τους. Το ανοικτό πορώδες ( $\pi$ ), η πυκνότητα ( $\rho$ ) και η υδατοαπορροφητικότητα υπολογίζονται σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\pi = \frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_2} \% \quad (6)$$

$$\rho = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \rho_F \quad (7)$$

$$\text{Υδατοαπορροφητικότητα} = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_2} \quad (8)$$

όπου  $\rho_F$  η πυκνότητα του μέσου κορεσμού σε συγκεκριμένη θερμοκρασία





**Εικόνα 3.7.** Ζυγαριά ακριβείας



**Εικόνα 3.8.** Συσσκευή κενού αέρος και εμβάπτισης σε νερό



### 3.7 Αντοχή σε Κάμψη 3 Σημείων

Η αντοχή σε κάμψη των κεραμικών πραγματοποιήθηκε με τη συσκευή Netschz Biegefstigkeitsprufer 401. Το δοκίμιο στηρίζεται στα άκρα και η δύναμη κάθετη προς τη μέγιστη διάστασή του ασκείται σημειακά προς το κέντρο. Η φόρτιση γίνεται αυξητικά μέχρι τη θραύση του δοκιμίου. Η μέτρηση γίνεται με 4 διαφορετικές κλίμακες (20N, 40N, 80N, 240N) ανάλογα με τις μηχανικές ιδιότητες και την ακρίβεια που απαιτείται. Η μαθηματική σχέση που συνδέει τη τάση με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου είναι :

$$\sigma = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad (9)$$

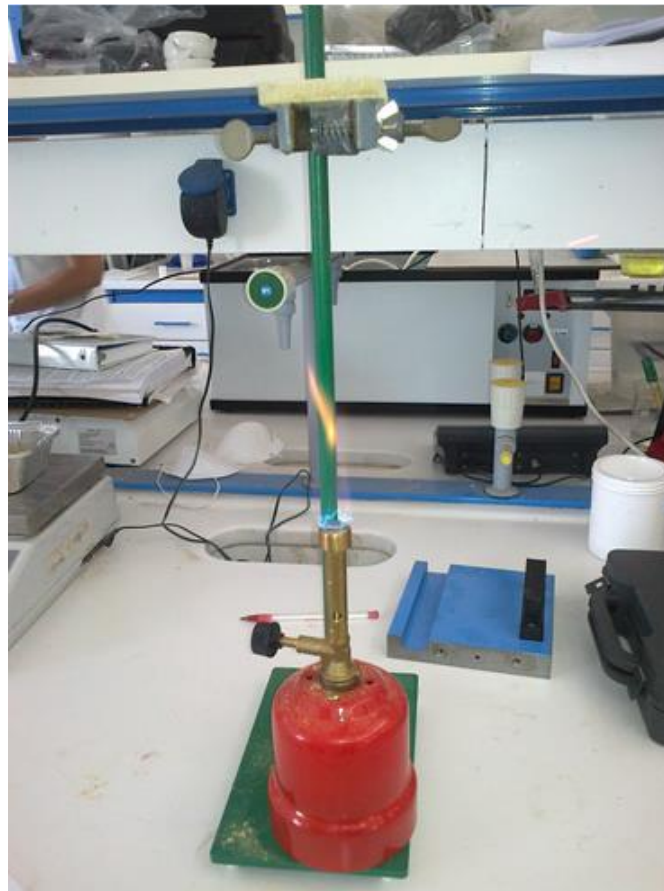
όπου F: η μέγιστη τιμή της δύναμης που δέχτηκε το δοκίμιο μέχρι να αστοχήσει, L: σταθερή απόσταση μεταξύ των άκρων της διάταξης, b: το πάχος του δοκιμίου και h: το ύψος του δοκιμίου. Το τελικό αποτέλεσμα προκύπτει ως μέσος όρος 5 διαφορετικών μετρήσεων.



**Εικόνα 3.9.** Συσκευή Κάμψης

### 3.8 Θερμική Αγωγιμότητα

Για τη μελέτη της θερμομονωτικής ικανότητας των δοκιμίων και τον υπολογισμό της % απορρόφησης της θερμότητας, τα δοκίμια εκτέθηκαν σε υψηλή θερμοκρασία με τη χρήση φλόγιστρου, όπου θερμένεται η μια πλευρά του δοκιμίου και ταυτόχρονα καταγράφεται η θερμοκρασία και στις δύο πλευρές του δοκιμίου, ώστε να αξιολογηθεί η ικανότητα του δοκιμίου ως θερμομονωτικό υλικό.



**Εικόνα 3.10.** Καταγραφή θερμοκρασίας άνω και κάτω του δοκιμίου



**Εικόνα 3.11.** ‘Όργανο καταγραφής θερμοκρασίας

### **3.9 Ανθεκτικότητα Κεραμικών σε Διάφορα Περιβάλλοντα**

Για τη διερεύνηση της ανθεκτικότητας των παραγόμενων κεραμικών πραγματοποιήθηκε εμβάπτιση τους σε διαφορετικά διαβρωτικά περιβάλλοντα και πιο συγκεκριμένα σε απιονισμένο νερό και σε γαστρικό οξύ (sigma Aldrich) με τιμές pH 7 και 0,93 αντίστοιχα. Η επιλογή των διαλυμάτων βασίστηκε στη δυνατότητα χρήσης των παραγόμενων κεραμικών σε εφαρμογές που απαιτούνται αυξημένες αντοχές στη διάβρωση π.χ. πλακίδια, φίλτρα, πυρίμαχα. Αρχικά υπολογίζεται το βάρος των δειγμάτων πριν την εμβάπτιση τους. Στη συνέχεια τα κεραμικά εμβαπτίζονται πλήρως στο υπό μελέτη διάλυμα και υπολογίζεται το βάρος τους μετά από χρονικό διάστημα 1, 3, 8 και 15 ημερών. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων προστέθηκε εκ νέου διάλυμα ώστε να παραμένει ο όγκος σταθερός και να μη δημιουργούνται απώλειες λόγω εξάτμισης. Παράλληλα καταγράφηκαν οποιεσδήποτε οπτικές παρατηρήσεις σχετικά με την κατάσταση των δειγμάτων όπως π.χ. παρουσία ρωγμών, εξαλλοίωση δοκιμίων κ.α. Η διάβρωση υπολογίζεται από τη διαφορά βάρους στις συγκεκριμένες χρονικές συνθήκες.

Επιπλέον πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ανθεκτικότητας των κεραμικών σε 48-ώρους κύκλους ψύξης - θέρμανσης μεταξύ -10 °C και 40 °C. Σε κάθε

περίπτωση, μετά το πέρας των δοκιμών μετρήθηκε η απώλεια βάρους και η αντοχή σε κάμψη των δοκιμίων.



**Εικόνα 3.11.** Δοκίμια εμβαπτισμένα σε νερό και σε γαστρικό οξύ

### 3.10 Δοκιμή Τοξικότητας

Η δοκιμή τοξικότητας TCLP (Toxicity Characteristics Leaching Procedure) χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο εκχύλισμα και την εκτίμηση της τοξικότητας των αρχικών πρώτων υλών και επιλεγμένων κεραμικών (USEPA, 1990). Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα διαλύματα που προέκυψαν από τις δοκιμές ολικής διαλυτοποίησης, σταδιακών εκχυλίσεων και TCLP προσδιορίστηκαν, ατομικής απορρόφησης Perkin-Elmer φασματομέτρο ατομικής εκπομπής με επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (ICP-MS) Agilent Technologies 7500cx.

Η δοκιμή **TCLP** (Toxicity Characteristics Leaching Procedure) βασίζεται στο ίδιο “χείριστο σενάριο” της συναπόθεσης στερεών βιομηχανικών αποβλήτων με αποσυντιθέμενα οικιακά απόβλητα σε χωματερή. Ουσιαστικά προσδιορίζει την τοξικότητα των αποβλήτων όταν εκτίθενται στη δράση οργανικών οξέων. Η δοκιμή TCLP επιτρέπει τη χρησιμοποίηση δύο διαλυμάτων εκχύλισης. Τα διαλύματα επιλέγονται ανάλογα με τη βασικότητα των στερεών αποβλήτων.

Μετά την πραγματοποίηση της δοκιμής, το παραγόμενο εκχύλισμα αναλύεται με σκοπό να προσδιορισθεί, εάν η συγκέντρωση κάποιου από τα 39 επικίνδυνα συστατικά υπερβαίνει σε επίπεδα συναγερμού. Τα μέγιστα επιτρεπτά όρια συγκεντρώσεων (σε mg/L) επιλεγμένων τοξικών συστατικών σε παραγόμενα εκχυλίσματα, με βάση τη δοκιμή TCLP, παρατίθενται στον Πίνακα 3.4.

**Πίνακας 3.4.** Επιτρεπτά όρια συγκεντρώσεων επιλεγμένων τοξικών συστατικών (mg/L)

Αρίθμηση τοξικού αποβλήτου (κατά ΕΡΑ)	Συστατικό	Συγκέντρωση (mg/L)
D004	Αρσενικό	5
D005	Βάριο	100
D006	Κάδμιο	1
D007	Χρώμιο	5
D008	Μόλυβδος	5
D009	Υδράργυρος	0,2
D010	Σελήνιο	1
D011	Αργυρος	5
D012	Endrin	0,02
D013	Lindane	0,4
D018	Βενζόλιο	0,5
D021	Χλωροβενζόλιο	100
D022	Χλωροφόρμιο	6
D023	Κρεζόλη	200

Οι απαιτούμενες συσκευές και τα αντιδραστήρια για την πραγματοποίηση της δοκιμής αυτής είναι τα παρακάτω.

1. Εργαστηριακός ζυγός (ακρίβεια + 0,01 g)
2. Κωνική φιάλη 250 mL
3. Ύαλος ωρολογίου
4. Συσκευή ανάδευσης
5. Υδατόλουτρο με ανάδευση και ρυθμιστή θερμοκρασίας
6. pHμετρο

7. Συσκευή διήθησης
8. Οξικό οξύ ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )
9. Καυστικό νάτριο ( $\text{NaOH}$ ), 1N
10. Νιτρικό οξύ ( $\text{HNO}_3$ ), 1N
11. Υδροχλωρικό οξύ ( $\text{HCl}$ ), 1N
12. Διαλύματα εκχύλισης

Παρασκευή διαλυμάτων εκχύλισης:

1<sup>ο</sup> Διάλυμα Εκχύλισης: Παρασκευάζεται με προσθήκη 5,7 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  σε 500 mL απιονισμένου νερού, προσθήκη 64,3 mL 1N  $\text{NaOH}$  και αραίωση με απιονισμένο νερό μέχρι 1 L. pH διαλύματος 4,93±0,05.

2<sup>ο</sup> Διάλυμα Εκχύλισης: Παρασκευάζεται με προσθήκη 5,7 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  σε 500 mL απιονισμένου νερού και αραίωση μέχρι 1L.

Διαδικασία επιλογής του διαλύματος εκχύλισης:

1. Ζυγίζονται 5 g του δείγματος (μέγεθος κόκκου <1 mm).
2. Το υλικό μεταφέρεται σε κωνική φιάλη 500 mL όπου προστίθενται 96,5 g απιονισμένου νερού και η κωνική φιάλη τοποθετείται για 5 min σε υδατόλουτρο με μηχανική ανάδευση.
3. Καταγράφεται η ένδειξη του pH στο διάλυμα.
4. Εάν η τιμή του pH στο διάλυμα είναι μικρότερη από 5 χρησιμοποιείται για την πειραματική διαδικασία το 1<sup>ο</sup> διάλυμα εκχύλισης.
5. Εάν η τιμή του pH στο διάλυμα είναι μεγαλύτερη από 5 προστίθενται στην κωνική φιάλη 3,5 mL 1N  $\text{HCl}$ , ακολουθεί πολυφοποίηση και θέρμανση του διαλύματος σε 50° C για 10 min.
6. Μετά την ψύξη του διαλύματος σε θερμοκρασία δωματίου ακολουθεί μέτρηση του pH. Εάν  $\text{pH} < 5$ , τότε χρησιμοποιείται το 1<sup>ο</sup> διάλυμα εκχύλισης, εάν  $\text{pH} > 5$ , χρησιμοποιείται το 2<sup>ο</sup> διάλυμα εκχύλισης.

Όταν επιλεγεί το κατάλληλο διάλυμα εκχύλισης, θα πρέπει να εκτελεσθεί η δοκιμή ακολουθώντας τα στάδια που αναφέρονται στη συνέχεια:

#### Δοκιμή TCLP:

1. Ζυγίζονται 10 g του υλικού (ξηρό δείγμα) και τοποθετούνται σε φιάλη εξαγωγής (πλαστικό δοχείο).
2. Προστίθεται το διάλυμα που επιλέχθηκε σε όγκο 20 φορές μεγαλύτερο από το βάρος του στερεού δείγματος (δηλαδή 200 mL).
3. Το πλαστικό δοχείο τοποθετείται στη συσκευή ανάμιξης και περιστρέφεται με  $30 \pm 2$  rpm για  $18 \pm 2$  ώρες.
4. Μετά από το διάστημα αυτό, το διάλυμα αφήνεται να ηρεμήσει για ~15 min και λαμβάνεται με απόχυση το υπερκείμενο υγρό, διηθείται και ακολουθεί μέτρηση της συγκέντρωσης των τοξικών συστατικών στο χρωματόμετρο (ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφεται στην πρώτη εργαστηριακή άσκηση).
5. Οι μετρούμενες συγκεντρώσεις συγκρίνονται με τα περιβαλλοντικά όρια για τον προσδιορισμό της τοξικότητας του απόβλητου.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

### **4.1 Εισαγωγή**

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στα κεραμικά που παρασκευάστηκαν με πρώτες ύλες θαλάσσια ιζήματα και τέφρες από ΑΗΣ και νοσοκομειακά απόβλητα. Η παρασκευή των κεραμικών πραγματοποιήθηκε χωρίς την προσθήκη βοηθητικών χρησιμοποιώντας μόνο τις αρχικές πρώτες ύλες με απώτερο σκοπό τη δημιουργία προϊόντων με σημαντικές ιδιότητες όπως ελεγχόμενη πορώδη δομή, μηχανικές ιδιότητες, αυξημένη ανθεκτικότητα στη διάβρωση που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές με συγκεκριμένες απαιτήσεις όπως φιλτράρισμα, παραγωγή δομικών υλικών κ.ά. Επίσης, σημαντική παράμετρο αποτέλεσε και η δημιουργία φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων με μειωμένες τιμές τοξικότητας και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν και χαμηλές θερμοκρασίες έψησης μέχρι 1150°C ενώ υπολογίστηκε και η τιμή της τοξικότητας με τη μέθοδο TCLP των αρχικών πρώτων υλών αλλά και των παραγόμενων κεραμικών.

