



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

**«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ
ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ
ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΟΦΙΑΣ Ι. ΦΙΛΙΠΠΑ-ΡΑΠΤΗ

Διπλωματούχου Μεταλλειολόγου-Μεταλλουργού ΕΜΠ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

Σ.ΤΣΙΒΙΑΛΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

**«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ
ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ
ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΟΦΙΑΣ Ι. ΦΙΛΙΠΠΑ-ΡΑΠΤΗ

Διπλωματούχου Μεταλλειολόγου-Μεταλλουργού ΕΜΠ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Σ. ΤΣΙΒΙΛΗΣ, καθηγητής ΕΜΠ

Κ. ΚΟΡΔΑΤΟΣ, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Ε. ΜΠΑΔΟΓΙΑΝΝΗΣ, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το πέρας της διπλωματικής μου εργασίας, θέλω να ευχαριστήσω τα άτομα εκείνα που βοήθησαν, ο καθένας με τον τρόπο του, στην ολοκλήρωση του παρόντος πονήματος.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σωτήρη Τσιβιλί, Καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο, καθώς ακόμη και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Στη συνέχεια, ευχαριστώ θερμά την Ερευνήτρια του Εργαστηρίου Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας Διδάκτορα Αγγελική Σκαροπούλου για την πολύτιμη βοήθειά της, τόσο για τη διεκπεραίωση των πειραματικών διεργασιών, όσο και για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων αλλά και για την καθοδήγηση στην συγγραφή της διπλωματικής μου εργασίας.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ερευνητή Δρ. Δημήτρη Κιούπη, τον Υποψήφιο Διδάκτορα Κωνσταντίνο Ασπιώτη καθώς και όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ για την πολύ καλή συνεργασία και το ευχάριστο εργασιακό κλίμα.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω το προσωπικό του Εργαστηρίου Μεταλλουργίας για την διεκπεραίωση των μετρήσεων θερμικής αγωγιμότητας όπου πραγματοποιήθηκε στη Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών.

Ευχαριστώ πολύ τους γονείς μου και τους φίλους μου για τη στήριξή τους όλο αυτό το διάστημα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον θεσμό του Δημόσιου Πανεπιστημίου που παρά τις οικονομικές δυσκολίες διασφαλίζει την φοίτηση σε όλες/ους και στο κομμάτι των Μεταπτυχιακών Προγραμμάτων.

Σοφία Φίλιππα-Ράπτη

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία διερευνήθηκε η χρήση της πυριτικής παιπάλης στην σύνθεση θερμομονωτικών υλικών. Αφού προηγήθηκε βιβλιογραφική επισκόπηση για τα θερμομονωτικά και σύνθετα ανόργανα μονωτικά υλικά οργανώθηκαν πειραματικές δοκιμές. Με την βοήθεια του πολυπαραγοντικού μοντέλου σχεδιασμού πειραμάτων Taguchi και της στατιστικής ανάλυσης (ANOVA) διερευνήθηκε η επίδραση βασικών παραμέτρων σύνθεσης στις ιδιότητες του θερμομονωτικού υλικού. Οι παράμετροι σύνθεσης που εξετάστηκαν ήταν η αναλογία χιτοζάνης (Cs) – οξικού οξέος (AcOH), η περιεκτικότητα (%) σε πυριτική παιπάλη και η περιεκτικότητα (%) σε δωδεκυλιοθειικό νάτριο (SDS). Η αξιολόγηση του παραγόμενου θερμομονωτικού υλικού έγινε με βάση την πυκνότητα, την θερμική αγωγιμότητα και την υδατοαπορροφητικότητά του.

Από την μελέτη των πειραματικών αποτελεσμάτων, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται η ποσότητα σε διάλυμα χιτοζάνης-οξικού οξέος και πυριτικής παιπάλης αυξάνεται η πυκνότητα του υλικού, ενώ για το αντίστοιχο μέγεθος του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) υπάρχουν διακυμάνσεις ανάλογα με την ποσότητα των πρώτων υλών. Από την μελέτη εξάγεται το συμπέρασμα πως με βάση τη στατιστική ανάλυση του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε υπάρχουν τρεις βέλτιστες τιμές για κάθε παράμετρο που εξασφαλίζουν χαμηλή πυκνότητα αλλά και χαμηλή θερμική αγωγιμότητα.

ABSTRACT

This dissertation investigated the use of silica fume in the compound of thermal insulation materials. After extended literature review, in thermal insulation and composite inorganic insulating materials, experimental tests were organized for further investigation.

To this end, a multivariable design of experiment model (Taguchi) and statistical analysis (ANOVA) were adopted to investigate the effect of the basic composition parameters on the properties of the thermal insulation material. The parameters under investigation were: the composition ratio of chitosan (Cs) - acetic acid (AcOH), the content (%) in silica fume and the content (%) in sodium dodecyl sulfate (SDS). The final evaluation of the thermal insulation material produced in the laboratory was based on parameters such as: density, thermal conductivity and water absorption.

The results of the experimental laboratory trials revealed the conclusions below. More specifically, as the concentration of chitosan solution with acetic acid and Sodium dodecyl sulfate is increased the density of the material is also increased whereas the values of the thermal conductivity coefficient (λ) vary in relation with the concentration of its raw materials. The conclusions of this dissertation based on statistical analysis tools focused on three optimal values for each parameter that can assure low density and low thermal conductivity.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	14
2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΜΟΝΩΣΗΣ	14
2.2. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	16
2.2.1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	16
2.2.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	21
2.3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	24
2.3.1. Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ	24
2.3.2. Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ	27
2.4. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	28
2.4.1. ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	28
2.4.2. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΝΘΕΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΥΡΙΤΙΚΗ ΠΑΙΠΑΛΗ	31
3.1. ΣΥΝΘΕΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	31
3.1.1. ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ 32	
3.1.2. ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	34
3.2. ΠΥΡΙΤΙΚΗ ΠΑΙΠΑΛΗ (SF)	35
3.2.1. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ	36
3.2.2. ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ	37
3.2.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ	38
3.2.4. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	41
4.1. ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	41
4.1.1. ΧΙΤΟΖΑΝΗ (Cs)	41
4.1.2. ΟΞΙΚΟ ΟΞΥ (AcOH)	44
4.1.3. ΔΩΔΕΚΥΛΙΟΘΕΙΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ (SDS)	46
4.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ	47
4.3. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ	52
4.4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	54
4.5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	57
4.5.1. ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ	57
4.5.2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ (λ)	58
4.5.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	61
4.5.4. ΟΠΤΙΚΟ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟ	63
4.5.5. ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ	64

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	66
5.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	66
5.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ.....	75
5.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ (λ)	78
5.4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	81
5.5. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΟΥ	83
5.6. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΦΩΤΙΑ	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	94
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	96
ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	99

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2-1: Σύγκριση θερμομονωτικών υλικών σύμφωνα με τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (Πηγή: http://www.appliedpolymers.com.au/lng/).....	18
Σχήμα 2-2: Διάκριση θερμομονωτικών υλικών ανάλογα με την μορφή τους, τη χημική τους σύνθεση και την πρώτη ύλη που χρησιμοποιήθηκε.[7]	22
Σχήμα 2-3 Πλάκες Πετροβάμβακα(Πηγή DOW).....	23
Σχήμα 2-4: Διογκωμένη Πολυστερίνη(Πηγή knauf)	23
Σχήμα 2-5: Εξηλασμένη πολυστερίνη(Πηγή DOW).....	23
Σχήμα 2-6: Υαλοβάμβακας (Πηγή knauf)	23
Σχήμα 2-7 Ξυλόμαλλο (Πηγή fibran).....	23
Σχήμα 2-8 Αφρώδες γυαλί(Πηγή fibran).....	23
Σχήμα 2-9: Η κατανομή της αγοράς των θερμομονωτικών υλικών με βάση την εφαρμογή τους στην Ευρωπαϊκή αγορά (2014)[9]	24
Σχήμα 2-10: Η κατανομή της αγοράς των θερμομονωτικών υλικών με βάση την τοποθεσία (2014)[9]	25
Σχήμα 2-11: Η κατανομή στην Ευρωπαϊκή αγορά σε σχέση με τον όγκο των υλικών (2014)[9]	26
Σχήμα 2-12: Η κατανομή των υλικών στην αγορά της Ελλάδας [3]	28
Σχήμα 3-1: Ταξινόμηση των σύνθετων υλικών με βάση το υλικό ενίσχυσης[11]	32
Σχήμα 3-2 Πυριτική παιπάλη μακροσκοπικά.....	36
Σχήμα 3-3 Πυριτική παιπάλη με Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM)	36
Σχήμα 3-4: Ακτινοδιάγραμμα XRD για την πυριτική παιπάλη[20].....	37
Σχήμα 4-1: : Χημικές δομές των επαναλαμβανόμενων μονάδων της χιτίνης (chitin) και της χιτοζάνης (chotosan)[27]	42
Σχήμα 4-2: Οξικό οξύ συντακτικός τύπος [30]	45
Σχήμα 4-3: Δωδεκυλιοθειικό νάτριο (SDS) συντακτικός τύπος[31]	46
Σχήμα 4-4: Δωδεκυλιοθειικό νάτριο (SDS) μοριακή απεικόνιση [31]	46
Σχήμα 4-5: Αεροστεγής χώρος [32]	48
Σχήμα 4-6: Τριπλό διάγραμμα φάσεων νερού.	49
Σχήμα 4-7: Καταψύκτης.....	50
Σχήμα 4-8: Κρυοξήρανση (Freeze dryer)	51
Σχήμα 4-9: Σύνθεση 1 δοκιμαστική.....	51
Σχήμα 4-10: Σύνθεση 2 δοκιμαστική	52
Σχήμα 4-11 Σύνθεση με pH 6,30.....	54
Σχήμα 4-12 Σύνθεση με pH 7.....	54
Σχήμα 4-13: Παχύμετρο	57
Σχήμα 4-14: Διάταξη του HFM Lambda. [33]	59
Σχήμα 4-15: Όργανο μέτρησης θερμικής αγωγιμότητας HFM Lambda [33].....	60
Σχήμα 4-16: Θάλαμος οργάνου θερμικής αγωγιμότητας HFM Lambda. [33]	60
Σχήμα 4-17: Ξηραντήρας.....	61
Σχήμα 4-18: Πυριαντήριο	62
Σχήμα 4-19: Οπτικό στερεοσκόπιο Μοντέλο: Zeiss Stemi 2000 C υψηλής ανάλυσης	63
Σχήμα 4-20: Φλόγιστρο	65

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Σχήμα 5-1: Σύνθεση 1 θερμομονωτικού υλικού(1%/0,09M Cs/AcOH – 4% SF- 0,25% SDS) .	67
Σχήμα 5-2: Σύνθεση 2 θερμομονωτικού υλικού(1%/0,09M Cs/AcOH – 8% SF – 0,50% SDS)	68
.....	68
Σχήμα 5-3: Σύνθεση 3 θερμομονωτικού υλικού(1%/0,09M Cs/AcOH – 12% SF- 0,75% SDS)	69
.....	69
Σχήμα 5-4: Σύνθεση 4 του θερμομονωτικού υλικού(1,7%/0,15M Cs/AcOH – 4% SF- 0,50% SDS).....	70
Σχήμα 5-5: Σύνθεση 5θερμομονωτικού υλικού(1,7%/0,15M Cs/AcOH – 8% SF- 0,75% SDS)	71
.....	71
Σχήμα 5-6: Σύνθεση 6 θερμομονωτικού υλικού (1,7%/0,15M Cs/AcOH – 12% SF- 0,25% SDS).....	72
Σχήμα 5-7: Σύνθεση 7 θερμομονωτικού υλικού(2,4%/0,22M Cs/AcOH – 4% SF- 0,75% SDS)	73
.....	73
Σχήμα 5-8: Σύνθεση 8 θερμομονωτικού υλικού(2,4%/0,22M Cs/AcOH – 8% SF- 0,25% SDS)	73
.....	73
Σχήμα 5-9: Σύνθεση 9θερμομονωτικού υλικού(2,4%/0,22M Cs/AcOH – 12% SF- 0,50% SDS)	74
.....	74
Σχήμα 5-10: Επίδραση των μελετούμενων παραμέτρων σύνθεσης στην πυκνότητα του υλικού (σε πλαίσιο δίνεται η % συμβολή κάθε παραμέτρου).....	76
Σχήμα 5-11: Επίδραση των μελετούμενων παραμέτρων σύνθεσης στην θερμική αγωγιμότητα του υλικού (σε πλαίσιο δίνεται η % συμβολή κάθε παραμέτρου)	79
Σχήμα 5-12: Επίδραση των μελετούμενων παραμέτρων σύνθεσης στην θερμική αγωγιμότητα του υλικού (σε πλαίσιο δίνεται η % συμβολή κάθε παραμέτρου)	82
Σχήμα 5-13: Σύνθεση 1 ^η σε τομή (μεγέθυνση x5).....	84
Σχήμα 5-14: Σύνθεση 2 ^η σε τομή (μεγέθυνση x5).....	84
Σχήμα 5-15: Σύνθεση 3 ^η σε τομή (μεγέθυνση x5).....	85
Σχήμα 5-16: Σύνθεση 4 ^η σε τομή (μεγέθυνση x5).....	86
Σχήμα 5-17: Σύνθεση 5 ^η σε τομή (μεγέθυνση x5).....	86
Σχήμα 5-18: Σύνθεση 6 ^η σε τομή (μεγέθυνση x5).....	87
Σχήμα 5-19: Σύνθεση 7 ^η σε τομή (μεγέθυνση x5).....	88
Σχήμα 5-20: Σύνθεση 8 ^η σε τομή (μεγέθυνση x5)	88
Σχήμα 5-21: Σύνθεση 9 ^η σε τομή (μεγέθυνση x5)	89
Σχήμα 5-22: Σύνθεση 1 ^η μετά την δοκιμή αντίστασης στη φωτιά.....	90
Σχήμα 5-23: Σύνθεση 4 ^η μετά την δοκιμή αντίστασης σε φωτιά	91
Σχήμα 5-24: Σύνθεση 7 ^η μετά την δοκιμή αντίστασης σε φωτιά.....	91
Σχήμα 5-25: Σύνθεση 9 ^η μετά την δοκιμή αντίστασης σε φωτιά.....	92

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<i>Πίνακας 2-1: Βασικές φυσικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες των κυριότερων θερμομονωτικών υλικών(Πηγή: fibran).....</i>	<i>20</i>
<i>Πίνακας 3-1: Η χημική σύσταση μιας τυπικής πυριτικής παιπάλης[20].....</i>	<i>36</i>
<i>Πίνακας 3-2: Οι φυσικές ιδιότητες της πυριτικής παιπάλης[20].....</i>	<i>38</i>
<i>Πίνακας 4-1: Φυσικές Ιδιότητες Οξικού οξέος($ArCOH$).....</i>	<i>45</i>
<i>Πίνακας 4-2: Φυσικές Ιδιότητες δωδεκυλιοθειικού νατρίου (SDS)[31].....</i>	<i>47</i>
<i>Πίνακας 4-3: Συγκεντρωτικός Πίνακας Πειραματικών δοκιμών(*).....</i>	<i>55</i>
<i>Πίνακας 5-1: Μετρήσεις πυκνότητας για κάθε σύνθεση υλικού.....</i>	<i>75</i>
<i>Πίνακας 5-2: Μετρήσεις θερμικής αγωγιμότητας για κάθε σύνθεση υλικού.....</i>	<i>78</i>
<i>Πίνακας 5-3: Μετρήσεις Υδατοαπορροφητικότητας.....</i>	<i>81</i>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στη μελέτη της σύνθεσης θερμομονωτικού υλικού με χρήση της πυριτικής παιπάλης σε διάφορες αναλογίες των πρώτων υλών χιτοζάνης-οξικού οξέος, δωδεκυλιοθειικού νατρίου και πυριτικής παιπάλης.

Η αναγκαιότητα για την σύνθεση υλικών και δει ανόργανων είναι πολύ έντονη. Σε διεθνές επίπεδο η ερευνητική δραστηριότητα προσπαθεί να δημιουργήσει υλικά φιλικά προς το περιβάλλον και με χαμηλό οικονομικό κόστος. Επιπλέον, τα παραπροϊόντα βιομηχανικών διεργασιών εντείνουν το περιβαλλοντικό πρόβλημα που ήδη απασχολεί όλες τις χώρες και ενισχύει την ανάγκη χρήσης των συγκεκριμένων υλών ως πρόσθετα στη δημιουργία νέων υλικών. Τα συγκεκριμένα υλικά παρουσιάζουν ενδιαφέρουσες ιδιότητες και με προσμίξεις άλλων πρώτων υλών δημιουργούνται υλικά με καλύτερες ιδιότητες από τα απλά υλικά. Συγκεκριμένα, τα μονωτικά υλικά είναι στο επίκεντρο των ερευνών. Η οικονομική κρίση σε συνδυασμό την επιδίωξη της μείωσης των θερμικών απωλειών των χώρων, καθιστά τα θερμομονωτικά υλικά να έχουν όσο το δυνατόν καλύτερες μονωτικές ιδιότητες. Επιπρόσθετα, η εξάντληση των κοιτασμάτων καυσίμων αναπτύσσει την διαμόρφωση νέων υλικών ή την παραγωγή σύνθετων υλικών για μόνωση. Την προσπάθεια να καλυφθούν οι παραπάνω ανάγκες εξετάζει η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Η πειραματική διαδικασία της σύνθεσης του υλικού έχει ερευνηθεί βιβλιογραφικά και επιτεύχθηκε ο βέλτιστος τρόπος να εκτελεστεί. Αρχικά, επιλέχθηκαν οι πρώτες ύλες Βασική πρώτη ύλη η πυριτική παιπάλη, το διάλυμα χιτοζάνης – οξικού οξέος και το δωδεκυλιοθειικό νάτριο Με βάση τις παραπάνω πρώτες ύλες σχεδιάστηκε η πειραματική διαδικασία που περιλαμβάνει 9 δοκιμές σύνθεσης θερμομονωτικού υλικού, με διάφορες περιεκτικότητες των πρώτων υλών σύμφωνα με στατιστική επεξεργασία του προγράμματος Taguchi. Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συνθέσεων καθώς και ο χαρακτηρισμός τους. Ο χαρακτηρισμός των συνθέσεων περιλαμβάνει μετρήσεις πυκνότητας, θερμικής αγωγιμότητας, υδατοαπορροφητικότητας, μελέτη της μορφολογίας του υλικού καθώς εκτελέστηκαν και δοκιμές αντίστασης σε φωτιά.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Για την κατανόηση του αντικείμενου της μεταπτυχιακής εργασίας παρουσιάζεται η δομή της παρακάτω.

Συγκεκριμένα, στο παρόν κεφάλαιο αναπτύσσονται οι λόγοι της παραγωγής σύνθετων ανόργανων υλικών και συγκεκριμένα θερμομονωτικών υλικών. Επιπλέον, καταγράφεται ο τρόπος σύνθεσης του νέου υλικού που πραγματεύεται η μεταπτυχιακή εργασία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται η χρησιμότητα των θερμομονωτικών υλικών, τα βασικά τους χαρακτηριστικά αλλά και η ευρύτητα της χρήσης τους. Στη συνέχεια, παραθέτονται οι κατηγορίες των θερμομονωτικών υλικών αλλά και οικονομικά στοιχεία σε ευρωπαϊκή και σε ελληνική κλίμακα. Στο τέλος του κεφαλαίου καταγράφεται η ευρωπαϊκή και ελληνική νομοθεσία που αφορά στις προδιαγραφές των θερμομονωτικών υλικών.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στα σύνθετα υλικά και συγκεκριμένα στα σύνθετα ανόργανα υλικά. Παρουσιάζεται ταξινόμηση των υλικών καθώς και βιβλιογραφική μελέτη σε σύνθετα ανόργανα θερμομονωτικά υλικά σε διεθνές επίπεδο αλλά και ελληνικό. Τέλος, παρουσιάζεται αναλυτικά η πυριτική παιπάλη, τα χαρακτηριστικά της ως παραπροϊόν, επισημαίνονται τα πλεονεκτήματά της και οι χρήσεις της ως πρόσθετο υλικό σε εφαρμογές κυρίως τσιμεντών όταν απαιτείται να έχουν θερμομονωτικές ιδιότητες.

Στο τέταρτο κεφάλαιο καταγράφονται αναλυτικά οι πρώτες ύλες με τις ιδιότητές τους αλλά και η πειραματική διαδικασία. Στη συνέχεια περιγράφονται οι μέθοδοι χαρακτηρισμού που διεξήχθησαν όπως η μέτρηση πυκνότητας, θερμικής αγωγιμότητας, υδατοποροφητικότητας. Τέλος, για την μελέτη της μορφολογίας του υλικού χρησιμοποιήθηκε στερεοσκόπιο ενώ πραγματοποιήθηκε και δοκιμή του υλικού σε αντίσταση στη φωτιά.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων των συνθέσεων του υλικού περιγράφεται στο πέμπτο κεφάλαιο με την βοήθεια διαγραμμάτων και σχημάτων. Ακόμη, περιγράφονται τα αποτελέσματα των μεθόδων χαρακτηρισμού που εκπονήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παραθέτονται τα συμπεράσματα της συνολικής πειραματικής διαδικασίας καθώς και προοπτικές για μελλοντική έρευνα στην σύνθεση θερμομονωτικών υλικών με χρήση πυριτικής παιπάλης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Η διαρκώς αυξανόμενη χρήση σύγχρονων δομικών υλικών στην κατασκευή κτιρίων, η απαίτηση δημιουργίας συνθηκών «άνεσης» και «υγιεινής διαβίωσης» των ενοίκων ή χρηστών των διαφόρων χώρων και η ανάγκη για περαιτέρω μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για την πραγματοποίηση των παραπάνω συνθηκών, επιβάλλει τη συνεχή μελέτη της συμπεριφοράς των δομικών υλικών απέναντι στη θερμότητα.

Αρχικά, δινόταν βάση στις φυσικές ιδιότητες καθώς και στις δυνατότητες εφαρμογής. Στη συνέχεια η ασφάλεια και η υγεία των εργαζομένων καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του υλικού ήταν οι βασικοί παράγοντες για την επιλογή των υλικών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο αμίαντος, ο οποίος ενώ είχε άριστες θερμομονωτικές ιδιότητες και μεγάλο εύρος εφαρμογών, απαγορεύτηκε όταν αποδείχτηκε πως η χρήση του σχετίζεται με κρούσματα καρκίνου.

Σήμερα, ο μελετητής μηχανικός έχει στη διάθεσή του πληθώρα υλικών γεγονός που του δίνει τη δυνατότητα να επιλέξει το κατάλληλο υλικό για την συγκεκριμένη εφαρμογή λαμβάνοντας υπ' όψη του μια σειρά παραμέτρων όπως: θερμομονωτικές απαιτήσεις, θερμοκρασίες λειτουργίας, επίπεδα υγρασίας, κόστος, υγιεινή και ποιότητα κατασκευών καθώς και αισθητική. Επομένως, για να χαρακτηριστεί κάποιο υλικό κρίνεται απαραίτητη η πολύπλευρη εξέταση των χαρακτηριστικών του και όχι η επικέντρωση του ενδιαφέροντος σε μία μόνο ιδιότητά του [1].

2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΜΟΝΩΣΗΣ

Ως μόνωση ορίζεται ο γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει την προστασία της κατασκευής από τη θερμότητα, τον ήχο και την υγρασία. Ειδικότερα για τις κατασκευές χρησιμοποιούνται οι όροι θερμομόνωση, ηχομόνωση και υδρομόνωση (στεγάνωση-στεγανοποίηση). Σε μία κατασκευή η μόνωση είναι βασικό στοιχείο για τους παρακάτω λόγους:

- Μείωση κόστους και κατανάλωσης ενέργειας.
- Άνεση και υγιεινή διάβρωση στους χρήστες των χώρων (κατοικίας, εργασίας, εστίασης κλπ)

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

- Πρόληψη βλαβών του φέροντα οργανισμού (πχ ενανθράκωση τσιμέντου), καθώς και των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων (πχ σωλήνες νερού από παγετό)
- Μείωση περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων (πχ περιορισμός καυσαερίων και μόλυνση περιβάλλοντος).

Το είδος και η αποτελεσματικότητα της μόνωσης μιας κατασκευής εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως, το σχήμα, το μέγεθος, το τοπικό κλίμα, η τοποθεσία (πχ απόσταση από θάλασσα) και η κατασκευή του χώρου και το πλήθος των ανθρώπων που κατοικούν στο χώρο. Επίσης σημαντικό ρόλο αποτελεί και η χρήση του χώρου (πχ εξοχική κατοικία, εκκλησία κτλ) Οι περισσότερες παλαιές κατασκευές ή δεν έχουν μόνωση ή έχουν ανεπαρκή μόνωση σε σχέση με τις καινούριες, γεγονός που μπορεί να διορθωθεί με ενίσχυση της μόνωσης τόσο στις παλιές όσο και στις καινούριες κατασκευές. Το πρόσθετο κόστος είναι αμελητέο γιατί η απόσβεση πραγματοποιείται σε λίγα μόλις χρόνια. Η θερμομόνωση, ηχομόνωση ή υγραμόνωση δεν αρκεί αν δεν συμπεριληφθεί στην μελέτη και ο εξαερισμός [2].

Ο εξαερισμός είναι απαραίτητος, δηλαδή η εισαγωγή και εξαγωγή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό της κατασκευής. Συνήθως επιτυγχάνεται με δυο ανοίγματα σε απέναντι θέσεις και το ένα πρέπει να είναι σε ψηλότερη θέση από το άλλο. Επίσης, ο εξαερισμός βοηθάει στον έλεγχο της υγρασίας και περιορίζει τις εστίες μικροβίων. Ο ελλιπής εξαερισμός δεν εξασφαλίζει άνετη, ευχάριστη και υγιεινή διαβίωση τους ενοίκους ενός χώρου.

Μία κατασκευή πρέπει να έχει σωστή μόνωση περιμετρικά και σε όλο τον όγκο του κτιρίου από τα θεμέλια μέχρι το δώμα. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζονται οι εξωτερικοί τοίχοι, τα κουφώματα, τα δάπεδα (ειδικά εάν είναι πάνω από γκαράζ ή πυλωτές), τα υπόγεια (εάν υπάρχουν) και το δώμα (πχ στέγες, απολήξεις κλιμακοστασίων)[3].

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

2.2. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το πορώδες του. Όσο μεγαλύτερο είναι το πορώδες τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμομονωτική ικανότητα. Επίσης μεγάλο πορώδες παρουσιάζει ένα υλικό όταν ο αριθμός των πόρων του είναι μεγάλος. Ο εμποτισμός των υλικών με υγρασία (νερό $\lambda = 0,57 \text{ W/mK}$) εκτοπίζει τον εγκλωβισμένο αέρα ($0,02 \text{ W/mK}$), μειώνει το πορώδες και αυξάνει το συντελεστή λ , δηλαδή μειώνει τη θερμομονωτική ικανότητα τους. Γι αυτό εκτός από την θερμομονωτική ικανότητα σημαντικό παράγοντα αποτελεί και η στεγανότητα του υλικού[2].

2.2.1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Οι φυσικές ιδιότητες των θερμομονωτικών υλικών είναι:

- Πυκνότητα ρ (kg/m^3): ορίζεται από τη σχέση $\rho = \frac{m}{V}$ (1) Τα θερμομονωτικά υλικά έχουν μικρό ειδικό βάρος (μεγάλο πορώδες) και πυκνότητα 3-15%.
- Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας $\lambda(\text{W/m}^*\text{K})$: Είναι το μέγεθος που ορίζεται από τη σχέση $q = -\lambda \text{grad}T$ (2) Είναι η θερμότητα που ρέει σε μόνιμη κατάσταση, ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας μιας στρώσης υλικού, όταν η πτώση θερμοκρασίας κατά η διεύθυνση της ροής της θερμότητας είναι 1 βαθμός ($^{\circ}\text{C}$ ή K) ανά μονάδα μήκους.
- Η θερμική αγωγιμότητα είναι η ιδιότητα του υλικού, που καθορίζει την θερμομονωτική του ικανότητα. Θερμομονωτικά υλικά θεωρούνται τα υλικά με $\lambda < 0,20 \text{ W/m}^*\text{K}$.
- Επίδραση της θερμοκρασίας: Οι τιμές του συντελεστή λ δίνονται από πίνακες για θερμοκρασία 10°C και ξηρά κατάσταση με «πρακτική υγρασία». Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ δηλαδή μειώνεται η θερμομονωτική ικανότητα.
- Επίδραση της υγρασίας: Όταν οι πόροι των υλικών εκτοπίσουν τον αέρα και γεμίσουν με νερό μειώνεται η θερμομονωτική ικανότητά τους, γιατί η θερμοαγωγιμότητα του νερού είναι 23 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του αέρα συνεπώς η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού μειώνεται.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

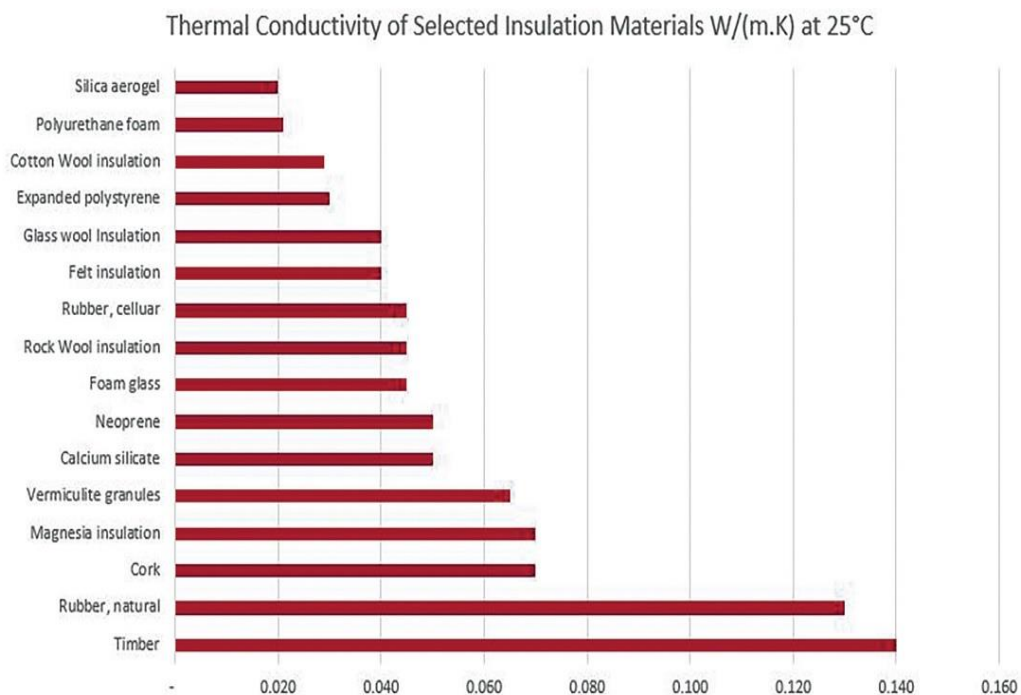
- Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας: Η βραχυχρόνια έκθεση στον ήλιο καταστρέφει τις πολυστερίνες και την πολυουρεθάνη οπότε τα συγκεκριμένα υλικά χρησιμοποιούνται σε χώρους σκιερούς.
- Μεταβολή των διαστάσεων: Με την αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας τα θερμομονωτικά υλικά μεταβάλλουν τις διαστάσεις (διαστολή –συστολή). Ο συνηθέστερος κίνδυνος σε αυξομειώσεις θερμοκρασίας είναι το ανασήκωμα του υλικού (διάρρηξη των στρώσεων του τοίχου) και η πρόωρη φθορά και γήρανση του υλικού.
- Χημική συμπεριφορά: Η εμπότιση του υλικού με χημικούς διαλυτές (βενζίνη, βενζόλιο, ασετόν) καταστρέφει ορισμένα οργανικά υλικά. Τα αφρώδη οργανικά επηρεάζονται από την πίσσα και τη ρευστή άσφαλτο. Τα υλικά φυτικής προέλευσης διαλύονται όταν έρθουν σε επαφή με κόλλες ή χημικούς διαλύτες.
- Αντίσταση στη φωτιά: Γενικά, καλή συμπεριφορά εμφανίζουν τα ανόργανα υλικά. Αντίθετα, τα οργανικά υλικά είναι εύφλεκτα (πολυστερίνες, πολυουρεθάνες, ξυλώδη και φυτικά παράγωγα). Υαλοβάμβακας, πετροβάμβακας, περλίτης και αφρώδες γυαλί είναι κατάλληλα υλικά γιατί δεν αναφλέγονται και δεν συντηρούν τη φωτιά.
- Μηχανική αντοχή: Σημαντική παράμετρος για μονώσεις σε σημεία της κατασκευής με μεγάλο φορτίο. Το ξυλόμαλλο και αφρώδες γυαλί εμφανίζουν μεγάλες αντοχές. Σε αντίθεση με υαλοβάμβακα και πετροβάμβακα όπου δεν αντέχουν σε καταπονήσεις.
- Ηχομονωτική ικανότητα: Η ηχομονωτική ικανότητα δηλαδή η δυσκολία της μετάδοσης του ήχου είναι μια ιδιότητα που είναι εφικτό να έχουν τα θερμομονωτικά υλικά. Ο βαθμός απορρόφησης του ήχου περιγράφει την ηχοαπορροφητικότητα του υλικού για ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων του ήχου. Η αύξηση του πάχους του υλικού καθώς και των ενδιάμεσων στρωμάτων αέρα, είναι ικανά να αυξήσουν την ηχομονωτική του ικανότητα.
- Διάρκεια ζωής: Η διάρκεια ζωής του υλικού είναι βασική παράμετρος των ιδιοτήτων του υλικού. Κατά κύριο λόγο, η διάρκεια ζωής επηρεάζεται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και την επίπτωση τους στο υλικό. Η μακρόχρονη

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

διάρκεια ζωής είναι η επιθυμητή για τα θερμομονωτικά υλικά, ιδίως σε όσα η αντικατάστασή τους είναι ακριβή και δύσκολη λόγω κατασκευής

- **Μορφή:** Είναι πολύ σημαντική η διαμόρφωση του υλικού ειδικά σε δύσκολες αρχιτεκτονικές κατασκευές με απλά μέσα (ψεκάσμο, αφρό).
- **Προσβολή από έντομα και τρωκτικά:** Μεγαλύτερο κίνδυνο προσβολής έχουν τα οργανικά υλικά στα οποία συνήθως γίνεται προσθήκη χημικών ουσιών για προστασία. Τα πρόσθετα επιβαρύνουν το περιβάλλον και πλέον αναζητούνται άλλοι τρόποι προστασίας του υλικού.
- **Συμβατότητα με άλλα υλικά και κατασκευαστικές απαιτήσεις**[4,5]

Στο **Σχήμα 2.1** παρουσιάζονται εμπορικά θερμομονωτικά υλικά συγκρινόμενα ως προς τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.



Σχήμα 2-1: Σύγκριση θερμομονωτικών υλικών σύμφωνα με τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (Πηγή: <http://www.appliedpolymers.com.au/lng/>)

Οι περιβαλλοντικές ιδιότητες των θερμομονωτικών υλικών είναι :

- **Κύκλος ζωής:** αποτελεί εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων που σκοπό έχει να ποσοτικοποιήσει τις επιπτώσεις από τη χρήση

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ενέργειας και την επεξεργασία υλικών, συμπεριλαμβανομένης της απόρριψης αποβλήτων στο περιβάλλον.

- Εμπεριεχόμενη ενέργεια: εκφράζει το ποσό ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή μιας μονάδας όγκου θερμομονωτικού υλικού, συνήθως σε μονάδες kWh/m³ ή kWh/kg. Τα τελευταία χρόνια διαπιστώνεται μία τάση για χρήση υλικών φιλικών προς το περιβάλλον.
- Περιεκτικότητα σε φυσικά υλικά
- Τρόπος παραγωγής
- Επίδραση στην υγιεινή των χώρων (πιθανή επιβάρυνση της υγείας των τεχνικών εφαρμογής και των τεχνικών εφαρμογής και των ενοίκων)
- Ανακύκλωση και βιοδιάσπαση[6]

Οι βασικές φυσικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες των κυριότερων θερμομονωτικών υλικών παρουσιάζονται στον **Πίνακα 2.1**.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Πίνακας 2-1: : Βασικές φυσικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες των κυριότερων θερμομονωτικών υλικών(Πηγή: fibran)

ΥΛΙΚΟ		ΥΛΟΒΑΜΒΑΚΑΣ	ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑΣ	ΕΞΗΛΑΣΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ	ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ	ΑΦΡΟΣ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ	
Φυσικές ιδιότητες	Πυκνότητα [kg/m ³]	min	13	30	20	8	30
		max	100	180	80	50	80
	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ [W/mK]	min	0,030	0,033	0,025	0,029	0,020
		max	0,045	0,045	0,035	0,041	0,027
	Εύρος χρήσης (°C)	min	-100	-100	-60	-80	-50
		max	500	750	75	80	120
	Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	min	<1	<1	80	25	50
		max	1	1	200	200	>100
	Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C/80%RH	min	<0,1	<0,1	<1*	5*	5*
		max	1	1,5			
	Κατηγορία πυραντοχής		A1 A2 B1	A1 A2 B2	B1 B2	B1 B2	B1 B2
	Αντοχή στον εφελκυσμό [N/mm ²]	min	0,005*		0,30	0,15	
		max			0,35	0,52	
	Όριο θραύσης [N/mm ²]	min	0,00500	0,00012		0,09000	
max		0,01500	0,00750		0,22000		
Βαθμός απορρόφησης στα 125 Hz	min	0,10	0,05				
	max	0,79	0,19				
Βαθμός απορρόφησης στα 1000 Hz	min	0,71	0,92				
	max	0,97	0,99				
Περιβαλλοντικές ιδιότητες	Πρόσθετα για προστασία από βιολογικούς παράγοντες	OXI	OXI	OXI	OXI	ΝΑΙ	
	Περιεχόμενη πρωτογενής ενέργεια [kWh/m ³]	min	90	110	85	151	15,8
max		430	660	114	269	36,1	

*Μέση τιμή

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

2.2.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Με βάση τη χημική σύνθεση των συστατικών τους, τα θερμομονωτικά υλικά διακρίνονται σε:

- Οργανικά
- Ανόργανα
- Σύνθετα: περιέχουν τόσο οργανικές όσο και ανόργανες ενώσεις.

Με βάση την πρώτη ύλη των χρησιμοποιούμενων υλικών για την παραγωγή θερμομονωτικών υλικών μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, και βέβαια και συνδυασμούς αυτών:

- Ορυκτά υλικά: άμμος, βασάλτης, βωξίτης, δολομίτης, γυαλί (καινούριο ή ανακυκλωμένο).
- Πετροχημικές πρώτες ύλες για αφρώδες πλαστικό: στυρόλιο, ουρεθάνη και η φορμαλδεΐδη.
- Οργανικά φυσικά υλικά: φελλός, ξύλο, φυτικές ίνες, κυτταρίνη, μαλλί.

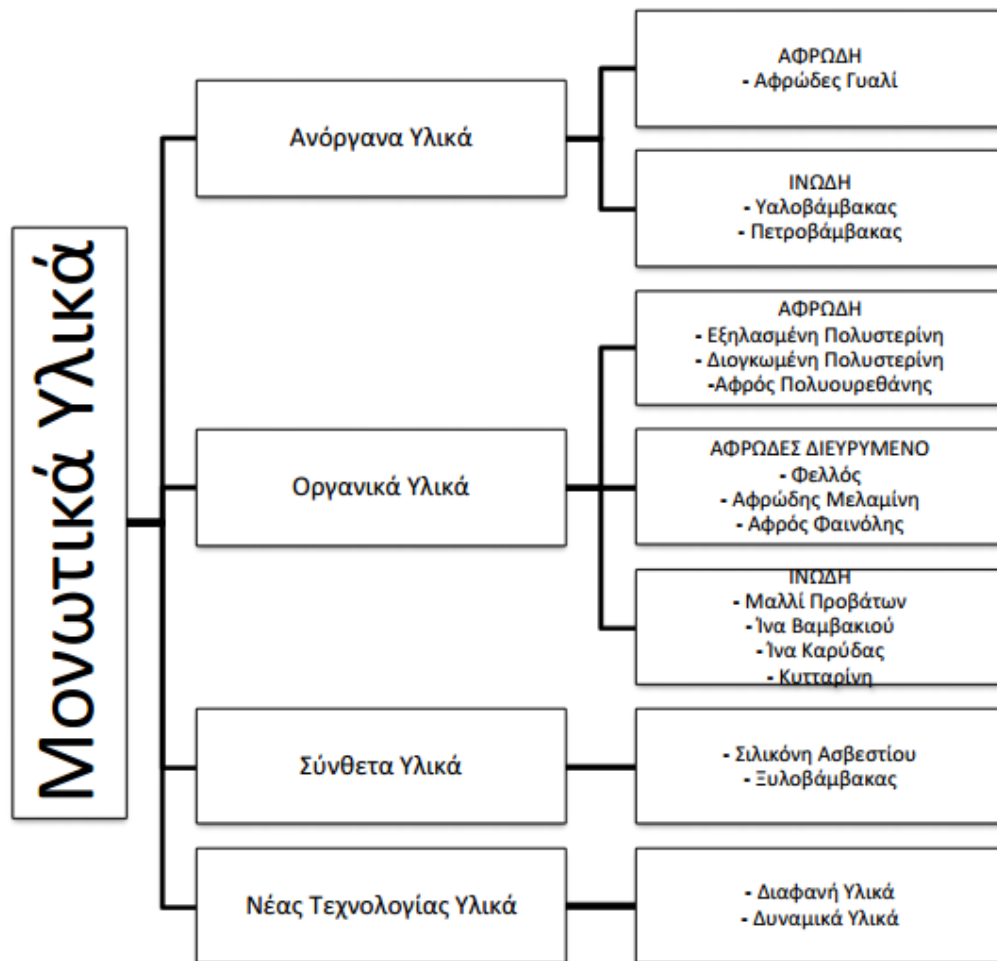
Άλλος τρόπος ταξινόμησης μπορεί να γίνει με βάση τη δομή τους σε δύο κατηγορίες:

- Αφρώδη, στα οποία ο αέρας υπάρχει μέσα τους με μορφή φυσαλίδων
- Ινώδη, στα οποία ο αέρας περιέχεται ανάμεσα στις ίνες τους, όπως ακριβώς συμβαίνει σε ένα μάλλινο ύφασμα.

Για την παραγωγή των θερμομονωτικών υλικών χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες αλλά και βοηθητικές ύλες, ως συνδετικά και ενισχυτικά μέσα για τη δημιουργία των δομών ώστε να μπορούν να περιέχουν αέρα μέσα στο υλικό, αλλά και την επίτευξη και άλλων στόχων εκτός της θερμομονωτικής ιδιότητας[7,8].