### **4.2. Αποτελέσματα Πορώδους Δομής και Πυκνότητας**

Στη συγκεκριμένη σειρά πειραμάτων μετρήθηκε το ανοιχτό πορώδες και η φαινόμενη πυκνότητα στα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με την ανάμιξη διαφορετικών ποσοστών θαλάσσιων ιζημάτων κατόπιν έψησης τους σε τέσσερες διαφορετικές θερμοκρασίες, 950,1000,1100 και 1150 °C σύμφωνα πάντα με την πρότυπη μέθοδο DIN EN 993 – 1.

#### **Α) Συνθέσεις κεραμικών από θαλάσσιο ίζημα Σούδας**

Στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνολικά οι τιμές των χαρακτηριστικών της πορώδους δομής και της πυκνότητας σε όλες τις θερμοκρασίες έψησης.

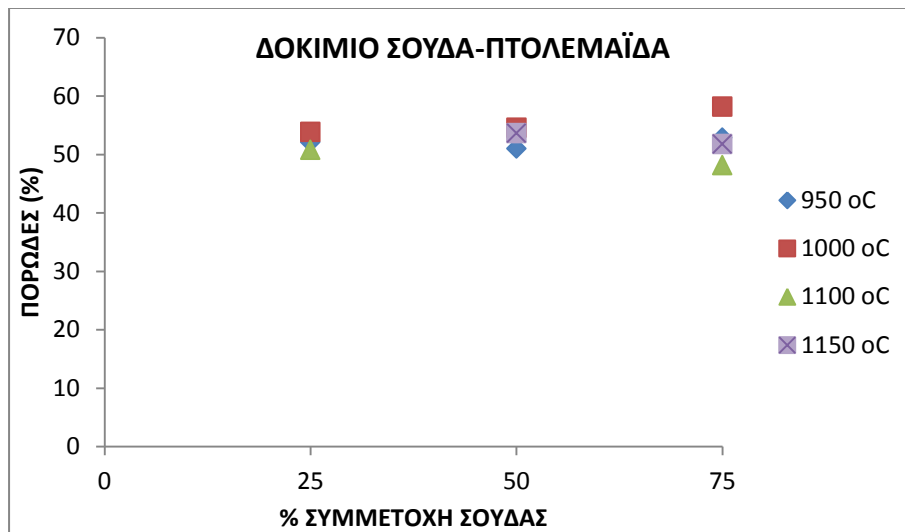


**Πίνακας 4.1.** Φαινόμενο πορώδες και πυκνότητα κεραμικών από θαλάσσιο ίζημα Σούδας

A/A	ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm <sup>3</sup> )	ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm <sup>3</sup> )	ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm <sup>3</sup> )	ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm <sup>3</sup> )
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΨΗΣΗΣ (°C)	950 °C		1000 °C		1100 °C		1150 °C	
<b>25%ΣΟΥΔΑ-75%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ</b>	52,10	1,28	53,84	1,24	50,78	1,26		
<b>50%ΣΟΥΔΑ-50%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ</b>	51,01	1,23	54,53	1,16			<b>53,63</b>	1,18
<b>75%ΣΟΥΔΑ-25%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ</b>	52,85	1,16	58,17	1,05	48,17	1,20	51,78	1,18
<b>25%ΣΟΥΔΑ-75% ΝΑ</b>	40,84	1,45	52,29	1,32	51,66	1,34	39,35	1,67
<b>50%ΣΟΥΔΑ-50% ΝΑ</b>					55,81	1,21	43,05	1,54
<b>75%ΣΟΥΔΑ-25% ΝΑ</b>	47,79	1,23	53,86	1,13	51,69	1,18	49,54	1,25
<b>25%ΣΟΥΔΑ-75%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ</b>	49,30	1,21	51,62	1,17	53,16	1,20	61,29	1,09
<b>50%ΣΟΥΔΑ-50%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ</b>			54,38	1,11	50,91	1,16	32,70	1,59
<b>75%ΣΟΥΔΑ-25%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ</b>	50,72	1,15	51,13	1,11	53,75	1,07	45,85	1,36
<b>ΣΟΥΔΑ</b>							64,69	0,81

Αναλυτικότερα τα αποτελέσματα του πορώδους και της πυκνότητας παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 4.1- 4.3 και στα Διαγράμματα 4.4. – 4.6., αντίστοιχα.

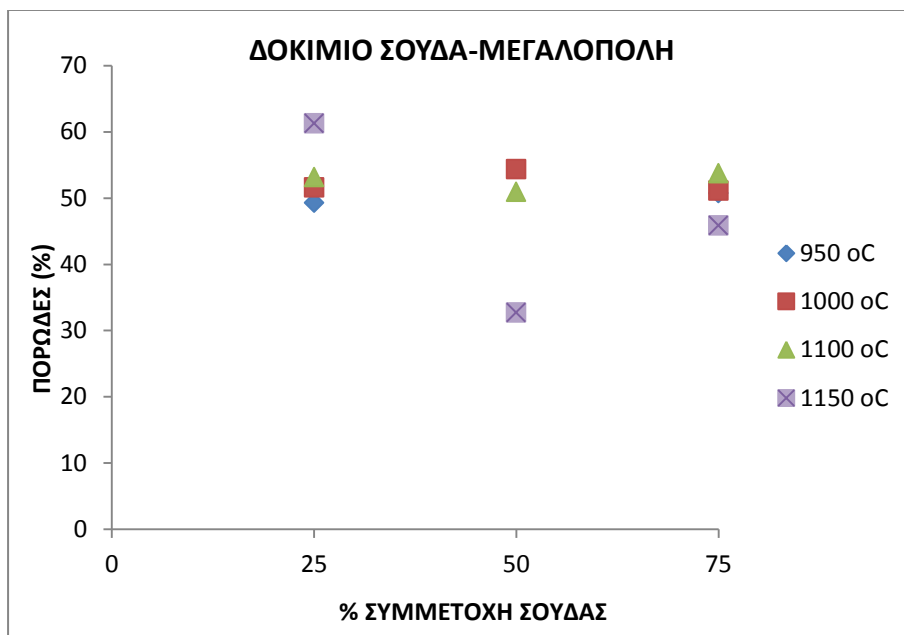
### ι. Αποτελέσματα Πορώδους



**Διάγραμμα 4.1.** Πορώδες συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Σούδας και ιπ.τέφρας Πτολεμαΐδας.

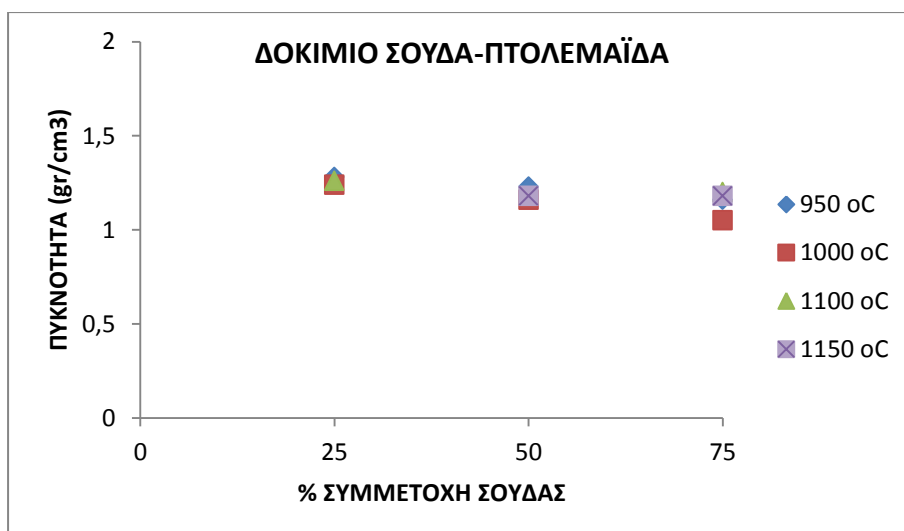


**Διάγραμμα 4.2.** Πορώδες συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Σούδας και Νοσοκομειακά Απόβλητα.

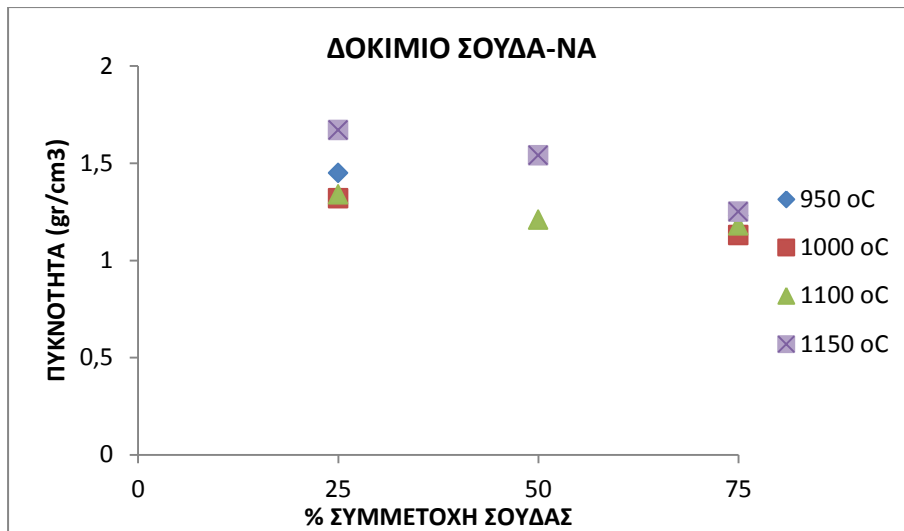


**Διάγραμμα 4.3.** Πορώδες συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Σούδας και ιπ.τέφρας Μεγαλόπολης.

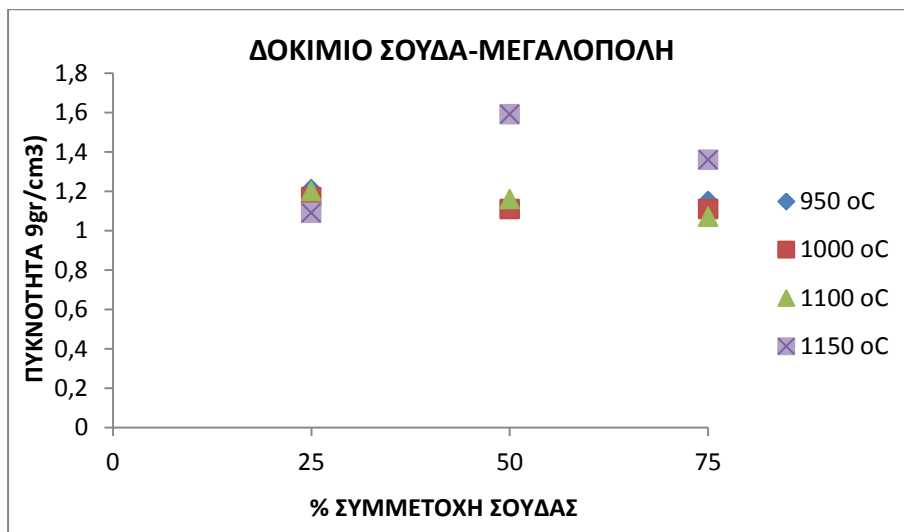
## ii. Αποτελέσματα Πυκνότητας



**Διάγραμμα 4.4.** Πυκνότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Σούδας και ιπ.τέφρας Πτολεμαΐδας.



**Διάγραμμα 4.5.** Πυκνότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Σούδας και Νοσοκομειακά Απόβλητα.



**Διάγραμμα 4.6.** Πυκνότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Σούδας και ιπ.τέφρας Μεγαλόπολης.

Όπως παρατηρείται η ανάμιξη των ιζημάτων με τις διαφορετικές πρώτες ύλες οδήγησε στη δημιουργία κεραμικών με αυξημένο πορώδες. Οι τιμές του πορώδους κυμαίνονται από 32-54% ανάλογα με τις συνθήκες έψησης και το ποσοστό που προστέθηκε. Η γενική τάση που παρατηρείται είναι ότι η αύξηση της θερμοκρασία έψησης οδηγεί σε μείωση της τιμής του πορώδους και αύξηση της πυκνότητας. Η παραπάνω διαπίστωση οφείλεται στο γεγονός ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας γίνεται καλύτερη πυροσυσσωμάτωση όποτε οι πόροι σχηματίζουν επαφές και κατά συνέπεια μειώνονται σε αριθμό και αυτό εκφράζεται σε μείωση του πορώδους. Αναφορικά με την επίδραση της αύξησης του ποσοστού των ιζημάτων στις τελικές τιμές του πορώδους και εδώ παρατηρείται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η αύξηση συνεπάγεται και αύξηση του πορώδους άρα και μείωση της πυκνότητας. Μια επιπλέον παρατήρηση που προκύπτει από την ανάλυση των αποτελεσμάτων είναι ότι η προσθήκη τέφρας Πτολεμαΐδας και νοσοκομειακών αποβλήτων οδηγεί σε μεγαλύτερες τιμές πορώδους της τάξεως των 58% (75%ΣΟΥΔΑ-25% ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ) και 55% αντίστοιχα (50%ΣΟΥΔΑ-50%ΝΑ) γεγονός που πιθανόν οφείλεται στα αυξημένα ποσοτά  $\text{CaO}$  που περιέχονται στη σύνθεση. Παράλληλα σημαντικές τιμές πορώδους παρατηρούνται και για τα δείγματα με ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης που φτάνουν το 53% για όλα τα ποσοστά. Ειδικά στην περίπτωση της Μεγαλόπολης δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές με την αύξηση του ποσοστού και σε όλες τις περιπτώσεις οι τιμές του πορώδους είναι υψηλές, με τη μέγιστη να σημειώνεται για το δοκίμιο 25%ΣΟΥΔΑ-75%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ με τιμή 61,29%. Με γνώμονα ότι τα συγκεκριμένα δοκίμια παρουσιάζουν και ικανοποιητικές αντοχές, μια πρώτη εφαρμογή που προκύπτει είναι η χρήση τους ως φίλτρα.