Η κατηγοριοποίηση των θερμομονωτικών υλικών είναι πιο παραστατική στο **Σχήμα 2.2.**

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



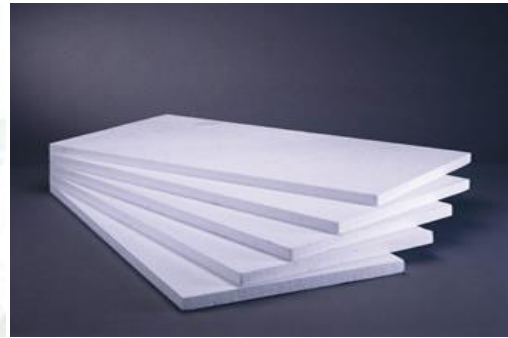
Σχήμα 2-2: Διάκριση θερμομονωτικών υλικών ανάλογα με την μορφή τους, τη χημική τους σύνθεση και την πρώτη ύλη που χρησιμοποιήθηκε.[7]

Παρακάτω, παραθέτονται σχήματα (Σχήματα 2.3-2.8) με θερμομονωτικά υλικά.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 2-3 Πλάκες Πετροβάμβακα(Πηγή DOW
knauf)



Σχήμα 2-4: Διογκωμένη Πολυστερίνη(Πηγή



Σχήμα 2-5: Εξηλασμένη πολυστερίνη(Πηγή DOW)



Σχήμα 2-6: Υαλοβάμβακας (Πηγή knauf)



Σχήμα 2-7 Ξυλόμαλλο (Πηγή fibran)



Σχήμα 2-8 Αφρώδες γυαλί(Πηγή fibran)

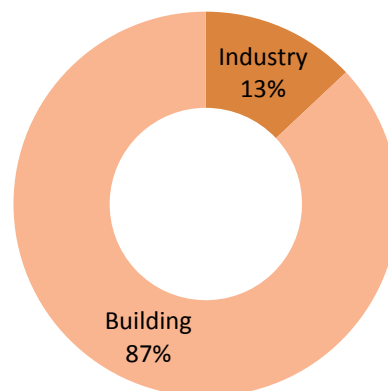
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

2.3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.3.1. Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

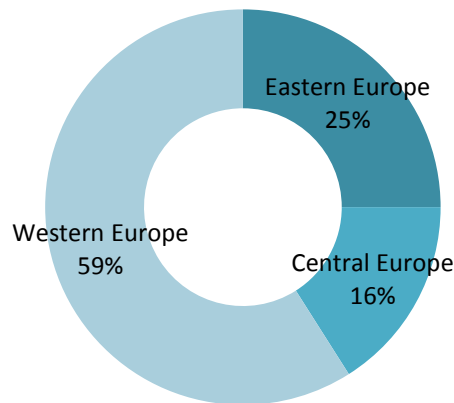
Η Ευρωπαϊκή Αγορά στα θερμομονωτικά υλικά ανέρχεται στα 234,6 εκ κυβικά μέτρα (m³) στο 2014 (7,4 εκ. τόνους). Αυτό ισοδυναμεί σε μια αγοραστική αξία των 11.3 εκ €. Τα εμπορικά κτίρια καθώς και τα σπίτια ιδιωτών εξακολουθούν να αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης για θερμομονωτικά υλικά στην Ευρώπη και με μικρότερη ζήτηση για χρήση σε βιομηχανικές εφαρμογές. Η κατανομή της αγοράς των θερμομονωτικών υλικών με βάση την εφαρμογή τους και την γεωγραφική τους τοποθεσία στην Ευρωπαϊκή αγορά (2014) παραθέτονται στα Σχήματα 2.9 και 2.10.

**European Thermal Insulation Market by Main
Application Type, 2014**



Σχήμα 2-9: Η κατανομή της αγοράς των θερμομονωτικών υλικών με βάση την εφαρμογή τους στην Ευρωπαϊκή αγορά (2014)[9]

**European Thermal Insulation Market by Region,
2014**

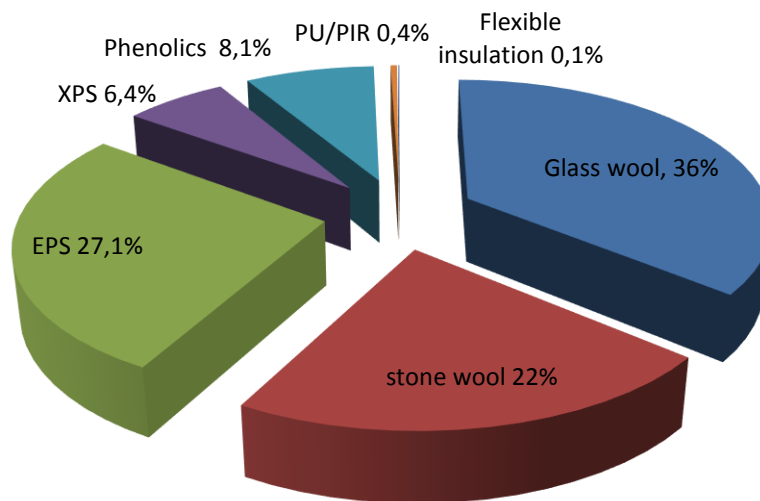


Σχήμα 2-10: Η κατανομή της αγοράς των θερμομονωτικών υλικών με βάση την τοποθεσία (2014)[9]

Με την εκδήλωση της οικονομικής κρίσης του 2008 ο κλάδος των κατασκευών ήταν αρκετά υποτονικός. Όμως, υπήρχαν ανησυχίες σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των κατασκευών καθώς και την βελτιστοποίηση των θερμομονωτικών υλικών. Έτσι οι συνεχώς αυξανόμενες τιμές της ενέργειας καθόρισαν τα θερμομονωτικά υλικά ως την πιο δημοφιλή λύση στις θερμικές απώλειες των κατασκευών.

Οι ρυθμιστικές αρχές τονίζοντας τη σημασία της ελαχιστοποίησης της απώλειας θερμότητας μέσω του κελύφους του κτιρίου και την υιοθέτηση νομοθεσίας για ενθάρρυνση της μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας δημιούργησαν πρότυπα ελάχιστης ενεργειακής απόδοσης. Η συγκεκριμένη νομοθεσία είναι η κινητήρια δύναμη για την έρευνα των θερμομονωτικών υλικών. Στο **Σχήμα 2.11** παρουσιάζεται η κατανομή των υλικών σε σχέση με τον όγκο τους.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 2-11: Η κατανομή στην Ευρωπαϊκή αγορά σε σχέση με τον όγκο των υλικών (2014)[9]

Με βάση τις ιδιότητες που πρέπει να έχουν τα θερμομονωτικά υλικά είναι η αντίσταση στην φωτιά γεγονός που δημιουργεί ένα προβάδισμα στα ορυκτά προϊόντα (μαλλί) όπου η απόδοσή τους είναι πολύ καλή. Έτσι λοιπόν, η θέση του υαλοβάμβακα (glasswool) και πετροβάμβακα (mineralwool) είναι καλά εδραιωμένη και συγκεντρώνουν το 58% της ευρωπαϊκής αγοράς στην θερμομόνωση.

Οι κατασκευαστές προωθούν τη χρήση άλλων υλικών μόνωσης σε μορφή πλαστικού αφρού, ειδικά την διογκωμένη πολυστερίνη(EPS). Ενώ η διογκωμένη πολυστερίνη (EPS) παραμένει ένα πολύ δημοφιλές υλικό στην εξωτερική μόνωση τοίχων, σε πολλές χώρες της Δυτικής Ευρώπης έχει αρχίσει να υποχωρεί η κατανάλωσή του λόγω της συμπεριφοράς του σε περίπτωση πυρκαγιάς. Βέβαια ,η Ανατολική Ευρώπη, όπου η διογκωμένη πολυστερίνη (EPS) είναι σε χαμηλό κόστος συνεχίζει να χρησιμοποιείται και ευνοείται η χρήση της στον τομέα των κατασκευών. Οι υψηλότερες απαιτήσεις για τα θερμομονωτικά υλικά συνδέεται άμεσα με αύξηση του πάχους του υλικού. Οι πολυουρεθάνες προσφέρουν το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα να είναι πιο λεπτές από ό, τι άλλα υλικά.

Η αγορά των θερμομονωτικών υλικών ενδέχεται να αυξηθεί με ρυθμό 2,8% σε ορίζοντα χρόνου έως το 2019. Η ανάπτυξη στην κεντρική και Ανατολική Ευρώπη

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

είναι πιθανό να ξεπεράσει την ανάπτυξη στην Δυτική Ευρώπη όπου η αγορά είναι πιο ώριμη. Οι οικονομίες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης αναπτύσσονται πιο γρήγορα σε σχέση με της Δυτικής Ευρώπης. Η βασική προϋπόθεση για την εν λόγω ανάπτυξη είναι η αύξηση της ζήτησης των θερμομονωτικών υλικών στην Ευρώπη που έχει ανέλθει στα 269.300.000 εκ κυβικά μέτρα (m³). Αυτή τη χρονική στιγμή ενδιαφέρον ανάπτυξης έχουν εκδηλώσει το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιταλία, η Γερμανία και η Τουρκία[9].

2.3.2. Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ

Τα θερμομονωτικά υλικά έκαναν αισθητή την παρουσία τους στην Ελληνική αγορά μετά το 1979, όταν θεσπίστηκε νομικά η υποχρεωτική χρήση θερμομονωτικής προστασίας των κτιρίων με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων.

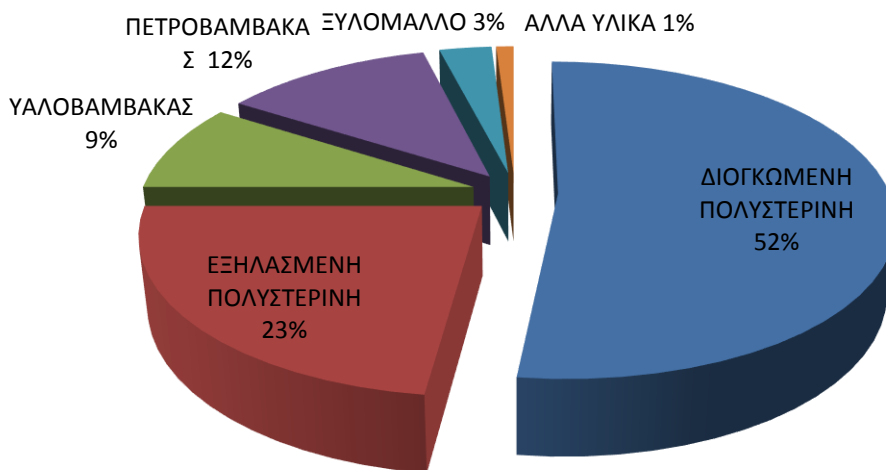
Στη δεκαετία του 1980 η αγορά των θερμομονωτικών υλικών γνώρισε μια αλματώδη πρόοδο, που όσο προχωρούσαν τα χρόνια γινόταν μεγαλύτερη, καθώς η ανάγκη θερμομονωτικής προστασίας των κτιρίων γινόταν απαραίτητη στους κατασκευαστές και στους ιδιοκτήτες. Στη συνέχεια στη δεκαετία του 1990 πήρε σε μεγάλο βαθμό την μορφή που παρουσιάζει σήμερα και διαμορφώθηκε κυρίως λόγω της οικοδομικής δραστηριότητας. Τα τελευταία χρόνια έχει αποκτήσει μία επιπλέον διάσταση πέραν αυτής της εξοικονόμησης ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος. Η μείωση της κατανάλωσης φυσικών ενεργειακών πόρων αφενός περιορίζει τα αποθέματα ορυκτού πλούτου της γης, αφετέρου μειώνει τους αέριους ρύπους που παράγονται και κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα, που είναι υπεύθυνοι για την εμφάνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Υπάρχουν πολλές επιχειρήσεις όπου ασχολούνται με την παραγωγή αλλά και την διακίνηση των θερμομονωτικών υλικών. Όμως λόγω της πολυπλοκότητας αλλά και της δυσκολίας της κατασκευής μια εταιρία συγκεντρώνει όλες τις παραπάνω ενέργειες. Συνεπώς, μια εταιρία έχει ένα μεγάλο φάσμα προϊόντων που καλύπτουν πολλές δυνατότητες (θερμομόνωση- ηχομόνωση) και προσπαθεί να γίνει ανταγωνιστική και να διαφοροποιηθεί από τις υπόλοιπες επιχειρήσεις.

Σε επίπεδο προϊόντων η αγορά χαρακτηρίζεται ως «μονοπωλιακού ανταγωνισμού». Τα θερμομονωτικά υλικά που έχουν επικρατήσει είναι τα οργανικά κυψελωτής δομής και κυρίως η διογκωμένη πολυστερίνη και η αφρώδης εξηλασμένη

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

πολυστερίνη. Αυτά τα δύο υλικά είναι περίπου το 75% της αγοράς των θερμομονωτικών που οφείλεται στο συνδυασμό δύο βασικών παραγόντων: της υψηλής θερμομονωτικής προστασίας και του χαμηλού κόστους. Στο υπόλοιπο 25% περίπου της αγοράς είναι τα ανόργανα ινώδη υλικά και κυρίως ο υαλοβάμβακας και ο πετροβάμβακας. Μικρότερα ποσοστά συγκεντρώνουν το ξυλόμαλλο, η πολυουρεθάνη και ο περλίτης. Τα υπόλοιπα θερμομονωτικά υλικά έχουν μικρή παρουσία και δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα[3]. Στο **Σχήμα 2.12** κατανέμεται η χρήση των υλικών στην Ελλάδα.



Σχήμα 2-12: Η κατανομή των υλικών στην αγορά της Ελλάδας [3]

2.4. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

2.4.1. ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο καθορίζει τα χαρακτηριστικά του προϊόντος. Περιλαμβάνει επίσης τις διαδικασίες για τον έλεγχο, την αξιολόγηση, τη βαθμολόγηση και την σήμανση.

Η ευρωπαϊκή Νομοθεσία είναι η εξής:

- Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) ([91/2002/EC](#))
- Recast of the EPBD ([31/2010/EC](#))

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

- Construction Products Directive (CPD) ([89/106/EC](#))
- Recast of the Construction Products Regulation (CPR) ([305/2011](#))
- Framework for Ecodesign requirements ([32/2005/EC](#))
- Recast of the Ecodesign requirements ([125/2009/EC](#))

2.4.2. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το υπάρχον θεσμικό πλαίσιο για την Ελλάδα περιλαμβάνει τις απαιτήσεις για τα θερμομονωτικά υλικά καθώς και τις προδιαγραφές των κτιριακών κελύφων και της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων.

Οι κανονισμοί είναι οι εξής:

- ΦΕΚ - Πιστοποίηση θερμομονωτικών υλικών βάσει CE ([815/24-05-2007](#))
- ΦΕΚ - Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων ([407/09-07-2010](#))
- ΦΕΚ - Τροποποίηση του Γενικού Οικοδομικού Κανονισμού ([140/13-06-2000](#))
- ΦΕΚ - Ελάχιστο πάχος αναδρομικής θερμομόνωσης στα κτήρια ([492/31-03-2011](#))
- ΦΕΚ - Νέος Τρόπος Έκδοσης Αδειών Δόμησης, Ελέγχου Κατασκευών και Λοιπές Διατάξεις ([249A/25-11-2011](#))
- ΦΕΚ - Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός ([79A/09-04-2012](#))

Συμπληρωματικά, υπάρχουν οδηγίες όπου συμπεριλαμβάνονται στη νομοθεσία για τα θερμομονωτικά υλικά:

- Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης ([TOTEE 20701-1/2010](#))

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

- Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων ([TOTEE 20701-2/2010](#))
- Διευκρινήσεις για την [TOTEE 20701-1/2010](#)
- Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών ([TOTEE 20701-3/2011](#))
- Διευκρινίσεις για την [TOTEE20701-3/2011](#)
- Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτηρίων, λαβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού ([TOTEE 20701-4/2010](#))
- Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων ([TOTEE 20702-5/2010](#)) [10]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΝΘΕΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΥΡΙΤΙΚΗ ΠΑΙΠΑΛΗ

Έχει παρατηρηθεί πως οι προδιαγραφές των υλικών γίνονται όλο και πιο απαιτητικές. Όσο οι τεχνολογικές εξελίξεις αναπτύσσονται, τόσο αναπτύσσεται και η παραγωγή νέων ή σύνθετων υλικών. Στον τομέα των μονωτικών υλικών υπάρχει μια τάση στην εξέλιξη των ανόργανων υλικών με την ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση και οικονομικό κόστος.

Οι συνεχείς απαιτήσεις της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας και τη δημιουργία υλικών φιλικών προς το περιβάλλον, καθιστά την ανακύκλωση των υλικών απαραίτητη προς παραγωγή νέων. Συνεπώς, διάφορα παραπροϊόντα μεταλλουργικών διεργασιών χρησιμοποιούνται για την δημιουργία νέων τύπων υλικών. Τα παραπροϊόντα μεταλλουργικών διεργασιών προς χρήση σε θερμομονωτικές συνθέσεις υλικών είναι η σκωρία υψικαμίνων (παραπροϊόν μεταλλουργίας χάλυβα), η ιπτάμενη τέφρα (παραπροϊόν καύσης λιγνίτη) και η πυριτική παιπάλη (παραπροϊόν βιομηχανίας πυριτικών μετάλλων και σιδηροπυριτικών κραμάτων). Η πυριτική παιπάλη έχει μέχρι σήμερα μικρή εφαρμογή σε συνθέσεις θερμομονωτικών υλικών.

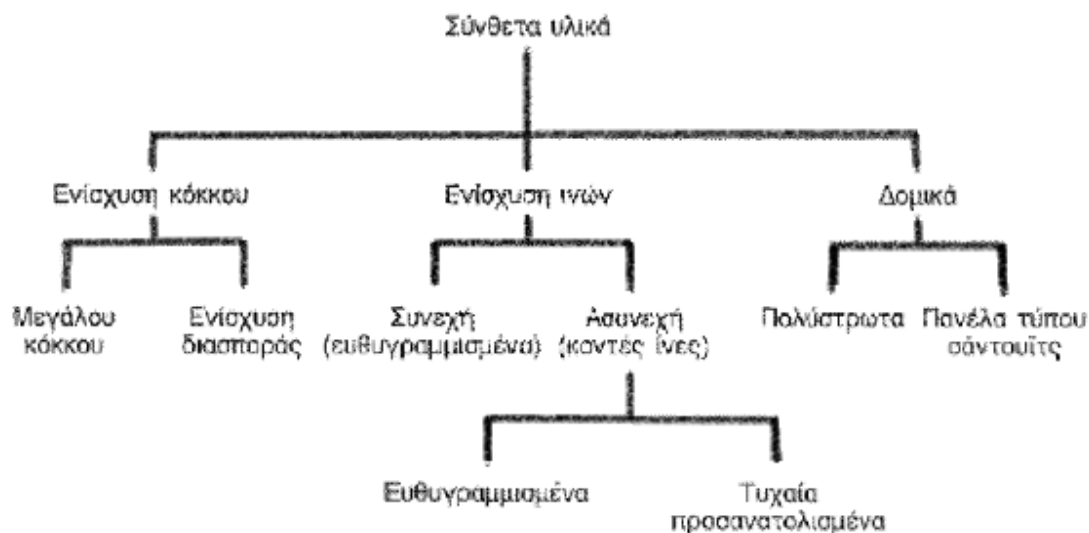
3.1. ΣΥΝΘΕΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Τα σύνθετα υλικά είναι στην πλειοψηφία τους δομικά υλικά, που προκύπτουν από το συνδυασμό δύο ή περισσότερων υλικών, με ιδιότητες ανώτερες από τις ιδιότητες των επιμέρους συστατικών τους. Τα επιμέρους υλικά αναμιγνύονται σε μακροσκοπικό επίπεδο και δεν είναι διαλυτά μεταξύ τους. Συνήθως η μία από τις επιμέρους φάσεις ονομάζεται φάση ενίσχυσης, διότι είναι εκείνη που φέρει τα εξασκούμενα φορτία. Η άλλη φάση, που παίζει το ρόλο του μέσου μεταφοράς, ονομάζεται μήτρα.

Με βάση το υλικό ενίσχυσης, τα σύνθετα υλικά ταξινομούνται στις τρεις ακόλουθες κατηγορίες: σύνθετα με ενίσχυση κόκκων (κοκκώδη σύνθετα), σύνθετα με

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ενίσχυση ινών (ινώδη σύνθετα) και δομικά σύνθετα υλικά (συνήθως πολύστρωτα) (Σχήμα3.1).



Σχήμα 3-1: Ταξινόμηση των σύνθετων υλικών με βάση το υλικό ενίσχυσης[11]

Τα σύνθετα ανόργανα θερμομονωτικά υλικά αποτελούνται από μια μήτρα συγκεκριμένου υλικού (πχ πολυμερές) και ως πρόσθετα χρησιμοποιούνται ανόργανες χημικές ουσίες όπως οξείδιο του πυριτίου (SiO_2) οξείδιο του ασβεστίου (CaO), οξείδιο του μαγνησίου (MgO) , οξείδιο του αλουμινίου (Al_2O_3) κ.α. Οι ανόργανες χημικές ουσίες προσθέτονται μέσω των υλικών που τις εμπεριέχουν [11]

Στα επόμενα κεφάλαια παραθέτονται ευρωπαϊκά προγράμματα αλλά και δημοσιεύσεις με σύνθεση ανόργανων μονωτικών υλικών.

3.1.1. ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Οι Ruifang Zhang, Junjie Feng et al.[12] για την παραγωγή σύνθετων ανόργανων μονωτικών υλικών χρησιμοποίησαν ως πρώτη ύλη την ιπτάμενη τέφρα (FA, παραπροϊόν καύσης άνθρακα) με κοκκομετρία 100 mesh. Ακόμη, πρόσθεσαν απόβλητα γυαλιού που είναι άμορφα για να βελτιώσουν τις ιδιότητες θερμικής μόνωσης. Επίσης, άργιλο με κοκκομετρία 100 mesh λόγω της πλαστικότητας της

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

για την ενίσχυση της αντοχή του σύνθετου υλικού. Τέλος χρησιμοποιήθηκε σαν αφριστικό δωδεκυλοθειικό νάτριο (SDS) καθώς και μια ορισμένη ποσότητα από πολυακρυλικό νάτριο (PAAS). Το πολυακρυλικό νάτριο ήταν απαραίτητο για τη σταθεροποίηση των αφρών. Για την δημιουργία του υλικού, αφού προηγήθηκαν διαδικασίες προετοιμασίας των υλικών, χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί χύτευση. Συμπερασματικά, η συγκεκριμένη σύνθεση υλικού έχει πολύ καλά αποτελέσματα ως προς τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Οι τιμές για τις διάφορες δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν είναι σε εύρος 0.0495 - 0.0715W/(m K)

Ένα νέο μονωτικό δομικό υλικό παρήχθη από τους Ru Ji, Zuotai Zhang et al.[13] χρησιμοποιώντας υπολείμματα κεραμικών απορριμμάτων από τη διαδικασία της στίλβωσης (CPR). Τα κεραμικά απορρίμματα (CPR) χρησιμοποιήθηκαν ως κύρια πρώτη ύλη και δημιουργήθηκαν με σύντηξη σε εύρος θερμοκρασίας πυροσυσσώματωσης 1010-1200°C. Το καρβίδιο του πυριτίου (SiC), το φωσφορικό δωδεκαένυδρο τρι-νάτριο ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) και το οξείδιο του μαγνησίου (MgO) επιλέχθηκαν ως πρόσθετες ύλες. Οι πρόσθετες ύλες και ο παράγοντας της θερμοκρασίας πυροσυσσώματωσης επέδρασε στην πυκνότητα όγκου και το μέγεθος των πόρων ικανοποιητικά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το καρβίδιο του πυριτίου (SiC) διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό των πόρων λόγω της αποσύνθεσης του στην επιλεγμένη θερμοκρασία. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας κυμαίνεται από 0.105 - 0.334 W/(m K).

Στον Ελληνικό χώρο οι καθηγητές Κεφαλά κ.α.[14] ανέπτυξαν μια πειραματική διαδικασία ενός σύνθετου υλικού με μήτρα εποξειδική ρητίνη και πρόσθετα ανακυκλώσιμα δομικά υλικά (κεραμίδια, κομμάτια από σοβά). Κατά την μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων των δοκιμίων των συνθέτων υλικών που παρασκευάστηκαν, οι μηχανικές ιδιότητες επηρεασθήκαν όσο αυξανόταν η προστιθέμενη ποσότητα των ανόργανων οξειδίων. Πιο συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται το ποσοστό του προσθέτου, μειώνονται οι αντοχές των δοκιμίων σε κάμψη και διάτμηση. Παρόλα αυτά, τα δοκίμια με το μεγαλύτερο ποσοστό προσθέτων εμφανίζουν ικανοποιητικές τιμές μηχανικών ιδιοτήτων, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά αλλά και ως θερμομονωτικά υλικά.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Επιπρόσθετα, οι Χ.Παναγιωτοπούλου κ.α. [15] παρασκεύασαν σύνθετα ανόργανα πολυμερή υλικά με πρώτες ύλες δύο τύπων αποβλήτων περλίτη (PW1, PW2), ανακυκλωμένο γυαλί βοριοπυριτικού υαλοθραύσματος (BGL) και πυριτική παιπάλη (SF). Για όλους τους τρεις τύπους ανόργανων πολυμερών το πρώτο στάδιο στη διαδικασία σύνθεσης τους είναι η ανάμιξη του υλικού βάσης με το κατάλληλο διάλυμα ενεργοποίησης. Ένα κατάλληλο μείγμα των δυο τύπων αποβλήτων περλίτη (PW1 και PW2) χρησιμοποιήθηκε ως πρώτη ύλη για την σύνθεση των συμπαγών ανόργανων πολυμερών. Ο τύπος περλίτη PW2 χρησιμοποιήθηκε για τη σύνθεση του αφρώδους πολυμερούς, ενώ ένα κατάλληλο μείγμα τύπου περλίτη PW2, ανακυκλωμένου γυαλιού (BGL) και πυριτικής παιπάλης (SF) χρησιμοποιήθηκε για τη σύνθεση των ελαφριών υλικών κοκκώδους μορφής.

3.1.2. ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Τα Ευρωπαϊκά προγράμματα έχουν προσανατολίσει την έρευνά τους στα σύνθετα ανόργανα μονωτικά υλικά. Πιο συγκεκριμένα το πρόγραμμα LEEMA (Low Embodied Energy Advanced (Novel) Insulation Materials and Insulating Masonry Components for Energy Efficient Buildings)[16] έχει πραγματοποιήσει συνθέσεις με πρώτες ύλες απόβλητα πυριτικά / αλούμινας από βιομηχανική εκμετάλλευση ορυκτών, ανακυκλωμένα απορρίμματα από τη βιομηχανία γυαλιού, ανόργανα απόβλητα με υψηλή περιεκτικότητα σε αλκάλια, όπως αλκαλικούς ενεργοποιητές.

Τα υλικά που παράχθηκαν (loose-fill) προσφέρουν ανώτερη απόδοση συγκρινόμενη με τις υπάρχουσες λύσεις (πετροβάμβακα και υαλοβάμβακα σε μορφή κόκκων, διογκωμένο περλίτη, αφρώδους πολυουρεθάνης)

Επίσης ένα ευρύ φάσμα υλικών έχει αναπτυχθεί για να χρησιμοποιηθεί ως μόνωση σε τοίχους με κοιλότητα ή ως αντικατάσταση του διογκωμένου περλίτη σε υπάρχοντα προϊόντα. Η θερμική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 0,035-0,045 W/mK.

Στη συνέχεια γεωπολυμερή συνδετικά έχουν δημιουργηθεί με χρήση ορυκτών απορριμμάτων (περλίτη, μπεντονίτη, κλπ) ως πρώτη ύλη. Τα συγκεκριμένα υλικά έχουν κατασκευαστεί για να αντικαταστήσουν τα τσιμεντοειδή συνδετικά σε τσιμεντοσανίδες ινών ή στο κεραμικό σώμα των τούβλων.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Πιο εξειδικευμένες εφαρμογές έχουν πραγματοποιηθεί από το πρόγραμμα AerSUS (Aerogel European Supplying Unit for Space Applications) [17]. Με πρώτη ύλη το οξειδίο του πυριτίου (SiO_2) δημιουργείται η αερογέλη. Η αερογέλη είναι το ελαφρύτερο στερεό υλικό στον κόσμο και αποτελείται από αέρα πάνω από το 90%. Λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων της, όπως η χαμηλή πυκνότητα και η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, αεροπηκτώματα έχουν αναδειχθεί ως η καλύτερη εναλλακτική λύση. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα εργάστηκε για την ανάπτυξη των συστημάτων θερμομόνωσης με βάση αερογέλες που θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις χώρου σε διαστημικές εφαρμογές.

3.2. ΠΥΡΙΤΙΚΗ ΠΑΙΠΑΛΗ (SF)

Η πυριτική παιπάλη είναι ένα ορυκτό που αποτελείται από πρωτογενή σωματίδια μικρότερα του 1 μm . Είναι άμορφο υλικό, μη κρυσταλλικό και καθαρό διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), και είναι παραπροϊόν της βιομηχανίας παραγωγής πυριτικών μετάλλων ή σιδηροπυριτικών κραμάτων με χρήση βολταϊκού τόξου. Διατίθεται σε μορφή σκόνης (πούδρας) ή σε αιώρημα. Το χρώμα της σκόνης διαφέρει ανάλογα με την περιεκτικότητα της πυριτικής παιπάλης σε άνθρακα από άσπρο (με χαμηλά ποσοστά άνθρακα) μέχρι γκρι (για υψηλά ποσοστά άνθρακα). Είναι βασικό συστατικό για τα τσιμέντα τόσο της υψηλής αντοχής όσο και για τα διαπερατά [18]

Η πυριτική παιπάλη πρέπει να πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

α) Η απώλεια πύρωσης πρέπει να περιορίζεται στο 4,0% κατά μάζα όταν προσδιορίζεται σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 196-2 με χρόνο όμως πύρωσης 1h.

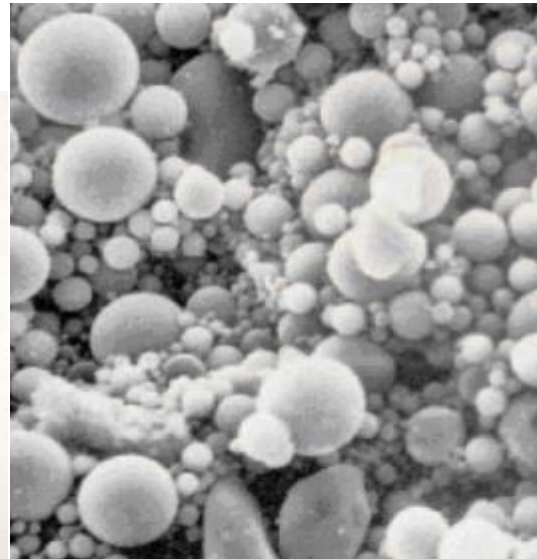
β) Η ειδική επιφάνεια (BET) της ακατέργαστης πυριτικής παιπάλης πρέπει να είναι τουλάχιστον $15,0\text{m}^2/\text{g}$ όταν προσδιορίζεται σύμφωνα με το ISO 9277.

Παρακάτω, παρουσιάζονται σχήματα για την πυριτική παιπάλη τόσο για την μορφή της μακροσκοπικά (Σχήμα 3.2) όσο και για την μορφή της στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM) (Σχήμα 3.3) [19].

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 3-2 Πυριτική παιπάλη μακροσκοπικά



Σχήμα 3-3 Πυριτική παιπάλη με Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM)

3.2.1. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ

Η σύσταση της πυριτικής παιπάλης εξαρτάται πρωτίστως από τις πρώτες ύλες αλλά και από την διαδικασία αναγωγής του χαλαζία με άνθρακα. Επίσης, συνδέεται άμεσα με την ποιότητα του ηλεκτροδίων και την καθαρότητα του άνθρακα. Η καταγραφή της χημικής σύστασης παρουσιάζεται στον **Πίνακα 3.1**[20].

Πίνακας 3-1: Η χημική σύσταση μιας τοπικής πυριτικής παιπάλης[20]

Χημικές Ενώσεις	Ποσοστά(%)
SiO ₂	94,5*
Al ₂ O ₃	0,09
Fe ₂ O ₃	0,10
CaO ₂	0,30
MgO	0,43
SO ₃	-
K ₂ O	0,85
Na ₂ O	0,27

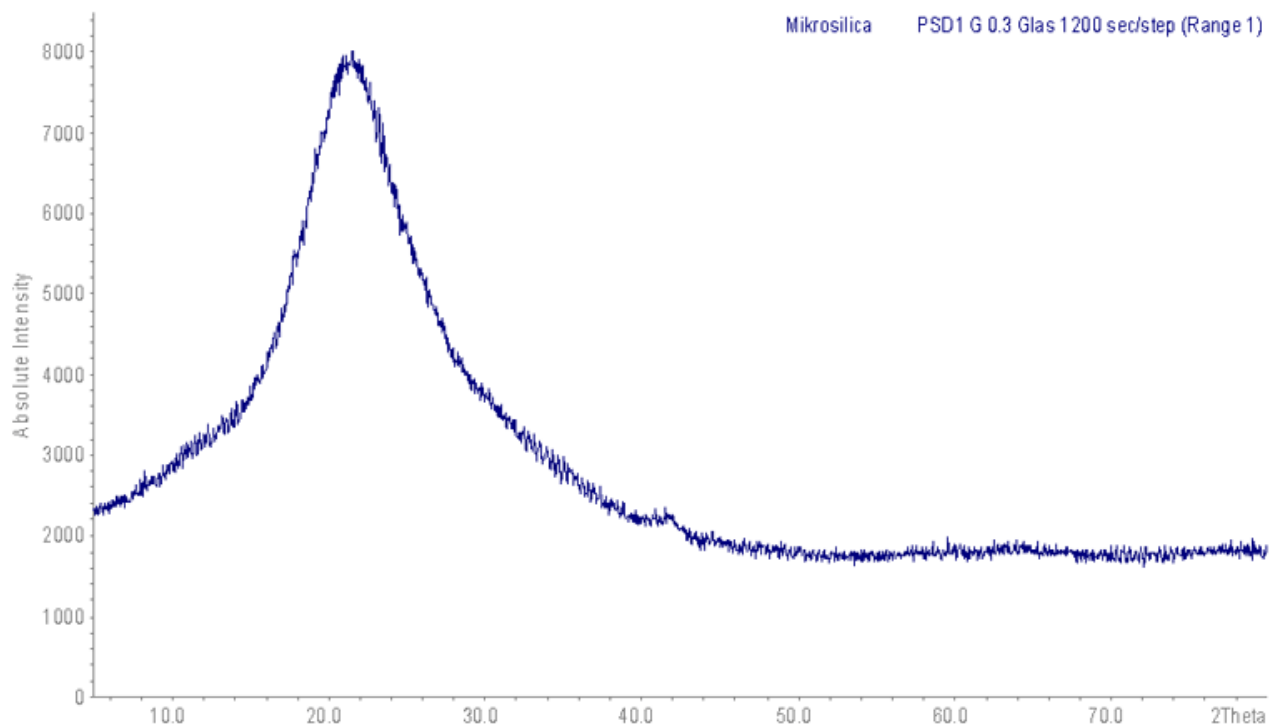
*Το συγκεκριμένο ποσοστό είναι υψηλό όταν η πυριτική παιπάλη είναι παραπροϊόν από βιομηχανίες κραμάτων πυριτίου και βιομηχανίες κραμάτων σιδηροπυριτίου

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

3.2.2. ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ

Η πυριτική παιπάλη αποτελείται κυρίως από άμορφη φάση και είναι σε λεπτό διαμερισμό. Μερικές φορές περιέχει και μικρά ποσοστά χαλαζία. Η άμορφη φάση στην πυριτική παιπάλη δεν είναι υαλώδης σε αντίθεση με την άμορφη φάση που περιέχεται στις σκωρίες και τις τέφρες. Αυτό εξηγείται, γιατί η πυριτική παιπάλη προέρχεται από αντίδραση αερίου – αερίου, ενώ ως γυαλί ορίζεται μια ανόργανη ουσία που προέρχεται από ταχέως ψυχθέν τήγμα χωρίς κρυσταλλοποίηση.

Παρακάτω παρατίθεται ο **Πίνακας 3.2** με τις φυσικές ιδιότητες της πυριτικής παιπάλης και το **Σχήμα 3.4** που αποτυπώνει τα ακτινοδιάγραμμα της πυριτικής παιπάλης όπου διακρίνεται η άμορφη φάση της από την καμπυλότητα του διαγράμματος[20]



Σχήμα 3-4: Ακτινοδιάγραμμα XRD για την πυριτική παιπάλη[20]

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Πίνακας 3-2: Οι φυσικές ιδιότητες της πυριτικής παιπάλης[20]

Φυσικές Ιδιότητες	Αριθμητικά μεγέθη
Μέγεθος	<1μm
Ειδική Επιφάνεια	20m ³ /g
Πορώδες συμπίεσμής παιπάλης	82%

3.2.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης της πυριτικής παιπάλης είναι τα εξής :

- Υψηλή αντοχή σε θλίψη
- Υψηλή αντοχή σε κάμψη και εφελκυσμό
- Πολύ χαμηλή διαπερατότητα σε χλωριόντα κατά την διείσδυση του νερού
- Υψηλή ανθεκτικότητα
- Υψηλή αντοχή σε τριβή για χρήση σε καταστρώματα, δάπεδα, επικαλύψεις σε θαλάσσιες κατασκευές
- Μεγάλη αντίσταση στη χημική προσβολή από χλωριούχα, οξέα, νιτρικά και θειικά καθώς και μείωση του κόστους του κύκλου ζωής στο υλικό
- Υψηλή ηλεκτρική αντίσταση και χαμηλή διαπερατότητα[20]

3.2.4. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ

Η χρήση της πυριτικής παιπάλης εντοπίζεται στην δημιουργία διάφορων τύπων τσιμέντου με θερμομονωτικές ιδιότητες. Παρακάτω παραθέτονται άρθρα και μελέτες της επίδρασης της πυριτικής παιπάλης.

Από μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί [21] για την συμβολή της πυριτικής παιπάλης στο τσιμέντο παρατηρούνται τα εξής: Η πυριτική παιπάλη χαρακτηρίζεται από την αυξημένη ποζολανικότητα της αλλά δεν αντιδρά με το νερό. Όπως είναι γνωστό η εξώθερμη χημική αντίδραση που πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσης του τσιμέντου δίνει ως προϊόν το ένυδρο πυριτικό ασβέστιο (CSH gel) και ως δευτερεύον παράγωγο το υδροξείδιο του ασβεστίου. Σε περίπτωση που προϋπάρχει στο ανάμιγμα ποσότητα από πυριτικά οξείδια, αυτά δεσμεύουν το υδροξείδιο του ασβεστίου και πραγματοποιείται μια δεύτερη χημική αντίδραση που το μόνο της προϊόν είναι το ένυδρο πυριτικό ασβέστιο. Με άλλα λόγια η πυριτική

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

παιπάλη δεν βοηθά στη βελτιστοποίηση της μικροδομής του σκυροδέματος απλά δρα ως πληρωτικό και δημιουργεί παράλληλα επιπλέον ποσότητα ένυδρου πυριτικού ασβεστίου (CSH)

Μια δεύτερη έρευνα [22] αποδεικνύει πως η πυριτική παιπάλη συνεισφέρει στην καμπτική αντοχή του τσιμέντου παρόλα αυτά παρουσιάζει μειονεκτήματα λόγω της διασποράς του υλικού. Η διασπορά απαιτεί συγκεκριμένες συνθήκες και κυρίως όταν απαιτείται χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό. Έτσι, η χρήση ποζολανικών κόνεων λεπτότερης κοκκομετρίας ίσως ήταν μια προοπτική για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος.

Διπλωματικές εργασίες έχουν καταλήξει σε συμπεράσματα πως η πυριτική παιπάλη χρησιμοποιείται και για άλλους τύπους σκυροδέματος όπως το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα [23,24]. Ως αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (self compacting, ή self consolidating concrete –SCC) ονομάζεται το σκυρόδεμα που έχει τη δυνατότητα να πληρώσει οποιονδήποτε τύπο (ξύλοτυπο κτλ.) ρέοντας ανάμεσα στον οπλισμό, και να αποκτήσει ικανή συμπίκνωση λόγω του ιδίου βάρους του. Τα χαρακτηριστικά του είναι υψηλή ρεολογική συμπεριφορά, υψηλή σταθερότητα και εργασιμότητα, πλαστικότητα και αντίσταση στον διαχωρισμό. Τα πρόσθετα που είναι απαραίτητα για την κατασκευή του είναι η πυριτική παιπάλη καθώς και άλλα παραπροϊόντα όπως η ιπτάμενη τέφρα και η σκωρία υψικαμίνων. Η πυριτική παιπάλη (μέγεθος <math><1\mu\text{m}</math>) συνεισφέρει στο να προσκολλάται επιφανειακά στα αδρανή. Με την προσκόλληση αυτή γεμίζουν τα κενά μεταξύ των σωματιδίων τσιμέντου, προσδίδοντας έτσι συνεκτικότητα στο μίγμα.

Η χρήση της πυριτικής παιπάλης είναι διαδεδομένη και στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (shotcrete)[25]. Το εκτοξευμένο σκυρόδεμα ορίζεται ως το σκυρόδεμα όπου εκτοξεύεται μέσω ενός ακροφύσιου στην επιφάνεια μετώπου για να σχηματιστεί μια στρώση συνάφειας. Το εκτοξευμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται κυρίως για την σταθεροποίηση και την επένδυση σιηράγγων και σε επισκευές βλαβών από σεισμούς στο σκελετό των κτιρίων από σκυρόδεμα.

Τέλος, σύμφωνα με άλλη έρευνα [26] η πυριτική παιπάλη είναι απαραίτητη και στην κατασκευή ελαφριού σκυροδέματος. Το ελαφρύ σκυρόδεμα (lightweight concrete) έχει φαινόμενο βάρος χαμηλότερο από του συμβατικού σκυροδέματος.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη με μικρή φέρουσα ικανότητα και μπορεί να έχει και θερμομονωτικές ικανότητες. Στην σύνθεση του χρησιμοποιείται ως πρόσθετο η πυριτική παιπάλη καθώς και χαλαζιακή άμμος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στόχος της μεταπτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της χρήσης πυριτικής παιπάλης στη σύνθεση θερμομονωτικών υλικών. Στο πλαίσιο λοιπόν αυτού του στόχου, στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται οι πρώτες ύλες, οι πειραματικές διατάξεις, τα απαραίτητα προκαταρκτικά πειράματα, η πειραματική διαδικασία και οι μέθοδοι χαρακτηρισμού (αξιολόγησης) των παραχθέντων θερμομονωτικών υλικών.

4.1. ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή της σύνθεσης θερμομονωτικού υλικού είναι η χιτοζάνη, διάλυμα οξικού οξέος, πυριτική παιπάλη, και δωδεκυλιοθειικό νάτριο.

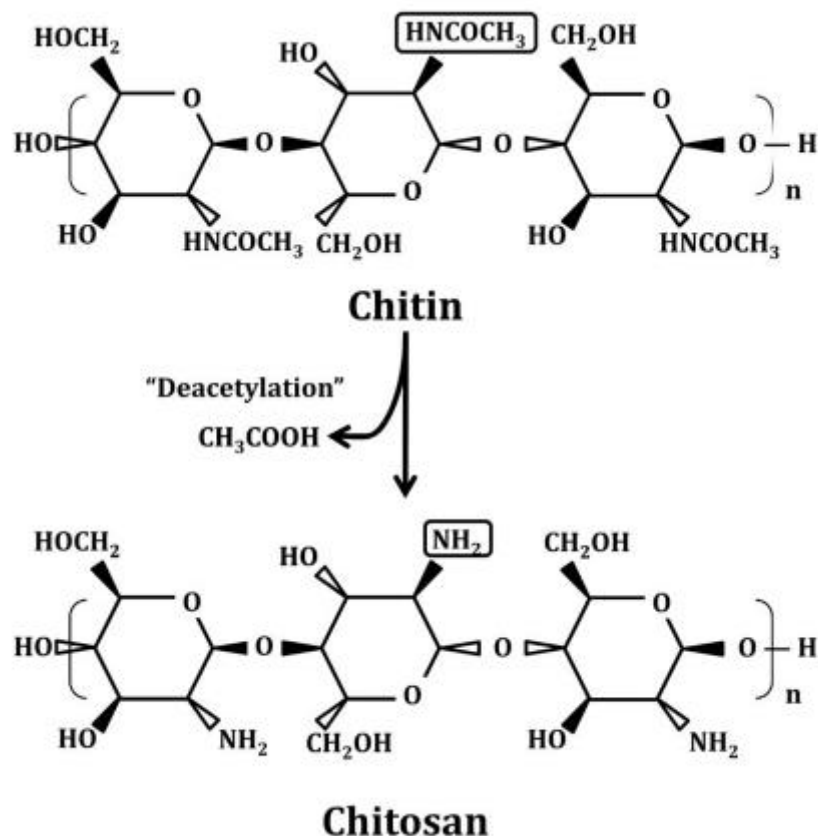
Οι βασικοί παράμετροι που εξετάστηκαν είναι:

- Η ποσότητα της χιτοζάνης (Cs).
- Η συγκέντρωση του διαλύματος οξικού οξέος (AcOH).
- Η ποσότητα της πυριτικής παιπάλης (SF).
- Η ποσότητα του δωδεκυλιοθειικού νατρίου (SDS)

4.1.1. ΧΙΤΟΖΑΝΗ (Cs)

Η χιτοζάνη προέρχεται από το φυσικό προϊόν χιτίνη, που παράγεται από τον εξωσκελετικό σχηματισμό των εντόμων και των οστρακοειδών. Η χιτοζάνη είναι ένα συμπολυμερές N-ακετυλογλυκοζαμίνης και γλυκοζαμίνης, φυσικής προέλευσης, το οποίο λαμβάνεται από την αλκαλική αποακετυλίωση της χιτίνης, δηλαδή απομάκρυνση των ακετυλομάδων και αντικατάστασή αυτών με άτομα υδρογόνου (**Σχήμα 4.1**)[27].