## **Β) Συνθέσεις κεραμικών από θαλάσσιο ίζημα Πάτρας**

Στον Πίνακα 4.2. που ακολουθεί παρουσιάζονται συνολικά οι τιμές των χαρακτηριστικών της πορώδους δομής και της πυκνότητας σε όλες τις θερμοκρασίες έψησης.

**Πίνακας 4.2.** Φαινόμενο πορώδες και πυκνότητα κεραμικών από θαλάσσιο ίζημα Πάτρας

A/A	ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm <sup>3</sup> )	ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm <sup>3</sup> )	ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm <sup>3</sup> )	ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm <sup>3</sup> )
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΨΗΣΗΣ (°C)	950 °C		1000 °C		1100 °C		1150 °C	
<b>25%ΠΑΤΡΑ-75%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ</b>	49,13	1,36	48,24	1,34	49,17	1,34	48,69	1,37
<b>50% ΠΑΤΡΑ -50% ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ</b>	51,04	1,23	52,14	1,26	57,31	1,62	36,18	1,56
<b>75% ΠΑΤΡΑ -25%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ</b>	44,24	1,43	43,15	1,28	42,46	1,31	27,15	1,79
<b>25% ΠΑΤΡΑ -75%ΝΑ</b>	43,54	1,46	44,94	1,41	46,03	1,42	44,43	1,48
<b>50% ΠΑΤΡΑ -50%ΝΑ</b>	46,36	1,44	45,25	1,28	47,79	1,29	46,47	1,68
<b>75% ΠΑΤΡΑ -25%ΝΑ</b>	41,26	1,40	42,96	1,34	41,34	1,33	31,88	1,70
<b>25% ΠΑΤΡΑ -75%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ</b>	46,08	1,23	46,25	1,27	45,91	1,27	43,36	1,24
<b>50% ΠΑΤΡΑ 50%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ</b>	47,12	1,20	48,23	1,24	48,33	1,32	46,13	1,62
<b>75% ΠΑΤΡΑ 25%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ</b>	42,32	1,22	39,15	1,44	38,72	1,39	26,96	1,70
<b>ΠΑΤΡΑ</b>							39,10	1,36

Αναλυτικότερα τα αποτελέσματα του πορώδους και της πυκνότητας φαίνονται στα Διαγράμματα 4.7.- 4.9. και στα Διαγράμματα 4.10. – 4.12., αντίστοιχα.

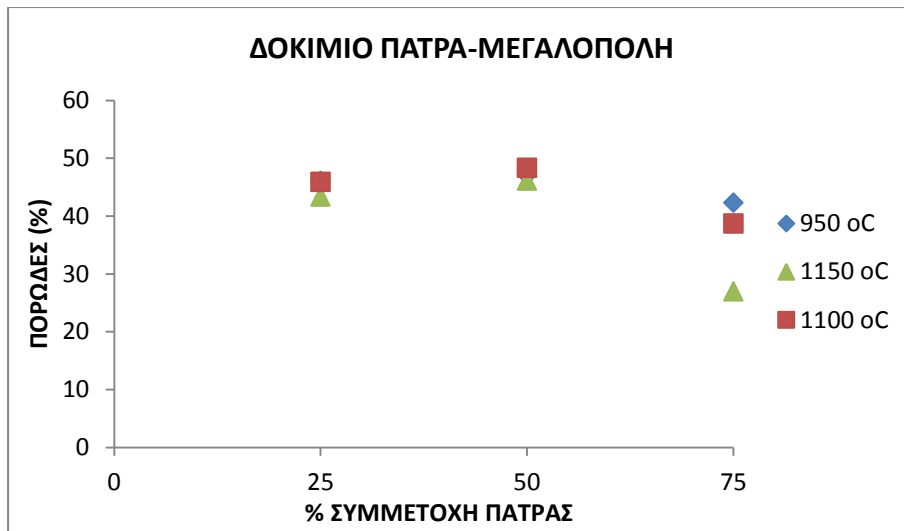
#### ι. Αποτελέσματα Πορώδους



**Διάγραμμα 4.7.** Πορώδες συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Πάτρας και ιπ.τέφρας Πτολεμαΐδας.



**Διάγραμμα 4.8.** Πορώδες συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Πάτρας και Νοσοκομειακά Απόβλητα.



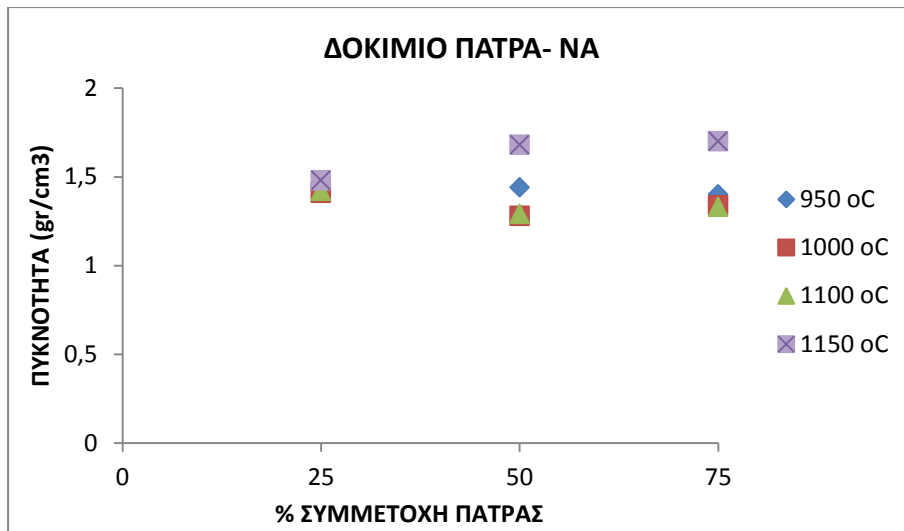
**Διάγραμμα 4.9.** Πορώδες συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Πάτρας και ιπ.τέφρας Μεγαλόπολης.

## ii. Αποτελέσματα Πυκνότητας

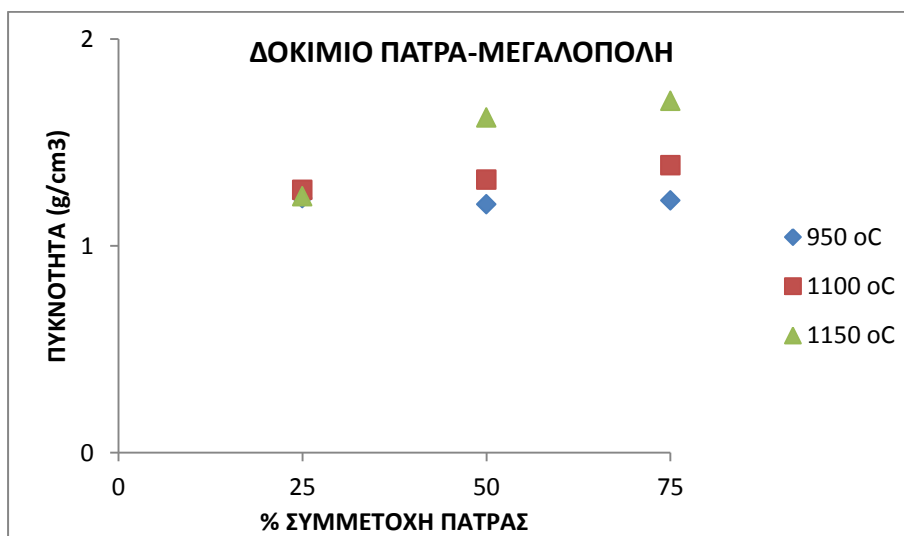


**Διάγραμμα 4.10.** Πυκνότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Πάτρας και ιπ.τέφρας Πτολεμαΐδας.





**Διάγραμμα 4.11.** Πυκνότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Πάτρας και Νοσοκομειακά Απόβλητα.



**Διάγραμμα 4.12.** Πυκνότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Πάτρας και ιπ.τέφρας Μεγαλόπολης.

Παρατηρώντας τις τιμές των δοκιμών του Πίνακα 4.2. γίνεται αντιληπτό ότι δοκίμια με τη συμμετοχή ιζήματος από την Πάτρα έχουν την τάση να παρουσιάζουν σχετικά μικρότερο πορώδες σε σχέση με αυτά της Σούδας. Οι τιμές του πορώδους κυμαίνονται από 26% (75% ΠΑΤΡΑ-25% ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ) έως και 52,14% (50% ΠΑΤΡΑ-50% ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ). Η

αύξηση της θερμοκρασίας έψησης επηρεάζει σημαντικά τις τιμές του πορώδους και όπως είναι αναμενόμενο οδηγεί σε μείωση του και αύξηση της πυκνότητας. Αυτό συμβαίνει γιατί με την αύξηση της θερμοκρασίας γίνεται καλύτερη πυροσυσσωμάτωση όποτε οι πόροι συνενώνονται, κατά συνέπεια μειώνονται σε αριθμό συνεπώς μειώνεται το πορώδες. Αναφορικά με την αύξηση του ποσοστού συμμετοχής των πρώτων υλών παρατηρείται ότι εδώ δε συμβαίνει σταδιακή αύξηση του πορώδους. Αναλυτικότερα στις περισσότερες συνθέσεις παρατηρείται ότι το πορώδες αυξάνεται μέχρι την προσθήκη 50% και στη συνέχεια η αύξηση του ποσοστού φαίνεται να μειώνει το πορώδες. Αυτό πιθανόν ερμηνεύεται είτε λόγω της διαφορετικής σύστασης τους, όποτε με την αύξηση της θερμοκρασίας πιθανόν δημιουργούνται ενδιάμεσες φάσεις που κλείνουν τους πόρους άρα μειώνουν το πορώδες, είτε λόγω της αρχικής διαφορετικής κοκομετρικής τους κατανομής όπου οι πολύ λεπτόκοκκες σκόνες εισέρχονται στα κενά που αφήνουν οι χονδροκόκκες σκόνες και κλείνουν το πορώδες. Οι παραπάνω διαπιστώσεις θα επιβεβαιώνονταν με τη χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης όπου γίνεται λεπτομερέστερη απεικόνιση της εσωτερικής δομής του υλικού. Με γνώμονα τις τιμές του πορώδους και χωρίς να ληφθεί υπόψη η συμπεριφορά του υλικού σε μηχανική καταπόνηση τα κεραμικά που κατασκευάστηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φίλτρα ή δομικά υλικά.

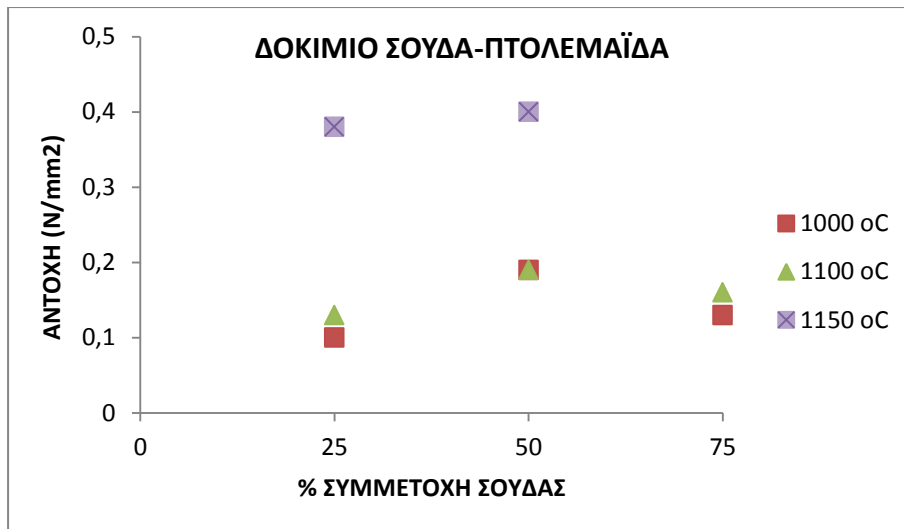
#### **4.3 Αντοχή σε Κάμψη 3 Σημείων**

Η συμπεριφορά των παραγόμενων κεραμικών δοκιμίων μετά τη δοκιμή αντοχής σε κάμψη παρουσιάζεται στους Πίνακες 4.3. και 4.4. που ακολουθούν. Ένα γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η αντοχή σε κάμψη για όλα τα δοκίμια αυξάνεται ανάλογως με τη θερμοκρασία έψησης. Αυτό συμβαίνει γιατί λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας το δοκίμιο βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο πυροσυσσωμάτωσης οπότε μειώνεται και κλείνει το πορώδες όπως έδειξαν και τα αποτελέσματα του φαινόμενου πορώδους και το κεραμικό γίνεται πιο συμπαγές με καλύτερες μηχανικές ιδιότητες.