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 4-1: : Χημικές δομές των επαναλαμβανόμενων μονάδων της χιτίνης (chitin) και της χιτοζάνης (chitosan)[27]

Η β-χιτίνη (που προέρχεται από τα καλαμάρια), είναι πιο επιρρεπής στην αντίδραση της αποακετυλίωσης, λόγω των σχετικά αδύναμων διαμοριακών δυνάμεων και επιπλέον δίνει στη χιτοζάνη ένα ελαφρύ μαύρισμα στο χρώμα. Η χιτίνη και η χιτοζάνη έχουν παρεμφερή χημική δομή

Η οικογένεια των χιτοζανών διαίρεται σε τρεις κατηγορίες:

- σε χιτοζάνες που προέρχονται από χιτίνη με αποακετυλίωση κάτω από ετερογενείς συνθήκες
- σε χιτοζάνες που προέρχονται από χιτίνη με αποακετυλίωση κάτω από ομοιογενείς συνθήκες
- σε χιτοζάνες που προέρχονται από χιτίνη με N-ακετυλίωση κάτω από ομοιογενείς συνθήκες [28] .

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

4.1.1.1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΙΤΙΖΑΝΗΣ

Η χιτίνη αποτελείται από μια γραμμική αλυσίδα ακετυλογλυκοζαμινικών ομάδων και είναι πλήρως αδιάλυτη στο νερό. Η χιτοζάνη λαμβάνεται με την απομάκρυνση επαρκών ακετυλικών ομάδων ($\text{CH}_3\text{-CO}$) από το οργανικό μόριο. Οι ελεύθερες αμινομάδες της γλυκοζαμίνης καθιστούν την χιτοζάνη διαλυτή σε αραιά διαλύματα ($\text{pH} < 6$) π.χ. σε διάλυμα οξικού οξέως. Σε όξινο περιβάλλον η χιτοζάνη είναι δυνατό να αποκτήσει μορφή γέλης, λόγω του ότι είναι υδρόφιλη και μπορεί να συγκρατήσει μόρια νερού μέσα στις μοριακές δομές της. Στην κρυσταλλική της μορφή, η χιτοζάνη είναι αδιάλυτη σε υδατικό διάλυμα με τιμή pH ανώτερη του 7.

Η θέρμανση της χιτοζάνης είναι απαραίτητη για τον πολυμερισμό των μορίων της, καθώς και για την αποστείρωσή της. Ωστόσο η θέρμανσή της μπορεί να επηρεάσει τις φυσικές ιδιότητες της, όπως τη διαλυτότητα σε υδατικά διαλύματα.

Οι ιδιότητες της χιτοζάνης είναι:

- το μοριακό βάρος
- ο βαθμός αποακετυλίωσης (DD)
- η καθαρότητά της
- η ικανότητα σχηματισμού υμενίων, ινών, μεμβρανών και σφαιριδίων.

Οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται από την μέθοδο επεξεργασίας που ακολουθείται. Καθώς η χιτοζάνη απαρτίζεται από επαναλαμβανόμενες ομάδες γλυκοζαμίνης, το μήκος των μοριακών αλυσίδων αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό των μορίων της. Συνεπώς το μοριακό βάρος της χιτοζάνης αποτελεί το βασικό στοιχείο επιλογής για κάθε εξειδικευμένη χρήση της [27].

4.1.1.2. ΧΡΗΣΕΙΣ ΧΙΤΟΖΑΝΗΣ

Η χιτοζάνη χρησιμοποιείται:

- Στην Ιατρική, λόγω του ότι οι ιδιότητες της χιτοζάνης επιτρέπουν την ταχεία πήξη του αίματος, ως αιμοστατικό. Επίσης, χρησιμοποιείται στους επιδέσμους, στα τεχνητά αιμοφόρα αγγεία, και στον έλεγχο της χοληστερόλης του αίματος.

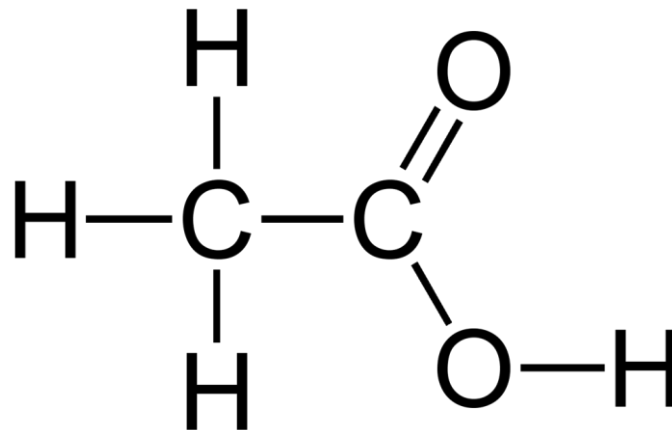
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

- Στη Βιομηχανία τροφίμων, η χιτοζάνη βοηθάει στην απομάκρυνση των στερεών και των οξέων, οπότε χρησιμοποιείται ως συντηρητικό, ως σταθεροποιητής χρώματος, και τέλος, ως πρόσθετο ζωοτροφών.
- Στην Επεξεργασία νερού, η χιτοζάνη παίρνει μέρος στη διαδικασία της διήθησης. Προκαλεί ίζημα μικροσωματιδίων και στη συνέχεια κατά τη διάρκεια της διήθησης με άμμο, απομακρύνεται μαζί με το ίζημα. Επίσης, η χιτοζάνη απομακρύνει ή δεσμεύει) το φώσφορο, τα βαρέα μέταλλα, και τα λίπη από το νερό.
- Στη Γεωργία, η χιτοζάνη χρησιμοποιείται ως ενισχυτικό της ανάπτυξης των φυτών, επειδή είναι μια ουσία που αυξάνει την ικανότητα των φυτών στην αντιμετώπιση των μυκητιάσεων.
- Στην Βιοτεχνολογία, η χιτοζάνη χρησιμοποιείται ως ένζυμο ακινητοποίησης, παίρνει μέρος στο διαχωρισμό των πρωτεϊνών.
- Στην Αισθητική, η χιτοζάνη αποτελεί συστατικό της σκόνης μακιγιάζ, των βερνικιών, των κρεμών ενυδάτωσης προσώπου, της οδοντόπαστας και των αφρών μαλλιών.
- Στην Παραγωγή χαρτοπολτού, η χιτοζάνη περιέχεται στο φωτογραφικό χαρτί.
- Στις Μembrάνες, η χιτοζάνη παίρνει μέρος στην αντίστροφη ώσμωση, στον έλεγχο της διαπερατότητας, και στο διαχωρισμό του διαλύτη.
- Στη Διατροφολογία, η χιτοζάνη πωλείται στα φαρμακεία σε μορφή ταμπλέτας ως λιποδιαλυτής. Σκοπός της είναι να απομακρύνει το λίπος από το πεπτικό σύστημα και τελικώς να το αποβάλλει από τον οργανισμό[29].

4.1.2. ΟΞΙΚΟ ΟΞΥ (AcOH)

Το αιθανικό οξύ ή οξικό οξύ είναι οργανική χημική ένωση, που περιέχει άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο, με μοριακό τύπο $C_2H_4O_2$. Το αιθανικό οξύ είναι ένα από τα απλούστερα καρβοξυλικά οξέα. Στο **Σχήμα 4.1** απεικονίζεται ο συντακτικός τύπος του οξικού οξέος.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 4-2: Οξικό οξύ συντακτικός τύπος [30]

Στον **Πίνακα 4.1** καταγράφονται οι φυσικές ιδιότητες του οξικού οξέος.

Πίνακας 4-1: Φυσικές Ιδιότητες Οξικού οξέος($ArCOH$)

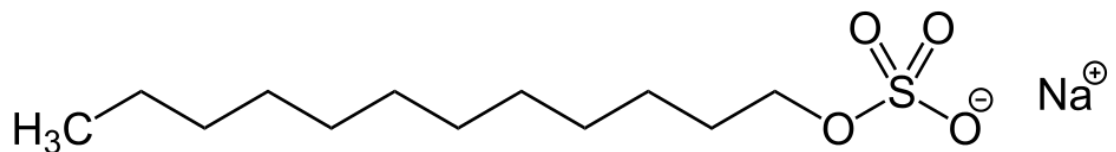
Φυσικές Ιδιότητες Οξικού Οξέος($AcOH$)	
Σημείο τήξης	16,5 °C
Σημείο βρασμού	118,1 °C
Πυκνότητα	1.049 kg/m ³ (20 °C)
Διαλυτότητα στο νερό	Πλήρως αναμειξιμο
Ιξώδες	1,22 mPa·s
Εμφάνιση	άχρωμο καυστικό υγρό

Είναι σημαντικό χημικό αντιδραστήριο και σημαντική χημική ένωση που χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή της οξικής κυτταρίνης, στα φωτογραφικά φιλμ, στην παραγωγή οξικού πολυβινυλεστέρα, στην ξυλόκολλα, αλλά και σε συνθετικές ίνες και συνθετικά υφάσματα. Στην καθημερινότητα, διαλύματα αιθανικού οξέος συχνά χρησιμοποιούνται ως αφαιρετικά αλάτων. Στη βιομηχανία τροφίμων, το αιθανικό οξύ χρησιμοποιείται σαν πρόσθετο, ως ρυθμιστής οξύτητας και ως καρύκευμα [30].

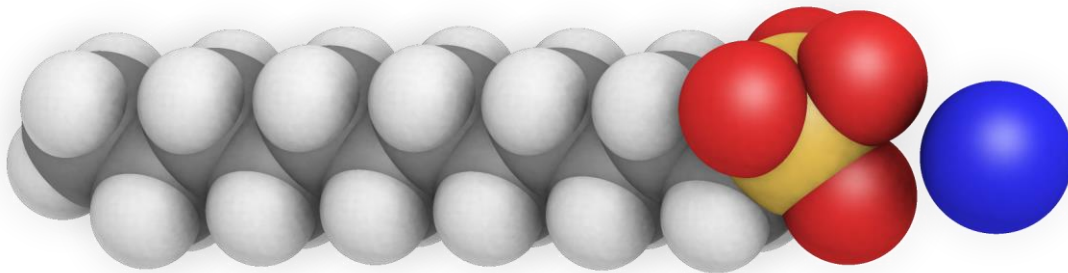
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

4.1.3. ΔΩΔΕΚΥΛΙΟΘΕΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ (SDS)

Το δωδεκυλιοθειικό νάτριο (ΘΔΝ) ή λαουροθειικό νάτριο είναι οργανοθειική ένωση με χημικό τύπο $\text{NaC}_{12}\text{H}_{28}\text{SO}_4$. Έχει αμφίφιλες ιδιότητες καθώς τα 12 άτομα άνθρακα αποτελούν το υδρόφοβο τμήμα του μορίου και η θειϊκή ομάδα το υδρόφιλο τμήμα. Αποτελεί μία από τις πιο γνωστές τασιενεργές, επιφανειοδραστικές ουσίες και χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλά οικιακά προϊόντα καθαρισμού. Το **Σχήμα 4.3** παριστάνει τον συντακτικό τύπο του δωδεκυλιοθειικού νατρίου (SDS) και το **Σχήμα 4.4** την μοριακή του απεικόνιση[31].



Σχήμα 4-3: Δωδεκυλιοθειικό νάτριο (SDS) συντακτικός τύπος[31]



Σχήμα 4-4: Δωδεκυλιοθειικό νάτριο (SDS) μοριακή απεικόνιση [31]

Στον **Πίνακα 4.2** αναγράφονται οι φυσικές ιδιότητες του δωδεκυλιοθειικού νατρίου.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Πίνακας 4-2: Φυσικές Ιδιότητες δωδεκυλιοθειικού νατρίου (SDS)[31]

Φυσικές Ιδιότητες δωδεκυλιοθειικού νατρίου (SDS)	
<u>Χημικός Τύπος</u>	NaC ₁₂ H ₂₅ SO ₄
<u>Μοριακή μάζα Mr</u>	288.372 g/mol
<u>Εμφάνιση</u>	white or cream-colored solid
<u>Οσμή</u>	Άοσμο
<u>Πυκνότητα</u>	1.01 g/cm ³
<u>Σημείο βρασμού</u>	206°C (403 °F; 479 K)

4.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σύνθεσης μονωτικού υλικού με χρήση πυριτικής παιπάλης. Τα πειράματα διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ο κύριος εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία καταγράφεται παρακάτω:

- Γυάλινη πιπέτα 5ml, 10ml, 20ml, 25ml 50ml
- Ποτήρι ζέσης
- Πλαστικό ποτήρι
- Σιφόνιο
- Μαγνήτης
- Πλαστικά χωνευτήρια
- Γυάλινη ύαλο
- Γυάλινο σκεύος
- Ζυγός
- Θερμαινόμενη πλάκα
- Black & decker
- Κατάψυξη Μοντέλο: Arctiko ULUF 125

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

- Κρυοξήρανση (Freeze dryer) Μοντέλο: Scientz 50D

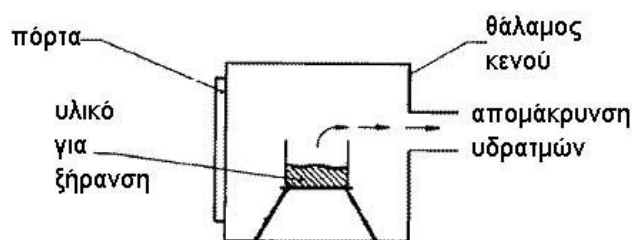
Κρυοξήρανση

Ένας εναλλακτικός τρόπος ξήρανσης των ευαίσθητων υλικών είναι να ψυχθούν σε χαμηλή θερμοκρασία, και στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί η απομάκρυνση του νερού από αυτά με την διαδικασία της εξάχνωσης. Η διεργασία αυτή σε κλάδους, όπως για παράδειγμα στη συντήρηση τροφίμων και στην παρασκευή φαρμάκων ονομάζεται κρυοξήρανση ή λυοφιλίωση και εφαρμόζεται σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς και φαρμακευτικά είδη (πρωτεΐνες, εμβόλια, κ.ά.). Επίσης ένας άλλος λόγος του συγκεκριμένου τρόπου ξήρανσης είναι και η δημιουργία πόρων στο υλικό που ξηραίνεται.

Αρχή λειτουργίας

Προκειμένου να ξηρανθεί μια ουσία, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Το επιλεγμένο υλικό ψύχεται, οπότε το περιεχόμενο σ' αυτό νερό παγώνει.
- Το ψυγμένο υλικό τοποθετείται σε αεροστεγή χώρο (**Σχήμα 4.5**) όπου μειώνεται η πίεση σε σημείο κάτω από το τριπλό σημείο του νερού.

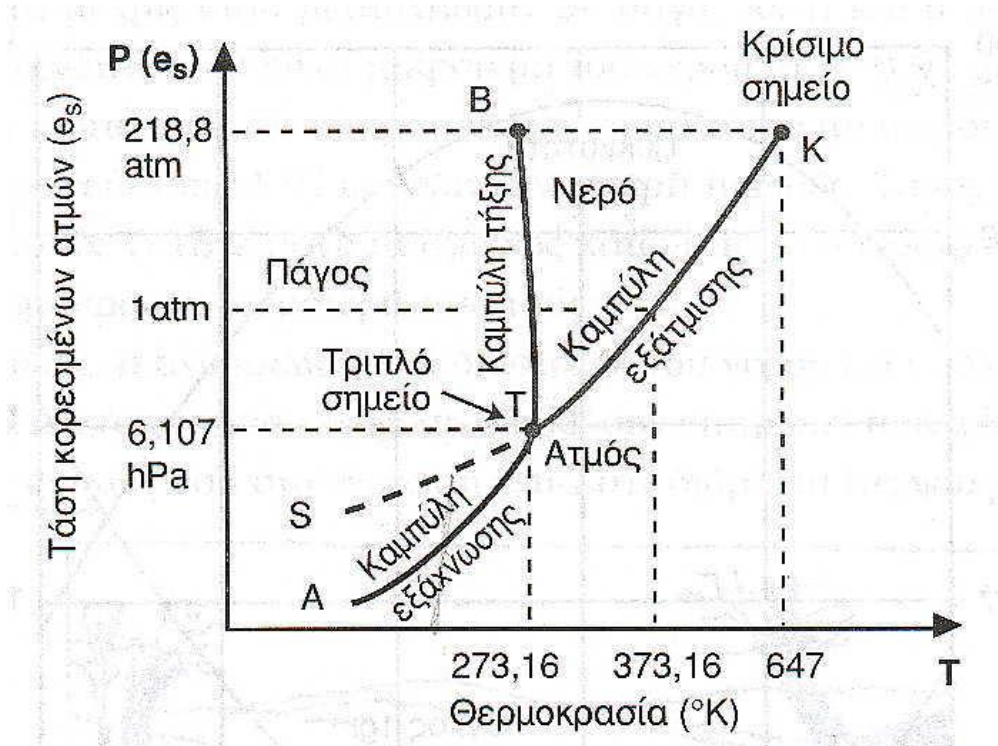


Σχήμα 4-5: Αεροστεγής χώρος [32]

Στο **Σχήμα 4.6** φαίνεται ότι το τριπλό σημείο του νερού είναι σε θερμοκρασία $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ και πίεση $610,7\text{ Pa}$. Έστω ότι μια ποσότητα νερού ψύχεται σε θερμοκρασία κάτω των $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ και ότι η πίεσή του είναι κάτω από την πίεση $610,7\text{Pa}$, δηλαδή το νερό βρίσκεται στην περιοχή αριστερά της καμπύλης AT του Σχήματος 4.6. Θερμαίνοντας το νερό, χωρίς μεταβολή της πίεσης, προσεγγίζεται η καμπύλη AT,

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

οπότε το νερό περνάει από την στερεή στην αέρια φάση (εξάχνωση) χωρίς να παρεμβληθεί η υγρή φάση.



Σχήμα 4-6: Τριπλό διάγραμμα φάσεων νερού.

Πρέπει να σημειωθεί ότι σε πολλά υλικά το νερό που υπάρχει σ' αυτά απαντάται με δυο μορφές: το «ελεύθερο» και το «δεσμευμένο» ή κρυσταλλικό νερό και η κρυστάλλωση επιβάλλεται να διεξαχθεί σε δύο φάσεις. Ο στόχος της πρώτης φάσης είναι να παγώσει και να απομακρυνθεί το «ελεύθερο» νερό. Σε δεύτερη φάση, το υλικό θερμαίνεται ελαφρά και απομακρύνεται το κρυσταλλικό νερό. Στη φάση αυτή, συνήθως, εφαρμόζεται η χαμηλότερη δυνατή πίεση.

Η διάταξη του freeze dryer αποτελείται από

- συσκευή ξήρασης με κατάψυξη η οποία περιλαμβάνει:
 - Θάλαμο τοποθέτησης δειγμάτων στον οποίο πραγματοποιείται η ξήραση υπό συνθήκες χαμηλής πίεσης κενού.
 - Συμπυκνωτήρα με ψυκτικό κύκλωμα για τη συμπύκνωση και κατάψυξη των υδρατμών, που προέρχονται από τη ξήραση των δειγμάτων.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

- Θερμαινόμενες πλάκες με αντιστάσεις για τη θέρμανση των προς ξήρανση δειγμάτων
 - Βαλβίδες εξαερισμού του θαλάμου ξήρανσης
 - Βαλβίδα επικοινωνίας θαλάμου ξήρανσης με το χώρο του ψυκτικού κυκλώματος
- αντλία λαδιού για τη δημιουργία κενού στο θάλαμο ξήρανσης
 - θερμοστοιχείο κατάλληλα συνδεδεμένο με καταγραφικό θερμοκρασίας για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του δείγματος κατά τη διάρκεια της ξήρανσης [32].

Παρακάτω παραθέτονται σχήματα (**Σχήματα 4.7-4.8**) με τα όργανα/σκευή και τα μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία



Σχήμα 4-7: Καταψύκτης

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 4-8: Κρυοζήρανση (Freeze dryer)

Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία είναι:

- Οξικό οξύ (CH_3COOH)
- Πυριτική παιπάλη (silica fume SF)
- Χιτοζάνη (Cs) χαμηλού βάρους
- Καυστικό Νάτριο (NaOH)
- Δωδεκυλοθειικό νάτριο (SDS)

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

4.3. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Κρίσιμο σημείο της πειραματικής διαδικασίας είναι οι ποσότητες (αναλογία) των πρώτων υλών που απαιτούνται για τη σύνθεση του θερμομονωτικού υλικού. Συνεπώς, προηγήθηκαν κάποιες δοκιμές για να προσδιοριστούν τα όρια μεταβολής των παραπάνω ποσοτήτων.

1. Προσδιορισμός της διαλυτότητας της χιτοζάνης (Cs) σε διάλυμα οξικού οξέος (AcOH). Πραγματοποιήθηκε μία σειρά πειραμάτων με διάλυμα οξικού οξέος (AcOH) σε διαφορετικές συγκεντρώσεις και σταδιακά γινόταν προσθήκη χιτοζάνης (Cs). Στο **Σχήμα 4.9** παραθέτονται 2 συνθέσεις με διαφορετικά αποτελέσματα ως προς το σύνθετο υλικό που προκύπτει. Το πρώτο σύνθετο υλικό που δημιουργήθηκε είναι αρκετά μαλακό. Η δεύτερη σύνθεση με πιο αραιό διάλυμα οδήγησε σε υλικό με μικρή συνεκτικότητα και όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.10** έχουν αποκολληθεί κομμάτια. Έτσι, υπολογίστηκε η αναλογία χιτοζάνης – οξικού οξέος για συμπαγή υλικά.



Σχήμα 4-9: Σύνθεση 1 δοκιμαστική



Σχήμα 4-10: Σύνθεση 2 δοκιμαστική

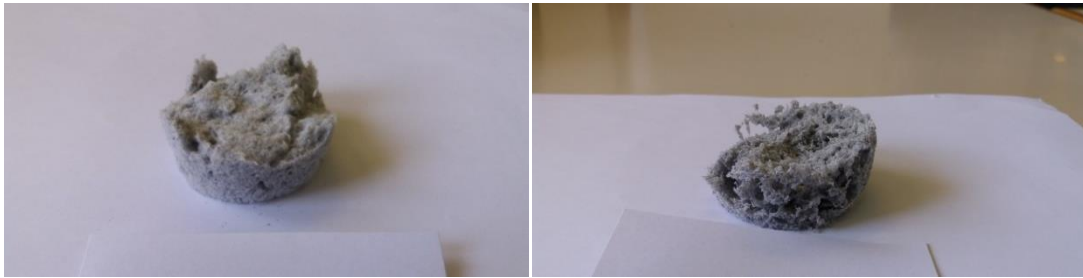
Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μια δεύτερη σειρά πειραμάτων με σταθερή αναλογία χιτοζάνης (Cs) και οξικού οξέος (AcOH) αλλά με αυξημένη την ποσότητα χιτοζάνης σε σχέση με τις προηγούμενες δοκιμές. Η διαλυτοποίηση σε ποσότητες χιτοζάνης μεγαλύτερες του 2,5g πραγματοποιήθηκε με δυσκολία. Επιπλέον στο στάδιο της σύνθεσης το υλικό παρουσίαζε μεγάλη αύξηση του όγκου για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Συμπερασματικά, η

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

διαλυτοποίηση δεν μπορούσε να επιτευχθεί σε ποσότητες μεγαλύτερες από 3g χιτοζάνης σε διάλυμα 0,09M.

2. *Προσδιορισμός της κατάλληλης ποσότητας δωδεκυλιοθειικού νατρίου (SDS).*
Το δωδεκυλιοθειικό νάτριο (SDS) είναι η πρώτη ύλη που δημιουργεί το αφρώδες στο υλικό. Πραγματοποιήθηκαν 2 πειραματικές δοκιμές με σύσταση δωδεκυλιοθειικού νατρίου(SDS) 0,5% και 1%. Στην δοκιμή με το 1% του δωδεκυλιοθειικού νατρίου παρατηρήθηκε γρήγορη αύξηση του όγκου του σύνθετου υλικού όμως η αύξηση αυτή δεν διήρκησε. Συνεπώς οι παράμετροι που εισήχθησαν στον πειραματικό σχεδιασμό είναι τιμές κάτω του 1% σε δωδεκυλιοθειικό νάτριο (SDS).
3. *Έλεγχος pH για την κατάλληλη τιμή καθώς και την κατάλληλη ποσότητα καυστικού νατρίου (NaOH).* Στις πρώτες δοκιμές που έγιναν υπήρχαν διαφοροποιήσεις στην σύνθεση του υλικού λόγω διαφορετικών τιμών pH. Έτσι, σε κάθε υλικό που εισαγόταν, καταγραφόταν η τιμή του pH του. Πρώτα, μετρήθηκε το pH του διαλύματος οξικού οξέος (AcOH) όπου προσδιορίστηκε στο 3,5. Στη συνέχεια, προστίθεται η χιτοζάνη (Cs) στο διάλυμα και το pH ανέβηκε στο 5,40. Καθώς, εισάγονται η πυριτική παιπάλη (SF) και το δωδεκυλιοθειικό νάτριο (SDS) το pH έφτασε μέχρι το 6-7 ανάλογα με τις συνθήκες. Αφού προσδιορίστηκαν οι προηγούμενες παράμετροι και πραγματοποιήθηκαν και άλλες δοκιμές με εισαγωγή καυστικού νατρίου (NaOH) συμπεραίνεται, πώς κατά την ανάδευση του υλικού, αν το pH προσδιορίζεται σε εύρος 6-7 είναι επιθυμητή τιμή γιατί η σύνθεση είναι συμπαγής και ο όγκος δεν έχει σημαντική μείωση. Στις τιμές 6-7 του pH στο υλικό δημιουργούνται φυσαλίδες κατά την ανάδευση Στις **Σχήματα 4.11,4.12** φαίνεται οπτικά η διαφορά του pH στη σύνθεση του υλικού.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 4-11 Σύνθεση με pH 6,30

Σχήμα 4-12 Σύνθεση με pH 7.

Η σύνθεση 1 (Σχήμα 4.11) είναι συμπαγής και δεν υπάρχει μείωση του όγκου του υλικού. Σε αντίθεση, η σύνθεση 2 (Σχήμα 4.12) είναι πιο αφρώδης και στην διάρκεια της διαδικασίας σύνθεσης είχε μεγάλο όγκο. Όμως, με την παύση της ανάδευσης και πριν την ψύξη και κρυοξήρανση του υλικού, ο όγκος του ελαττώθηκε σημαντικά. Μετά την κρυοξήρανση όπου αφαιρέθηκε το νερό και δημιουργήθηκαν κενά, το υλικό που προέκυψε είναι πιο εύθραυστο. Να σημειωθεί πως και τα δύο υλικά είχαν ίδιο αρχικό όγκο στην σύνθεση.

4. *Επίδραση της πυριτικής παιπάλης (SF) στη σύνθεση του υλικού.* Πραγματοποιήθηκαν συνθέσεις με 4% w/w ποσότητα πυριτικής παιπάλης (SF). Η ποσότητα της πυριτικής παιπάλης δεν φαίνεται να συμβάλλει στην σύνθεση του υλικού. Με βάση τις δοκιμές που εκτελέστηκαν η πυριτική παιπάλη πιθανόν να ενισχύει τον όγκο του υλικού και να τον διατηρεί, λόγω της διασποράς της στο υλικό.

4.4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Η εφαρμογή ενός πολυπαραγοντικού πειραματικού σχεδιαστικού μοντέλου, επιτρέπει τη διερεύνηση του συνδυασμού πολλών παραμέτρων και την επίδραση των επιλεγμένων παραμέτρων στο υλικό. Η μέθοδος Taguchi χρησιμοποιεί ορθογώνιους πίνακες για τον σχεδιασμό των πειραμάτων. Έτσι είναι εφικτό να μελετηθεί ένας μεγάλος αριθμός μεταβλητών με μικρό αριθμό πειραμάτων. Επιπλέον, τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα πειράματα μικρής κλίμακας έχουν ισχύ σε όλη την πειραματική περιοχή. Τέλος, χρησιμοποιώντας την ανάλυση διασποράς

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

(ANOVA), προσδιορίζεται το ποσοστό συνεισφοράς του κάθε παράγοντα και οι αλληλεπιδράσεις του στην πειραματική διαδικασία.

Ο Πίνακας 4.3 των δοκιμών που παρατίθεται έχει προκύψει με τη μέθοδο πολυπαραγοντικού πειραματικού σχεδιασμού Taguchi.

Πίνακας 4-3: Συγκεντρωτικός Πίνακας Πειραματικών δοκιμών(*)

Αριθμός Πειράματος	Αναλογία Χιτοζάνης(Cs)(%)/Διαλύματος οξικού οξέος(AcOH)	Πυριτική Παιπάλη (SF) (%)	Δωδεκυλιοθειικό νάτριο (SDS) (%)
1	1/0,09M	4	0,25
2	1/0,09M	8	0,50
3	1/0,09M	12	0,75
4	1,7/0,15M	4	0,50
5	1,7/0,15M	8	0,75
6	1,7/0,15M	12	0,25
7	2,4/0,22M	4	0,75
8	2,4/0,22M	8	0,25
9	2,4/0,22M	12	0,50

(*): Η σχέση χιτοζάνης-διαλύματος οξικού οξέος είναι σταθερή

Κατά την έναρξη κάθε δοκιμής πραγματοποιείται ζύγιση των πρώτων υλών, της χιτοζάνης (Cs), της πυριτικής παιπάλης (SF) και του δωδεκυλιοθειικού νατρίου (SDS). Ανάλογα με τον Πίνακα 4.3 ζυγίζονται οι κατάλληλες ποσότητες για κάθε δοκιμή.

Τα στάδια της πειραματικής διαδικασίας είναι τα ακόλουθα:

1. Η προετοιμασία του διαλύματος του οξικού οξέος με απιονισμένο νερό και στη συνέχεια προσθήκη της χιτοζάνης. Δημιουργείται το διάλυμα του οξικού οξέος και του απιονισμένου νερού σε συγκεντρώσεις κατά βάρος όπως αναγράφονται στον Πίνακα 4.3 και με τη βοήθεια της γυάλινης πιπέτας κατάλληλου όγκου, τοποθετείται στο ποτήρι ζέσεως. Ο όγκος του διαλύματος είναι 100ml. Έπειτα στο υπάρχον διάλυμα στο ποτήρι ζέσεως προστίθεται η χιτοζάνη και τοποθετείται ένας μαγνήτης ο οποίος διευκολύνει την ανάδευση

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

του διαλύματος. Το ποτήρι ζέσεως τοποθετείται σε θερμαινόμενη πλάκα όπου θερμαίνεται το διάλυμα και αναδεύεται.

2. Ο πολυμερισμός του συνολικού διαλύματος υπό συνεχή ανάδευση στην θερμαινόμενη πλάκα για 2h, σε θερμοκρασία 60°C και με 250 στροφές/min. Χρησιμοποιείται ύαλος που καλύπτει το ποτήρι για να διατηρηθεί στις συνθήκες ανάδευσης που έχουν οριστεί.

3. Η σύνθεση του υλικού με προσθήκη πυριτικής παιπάλης (SF) και δωδεκυλιουθειικού νατρίου SDS στο υπάρχον διαλυτοποιημένο διάλυμα χιτοζάνης και οξικού οξέος. Σε μεγάλο γυάλινο σκεύος προσθέτονται 100ml απιονισμένου νερού (άρα συνολικός όγκος της σύνθεσης του υλικού είναι 200ml) και στη συνέχεια η ζυγισμένη ποσότητα του δωδεκυλιουθειικού νατρίου (SDS). Πραγματοποιείται η 1^η ανάδευση με τη βοήθεια black & decker. Το black & decker έχει στην άκρη του μια μεταλλική λεπτή ράβδο η οποία καταλήγει σε μια έλικα. Αφού αντιδράσει το νερό με το δωδεκυλιουθειικό νάτριο (SDS) και δημιουργηθεί ένα αφρώδες υλικό άσπρου χρώματος, στη συνέχεια προστίθεται το διαλυτοποιημένο διάλυμα χιτοζάνης/οξικού οξέος καθώς και η πυριτική παιπάλη και πραγματοποιείται η 2^η ανάδευση. Για έλεγχο χρησιμοποιείται πεχάμετρο ώστε να μετρηθεί το pH του υλικού που πρέπει να είναι στο εύρος 6-7. Κατά τη 2^η ανάδευση είναι διακριτές οι φυσαλίδες στο μίγμα που έχει παραχθεί. Το μίγμα αυτό είναι το επιθυμητό σύνθετο μονωτικό υλικό χρώματος γκρί.

4. Το σύνθετο υλικό φυλάσσεται στην κατάψυξη για 24 ώρες και στη συνέχεια εισάγεται στην συσκευή freeze dryer για 3 ημέρες. Το σύνθετο υλικό αποθηκεύεται σε πλαστικό σκεύος σχήματος ορθογωνίου παραλληλόγραμμου. Η εισαγωγή στο freeze dryer είναι για να εξαχνωθεί το νερό που εμπεριέχει το υλικό και να δημιουργηθούν τα κενά που καλύπτονται με αέρα. Τα κενά με τον αέρα αποτελούν τους πόρους του σύνθετου υλικού, βασική προϋπόθεση για την απόκτηση θερμομονωτικής ικανότητας.

Σε περίπτωση όπου η 2^η ανάδευση δεν προσεγγίσει το επιθυμητό όριο του pH στο εύρος 6-7 θα προστεθούν σταγόνες καυστικού νατρίου (NaOH) και θα χρειαστεί περαιτέρω ανάδευση.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Μετά τον κύκλο της κάθε δοκιμής λαμβάνονται δειγματοληπτικά δύο χαρακτηριστικά δείγματα του σύνθετου υλικού, ώστε το ένα θα χρησιμοποιηθεί ως έχει για μετρήσεις θερμικής αγωγιμότητας και το δεύτερο για τις υπόλοιπες μελέτες χαρακτηρισμού του.

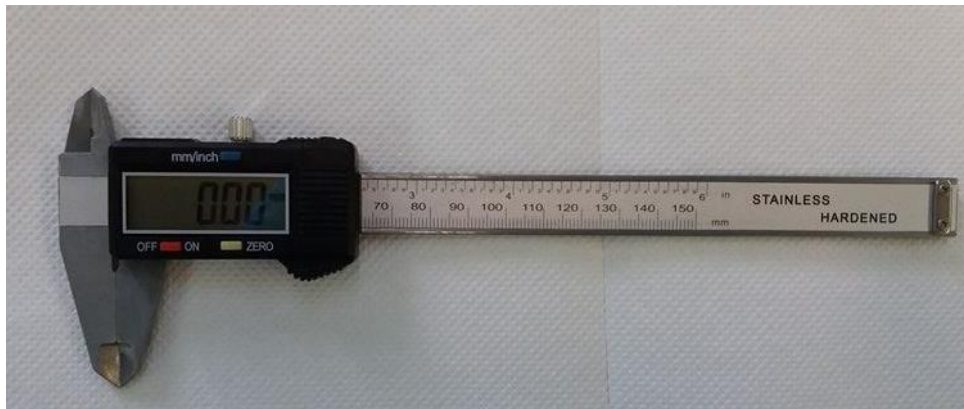
4.5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται μέθοδοι χαρακτηρισμού της σύνθεσης του θερμομονωτικού υλικού. Μετά την πειραματική διαδικασία που προηγήθηκε, είναι απαραίτητος ο χαρακτηρισμός του υλικού ως προς τις ιδιότητες που αποκτά ως θερμομονωτικό υλικό. Για το σκοπό αυτό θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις πυκνότητας, θερμικής αγωγιμότητας, υδατοαπορροφητικότητας, και αντίστασης στη φωτιά. Τέλος θα βρεθούν οι διαφορές στη μορφολογία του υλικού με οπτικό στερεοσκόπιο.

4.5.1. ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

Η μέτρηση της πυκνότητας πραγματοποιείται με την χρήση παχύμετρου προκειμένου να προσδιοριστούν οι διαστάσεις του υλικού και ο όγκος του. Το παχύμετρο απεικονίζεται στο **Σχήμα 4.13**. Μετρήθηκαν οι διαστάσεις των δοκιμίων και υπολογίστηκε ο μέσος όρος των διαστάσεων (μήκος, πλάτος, πάχος) Επίσης είναι αναγκαία η ζύγιση του υλικού ούτως ώστε να υπολογιστεί η πυκνότητα σύμφωνα με τον τύπο:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (Εξ. 1)}$$



Σχήμα 4-13: Παχύμετρο

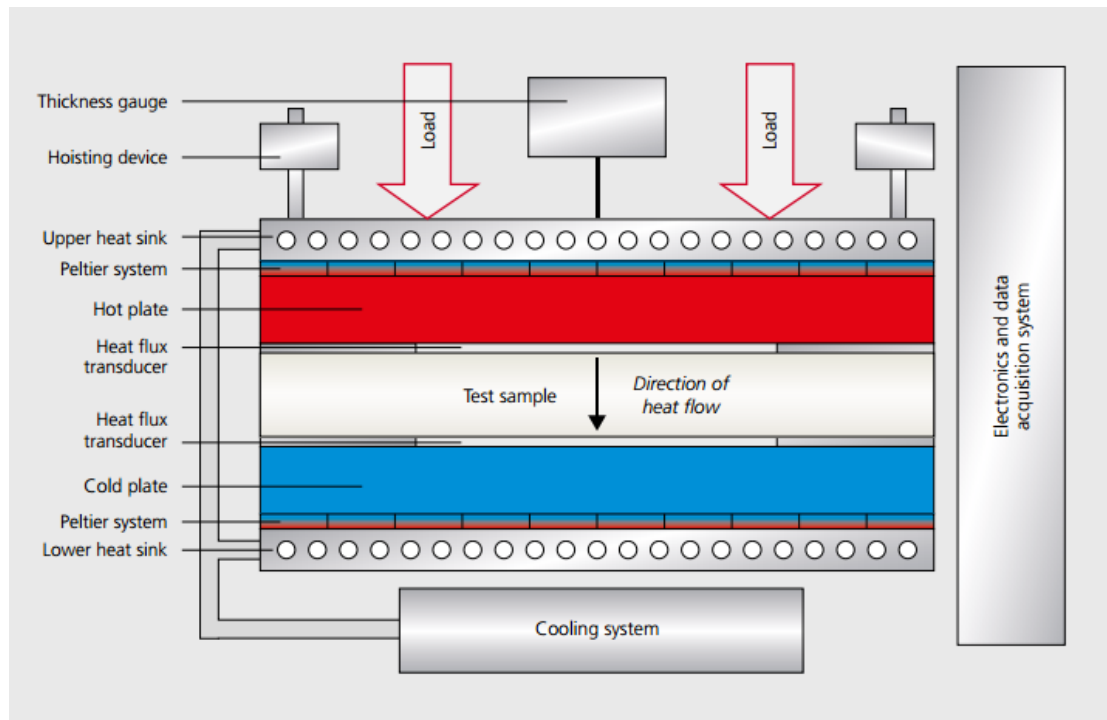
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Για την αποφυγή σφάλματος γίνονται 4 μετρήσεις για όλες τις διαστάσεις του υλικού και υπολογίζεται ο μέσος όρος της κάθε διάστασης και με τον μέσο όρο υπολογίζεται ο τελικός όγκος του υλικού (παρανομαστής στον παραπάνω τύπο). Για την πυκνότητα της κάθε σύνθεσης υπολογίζεται ο μέσος όρος των πυκνοτήτων όλων των δοκιμίων της ίδιας σύνθεσης.

4.5.2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ (λ)

Η μέτρηση της ροής θερμότητας (HFM) ή αλλιώς μέτρηση συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) είναι μια μέθοδος ακριβείας, γρήγορη και εύκολη στον προσδιορισμό της. Η θερμική αγωγιμότητα (λ) μετράται σε υλικά χαμηλής αγωγιμότητας όπως τα μονωτικά. Το NETZSCH HFM 436/3/1 Lambda είναι ένα βαθμονομημένο όργανο που εκτελεί δοκιμές σύμφωνα με το ASTM C518, ISO 8301, JIS A1412, DIN EN 12664 και DIN EN 12667. Ένα δείγμα τοποθετείται μεταξύ μιας θερμής και μιας ψυχρής πλάκας, και η ροή θερμότητας που προκαλείται από την διαφορά θερμοκρασίας μετريέται με έναν αισθητήρα ροής θερμότητας. Στο **Σχήμα 4.14** παρουσιάζεται η διάταξη του HFM Lambda. Επίσης το συγκεκριμένο όργανο είναι αποτελεσματικό και σε υλικά με μεγάλο πάχος. Οι μετρήσεις του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας εκτελέστηκαν στο Εργαστήριο Μεταλλουργίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 4-14: Διάταξη του HFM Lambda. [33]

Ο HFM 436 Lambda απεικονίζεται στο **Σχήμα 4.15** ενώ στο **Σχήμα 4.16** φαίνεται ο θάλαμος του οργάνου. Το συγκεκριμένο όργανο επεξεργάζεται τα αποτελέσματα, που είναι διαθέσιμα μέσα σε λίγα λεπτά, με εξαιρετική ακρίβεια και επαναληψιμότητα.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 4-15: Όργανο μέτρησης θερμικής αγωγιμότητας HFM Lambda [33]



Σχήμα 4-16: Θάλαμος οργάνου θερμικής αγωγιμότητας HFM Lambda. [33]

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

4.5.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η μέτρηση της υδατοαπορροφητικότητας πραγματοποιείται με βάση το πρότυπο C 1104/C 1104M. Έχει προηγηθεί μέτρηση των διαστάσεων του υλικού λόγω του υπολογισμού της πυκνότητας. Αρχικά, εισάγεται νερό στον ξηραντήρα που ακολούθως μεταφέρεται στο πυριαντήριο. Η θερμοκρασία στο πυριαντήριο είναι περίπου 50°C. Το θερμομονωτικό υλικό τοποθετείται στο ξηραντήριο ο οποίος βρίσκεται μέσα στο πυριαντήριο όταν η υγρασία φτάσει στο 100%. Έτσι, το θερμομονωτικό υλικό εκτίθεται σε περιβάλλον υψηλής υγρασίας για 100h. Η προσρόφηση του νερού στο υλικό μέσω του αέρα, αποτυπώνεται από την διαφορά βάρους του μετά την έκθεσή του σε υγρό περιβάλλον και εκφράζεται σε ποσοστό βάρους επί τοις εκατό. Ο ξηραντήρας και το πυριαντήριο που χρησιμοποιούνται απεικονίζονται στο **Σχήμα 4.17 και 4.18** αντίστοιχα.



Σχήμα 4-17: Ξηραντήρας

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 4-18: Πυριαντήριο

Ο υπολογισμός της προσρόφησης των ατμών υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{Υδατοαπορροφητικότητα (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{\left(1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) * V} \times 100 \quad (\text{Εξ. 2})$$

Όπου : W_2 = βάρος δείγματος μετά τη δοκιμή (g).

W_1 = βάρος δείγματος πριν την δοκιμή (g).