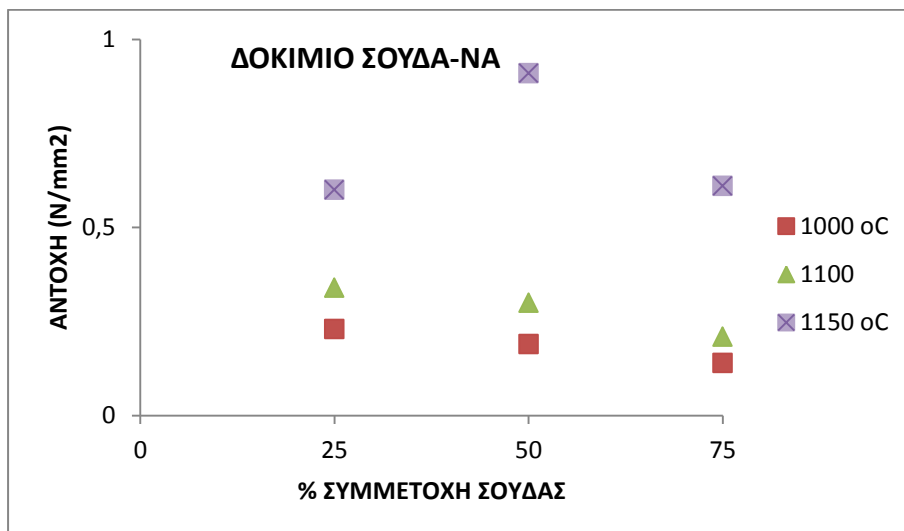
**Πίνακας 4.3.** Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων κεραμικών από θαλάσσιο ίζημα Σούδας

A/A	Δύναμη (N)	Αντοχή (MPa)	Δύναμη (N)	Αντοχή (MPa)	Δύναμη (N)	Αντοχή (MPa)
	1000 °C		1100 °C		1150 °C	
<b>25%ΣΟΥΔΑ-75%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ</b>	15	0,1	24	0,13	44	0,38
<b>50% ΣΟΥΔΑ -50% ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ</b>	27,5	0,19	31	0,19	60	0,40
<b>75% ΣΟΥΔΑ -25% ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ</b>	19,5	0,13	22	0,16	75	0,58
<b>25% ΣΟΥΔΑ -75% ΝΑ</b>	28	0,23	34	0,31	48	0,60
<b>50% ΣΟΥΔΑ -50%ΝΑ</b>	24	0,19	30	0,26	95	0,91
<b>75% ΣΟΥΔΑ -25%ΝΑ</b>	20	0,14	21	0,16	55	0,61
<b>25% ΣΟΥΔΑ -75%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ</b>	34	0,21	120	0,81	95	0,79
<b>50% ΣΟΥΔΑ 50%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ</b>	30	0,19	78	0,53	240	2,28
<b>75% ΣΟΥΔΑ- 25% ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ</b>	23	0,15	20	0,15	185	1,76
<b>ΣΟΥΔΑ</b>	23	0,18			20	0,16

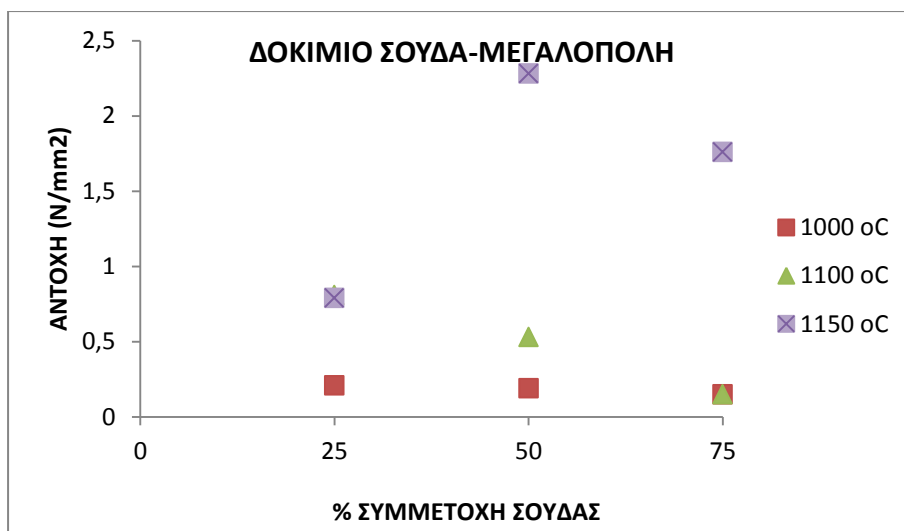
Αναλυτικότερα τα αποτελέσματα της αντοχής των δοκιμών με βάση ίζημα Σούδας φαίνονται στα Διαγράμματα 4.13 - 4.15.



**Διάγραμμα 4.13.** Αντοχή συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Σούδας και ιπ.τέφρας Πτολεμαΐδας



**Διάγραμμα 4.14.** Αντοχή συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Σούδας και Νοσοκομειακά Απόβλητα

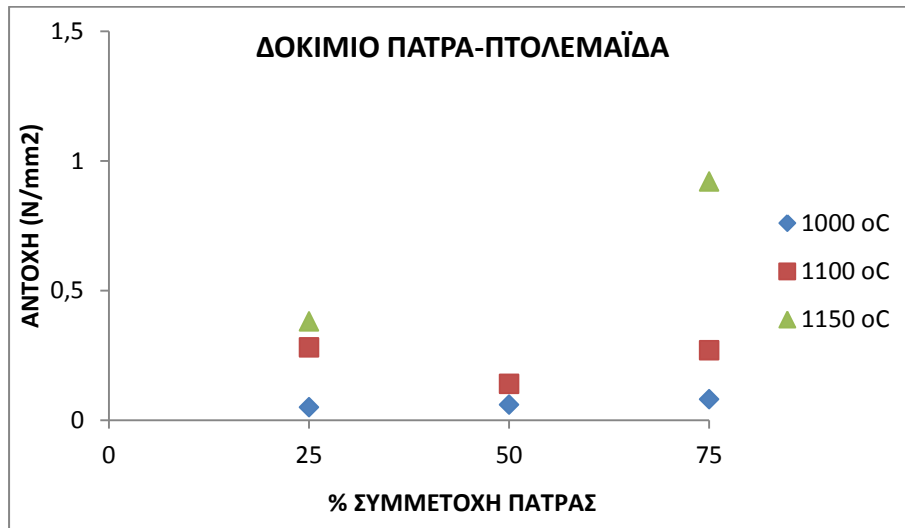


**Διάγραμμα 4.15.** Αντοχή συναρτήσεως της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Σούδας και ιπ.τέφρας Μεγαλόπολης

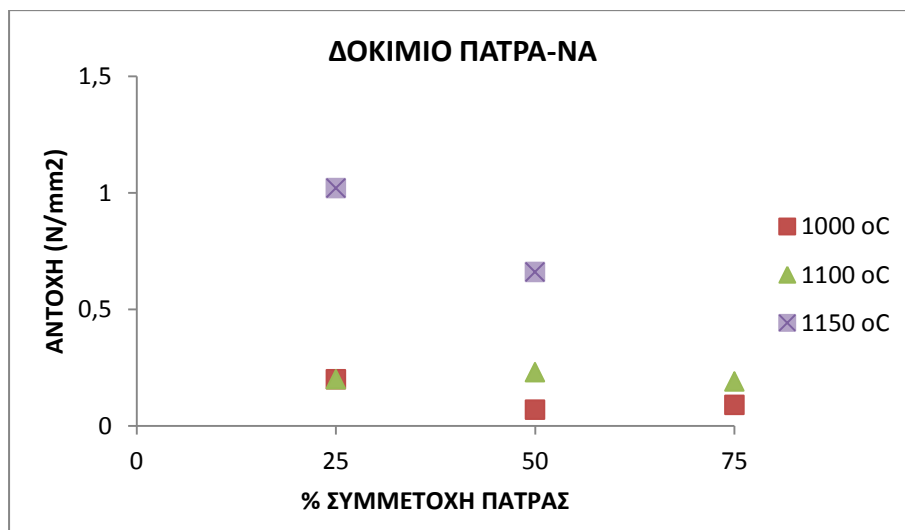
**Πίνακας 4.4.** Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων κεραμικών από θαλάσσιο ίζημα Πάτρας

A/A	Δύναμη (N)	Αντοχή (MPa)	Δύναμη (N)	Αντοχή (MPa)	Δύναμη (N)	Αντοχή (MPa)
	1000 °C		1100 °C		1150 °C	
25%ΠΑΤΡΑ-75%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	7	0,05	38	0,28	44	0,38
50% ΠΑΤΡΑ -50%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	13	0,06	24	0,14	220	1.79
75% ΠΑΤΡΑ -25%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	11,5	0,08	39	0,27	127	0,92
25% ΠΑΤΡΑ -75%ΝΑ	27	0,20	28	0,20	114	1,02
50% ΠΑΤΡΑ -50%ΝΑ	8,5	0,07	34	0,23	85	0,66
75% ΠΑΤΡΑ -25%ΝΑ	15	0,09	30	0,19	240	1.76
25% ΠΑΤΡΑ -75%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	36,5	0,22	75	0,49	133	1,08
50% ΠΑΤΡΑ 50%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	19	0,12	100	0,66	220	1,87
75% ΠΑΤΡΑ 25%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	12	0,09	70	0,48	240	<b>1,92</b>
ΠΑΤΡΑ					139	1,08

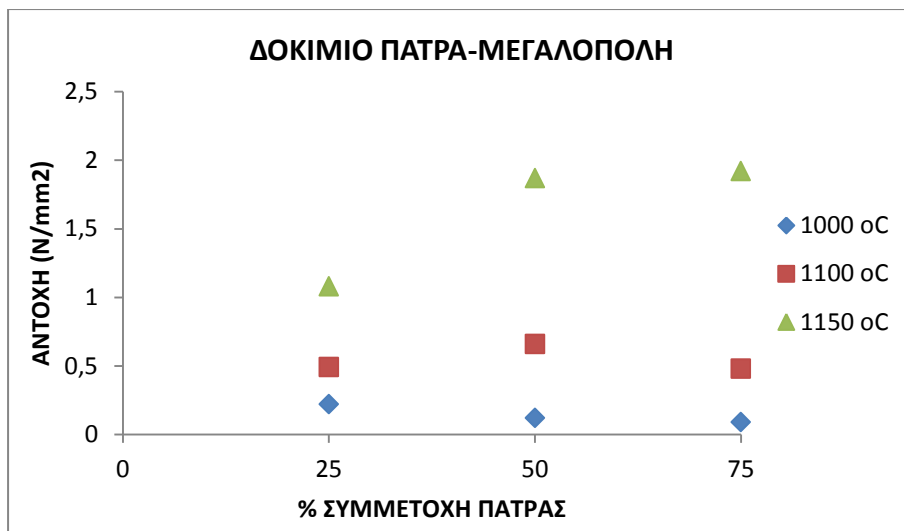
Αναλυτικότερα τα αποτελέσματα της αντοχής των δοκιμών με βάση ιζήματος Πάτρας φαίνονται στα Διαγράμματα 4.16 - 4.18.



**Διάγραμμα 4.16.** Αντοχή συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Πάτρας και ιπ.τέφρας Πτολεμαΐδας



**Διάγραμμα 4.17.** Αντοχή συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Πάτρας και Νοσοκομειακά Απόβλητα



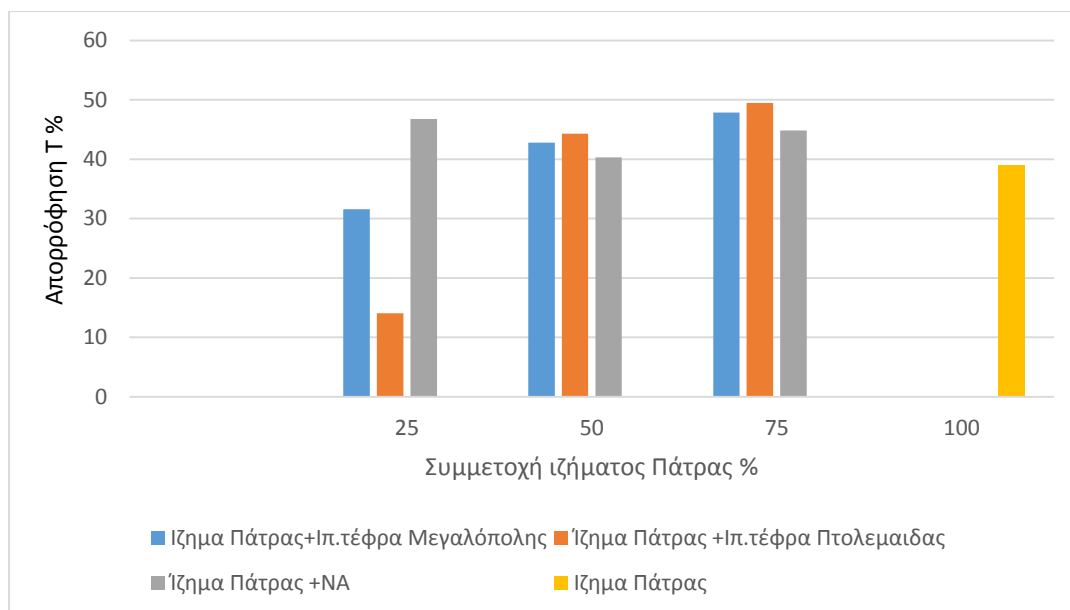
**Διάγραμμα 4.18.** Αντοχή συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα δοκίμια που προκύπτουν από ανάμιξη ιζήματος Πάτρας και ιπ.τέφρας Μεγαλόπολης

Όπως παρατηρήθηκε και στα αποτελέσματα του πορώδους τα κεραμικά που προέρχονται από προσθήκη ιζήματος Σούδας παρουσιάζουν σχετικά μικρότερες αντοχές λόγω του μεγαλύτερου πορώδους. Μεγαλύτερη αντοχή παρουσιάζουν οι αναμίξεις με προσθήκη ιπτάμενης τέφρας Μεγαλόπολης με τιμές που προσεγγίζουν τα 1,84 MPa. Σε γενικές γραμμές σε θερμοκρασίες κάτω των 1150 °C οι τιμές της αντοχής είναι σε όλες τις περιπτώσεις ιδιαίτερα χαμηλές, πιθανόν λόγω μη ολοκλήρωσης της πυροσυσσωμάτωσης.

Τα ιζήματα της Πάτρας παρουσιάζουν αντοχές που κυμαίνονται μεταξύ 0,38 MPa και 1,92 MPa για τα δοκίμια που έχουν πυροσυσσωματωθεί στους 1150 °C. Οι μεγαλύτερες τιμές της αντοχής παρουσιάζονται στα δοκίμια με συμμετοχή ιπτάμενης τέφρας Μεγαλόπολης. Η συμμετοχή της τέφρας Μεγαλόπολης ευνοεί την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων λόγω του αυξημένου ποσοστού  $Al_2O_3$  που περιέχει.

#### 4.4 Θερμική Αγωγιμότητα

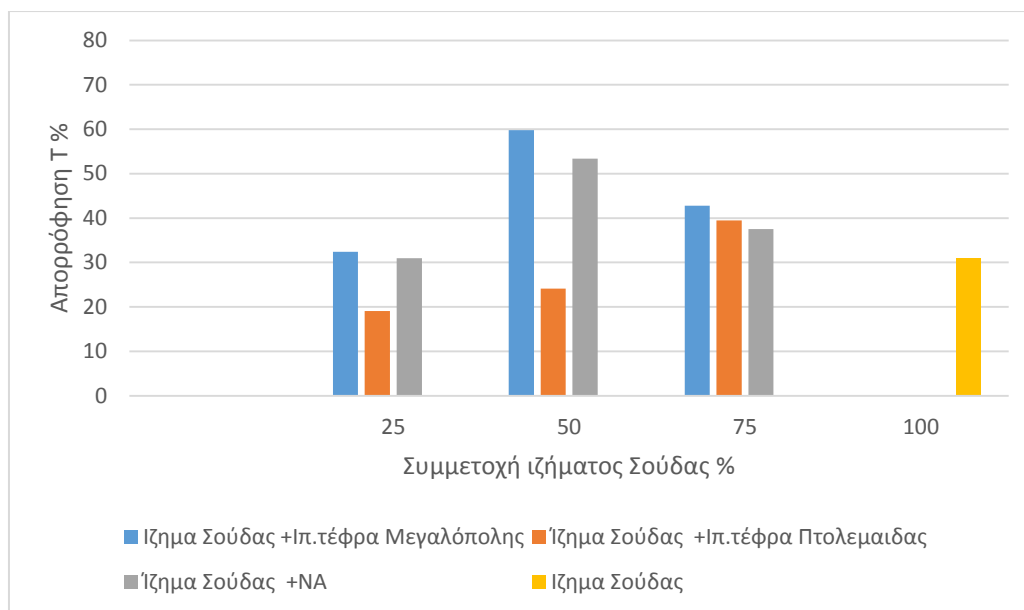
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των δοκιμών παρουσιάζονται αναλυτικά στα διαγράμματα που ακολουθούν. Για τη καταγραφή της θερμοκρασίας επιλέχθηκαν τα δοκίμια που έχουν ψηθεί στους 1150 °C δεδομένου ότι παρουσιάζουν καλύτερες αντοχές.



**Διάγραμμα 4.19.** % Απορρόφηση θερμότητας κατά τη δοκιμή θερμομονωτικής ικανότητας δοκιμίων με βάση ίζημα Πάτρας

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 4.19. προκύπτει ότι τα δοκίμια με βάση το ίζημα της Πάτρας γενικά κατακρατούν τη θερμότητα σε ένα ποσοτό μεταξύ 16%-48% όταν εκτεθούν σε θερμοκρασίες της τάξεως των  $200 \pm 20$  °C. Τα μεγαλύτερα ποσοστά απορρόφησης της θερμότητας παρατηρούνται στα κεραμικά που περιέχουν ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 31-47%. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αύξηση του ποσοστού συμμετοχής ιζήματος οδηγεί στην παρασκευή δοκιμίων με μεγαλύτερη θερμομονωτική ικανότητα για τα περισσότερα υλικά. Η ελάχιστη και η μέγιστη απορρόφησης θερμότητας παρατηρήθηκε στα δοκίμια 25% ΠΑΤΡΑ-75% ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ και 75% ΠΑΤΡΑ-25% ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ, με τιμές απορρόφησης 14,06% και 49,45%, αντίστοιχα.





**Διάγραμμα 4.20.** % Απορρόφηση θερμότητας κατά τη δοκιμή θερμομονωτικής ικανότητας δοκιμών με βάση ίζημα Σούδας

Επίσης από τα αποτελέσματα για τα δοκίμια με θαλάσσιο ίζημα Σούδας εμφανίζουν αντίστοιχη συμπεριφορά και στη συγκεκριμένη περίπτωση η τέφρα Μεγαλόπολης παρουσιάζει τα μεγαλύτερα ποσοστά μεταξύ 32%-59%. Η ελάχιστη και η μέγιστη απορρόφηση θερμότητας παρατηρήθηκε στα δοκίμια 25%ΣΟΥΔΑ - 75%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ και 50%ΣΟΥΔΑ - 50%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ, με τιμές απορρόφησης 19,6% και 59,81%, αντίστοιχα.

#### 4.5 Αποτελέσματα Ανθεκτικότητας στη Διάβρωση

Τα αποτελέσματα της ανθεκτικότητας των δοκιμών στη διάβρωση παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5. Αναλυτικά για κάθε τύπο ιζήματος τα δοκίμια δε φαίνεται να παρουσίασαν οπτικά τουλάχιστον εξαλλοιώσεις και ρωγματώσεις.

**Πίνακας 4.5.** Απώλεια μάζας δοκιμίων μετά την εμβάπτιση τους σε νερό και Οξύ

Α/Α		ΑΠΩΛΕΙΣ (%)			
		ΝΕΡΟ(g)	ΟΞΥ(g)	ΝΕΡΟ	ΟΞΥ
<b>75%ΠΑΤΡΑ-25%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ</b>	1η ΗΜΕΡΑ (ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ)	20,5027	19,9564		
	3η ΗΜΕΡΑ	26,9354	26,2142	31,37	31,36
	8η ΗΜΕΡΑ	26,6366	26,4681	9,92	32,63
	15η ΗΜΕΡΑ	27,4831	26,4695	34,04	32,64
<b>50%ΠΑΤΡΑ-50%ΝΑ</b>		<b>ΝΕΡΟ(g)</b>	<b>ΟΞΥ(g)</b>	<b>ΝΕΡΟ</b>	<b>ΟΞΥ</b>
	1η ΗΜΕΡΑ (ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ)	23,5808	17,6521		
	3η ΗΜΕΡΑ	25,5274	22,0053	8,26	4,66
	8η ΗΜΕΡΑ	24,9229	22,0838	5,69	25,11
	15η ΗΜΕΡΑ	25,5875	22,2323	8,51	25,95
<b>75%ΠΑΤΡΑ25%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ</b>		<b>ΝΕΡΟ(g)</b>	<b>ΟΞΥ(g)</b>	<b>ΝΕΡΟ</b>	<b>ΟΞΥ</b>
	1η ΗΜΕΡΑ (ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ)	20,137	22,463		
	3η ΗΜΕΡΑ	21,9274	27,0369	8,89	20,37
	8η ΗΜΕΡΑ	21,1157	26,9321	4,86	19,90
	15η ΗΜΕΡΑ	22,0279	26,5486	9,39	18,19
<b>100%ΠΑΤΡΑ</b>		<b>ΝΕΡΟ(g)</b>	<b>ΟΞΥ(g)</b>	<b>ΝΕΡΟ</b>	<b>ΟΞΥ</b>
	1η ΗΜΕΡΑ (ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ)	22,604	11,6119		
	3η ΗΜΕΡΑ	25,484	14,9187	12,74	28,48
	8η ΗΜΕΡΑ	25,1698	15,0229	11,35	29,38
	15η ΗΜΕΡΑ	25,4123	15,0683	12,42	29,77
<b>50%ΣΟΥΔΑ-50%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ</b>		<b>ΝΕΡΟ(g)</b>	<b>ΟΞΥ(g)</b>	<b>ΝΕΡΟ</b>	<b>ΟΞΥ</b>
	1η ΗΜΕΡΑ (ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ)	26,7554	19,6791		
	3η ΗΜΕΡΑ	28,2884	27,6856	5,73	40,69
	8η ΗΜΕΡΑ	28,563	28,1598	6,76	43,09
	15η ΗΜΕΡΑ	28,6651	28,1535	7,14	43,06
<b>25%ΣΟΥΔΑ-75%ΝΑ</b>		<b>ΝΕΡΟ(g)</b>	<b>ΟΞΥ(g)</b>	<b>ΝΕΡΟ</b>	<b>ΟΞΥ</b>
	1η ΗΜΕΡΑ (ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ)	19,9125	11,7233		
	3η ΗΜΕΡΑ	21,4287	14,9448	7,61	27,48
	8η ΗΜΕΡΑ	21,5741	15,0491	8,34	28,36
	15η ΗΜΕΡΑ	21,7133	15,0766	9,04	28,60
<b>50%ΣΟΥΔΑ-50%ΝΑ</b>		<b>ΝΕΡΟ(g)</b>	<b>ΟΞΥ(g)</b>	<b>ΝΕΡΟ</b>	<b>ΟΞΥ</b>
	1η ΗΜΕΡΑ (ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ)	20,6634	18,5263		
	3η ΗΜΕΡΑ	22,1818	23,8538	7,35	28,76
	8η ΗΜΕΡΑ	22,1829	24,1029	7,35	30,10
	15η ΗΜΕΡΑ	22,3403	24,1119	8,12	30,15
	8η ΗΜΕΡΑ	24,7967	28,4512	8,09	38,22
	15η ΗΜΕΡΑ	25,2754	28,7013	10,17	39,44
<b>100%ΣΟΥΔΑ</b>		<b>ΝΕΡΟ(g)</b>	<b>ΟΞΥ(g)</b>	<b>ΝΕΡΟ</b>	<b>ΟΞΥ</b>
	1η ΗΜΕΡΑ (ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ)	16,3255	15,9258		
	3η ΗΜΕΡΑ	23,0142	23,5771	40,97	48,04
	8η ΗΜΕΡΑ	23,0804	23,9751	41,38	50,54
	15η ΗΜΕΡΑ	23,0971	23,9331	41,49	50,28
<b>50%ΣΟΥΔΑ-50%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ</b>		<b>ΝΕΡΟ(g)</b>	<b>ΟΞΥ(g)</b>	<b>ΝΕΡΟ</b>	<b>ΟΞΥ</b>
	1η ΗΜΕΡΑ (ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ)	18,4562	28,8011		
	3η ΗΜΕΡΑ	20,3144	30,7589	10,07	6,80
	8η ΗΜΕΡΑ	19,8602	30,9674	7,61	7,52
	15η ΗΜΕΡΑ	20,2318	30,846	9,62	7,10

Οι μεταβολές στο βάρος για τα δοκίμια της Πάτρας αλλά και της Σούδας φαίνεται ότι εξαρτώνται από το πορώδες και για τα δύο μέσα εμβάπτισης που χρησιμοποιήθηκαν. Όσον αφορά το νερό τα δοκίμια της Πάτρας που παρουσιάζουν και μικρότερο πορώδες παρουσιάζουν μικρότερες απώλειες βάρους μεταξύ 4,86-34%. Οι ακραίες τιμές παρουσιάζονταν όπως ήταν αναμενόμενο και από τα αποτελέσματα του πορώδους και της αντοχής στα δοκίμια της Πτολεμαΐδας (μεγαλύτερο πορώδες) και της Μεγαλόπολης (μικρό πορώδες). Αντίστοιχα παρατηρούμε ότι η αύξηση του χρόνου παραμονής οδηγεί σε μικρές μεταβολές του βάρους των δοκιμίων. Τα δοκίμια της Σούδας παρουσιάζουν απώλειες βάρους μεταξύ 7,61% όταν αποτελούνται με τέφρα Μεγαλόπολης και έως 50% για τα δοκίμια μόνο από Σούδα. Τα αποτελέσματα για το γαστρικό οξύ υποδηλώνουν μεγαλύτερες απώλειες έναντι του νερού σε όλα τα δοκίμια. Η αύξηση του χρόνου παραμονής και σε αυτή την περίπτωση δε φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την ανθεκτικότητα των δοκιμίων. Τα δοκίμια της Πάτρας παρουσιάζουν τις ελάχιστες και μέγιστες απώλειες βάρους για τα δοκίμια 50% ΠΑΤΡΑ-50% ΝΑ και 75% ΠΑΤΡΑ-25% ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ, με τιμές 5,69 και 32,64% αντίστοιχα..

Η μεταβολή της αντοχής σε κάμψη των δοκιμίων μετά από εμβάπτισή τους σε οξέα και απιονισμένο νερό για 15 ημέρες συγκριτικά με την τιμή της αντοχής των αρχικών δοκιμίων παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.6 που ακολουθεί. Αναλυτικότερα τα αποτελέσματα της δοκιμής παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

**Πίνακας 4.6.** Μεταβολή αντοχής σε κάμψη για επιλεγμένα δοκίμια από θαλάσσια ιζήματα Πάτρας και Σούδας μετά από την δοκιμή εμβάπτισης σε απιονισμένο νερό και οξέα

A/A	ΑΝΤΟΧΗ αρχική (Mpa)	ΑΝΤΟΧΗ τελική (Mpa)	Μεταβολή %
50%ΣΟΥΔΑ-50%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ (ΟΞΥ)	1.95	1,86	5
75%ΠΑΤΡΑ-25%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ (ΟΞΥ)	1,94	1.92	1.03
100%ΣΟΥΔΑ (ΟΞΥ)	0,70	0-,16	77.14
50%ΣΟΥΔΑ-50%ΝΑ (ΟΞΥ)	0,91	0,76	16.48
50%ΠΑΤΡΑ-50%ΝΑ (ΟΞΥ)	0.92	0,66	39.39
75%ΠΑΤΡΑ-25%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (ΟΞΥ)	1,88	0,92	51.06
50%ΠΑΤΡΑ-50%ΝΑ (ΝΕΡΟ)	1,99	0,66	66.83
75%ΠΑΤΡΑ-25%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (ΝΕΡΟ)	1,85	0,92	50.27
100%ΠΑΤΡΑ (ΝΕΡΟ)	1,84	1.08	41.30
50%ΣΟΥΔΑ-50%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (ΝΕΡΟ)	0.40	0,22	45
50%ΣΟΥΔΑ-50%ΠΑΤΡΑ (ΝΕΡΟ)	-		-
100%ΣΟΥΔΑ (ΝΕΡΟ)	0,81	0,16	80.27

Η επίδραση της δοκιμής εμβάπτισης σε νερό και οξύ φαίνεται ότι επηρεάζει αρνητικά τις αντοχές όπου σε πολλές περιπτώσεις μειώνονται κατά 80%, όπως στα δοκίμια που αποτελούνται μόνο από θαλάσσια ιζήματα. Μικρότερη μεταβολή παρουσιάζει το δοκίμιο με 50% ΣΟΥΔΑ-50% ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ της τάξεως του 5%. Η τιμή αυτή συμφωνεί και με τα αποτελέσματα των πειραμάτων που έχουν προηγηθεί και σχετίζεται με τη σύσταση της ιπτάμενης τέφρας.