1g/cm^3 = πυκνότητα νερού

V = όγκος δείγματος (cm^3)

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

4.5.4. ΟΠΤΙΚΟ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟ

Το οπτικό στερεοσκόπιο επιτρέπει την παρατήρηση των αντικειμένων τρισδιάστατα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκαν με στερεοσκόπιο όλες οι συνθέσεις που πραγματοποιήθηκαν καθώς και η τομή του υλικού σε κάθε σύνθεση. Το δείγμα τοποθετείται στην τράπεζα κάτω από τον φακό και το υλικό εξετάζεται σε μεγέθυνση x2 και x5 καθώς και στις κανονικές διαστάσεις. Στο **Σχήμα 4.19** φαίνεται το οπτικό στερεοσκόπιο (Zeiss Stemi 2000 C υψηλής ανάλυσης εξοπλισμένο με κάμερα Axio Cam ErcS5) που χρησιμοποιήθηκε.



Σχήμα 4-19: Οπτικό στερεοσκόπιο Μοντέλο: Zeiss Stemi 2000 C υψηλής ανάλυσης

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

4.5.5. ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ

Η ανθεκτικότητα των θερμομονωτικών υλικών στη φωτιά είναι βασική ιδιότητα των θερμομονωτικών υλικών. Η μέτρηση της αντίστασης στη φωτιά των συνθέσεων του θερμομονωτικού υλικού εκτελέστηκε εμπειρικά με την βοήθεια φλόγιστρου. Το θερμομονωτικό υλικό τοποθετήθηκε μπροστά στο φλόγιστρο σε απόσταση 8-10cm από αυτό. Η διάρκεια έκθεσης του υλικού στην φλόγα διήρκησε 15sec. Η συγκεκριμένη δοκιμή πραγματοποιήθηκε για τις συνθέσεις 1,4 και 7 όπου έχουν διαφορετικό ποσοστό χιτοζάνης-οξικού διαλύματος. Η επιλογή αυτή έγινε γιατί προηγήθηκαν δοκιμαστικά πειράματα όπου διαπιστώθηκε ότι η χιτοζάνη με το οξικό οξύ είναι καθοριστικά στην καύση του υλικού. Στο τέλος έλαβε χώρα και μία δοκιμή στην σύνθεση 9. Η σύνθεση 9 έχει το μεγαλύτερο ποσοστό πυριτικής παιπάλης και πρέπει να αποσαφηνιστεί ο ρόλος της στην καύση του υλικού. Στο επόμενο κεφάλαιο παραθέτονται φωτογραφίες που λήφθηκαν πριν και μετά την δοκιμή σε αντίσταση στη φωτιά. Στο **Σχήμα 4.20** φαίνεται το φλόγιστρο που χρησιμοποιήθηκε για την δοκιμή.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 4-20: Φλόγιστρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Το κεφάλαιο αυτό εξετάζει τα αποτελέσματα της σύνθεσης του θερμομονωτικού υλικού χρησιμοποιώντας διαφορετικές αναλογίες των πρώτων υλών. Το μεγαλύτερο μέρος του κεφαλαίου αφορά στα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του υλικού. Για το σκοπό αυτό:

- Συγκρίθηκαν οι συνθέσεις του θερμομονωτικού υλικού οπτικά.
- Μελετήθηκαν τα αποτελέσματα της πυκνότητας του υλικού σε όλες τις συνθέσεις του υλικού.
- Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θερμικής αγωγιμότητας (λ).
- Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για την υδατοαπορροφητικότητα του σύνθετου θερμομονωτικού υλικού.
- Χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι οπτικής ανάλυσης (Στερεοσκόπιο)
- Τέλος, έγιναν δοκιμές για την αντίσταση του υλικού στη φωτιά.

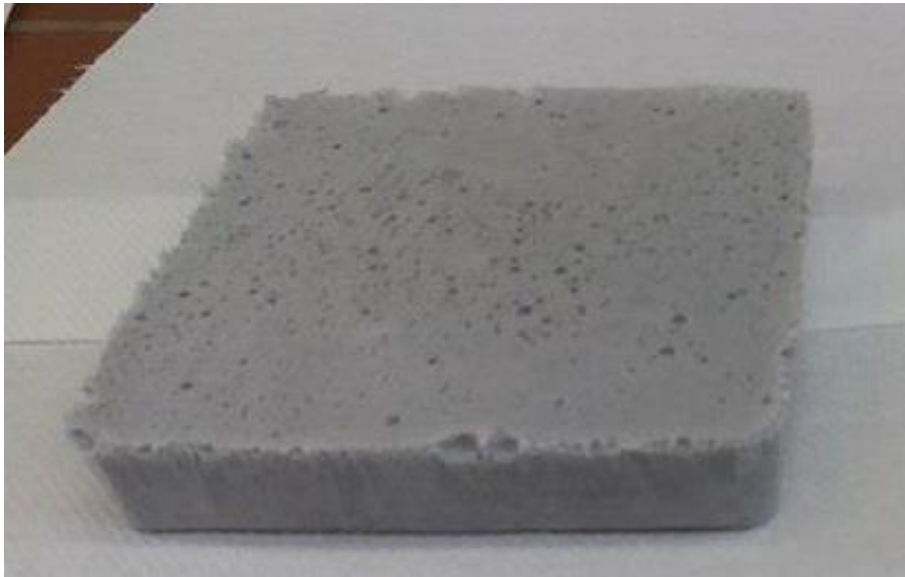
5.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας διεξήχθησαν πειράματα για 9 συνθέσεις υλικού με αναλογίες σύμφωνα με τον **Πίνακα 4.3**. Παρακάτω παραθέτονται σχόλια καθώς και φωτογραφίες με τα σύνθετα υλικά που προέκυψαν σε κάθε δοκιμή (**Σχήματα 5.1-5.9**). Αξίζει να σημειωθεί πως η χρωματική διαφορά οφείλεται στην ποσότητα της πυριτικής παιπάλης (SF). Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα κατά βάρος σε πυριτική παιπάλη τόσο πιο σκουρόχρωμο είναι το υλικό.

▪ *Σύνθεση 1 (1%/0,09M Cs/AcOH – 4% SF- 0,25% SDS)*

Στην 1^η σύνθεση η χιτοζάνη διαλυτοποιήθηκε και το διάλυμα ήταν ομοιόμορφο. Μετά την προσθήκη των υλικών η όψη του σύνθετου υλικού πριν εισέλθει στην κατάψυξη ήταν υδαρής. Παρόλα αυτά μετά την κρυοξήρανση το σύνθετο υλικό είναι αρκετά σκληρό και συμπαγές. Το αποτέλεσμα της σύνθεσης του υλικού αποτυπώνεται στο **Σχήμα 5.1**.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 5-1: Σύνθεση 1 θερμομονωτικού υλικού(1%/0,09M Cs/AcOH – 4% SF- 0,25% SDS)

- **Σύνθεση 2 (1%/0,09M Cs/AcOH – 8% SF – 0,50% SDS)**

Στην δεύτερη σύνθεση το διάλυμα ήταν ομοιόμορφο και μετά την προσθήκη των υπόλοιπων πρώτων υλών το υλικό είχε την επιθυμητή μορφή χωρίς να χρειαστεί η προσθήκη καυστικού νατρίου (NaOH). Το υλικό μετά την εξαγωγή του από την κρυοξήρανση είναι αρκετά μαλακό και με ανομοιόμορφη επιφάνεια. Η δεύτερη σύνθεση παρουσιάζεται στο **Σχήμα 5.2**.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 5-2: Σύνθεση 2 θερμομονωτικού υλικού(1%/0,09M Cs/AcOH – 8% SF – 0,50% SDS)

- **Σύνθεση 3 (1%/0,09M Cs/AcOH – 12% SF- 0,75% SDS)**

Στην 3^η σύνθεση του υλικού παρατηρήθηκε πως χρειάστηκε περισσότερο χρόνο ανάδευσης με την βοήθεια του black & decker για να φτάσει το υλικό στην επιθυμητή τιμή του pH (6,30). Οι φυσαλίδες επιβεβαιώνουν πως το pH του υλικού είναι στο 6,30 γεγονός που αποτελεί βασική παράμετρος της σύνθεσης του υλικού. Η σύνθεση 3 παραθέεται στο **Σχήμα 5.3**.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

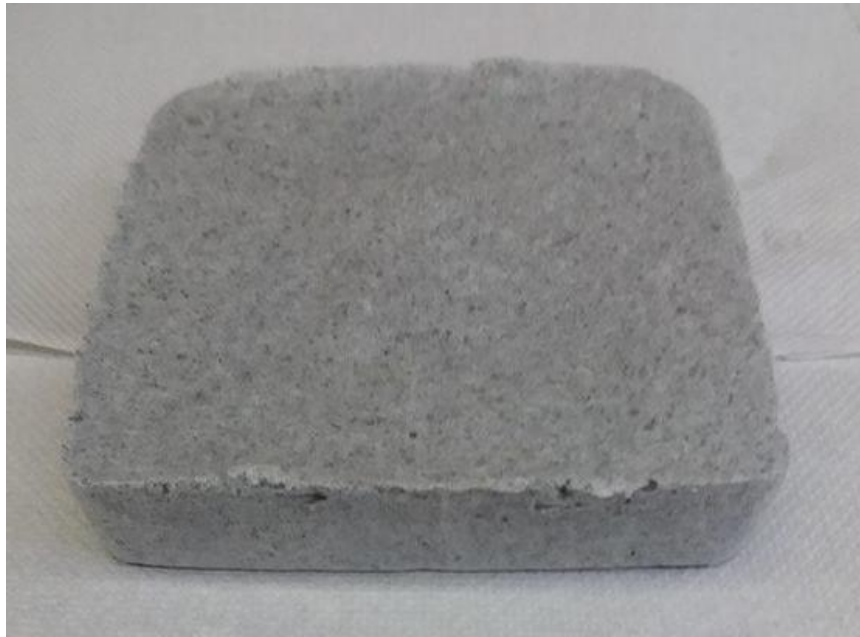


Σχήμα 5-3: Σύνθεση 3 θερμομονωτικού υλικού(1%/0,09M Cs/AcOH – 12% SF- 0,75% SDS)

- **Σύνθεση 4 (1,7%/0,15M Cs/AcOH – 4% SF- 0,50% SDS)**

Η 4^η σύνθεση είναι σκληρή και συμπαγής. Στην σκληρότητα μπορεί να συγκριθεί με την 1^η σύνθεση. Η διαλυτοποίηση έγινε κανονικά και ήταν ομοιόμορφη. Επίσης οπτικά η σύνθεση της συγκεκριμένης δοκιμής έχει πολλά κοινά με την 1^η σύνθεση (Σχήμα 5.1). Η 4^η σύνθεση εμφανίζεται στο Σχήμα 5.4.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 5-4: Σύνθεση 4 του θερμομονωτικού υλικού (1,7%/0,15M Cs/AcOH – 4% SF- 0,50% SDS)

- **Σύνθεση 5 (1,7%/0,15M Cs/AcOH – 8% SF- 0,75% SDS)**

Η 5^η σύνθεση είχε τα ίδια προβλήματα με την 3^η. Χρειάστηκε περαιτέρω ανάδευση για την σταθεροποίηση του pH στο 6,30 και την καλή συνεκτικότητα του υλικού. Το υλικό μετά την σύνθεσή του είναι αρκετά μαλακό και ευπαθές. Το αποτέλεσμα της σύνθεσης 5 παρουσιάζεται στο **Σχήμα 5.5**.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 5-5: Σύνθεση 5θερμομονωτικού υλικού(1,7%/0,15M Cs/AcOH – 8% SF- 0,75% SDS)

- **Σύνθεση 6 (1,7%/0,15M Cs/AcOH – 12% SF- 0,25% SDS)**

Στην 6^η σύνθεση η διαλυτοποίηση πραγματοποιήθηκε και το διάλυμα ήταν ομοιογενές. Λόγω μεγάλης ποσότητας δωδεκυλιοθειικού νατρίου (SDS) το υλικό ήταν αρκετά αφρώδες σε σχέση με τα προηγούμενα. Παρατηρήθηκε πως η συγκεκριμένη σύνθεση πριν τοποθετηθεί στην κατάψυξη είχε αυξημένο όγκο. Το σύνθετο υλικό που προέκυψε είναι μαλακό αλλά όχι τόσο ευπαθές (Σχήμα 5.6) σε σχέση με τις συνθέσεις 3 και 5 (Σχήματα 5.3 και 5.5 αντίστοιχα).

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

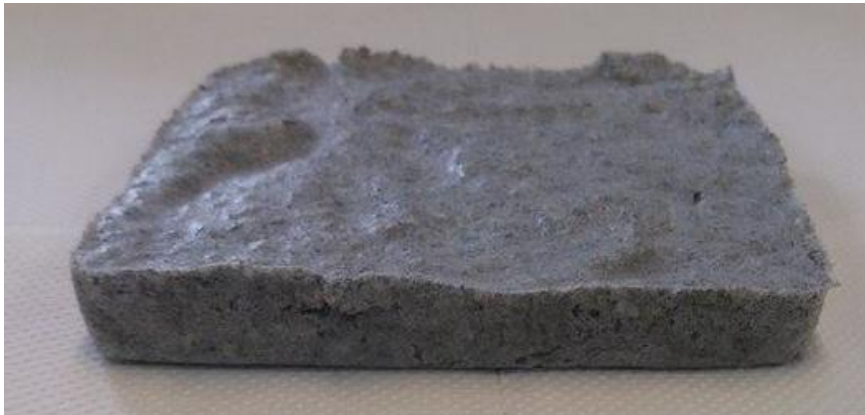


Σχήμα 5-6: Σύνθεση 6 θερμομονωτικού υλικού (1,7%/0,15M Cs/AcOH – 12% SF- 0,25% SDS)

▪ **Σύνθεση 7 (2,4%/0,22M Cs/AcOH – 4% SF- 0,75% SDS)**

Η 7^η σύνθεση λόγω μεγάλης περιεκτικότητας χιτοζάνης-οξικού οξέος (% w/w) Cs/AcOH) στο διάλυμα, το 1^ο στάδιο της σύνθεσης του υλικού -διαλυτοποίηση της χιτοζάνης (Cs) στο διάλυμα οξικού οξέος (AcOH)- διήρκησε παραπάνω από 2 ώρες. Έτσι, η ανάδευση του διαλύματος με την χιτοζάνη ολοκληρώθηκε σε 2,5 ώρες. Στην συνέχεια του πειράματος η σύνθεση έγινε όπως οι προηγούμενες συνθέσεις. Το υλικό όταν τοποθετήθηκε στην κατάψυξη ήταν αρκετά υδαρές. Όμως μετά την κρυοξήρανση το υλικό είναι συνεκτικό και σκληρό. Το προκύπτον υλικό παρατίθεται στο **Σχήμα 5.6**.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 5-7: Σύνθεση 7 θερμομονωτικού υλικού(2,4%/0,22M Cs/AcOH – 4% SF- 0,75% SDS)

- **Σύνθεση 8 (2,4%/0,22M Cs/AcOH – 8% SF- 0,25% SDS)**

Στην 8^η σύνθεση η διαλυτοποίηση της χιτοζάνης (Cs) στο διάλυμα οξικού οξέος διήρκτησε 2,5 ώρες (όπως και στην σύνθεση 7, **Σχήμα 5.7**). Παρατηρήθηκε πως η συγκεκριμένη σύνθεση είχε αυξημένο όγκο ο οποίος δεν μειώθηκε ούτε μετά την κατάψυξη και την κρυοξήρανση που δέχθηκε το υλικό. Ο όγκος του διατηρήθηκε σχεδόν αυτούσιος όμως το υλικό δεν είναι αρκετά σκληρό. Η 8^η σύνθεση παρουσιάζεται στο **Σχήμα 5.8**.



Σχήμα 5-8: Σύνθεση 8 θερμομονωτικού υλικού(2,4%/0,22M Cs/AcOH – 8% SF- 0,25% SDS)

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

- **Σύνθεση 9 (2,4%/0,22M Cs/AcOH – 12% SF- 0,50% SDS)**

Τέλος, στην 9^η σύνθεση όπως και στις δύο προηγούμενες η διαλυτοποίηση καθυστέρησε. Στην σύνθεση αυτή πριν το υλικό τοποθετηθεί στην κατάψυξη και μετά στην κρυοξήρανση είχε υδαρή μορφή, όμως δεν αποτέλεσε πρόβλημα στην τελική του σύνθεση. Το υλικό μετά την κρυοξήρανση είναι συνεκτικό και σκληρό. Η τελευταία σύνθεση αποτυπώνεται στο **Σχήμα 5.9**.



Σχήμα 5-9: Σύνθεση 9θερμομονωτικού υλικού(2,4%/0,22M Cs/AcOH – 12% SF- 0,50% SDS)

Επισημαίνεται ότι, δεν είναι εφικτό να αξιολογηθούν οι παραπάνω συνθέσεις μόνο οπτικά. Συνεπώς θα αξιολογηθούν με βάση τις μεθόδους χαρακτηρισμού που παρουσιάζονται παρακάτω.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

5.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

Οι μετρήσεις της πυκνότητας αποτυπώνονται συνολικά στον **Πίνακα**

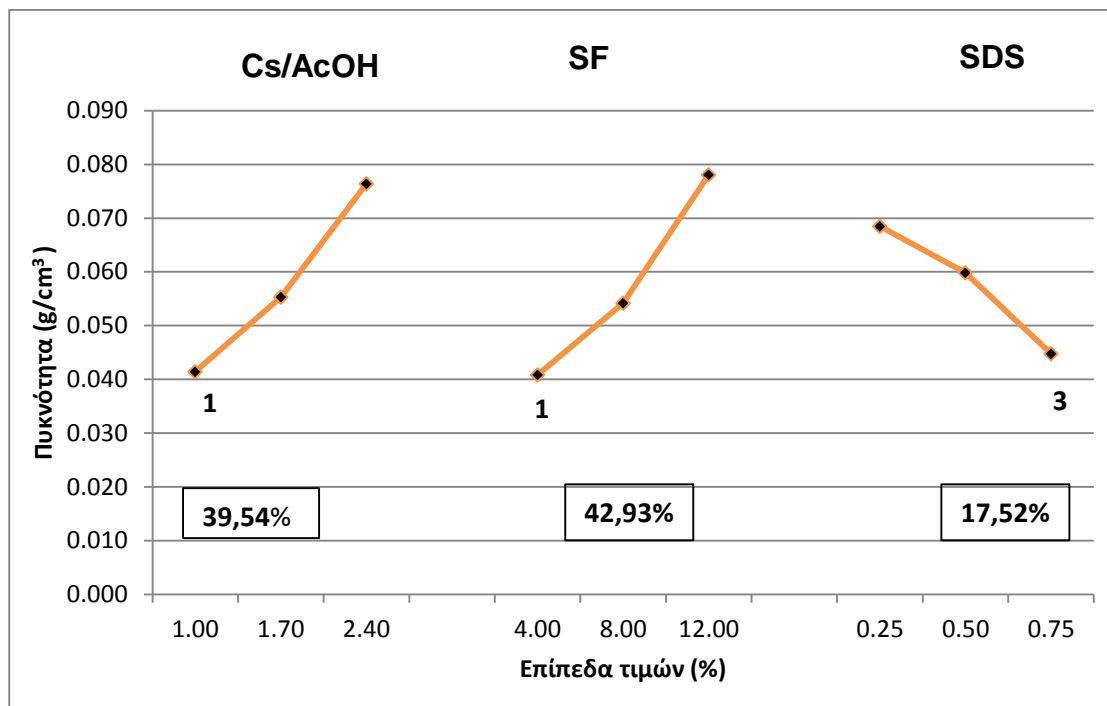
5.1. Η τελική πυκνότητα υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των 3 δοκιμών κάθε σύνθεσης.

Πίνακας 5-1: Μετρήσεις πυκνότητας για κάθε σύνθεση υλικού.

Σύνθεση	Cs(%)/ AcOH	SF (%)	SDS (%)	Density (g/cm ³)
1	1,00	4,00	0,25	0,038
2	1,00	8,00	0,50	0,038
3	1,00	12,00	0,75	0,048
4	1,70	4,00	0,50	0,039
5	1,70	8,00	0,75	0,042
6	1,70	12,00	0,25	0,085
7	2,40	4,00	0,75	0,045
8	2,40	8,00	0,25	0,082
9	2,40	12,00	0,50	0,102

Στο **Σχήμα 5.10** αποδίδεται η επίδραση των 3 παραμέτρων στην πυκνότητα του υλικού, όπως και η % συμβολή κάθε παραμέτρου στη διαμόρφωση της πυκνότητας (στατιστική επεξεργασία ANOVA).

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 5-10: Επίδραση των μελετούμενων παραμέτρων σύνθεσης στην πυκνότητα του υλικού (σε πλαίσιο δίνεται η % συμβολή κάθε παραμέτρου)

Όπως παρατηρείται στο **Σχήμα 5.10** για την πρώτη παράμετρο διαλύματος χιτοζάνης-οξικού οξέος (Cs/AcOH) όσο αυξάνεται η ποσότητα του διαλύματος αυξάνεται και η τιμή της πυκνότητας. Στην προκειμένη περίπτωση επιθυμείται η μικρότερη δυνατή πυκνότητα οπότε η βέλτιστη τιμή για το διάλυμα χιτοζάνης-οξικού οξέος είναι 1% (w/w) /0,09M (**Σχήμα 5.10, Σημείο 1**).

Όσον αφορά την παράμετρο της πυριτικής παιπάλης (SF) επίσης επισημαίνεται πως η αύξηση της ποσότητας της πυριτικής παιπάλης οδηγεί σε αύξηση της πυκνότητας. Είναι λογικό γιατί η πυριτική παιπάλη έχει μεγαλύτερο βάρος από όλες τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται. Σημειώνεται πως με την μέγιστη τιμή της πυριτικής παιπάλης επιτυγχάνεται η μέγιστη τιμή πυκνότητας. Συνεπώς η καλύτερη τιμή για την πυριτική παιπάλη είναι στο 4% w/w (**Σχήμα 5.10, Σημείο 1**).