**Πίνακας 4.7.** Μεταβολές της αντοχής σε κάμψη των δοκιμίων μετά από τους κύκλους ψύξης θέρμανσης

A/A	ΑΝΤΟΧΗ (MPa)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ (%)
50%ΣΟΥΔΑ-50%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	1.84	-
75%ΣΟΥΔΑ-25%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	0,41—0,92	55%
25%ΣΟΥΔΑ-75%ΝΑ	0.44	27%
50%ΣΟΥΔΑ-50%ΝΑ	0.74	3%
75%ΣΟΥΔΑ-Α25%ΝΑ	0,61-0,48	21%
25%ΣΟΥΔΑ-75%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	1,70-0,79	54%
25%ΣΟΥΔΑ-75% ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	0,65--0,79	18%
50%ΣΟΥΔΑ-50% ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	1,95-2,28	14%
75%ΣΟΥΔΑ-25% ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	1,09-1,76	38%
25%ΠΑΤΡΑ-75%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	0,30—0,38	21%
50%ΠΑΤΡΑ-50%ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	0.84	53%
50%ΠΑΤΡΑ-50% ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	1,74—1,87	7%
50%ΠΑΤΡΑ-50%ΝΑ	0,79-0,66	16%
75%ΠΑΤΡΑ-25%ΝΑ	0.77	56%
25%ΠΑΤΡΑ-75% ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	0,61	77%
75%ΠΑΤΡΑ-25% ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	-	54%
50%ΠΑΤΡΑ-50%ΣΟΥΔΑ	0,43	-

Η αντοχή σε κάμψη των δοκιμίων μετά τους κύκλους ψύξης θέρμανσης επηρεάζεται σε μικρότερο βαθμό όπως παρατηρείται και από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.7. Τα δοκίμια με τις μικρότερες απώλειες είναι αυτά που περιέχουν 50% ΣΟΥΔΑ-50% ΝΑ (3%) και 50% ΠΑΤΡΑ-50% ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ (7%). Σε όλες τις περιπτώσεις οι κύκλοι ψύξης - θέρμανσης δε φαίνεται να καταπονούν ιδιαίτερα τα κεραμικά γεγονός που τα καθιστά ικανά να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές που απαιτούνται αντοχές σε διάβρωση όπως τα δομικά υλικά, ενισχυτικά κονιαμάτων, πλακίδια.

#### 4.6 Αποτελέσματα Δοκιμής TCLP

Η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στο εκχύλισμα που προέκυψε από τη δοκιμή TCLP, αξιολογήθηκε με βάση τα όρια τοξικότητας που ορίζονται από την Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των Η.Π.Α. (Πίνακας 4.8.). Για τα μέταλλα για τα οποία υπάρχουν όρια, προκύπτει ότι η συγκέντρωση του Cr

στο εκχύλισμα των ιζημάτων Σούδας και Πάτρας είναι σημαντικά μικρότερη από το όριο τοξικότητας, ενώ η συγκέντρωση του Pb είναι περίπου 3 φορές υψηλότερη στα ιζήματα Σούδας και ελαφρώς μικρότερη στα ιζήματα Πάτρας, από το όριο τοξικότητας κατά USEPA. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι η παρασκευή των κεραμικών οδήγησε σε μείωση των τιμών σε όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν.

**Πίνακας 4.8.** Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων (mg/L) στο εκχύλισμα της δοκιμής TCLP και όρια τοξικότητας κατά USEPA

mg/L	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
TCLP ιζημάτων Σούδας	4.0	1.0	0.8	6.1	15.4	8.8
TCLP ιζημάτων Πάτρας	4.1	0.6	0.2	2.4	4.8	5.4
TCLP NA	12.56					
TCLP Μεγαλόπολη						
TCLP 50% Πάτρα-50% Μεγαλόπολη				2.14		3.22
TCLP 50% Πάτρα-50% NA				1.3		7.15
TCLP 50 %Σούδα -50% Μεγαλόπολη		0.77		2.18		3.91
Όρια τοξικότητας	-	5	-	-	5	-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκαν κεραμικά υλικά χρησιμοποιώντας ως πρώτες ύλες θαλάσσια ιζήματα και παραπροϊόντα, όπως η ιπτάμενη τέφρα και η τέφρα Νοσοκομειακών Αποβλήτων. Απώτερο σκοπό αποτέλεσε η δυνατότητα παρασκευής υλικών με σημαντικές ιδιότητες, ικανών να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπως τα δομικά υλικά, τα φίλτρα, θερμομονωτικά υλικά. Με βάση τη σύσταση και τα χαρακτηριστικά των αρχικών πρώτων υλών σχεδιάστηκαν οι κατάλληλες αναμίξεις με σκοπό τη δημιουργία κεραμικών με ελεγχόμενες ιδιότητες όπως μεγάλο πορώδες, ικανοποιητικές αντοχές, αντοχή στη διάβρωση. Παράλληλα σημαντική παράμετρο για το σχεδιασμό των πειραμάτων αποτέλεσε και η εξοικονόμηση ενέργειας και η δημιουργία φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων. Για το σκοπό αυτό οι τελικές θερμοκρασίες έψησης αλλά και οι χρόνοι παραμονής σε αυτές ήταν οι μικρότερες δυνατές.

Από τα αποτελέσματα διαφάνηκε μια άμεση συσχέτιση των ιδιοτήτων (ανοιχτό πορώδες, φαινόμενη πυκνότητα, αντοχή σε οξείδωση, μηχανικές ιδιότητες) με την αρχική σύσταση της μάζας. Σε γενικές γραμμές όλα τα δοκίμια παρουσιάζουν μεγάλες τιμές πορώδους έως και 50 % που τα καθιστά ικανά για τη χρήση τους ως φίλτρα. Οι μηχανικές αντοχές δεν είναι σημαντικά υψηλές αλλά παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη ιπτάμενης τέφρας βελτιώνει σημαντικά τις τιμές.

Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι τα κεραμικά δοκίμια παρουσιάζουν ικανοποιητική συμπεριφορά κατά τις δοκιμές ανθεκτικότητας σε νερό αλλά και στους κύκλους ψύξης--θέρμανσης χωρίς να παρατηρούνται οπτικά αλλοιώσεις και ρηγματώσεις στα δοκίμια. Αντίστοιχα όμως η προσθήκη οξέος μειώνει αισθητά την αντοχή.

- Την μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη, **1,92 N/mm<sup>2</sup>**, παρουσίασε το δοκίμιο με σύσταση 75% ΠΑΤΡΑ-25% ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ και το οποίο ψήθηκε στους 1150 °C.
- Την μεγαλύτερη πυκνότητα, **1,79 g/cm<sup>3</sup>**, παρουσίασε το δοκίμιο με σύσταση 25% ΠΑΤΡΑ-75% ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ και το οποίο ψήθηκε στους 1150 °C.
- Το μικρότερο πορώδες, **26,96 %** παρουσίασε το δοκίμιο με σύσταση 75% ΠΑΤΡΑ-25% ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ στους 1150° C ενώ το μεγαλύτερο πορώδες, **64,69 %**, παρουσίασε το δοκίμιο με σύσταση 100% ίζημα Σούδας και το οποίο ψήθηκε στους 1150 °C.

Παρατηρείται επίσης ότι το δοκίμιο με τη μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη, 1,92 N/mm<sup>2</sup>, είχε καλή πυκνότητα 1,7 g/cm<sup>3</sup> καθιστώντας αυτό το δοκίμιο ως βέλτιστο σε σχέση με αντοχή σε κάμψη και πυκνότητα. Η σύσταση του δοκιμίου αυτού ήταν 75% ΠΑΤΡΑ-25% ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ. Βέβαια το δείγμα αυτό παρουσίασε μέτρια προς μεγάλη απορρόφηση θερμότητας 45,44 % που το καθιστά δύσκολο ως υλικό σε περίπτωση που είναι επιθυμητή και η θερμομονωτική ιδιότητα του τελικού υλικού.

Σε επόμενες εργασίες / μελέτες και με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας καλό θα ήταν να γίνουν δοκιμές με τη χρήση διαφορετικών πρώτων υλών που θα βελτιώνουν την αντοχή των παραγόμενων δοκιμίων. Επίσης, θα μπορούσαν να επιλεγούν ενδιάμεσες % w/w περιεκτικότητες δοκιμίων π.χ. 37%, 62%, 87% καθώς και μικρότερα βήματα διαφοροποίησης της θερμοκρασίας έψησης.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ελληνική**

1. Αναμουρλή Μ.Α. (2014). “Προηγμένα κεραμικά υλικά – Τεχνολογικές εφαρμογές τους”, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανολογίας, Τεχνολογικό Ίδρυμα Κρήτης.
2. Ζαχαρίας Ι., Κουτσικόπουλος Κ., Παπαθεοδώρου Γ., Φερεντίνος Γ. (2004). “Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση - Το θαλάσσιο περιβάλλον ως αποδέκτης αποβλήτων”, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
3. Ίσκος Σ.(2000). “ Ιπτάμενη τέφρα - Οι δύο όψεις - Βιομηχανικό απόβλητο ή παραπροϊόν”, Πτολεμαΐδα.
4. Καραμούτσου Μ. (2007). “Διαχείριση Νοσοκομειακών αποβλήτων – Επιλογή βέλτιστης τεχνολογίας και εκτίμηση κόστους διαχείρισης για τον νομό Θεσσαλονίκης”, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.
5. Κρητικάκη Α. (2008). “Πορώδη κεραμικά φίλτρα για περιβαλλοντικές εφαρμογές”, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.
6. Κρητικάκη Α., Κομνίτσας Κ. (2014). “Σημειώσεις Κεραμικών (Τμήμα της διδακτέας ύλης του μαθήματος Μεταλλουργικές Διεργασίες)”, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
7. Παντελής Δ. (1996). “Μη Μεταλλικά Τεχνικά Υλικά”, Παπασωτηρίου.
8. Σισκάκης Ε. (2000). “Κεραμικά”, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
9. Τσετσέκου Α. (2004). “Σημειώσεις του μαθήματος Κεραμικά Υλικά”, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
10. Φαλέγκας Σ. (2014). “Διερεύνηση παραμέτρων που επιδρούν στη σύνθεση γεωπολυμερών από ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας”, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.

### **Ξενόγλωσση**

1. Aineto M., Acosta A., Rincón J., Romero M. (2015). "Production of Lightweight Aggregates from Coal Gasification Fly Ash and Slag", WOCA, USA.

2. Bakopoulos S., Kungolos A. Aravossis K. (2005). " Medical Waste Management In Greece: The Case Of Thessaly Region", Sustainable Development and Planning II, 1, 565-574.
3. Davison R., Natusch D., Wallace J., Evans Jr. C. (1974). "Trace elements in fly ash dependence of concentration on particle size", Environmental Science and Technology 8, 1107-1113.
4. Dean, W.E. Leinen, M., and Stow, D.A.V. (1985). "Classification of deep sea, fine grained sediments", Journal of Sedimentary Petrology, 55, 250-256.
5. Ewing, M., Carpenter, G., Windisch C. (1973). "Sediment distribution in the oceans: The Atlantic", Geological Society of America Bulletin, 84, 71-88.
6. Hsieh H. (1996). " Inorganic Membranes for Separation and Reaction", Amsterdam, Elsevier.
7. Hwang C., Bui L., Lin K., Lo C.(2012)."Manufacture and performance of lightweight aggregate from municipal solid waste incinerator fly ash and reservoir sediment for self-consolidating Lightweight concrete", Cement & Concrete Composites, 34, 1159–1166.
8. Kerdsuwan, S. (2000). "Case study of using hospital waste incinerator in Thailand", In: 93rd Annual Meeting and Exhibition, Air & Waste management. Assoc., Paper No. 00-107, Salt Lake City, UT, 18–22 June.
9. Komnitsas K., Pylotis i., Zaharaki D., Manoutsoglou E. (2015). " Using Various Guidelines and Approaches for the Assessment of Marine Sediment Quality", Environmental Forensics, 16, 109-116.
10. Kostakis G. (2009). "Characterization of the fly ashes from the lignite burning power plants of northern Greece based on their quantitative mineralogical composition", J. Hazard Mater, 166, 972-977.
11. Liao Y., Huang C. (2011). " Effects of CaO addition on lightweight aggregates produced From water reservoir sediment", Construction and Building Materials, 25, 2997–3002.
12. Moreno N., Querol X., Andres J.M., Stanton K., Towler M., Nugteren H., Janssen-Jurkovicova M., Jones R. (2005). " Physico-chemical characteristics of European pulverized coal combustion fly ashes", Fuel 84, 1351-1363.
13. Nayef A., Mohammad T., Abdul-Lateef A. (2004). " Effect of recycling hospital ash on the compressive properties of concrete: statistical

- assessment and predicting model”, *Building and Environment*, 39(5), 557–566.
14. Papayianni I., Tsiknakou Y., Steganakos J., Tsimas S., Spanos H. (1996). “Use of Treated Greek Fly Ash in Roller Compacted Concrete”, *Proceedings of the 12th Hellenic Symposium on Concrete*, TEE, Lemessos, p.125.
  15. Piezoelectric ceramics for transducers, *Materials and Design for Sensors, Ultrasonic Transducers Actuators and Medical Applications A volume in Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical* 2014, *Materials* 2012, 70–116.
  16. Qi Y., YueQ, Han S., Yue M., Gao B. Yu H., Shao T. (2010). “Preparation and mechanism of ultra-light weight ceramics produced from sewage sludge”, *Journal of Hazardous Materials* 176, 76–84.
  17. Rickard W., Williams R., Temuujin J., Van Riessen A. (2011). “Assessing the suitability of three Australian fly ashes as an aluminosilicate source for geopolymers in high temperature applications”, *Mater Sci Eng., A*, 528, 3390-3397.
  18. Tsimas S., Papadakis V., Antioxos S. (2000). “Study and upgrade of Supplementary Materials for Cement and Concrete”, *Proceedings of the International Conference on Cement and Concrete Technology in the 2000s*, Istanbul 1, p.19.
  19. Twardowska I., Stefaniak S. (2006).” Coal and coalcombustion products: pprospects for future and environmental issues. In: “Coal Combustion Byproducts and Environmnetal Issues”, Ed. K.Sajwan et al., Springer Inc., New York, NY, 13-20.
  20. U.S. EPA. (1990). “ Citizen's Guide To Ground-Water Protection: Office of Water”, EPA 440/6-90-004, 33.
  21. Vassilev S. , Vassileva C. (1996). “Mineralogy of combustion wastes from coal-fired power stations”, *Fuel Processing Technology* 48, 85-106.
  22. Vassilev S., Menendez R., Alvarez D., Diaz-Somoano M., Martinez-Tarazona M. (2003). “Phase-mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. 1. Characterization of feed coals and fly ashes”, *Fuel* 82, 1793-1811.
  23. Vassilev S. , Vassileva C. (2005). “Methods for characterization of composition of fly ashes from coal-fired power stations: A critical overview”, *Energy and Fuels* 19, 1084-1098.

24. Zeidler S., Puhlfürß P., Kätzela U., Voigt I. (2014). "Preparation and characterization of new low MWCO ceramic nanofiltration membranes for organic solvents," Journal of Membrane Science, 470, 421–430.

#### Διαδύκτιο

1. [www.aqualex.org](http://www.aqualex.org)
2. <http://www.prosodol.gr/sites/prosodol.gr/files/4th%20G.e..pdf>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### 1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΟΡΩΔΟΥΣ

#### 1) Θαλάσσιο ίζημα Σούδας

Α/Α	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (g)	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΟ ΝΕΡΟ (g)	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕΤΑ ΤΟ ΝΕΡΟ (g)	ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm <sup>3</sup> )	ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟ- ΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (%)
25%ΣΟΥΔ-75%ΠΤΟΛ	52,10364337	1,280103249	40,59277055	52,10	1,28	40,59
50%ΣΟΥΔ-50%ΠΤΟΛ	51,01319386	1,229514744	41,37846495	51,01	1,23	41,38
75%ΣΟΥΔ-25%ΠΤΟΛ	52,85433071	1,15799362	45,51976513	52,85	1,16	45,52
25%ΣΟΥΔ-75%ΗΩ	40,84002182	1,44827898	28,12285058	40,84	1,45	28,12
50%ΣΟΥΔ-50%ΗΩ	40,8321456	1,443214564	28,65424426	44,65	1,39	28,12
75%ΣΟΥΔ-25%ΗΩ	47,78901181	1,226024474	38,87357765	47,79	1,23	38,87
25%ΣΟΥΔ-75%ΜΕΓ	49,29529407	1,211872543	40,56711443	49,30	1,21	40,57
50%ΣΟΥΔ-50%ΜΕΓ	49,35651246	1,236457863	40,63123678	50,15	1,17	42,24
75%ΣΟΥΔ-25%ΜΕΓ	50,7171393	1,149013907	44,02050956	50,72	1,15	44,02

**Πίνακας 4.2.1.** Αποτελέσματα στους 950 °C

<b>A/A</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (g)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΟ ΝΕΡΟ (g)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕΤΑ ΤΟ ΝΕΡΟ (g)</b>	<b>ΠΟΡΩΔΕΣ (%)</b>	<b>ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟ- ΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (%)</b>
75%ΣΟΥΔ-25%ΠΤΟΛ	52,85433071	1,15799362	45,51976513	52,85	1,16	45,52
75%ΣΟΥΔ-25%ΜΕΓ	50,7171393	1,149013907	44,02050956	50,72	1,15	44,02
25%ΣΟΥΔ-75%ΜΕΓ	49,29529407	1,211872543	40,56711443	49,30	1,21	40,57
75%ΠΑΤΡ-25%ΗΩ	41,25779052	1,404655313	29,29286172	41,26	1,40	29,29
25%ΠΑΤΡ-75%ΜΕΓ	46,08069385	1,232035521	37,30107789	46,08	1,23	37,30
25%ΠΑΤΡ-75%ΗΩ	43,54423833	1,456065142	29,82465953	43,54	1,46	29,82
25%ΣΟΥΔ-75%ΗΩ	40,84002182	1,44827898	28,12285058	40,84	1,45	28,12
75%ΣΟΥΔ-25%ΗΩ	47,78901181	1,226024474	38,87357765	47,79	1,23	38,87
50%ΣΟΥΔ-50%ΠΤΟΛ	51,01319386	1,229514744	41,37846495	51,01	1,23	41,38
25%ΣΟΥΔ-75%ΠΤΟΛ	52,10364337	1,280103249	40,59277055	52,10	1,28	40,59
25%ΠΑΤΡ-75%ΠΤΟΛ	49,12793403	1,364703648	35,90176088	49,13	1,36	35,90

**Πίνακας 4.2.2.** Αποτελέσματα στους 1000 °C

<b>A/A</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (g)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΟ ΝΕΡΟ (gg)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕΤΑ ΤΟ ΝΕΡΟ (g)</b>	<b>ΠΟΡΩΔΕΣ (%)</b>	<b>ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟ- ΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (%)</b>
25%ΣΟΥΔ-75%ΠΤΟΛ	19,8708	12,5131	28,4514	53,84	1,24	43,18
75%ΣΟΥΔ-25%ΠΤΟΛ	16,6965	10,066	25,9168	58,17	1,05	55,22
25%ΣΟΥΔ-75%ΗΩ	17,9069	11,4658	24,9671	52,29	1,32	39,43
75%ΣΟΥΔ-25%ΜΕΓ	19,1237	10,7219	27,9155	51,13	1,11	45,97
25%ΠΑΤΡ-75%ΗΩ	20,8058	12,7132	27,4122	44,94	1,41	31,75
75%ΣΟΥΔ-25%ΗΩ	16,403	9,6985	24,2281	53,86	1,13	47,71

25%ΣΟΥΔ-75%ΜΕΓ	13,578	7,9716	19,5599	51,62	1,17	44,06
75%ΠΑΤΡ-25%ΗΩ	18,1042	10,4297	23,8844	42,96	1,34	31,93
50%ΣΟΥΔ-50%ΠΤΟΛ	20,6585	12,5656	30,3625	54,53	1,16	46,97
50%ΣΟΥΔ-50%ΜΕΓ	18,1328	10,6686	27,0311	54,38	1,11	49,07

**Πίνακας 4.2.3. Αποτελέσματα στους 1100 °C**

<b>A/A</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (g)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΟ ΝΕΡΟ (g)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕΤΑ ΤΟ ΝΕΡΟ (g)</b>	<b>ΠΟΡΩΔΕΣ (%)</b>	<b>ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟ- ΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (%)</b>
75%ΣΟΥΔ-25%ΜΕΓ	16,6721	9,484	25,0244	53,75	1,07	50,10
50%ΠΑΤΡ-50%ΗΩ	18,8457	11,2632	25,7866	47,79	1,29	36,83
25%ΠΑΤΡ-75%ΜΕΓ	23,1622	13,337	31,5	45,91	1,27	36,00
75%ΠΑΤΡ-25%ΠΤΟΛ	21,2008	11,9161	28,0524	42,46	1,31	32,32
50%ΣΟΥΔ-50%ΠΑΤΡ	17,0069	10,364	25,255	55,39	1,14	48,50
25%ΣΟΥΔ-75%ΜΕΓ	19,2002	11,7264	27,6812	53,16	1,20	44,17
50%ΠΑΤΡ-50%ΠΤΟΛ	21,063	15,5292	28,4911	57,31	1,62	35,27
75%ΣΟΥΔ-25%ΗΩ	15,1327	8,9333	21,765	51,69	1,18	43,83
25%ΠΑΤΡ-75%ΠΤΟΛ	20,5417	12,7463	28,0825	49,17	1,34	36,71
25%ΠΑΤΡ-75%ΗΩ	18,4156	11,4234	24,3797	46,03	1,42	32,39
25%ΣΟΥΔ-75%ΗΩ	16,3148	10,454	22,5779	51,66	1,34	38,39
50%ΣΟΥΔ-50%ΜΕΓ	18,3535	10,6126	26,3827	50,91	1,16	43,75
100%ΠΑΤΡ	10,4212	5,7286	12,8295	33,92	1,46	23,11
75%ΠΑΤΡ-25%ΗΩ	19,403	10,8845	25,40525	41,34	1,33	30,93
50%ΠΑΤΡ-50%ΜΕΓ	20,9835	11,9978	27,854	43,33	1,32	32,74
75%ΣΟΥΔ-25%ΠΤΟΛ	18,2719	10,3932	25,5928	48,17	1,20	40,07
50%ΣΟΥΔ-50%ΗΩ	19,336	12,2924	28,2315	55,81	1,21	46,00

50%ΠΑΤΡ-50%ΣΟΥΔ	16,2606	8,8839	22,2928	44,99	1,21	37,10
25%ΣΟΥΔ-75%ΠΤΟΛ	19,6721	12,0299	27,557	50,78	1,26	40,08
75%ΠΑΤΡ-25%ΜΕΓ	16,3942	9,1823	20,9512	38,72	1,39	27,80
100%ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ!!	43,9	25,2684	58,63	44,15	1,31	33,55

**Πίνακας 4.2.4. Αποτελέσματα στους 1150 °C**

<b>A/A</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (gr)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΟ ΝΕΡΟ (gr)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕΤΑ ΤΟ ΝΕΡΟ (g)</b>	<b>ΠΟΡΩΔΕΣ (%)</b>	<b>ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟ- ΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (%)</b>
50%ΠΑΤΡ-50%ΗΩ	20,3814	12,4415	24,5587	34,47	1,68	20,50
75%ΠΑΤΡ-25%ΜΕΓ	18,2162	10,4195	21,094	26,96	1,70	15,80
75%ΠΑΤΡ-25%ΠΤΟΛ	20,6703	11,6099	26,6891	39,91	1,37	29,12
100%ΣΟΥΔ	16,0468	9,075	28,819	64,69	0,81	79,59
25%ΣΟΥΔ-75%ΗΩ	17,0558	10,896	21,0516	39,35	1,67	23,43
50%ΣΟΥΔ-50%ΠΑΤΡ	18,2295	9,8791	24,021	40,95	1,29	31,77
50%ΣΟΥΔ-50%ΗΩ	17,0598	10,7675	21,8163	43,05	1,54	27,88
50%ΣΟΥΔ-50%ΠΤΟΛ	19,2893	11,7354	28,0268	53,63	1,18	45,30
50%ΣΟΥΔ-50%ΜΕΓ	41,4129	23,974	49,887	32,70	1,59	20,46
ΠΑΤΡΑ100%	19,8701	11,0292	25,5474	39,10	1,36	28,57
75%ΠΑΤΡ-25%ΗΩ	18,8051	11,3181	22,3083	31,88	1,70	18,63
25%ΠΑΤΡ-75%ΗΩ	17,7317	11,0849	23,0456	44,43	1,48	29,97
75%ΣΟΥΔ-25%ΗΩ	20,7444	12,423	28,9132	49,54	1,25	39,38
50%ΠΑΤΡ-50%ΠΤΟΛ	20,7484	12,3105	25,5309	36,18	1,56	23,05
25%ΠΑΤΡ-75%ΠΤΟΛ	20,864	13,0774	28,252	48,69	1,37	35,41
25%ΣΟΥΔ-75%ΜΕΓ	16,2362	10,4754	25,3563	61,29	1,09	56,17
25%ΠΑΤΡ-75%ΠΤΟΛ	15,5972	9,2633	17,9578	27,15	<b>1,79</b>	15,13
75%ΣΟΥΔ-25%ΜΕΓ	18,4609	11,1579	24,6444	45,85	1,36	33,50



75%ΣΟΥΔ-25%ΠΤΟΛ	17,6508	10,4754	25,3563	51,78	1,18	43,66
-----------------	---------	---------	---------	-------	------	-------

### Αντοχή σε κάμψη στους 900 C

A/A	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ( mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (N)	ΑΝΤΟΧΗ (N/mm2)
50%ΠΑΤΡ-50%ΜΕΓ	104,89	31,15	11,8	19	0,12
50%ΠΑΤΡ-50%ΠΤΟΛ	97,91	32,22	11,15	13 & 7	0,06
25%ΠΑΤΡ-75%ΜΕΓ	99,63	30,61	13,54	36,5	0,22
25%ΠΑΤΡ-75%ΗW	100,63	32,17	9,97	27 & 27	0,20
75%ΠΑΤΡ-25%ΠΤΟΛ	102,09	31,75	9,81	11,5 & 9,5	0,08
75%ΠΑΤΡ-25%ΗW	105,09	31,78	9,9	15& 8,5 & 12	0,09
75%ΣΟΥΔ-25%ΜΕΓ	105,29	31,72	10,45	30 & 29 & 27	0,20
75%ΣΟΥΔ-25%ΠΤΟΛ	107,17	32,15	10,87	19,5	0,13
25%ΣΟΥΔ-75%ΜΕΓ	101,57	30,91	12,53	34	0,21
100%ΠΑΤΡ	82,4	31,02	9,73	23	0,18
50%ΣΟΥΔ-50%ΠΤΟΛ	105,49	31,8	10,47	ΕΣΠΑΣΕ	-
75%ΣΟΥΔ-25%ΗW	105,49	31,76	10,34	20	0,14
25%ΣΟΥΔ-75%ΗW	103,23	31,33	9,35	28	0,23
25%ΠΑΤΡ-75%ΠΤΟΛ	102,58	30,83	10,56	ΕΣΠΑΣΕ	-
25%ΣΟΥΔ-75%ΠΤΟΛ	103,75	31,3	10,4	ΕΣΠΑΣΕ	-

### Πίνακας 4.3.2. Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων δοκιμών ψημμένων στους 1000°C

A/A	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (N)	ΑΝΤΟΧΗ (N/mm2)
50%ΣΟΥΔ-50%ΜΕΓ	103,47	31,24	12,03	30	0,19
25%ΣΟΥΔ-75%ΠΤΟΛ	104,4	31,56	11	ΕΣΠΑΣΕ	-
25%ΣΟΥΔ-75%ΗW	103,4	31,19	9,45	ΕΣΠΑΣΕ	-
75%ΠΑΤΡ-25%ΗW	90,52	32,1	9,9	ΕΣΠΑΣΕ	-

25%ΣΟΥΔ-75%ΜΕΓ	101,73	30,8	13,28	ΕΣΠΑΣΕ	-
75%ΣΟΥΔ-25%ΗΩ	106,54	32,1	10,02	ΕΣΠΑΣΕ	-
75%ΣΟΥΔ-25%ΠΤΟΛ	107,14	32,27	10,29	ΕΣΠΑΣΕ	-
75%ΣΟΥΔ-25%ΜΕΓ	105,56	31,83	11,25	23	0,15
50%ΣΟΥΔ-50%ΠΤΟΛ	104,17	32,07	10,76	27,5	0,19
25%ΠΑΤΡ-75%ΗΩ	104,01	31,36	9,63	ΕΣΠΑΣΕ	-

**Πίνακας :** Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων δοκιμών ψημμένων στους 1100°C

Α/Α	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (N)	ΑΝΤΟΧΗ (N/mm <sup>2</sup> )
50%ΣΟΥΔ-50%ΜΕΓ	103,27	31,27	11,38	78	0,53
75%ΠΑΤΡ-25%ΜΕΓ	63,29	31,09	11,2	70	0,48
100%ΜΕΓ	98,04	29,6	12,68	240+	1,62
75%ΠΑΤΡ-25%ΗΩ	107,03	32,33	9,98	ΕΣΠΑΣΕ	-
50%ΣΟΥΔ-50%ΗΩ	104,49	31,44	10,2	ΕΣΠΑΣΕ	-
100%ΠΑΤΡ	52,12	31,49	9,5	ΕΣΠΑΣΕ	-
50%ΠΑΤΡ-50%ΜΕΓ	101,31	30,7	11,97	100	0,66
75%ΣΟΥΔ-25%ΠΤΟΛ	105,98	32,06	9,82	22	0,16
50%ΠΑΤΡ-50%ΣΟΥΔ	107,41	32,42	9,73	30	0,22
50%ΣΟΥΔ-50%ΠΤΟΛ	106,27	32,14	11,45	ΕΣΠΑΣΕ	-
25%ΣΟΥΔ-75%ΜΕΓ	100,51	30,37	12,12	120	0,81
75%ΣΟΥΔ-25%ΜΕΓ	105,35	31,28	10,54	20	0,15
25%ΠΑΤΡ-75%ΠΤΟΛ	102,79	30,86	10,82	38	0,28
75%ΠΑΤΡ-25%ΠΤΟΛ	104,98	31,6	11,03	39	0,27
50%ΠΑΤΡ-50%ΗΩ	105,24	31,96	9,87	ΕΣΠΑΣΕ	-
25%ΠΑΤΡ-75%ΜΕΓ	100,61	30,27	12,63	75	0,49
50%ΠΑΤΡ-50%ΠΤΟΛ	104,16	31,4	10,47	27	0,20
25%ΣΟΥΔ-75%ΗΩ	102,33	30,72	8,77	34	0,31
75%ΣΟΥΔ-25%ΗΩ	104,98	31,52	9,52	20-21	0,16
25%ΠΑΤΡ-75%ΗΩ	104,24	31,37	8,65	ΕΣΠΑΣΕ	-

**Πίνακας 4.3.4.** Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων δοκιμών ψημμένων στους 1150°C

Α/Α	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (N)	ΑΝΤΟΧΗ (N/mm <sup>2</sup> )
75%ΠΑΤΡ-25%ΠΤΟΛ	104,22	31,61	10,38	127-128	0,92
50%ΠΑΤΡ-50%ΗΩ	105,16	31,58	9,64	85	0,66
75%ΠΑΤΡ-25%ΜΕΓ	102,43	31,16	9,66	240+	<b>1,92</b>
100%ΠΑΤΡ	54,46	31,82	9,52	139	1,08
50%ΣΟΥΔ-50%ΠΤΟΛ	104,65	31,65	11,26	60	0,40
25%ΣΟΥΔ-75%ΗΩ	82,05	30,13	9,06	48	0,44
50%ΣΟΥΔ-50%ΗΩ	101,03	30,8	9,71	93	0,76

50%ΣΟΥΔ-50%ΜΕΓ	97,76	28,76	11,85	240+	1,84
50%ΣΟΥΔ-50%ΠΑΤΡ	106,85	32,34	9,76	51	0,37
100%ΣΟΥΔ	105,49	31,74	9,21	20	0,16

### Πίνακας Αποτελέσματα διάδοσης θερμότητας

A/A	T <sub>κάτω μέρος</sub> (°C)	T <sub>πάνω μέρος</sub> (°C)	%ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ
75%ΣΟΥΔ-25%ΠΤΟΛ ΣΤΟΥΣ 1100 °C <b>M.O.</b>	186,9	112	40,07
	251	153	39,04
	<b>219</b>	<b>132,5</b>	<b>39,46</b>
50%ΠΑΤΡ-50%ΣΟΥΔ ΣΤΟΥΣ 1100 °C	<b>192</b>	<b>152</b>	<b>20,83</b>
25%ΣΟΥΔ-75%ΜΕΓ ΣΤΟΥΣ 1100 °C	<b>219</b>	<b>148</b>	<b>32,42</b>
25%ΠΑΤΡ-75%ΠΤΟΛ ΣΤΟΥΣ 1100 °C <b>M.O.</b>	183	166	9,29
	210	159	24,29
	190	176	7,37
	<b>194,3</b>	<b>167</b>	<b>14,06</b>
50%ΠΑΤΡ-50%ΗΩ ΣΤΟΥΣ 1100 °C <b>M.O.</b>	139	103	25,90
	219	173	21,00
	234	92	60,68
	224	119	46,88
	<b>204</b>	<b>121,8</b>	<b>40,29</b>
25%ΠΑΤΡ-75%ΜΕΓ ΣΤΟΥΣ 1100 °C <b>M.O.</b>	166	141	15,06
	194	106	45,36
	240	176	26,67
	259	165	36,29
	<b>214,8</b>	<b>147</b>	<b>31,56</b>
	166	91	45,18
	170	114	32,94

50%ΠΑΤΡ-50%ΠΤΟΛ ΣΤΟΥΣ 1100 °C		202	124	38,61
		216	91	57,87
	<b>M.O.</b>	<b>188,5</b>	<b>105</b>	<b>44,30</b>
25%ΣΟΥΔ-75% HW ΣΤΟΥΣ 1100 °C		157	132	15,92
		235	143	39,15
		241	162	32,78
	<b>M.O.</b>	<b>211</b>	<b>145,7</b>	<b>30,95</b>
75%ΣΟΥΔ-25%HW ΣΤΟΥΣ 1100 °C		209	111	46,89
		198	120	39,39
		233	121	48,07
		192	167	13,02
	<b>M.O.</b>	<b>207,8</b>	<b>129,8</b>	<b>37,54</b>
25%ΠΑΤΡ-75%HW ΣΤΟΥΣ 1100 °C		217	125	42,40
		201	85	57,71
		187	112	40,11
	<b>M.O.</b>	<b>201,7</b>	<b>107,3</b>	<b>46,80</b>
25%ΣΟΥΔ-75%ΜΕΓ ΣΤΟΥΣ 1100 °C		169	128	24,26
		241	147	39,00
		218	144	33,94
	<b>M.O.</b>	<b>209,3</b>	<b>139,7</b>	<b>33,25</b>
50%ΠΑΤΡ-50%ΜΕΓ ΣΤΟΥΣ 1100 °C		227	95	58,15
		200	121	39,50
		213	150	29,58
	<b>M.O.</b>	<b>213,3</b>	<b>122</b>	<b>42,80</b>
100%ΠΑΤΡ ΣΤΟΥΣ 1100 °C		192	73	61,98
		150	140	6,67

<b>M.O.</b>	180	106	41,11
	<b>174</b>	<b>106,3</b>	<b>38,91</b>
50%ΣΟΥΔ-50%HW ΣΤΟΥΣ 1100 °C	150	67	55,33
	188	88	53,19
	221	90	59,28
	<b>186,3</b>	<b>81,7</b>	<b>56,15</b>
75%ΠΑΤΡ-25%HW ΣΤΟΥΣ 1100 °C	204	135	33,82
	219	78	64,38
	186	123	33,87
	<b>203</b>	<b>112</b>	<b>44,83</b>
75%ΠΑΤΡ-25%ΜΕΓ ΣΤΟΥΣ 1100 °C	113	33	70,80
	140	103	26,43
	200	100	50,00
	<b>151</b>	<b>78,7</b>	<b>47.88</b>
50%ΜΕΓ-50%ΣΟΥΔ ΣΤΟΥΣ 1100 °C	184	102	44,57
	192	151	21,35
	213	171	19,72
	<b>196,3</b>	<b>28,6</b>	<b>85,46</b>
50%ΣΟΥΔ-50%ΠΤΟΛ ΣΤΟΥΣ 1100 °C	178	136	23,60
	157	144	8,28
	213	136	36,15
	<b>183,7</b>	<b>138,7</b>	<b>24,09</b>
100%ΣΟΥΔΑ ΣΤΟΥΣ 1150 °C	152	117	23,03
	147	119	19,05
	229	128	44,10
	<b>176</b>	<b>121,3</b>	<b>31,06</b>

50%ΣΟΥΔ-50%ΠΑΤΡ ΣΤΟΥΣ 1150 °C  <b>M.O.</b>	223	146	34,53
	245	120	51,02
	196	169	13,78
	<b>221,3</b>	<b>145</b>	<b>34,49</b>
50%ΣΟΥΔ-50%ΜΕΓ ΣΤΟΥΣ 1150 °C  <b>M.O.</b>	150	84	44,00
	190	54	71,58
	196	73	62,76
	193	82	57,51
	<b>182,3</b>	<b>73,3</b>	<b>59,81</b>
50%ΣΟΥΔ-50%HW ΣΤΟΥΣ 1150 °C  <b>M.O.</b>	194	111	42,78
	222	127	42,79
	<b>208</b>	<b>119</b>	<b>42,79</b>
25%ΣΟΥΔ-75%HW ΣΤΟΥΣ 1150 °C	<b>200</b>	<b>123</b>	<b>38,50</b>
50%ΣΟΥΔ-50%ΠΤΟΛ ΣΤΟΥΣ 1150 °C  <b>M.O.</b>	117	95	18,80
	127	65	48,82
	144	77	46,53
	<b>129,3</b>	<b>79</b>	<b>38,92</b>
100%ΠΑΤΡΑ ΣΤΟΥΣ 1150 °C  <b>M.O.</b>	195	80	58,97
	163	69	57,67
	<b>179</b>	<b>74,5</b>	<b>58,38</b>
75%ΠΑΤΡ-25%ΜΕΓ ΣΤΟΥΣ 1150 °C  <b>M.O.</b>	161	84	47,83
	190	117	38,42
	164	80	51,22
	<b>171,7</b>	<b>93,7</b>	<b>45,44</b>
50%ΠΑΤΡ-50%HW ΣΤΟΥΣ 1150 °C	175	78	55,43
	160	71	55,63

<b>M.O.</b>	167	85	49,10
	<b>167,3</b>	<b>78</b>	<b>53,39</b>
75%ΠΑΤΡ-25%ΠΤΟΛ ΣΤΟΥΣ 1150 °C	198	100	49,49
	176	86	51,14
	172	90	47,67
	<b>182</b>	<b>92</b>	<b>49,45</b>

**Πίνακας** Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων δοκιμών μετά από εμβάπτιση σε νερό και γαστρικό υγρό μετά τους 1150 °C

<b>A/A</b>	<b>ΜΗΚΟΣ (mm)</b>	<b>ΠΛΑΤΟΣ (mm)</b>	<b>ΥΨΟΣ (mm)</b>	<b>ΔΥΝΑΜΗ (N)</b>	<b>ΑΝΤΟΧΗ (N/mm2)</b>
50%ΣΟΥΔ- 50%ΠΑΤΡ(ΟΞΥ)	58,55	32,36	9,68	83	0,61-
50%ΣΟΥΔ-50%ΜΕΓ(ΟΞΥ)	58,73	28,78	11,15	240+	1,86-1.95
75%ΠΑΤΡ-25%ΜΕΓ(ΟΞΥ)	57,01	30,81	9,75	240+	1,94-1.92
100%ΣΟΥΔΑ(ΟΞΥ)	53,8	31,78	8,75	82	0,70 0-,16
50%ΣΟΥΔ-50%ΗW(ΟΞΥ)	56,39	30	8,72	95	0,76-0,91
50%ΠΑΤΡ-50%ΗW(ΟΞΥ)	50,87	31,48	8,76	78	0,66-0.92-
75%ΠΑΤΡ- 25%ΠΤΟΛ(ΟΞΥ)	53,3	31,3	9,76	240+	1,88-0,92
50%ΠΑΤΡ- 50%ΗW(ΝΕΡΟ)	53,24	31,31	9,24	240+	1,99-0,66
75%ΠΑΤΡ- 25%ΠΤΟΛ(ΝΕΡΟ)	52,58	31,66	9,69	240+	1,85-0,92
100%ΠΑΤΡ(ΝΕΡΟ)	51,81	31,75	9,68	240+	1,84-1.08
50%ΣΟΥΔ- 50%ΠΤΟΛ(ΝΕΡΟ)	53,34	31,35	10,3	30	0,22-0.40
50%ΣΟΥΔ- 50%ΠΑΤΡ(ΝΕΡΟ)	48,87	32,2	9,58		-
100%ΣΟΥΔ(ΝΕΡΟ)	51,76	31,6	9,73	105	0,81-0,16

**Πίνακας 4.3.6.** Αντοχή δοκιμίων σε κάμψη 3 σημείων μετά τους κύκλους ψύξης – θέρμανσης μετά τους 1150 °C

A/A	ΒΑΡΟΣ (g)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (N)	ΑΝΤΟΧΗ (N/mm <sup>2</sup> )
25%ΠΑΤΡ-75%ΠΤΟΛ	15,5872	46,22	27,37	8,75	43	0,30—0,38
75%ΣΟΥΔ-25%ΜΕΓ	18,4777	54,13	30,49	10,01	135	1,09-1,76
50%ΣΟΥΔ-50%ΜΕΓ	21,7218	53,16	28,24	9,92	240+	2,28—1,95
75%ΣΟΥΔ-25%ΗΩ	20,6662	61,81	31,42	9,27	75	0,61-0,48
75%ΣΟΥΔ-25%ΠΤΟΛ	17,277	53,64	31,21	9,5	50	0,41—0,92
50%ΠΑΤΡ-50%ΜΕΓ	22,3044	49,95	28,81	9,68	128	1,74—1,87
25%ΣΟΥΔ-75%ΜΕΓ	16,0078	49,16	29,93	11,96	72	0,65-0,79
25%ΣΟΥΔ-75%ΜΕΓ	20,6127	46,37	26,5	10,52	130	1,70-0,79
50%ΠΑΤΡ-50%ΗΩ	19,6097	53,62	30,77	9,55	95	0,79-0,66
50%ΣΟΥΔ-50%ΠΤΟΛ	20,5087	54,27	31,15	9,47	240+	1,96
75%ΠΑΤΡ-25%ΠΤΟΛ	20,9302	52,2	31,47	11,04	240+	1,65
50%ΣΟΥΔ-50%ΗΩ	18,7073	62,62	31,67	10,38	240+	1,73
50%ΠΑΤΡ-50%ΣΟΥΔ	20,9067	62,64	32,43	9,17	55	0,43
100%ΠΑΤΡ	9,4718	30,81	29,96	9,3		-
25%ΣΟΥΔ-75%ΗΩ	19,1587	56,67	30,48	8,73	65	0,60
75%ΠΑΤΡ-25%ΗΩ	18,8165	51,4	31,12	8,7	240&155	1,76
25%ΠΑΤΡ-75%ΗΩ	17,6759	49,15	30,85	9,02		-
50%ΠΑΤΡ50%ΠΤΟΛ	20,7422	50,79	30,6	9,85	220	1,79
25%ΠΑΤΡ-75%ΜΕΓ	20,8225	53,63	30,59	9,83	75	0,61
75%ΠΑΤΡ-25%ΜΕΓ	15,9105	38,47	29,94	10,1		-