Τέλος, με την προσθήκη του δωδεκυλιοθειικού νατρίου (SDS) διακρίνεται η θετική επίδραση του δωδεκυλιοθειικού νατρίου στην πυκνότητα. Όσο αυξάνεται η ποσότητα του δωδεκυλιοθειικού νατρίου η πυκνότητα μειώνεται. Το δωδεκυλιοθειικό νάτριο ως αφριστικό δημιουργεί φυσαλίδες στο υλικό και δημιουργούνται κενά. Τα κενά μειώνουν το συνολικά βάρος του υλικού και σύμφωνα με το τύπο της

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

πυκνότητας (Εξ 2.) όσο μειώνεται το βάρος μειώνεται και η πυκνότητα. Συνεπώς η καλύτερη τιμή για το δωδεκυλιοθειικό νάτριο είναι η τιμή 0,75% (w/w) (**Σχήμα 5.10, Σημείο 3**)

Τα ποσοστά που δίνονται στο διάγραμμα αποδίδουν τον βαθμό συμβολής κάθε παραμέτρου στην πυκνότητα του υλικού σύμφωνα με την ανάλυση διασποράς (ANOVA). Έτσι, η πυριτική παιπάλη συμβάλλει 42,93% στην πυκνότητα του υλικού ως η πρώτη ύλη με το μεγαλύτερο βάρος. Στη συνέχεια με μικρή διαφορά από την πυριτική παιπάλη επιδρά κατά 39,54% το διάλυμα χιτοζάνης- οξικού οξέος. Τέλος, το δωδεκυλιοθειικό νάτριο έχει την μικρότερη συμβολή (17,52%) στη διαμόρφωση της πυκνότητας.

Συμπερασματικά, η βέλτιστη σύνθεση για μικρότερη πυκνότητα είναι η σύνθεση με περιεκτικότητες: 1% (w/w) /0,09M χιτοζάνη-οξικό οξύ, 4% (w/w) πυριτική παιπάλη και 0,75% (w/w) ποσότητα δωδεκυλιοθειικού νατρίου. Η συγκεκριμένη σύνθεση πραγματοποιήθηκε και πειραματικά και υπολογίστηκε η πυκνότητά της στο $0,019\text{g/cm}^3$ όπου είναι όντως η χαμηλότερη τιμή πυκνότητας που επιτεύχθηκε.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

5.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ (λ)

Η μέτρηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας είναι σημαντική γιατί καθορίζει αν το υλικό χαρακτηρίζεται ως θερμομονωτικό. Στον **Πίνακα 5.2** παραθέτονται οι μετρήσεις που καταγράφηκαν από το όργανο μέτρησης θερμικής αγωγιμότητας NETZSCH HFM 436/3/1 Lambda .

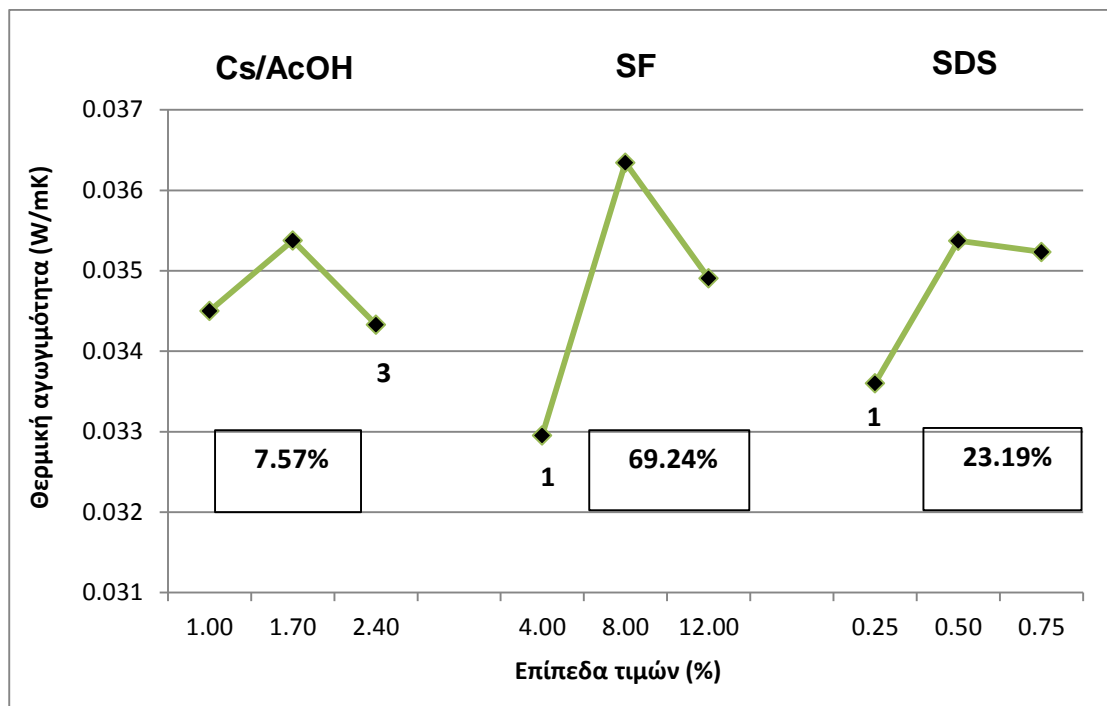
Πίνακας 5-2: Μετρήσεις θερμικής αγωγιμότητας για κάθε σύνθεση υλικού

Σύνθεση	Cs (%)/AcOH	SF (%)	SDS (%)	Thermal conductivity (W/mK)
1	1,00	4,00	0,25	0,0319
2	1,00	8,00	0,50	0,0365
3	1,00	12,00	0,75	0,0351
4	1,70	4,00	0,50	0,0342
5	1,70	8,00	0,75	0,0378
6	1,70	12,00	0,25	0,0342
7	2,40	4,00	0,75	0,0328
8	2,40	8,00	0,25	0,0347
9	2,40	12,00	0,50	0,0355

Παρατηρώντας τις τιμές της θερμικής αγωγιμότητας διαπιστώνεται πως όλες οι συνθέσεις είναι κάτω των ορίων που έχουν θεσπιστεί για την θερμομονωτική ικανότητα των υλικών. Ένα υλικό θεωρείται θερμομονωτικό όταν ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας είναι κάτω από 0,04W/mK.

Στο **Σχήμα 5.11** αποδίδεται η επίδραση των 3 παραμέτρων στην θερμική αγωγιμότητα του υλικού, όπως και η % συμβολή κάθε παραμέτρου στη διαμόρφωση της πυκνότητας (στατιστική επεξεργασία ANOVA).

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 5-11: Επίδραση των μελετούμενων παραμέτρων σύνθεσης στην θερμική αγωγιμότητα του υλικού (σε πλαίσιο δίνεται η % συμβολή κάθε παραμέτρου)

Όπως παρατηρείται στο **Σχήμα 5.11** για την πρώτη παράμετρο διάλυμα χιτοζάνης-οξικού οξέος (Cs/AcOH) όσο αυξάνεται η ποσότητα του διαλύματος αυξάνεται και η τιμή της θερμικής αγωγιμότητας μέχρι ενός ορίου και μετά παρατηρείται μείωση που φτάνει κοντά στην πρώτη τιμή. Η μείωση είναι της τάξης του 0,005 μονάδων γεγονός που δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την θερμική αγωγιμότητα. Στην προκειμένη περίπτωση επιθυμείται η μικρότερη δυνατή θερμική αγωγιμότητα οπότε η βέλτιστη τιμή για το διάλυμα χιτοζάνης-οξικού οξέος είναι 2,4% (w/w) /0,22M (**Σχήμα 5.11, Σημείο 3**).

Όσον αφορά την παράμετρο της πυριτικής παιπάλης (SF) επίσης επισημαίνεται πως η αύξηση της ποσότητας της πυριτικής παιπάλης οδηγεί σε αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας. Όμως και εδώ στις μεγαλύτερες ποσότητες παρατηρείται μια μείωση όπου δεν φτάνει την πρώτη τιμή όπως στην περίπτωση του διαλύματος χιτοζάνης-οξικού οξέος. Σημειώνεται πως η μείωση αυτή είναι της τάξεως του 0,02 μονάδων. Συνεπώς η καλύτερη τιμή για την πυριτική παιπάλη είναι στο 4% w/w (**Σχήμα 5.11, Σημείο 1**).

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τέλος, με την προσθήκη του δωδεκυλιοθειικού νατρίου (SDS) προκύπτει αναλογική επίδραση του δωδεκυλιοθειικού νατρίου σε σχέση με την θερμική αγωγιμότητα και στο τέλος σταθεροποιείται. Συμπερασματικά, η καλύτερη τιμή για το δωδεκυλιοθειικό νάτριο είναι η τιμή 0,25% (w/w) (**Σχήμα 5.11, Σημείο 1**).

Τα ποσοστά που δίνονται στο διάγραμμα αποδίδουν τον βαθμό συμβολής κάθε παραμέτρου στην θερμική αγωγιμότητα του υλικού σύμφωνα με την ανάλυση διασποράς (ANOVA). Έτσι, η πυριτική παιπάλη συμβάλλει 69,24% στην θερμική αγωγιμότητα του υλικού. Στη συνέχεια με μεγάλη διαφορά από την πυριτική παιπάλη επιδρά κατά 23,19% το διάλυμα δωδεκυλιοθειικού νατρίου. Τέλος, το διάλυμα χιτοζάνης-οξικού οξέος έχει την μικρότερη συμβολή (7,57%) στη διαμόρφωση της θερμικής αγωγιμότητας.

Συμπερασματικά, η βέλτιστη σύνθεση για μικρότερη θερμική αγωγιμότητα είναι η σύνθεση με περιεκτικότητες: 2,4% (w/w)/0,22M χιτοζάνη-οξικό οξύ, 4% (w/w) πυριτική παιπάλη και 0,25% (w/w) ποσότητα δωδεκυλιοθειικού νατρίου. Η συγκεκριμένη σύνθεση πραγματοποιήθηκε και πειραματικά και υπολογίστηκε ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητάς της στο 0,032W/mK όπου είναι όντως η χαμηλότερη τιμή συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που επιτεύχθηκε.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

5.4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

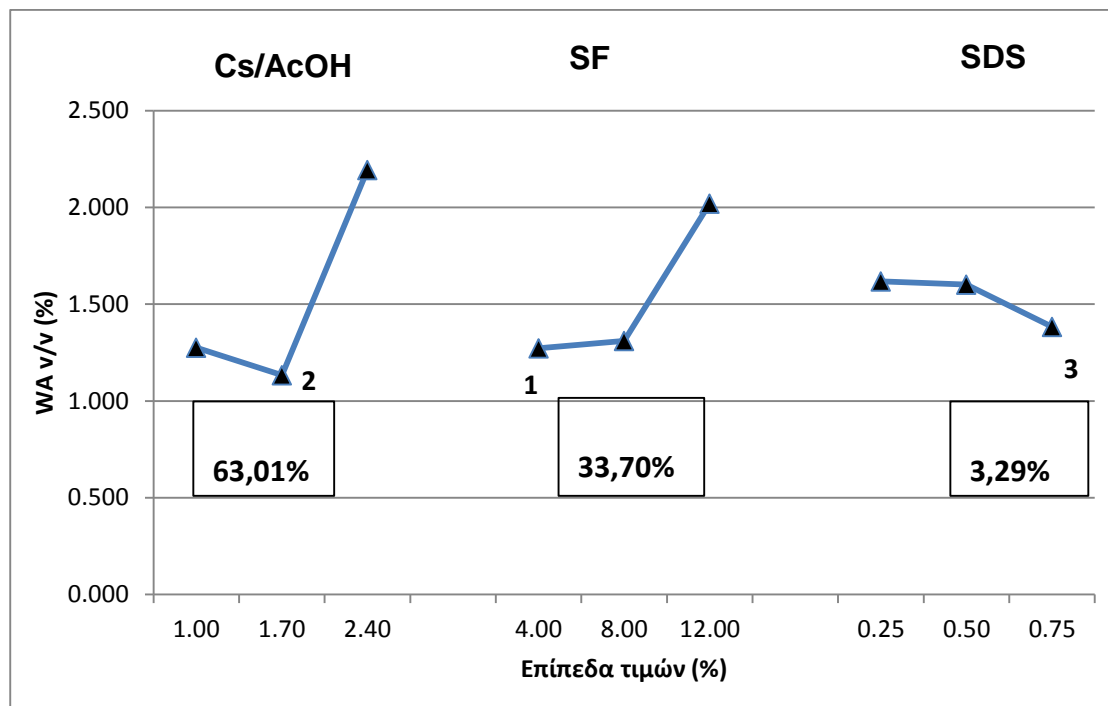
Οι μετρήσεις υδατοαπορροφητικότητας παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.3** για κάθε δοκίμιο σύμφωνα με την εξίσωση 2.

Πίνακας 5-3: Μετρήσεις Υδατοαπορροφητικότητας

Σύνθεση	Cs(%) /AcOH	SF (%)	SDS (%)	Water absorption (%)
1	1,00	4,00	0,25	1,170
2	1,00	8,00	0,50	1,280
3	1,00	12,00	0,75	1,376
4	1,70	4,00	0,50	0,706
5	1,70	8,00	0,75	0,830
6	1,70	12,00	0,25	1,863
7	2,40	4,00	0,75	1,941
8	2,40	8,00	0,25	1,820
9	2,40	12,00	0,50	2,820

Στο **Σχήμα 5.12** αποδίδεται η επίδραση των 3 παραμέτρων στην θερμική αγωγιμότητα του υλικού, όπως και η % συμβολή κάθε παραμέτρου στη διαμόρφωση της πυκνότητας (στατιστική επεξεργασία ANOVA).

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 5-12: Επίδραση των μελετούμενων παραμέτρων σύνθεσης στην θερμική αγωγιμότητα του υλικού (σε πλαίσιο δίνεται η % συμβολή κάθε παραμέτρου)

Όπως παρατηρείται στο **Σχήμα 5.12** για την πρώτη παράμετρο διάλυμα χιτοζάνης-οξικού οξέος (Cs/AcOH) όσο αυξάνεται η ποσότητα του διαλύματος στην αρχή παρατηρείται μια μικρή μείωση αλλά στη συνέχεια αυξάνεται η τιμή της υδατοαπορροφητικότητας. Η μείωση από την 1^η τιμή στη δεύτερη είναι της τάξης των 0,142 μονάδων. Η αύξηση της τιμής της χιτοζάνης οδηγεί στην μεγαλύτερη τιμή υδατοαπορροφητικότητας σε σχέση με τις υπόλοιπες παραμέτρους. Στην προκειμένη περίπτωση επιθυμείται η μικρότερη δυνατή υδατοαπορροφητικότητα οπότε η βέλτιστη τιμή για το διάλυμα χιτοζάνης-οξικού οξέος είναι 1,7% (w/w) /0,15M (**Σχήμα 5.12, Σημεία 2**).

Όσον αφορά την παράμετρο της πυριτικής παιπάλης (SF) όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του υλικού σε πυριτική παιπάλη τόσο αυξάνεται και η τιμή της υδατοαπορροφητικότητας. Συνεπώς η καλύτερη τιμή για την πυριτική παιπάλη είναι στο 4% w/w (**Σχήμα 5.12, Σημείο 1**).

Τέλος, η προσθήκη του δωδεκυλιοθειικού νατρίου (SDS) οδηγεί σε μείωση της υδατοαπορροφητικότητας του υλικού. Η μείωση παριστάνεται στην αρχή με μια

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

μικρή μείωση της τιμής της υδατοποροφητικότητας και στη συνέχεια η τιμή αυτή μικραίνει αρκετά. Συμπερασματικά, η καλύτερη τιμή για το δωδεκυλιοθειικό νάτριο είναι η τιμή 0,75% (w/w) (**Σχήμα 5.12, Σημείο 3**).

Τα ποσοστά που δίνονται στο σχήμα αποδίδουν τον βαθμό συμβολής της κάθε παραμέτρου στην θερμική αγωγιμότητα του υλικού σύμφωνα με την ανάλυση διασποράς (ANOVA). Έτσι, το διάλυμα χιτοζάνης-οξικού οξέος συμβάλλει 63,01% στην υδατοαποροφητικότητα του υλικού. Στη συνέχεια με μεγάλη διαφορά από το διάλυμα χιτοζάνης-οξικού οξέος επιδρά κατά 33,70% η πυριτική παιπάλη. Τέλος, το δωδεκυλιοθειικό νάτριο έχει την μικρότερη συμβολή (3,39%) στη διαμόρφωση της υδατοαποροφητικότητας.

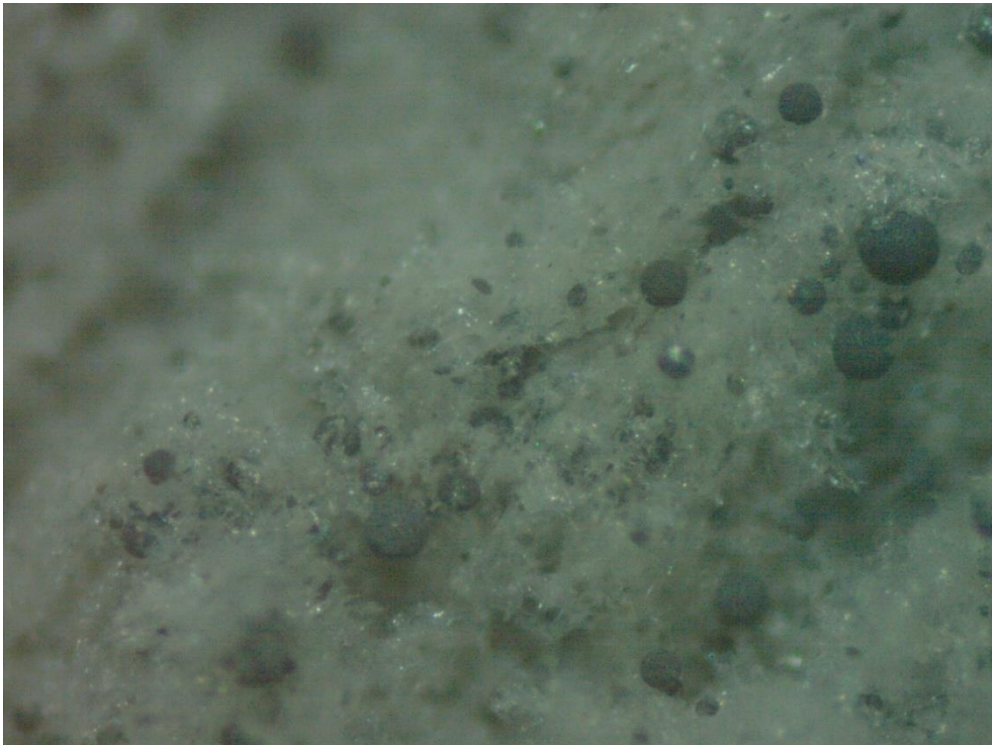
Συμπερασματικά, η βέλτιστη σύνθεση για μικρότερη υδατοαποροφητικότητα είναι η σύνθεση με περιεκτικότητες: 1,7% (w/w) /0,15M χιτοζάνη-οξικό οξύ, 4% (w/w) πυριτική παιπάλη και 0,75% (w/w) ποσότητα δωδεκυλιοθειικού.

5.5. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΟΥ

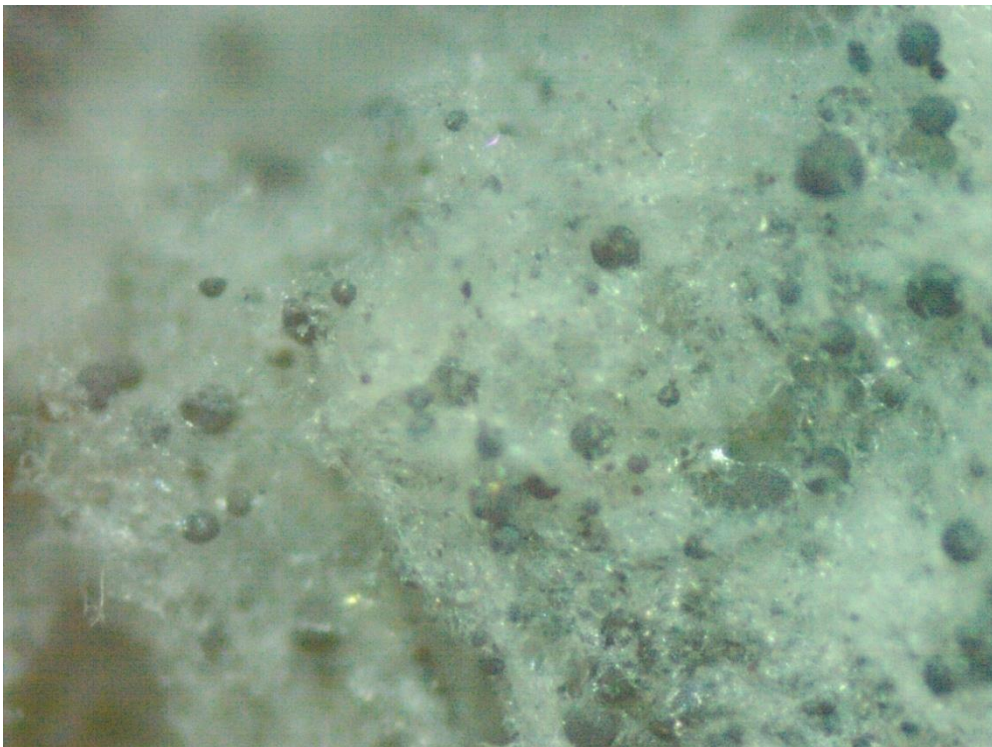
Στο οπτικό στερεοσκόπιο παρατηρούνται οι πρώτες ύλες του υλικού επί πλέον εντοπίζονται και οι διαφορές ως προς την μορφολογία του υλικού. Παρατίθενται σχήματα από το στερεοσκόπιο (**Σχήματα 5.13-5.22**) όπου έχουν ληφθεί σε τομή του υλικού με μεγέθυνση x5 και ομαδοποιούνται ανάλογα με την περιεκτικότητα σε χιτοζάνη.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

- Ομαδοποίηση με σταθερή ποσότητα χιτοζάνης (1%/0,09M Cs/AcOH) για τις συνθέσεις 1,2,3.

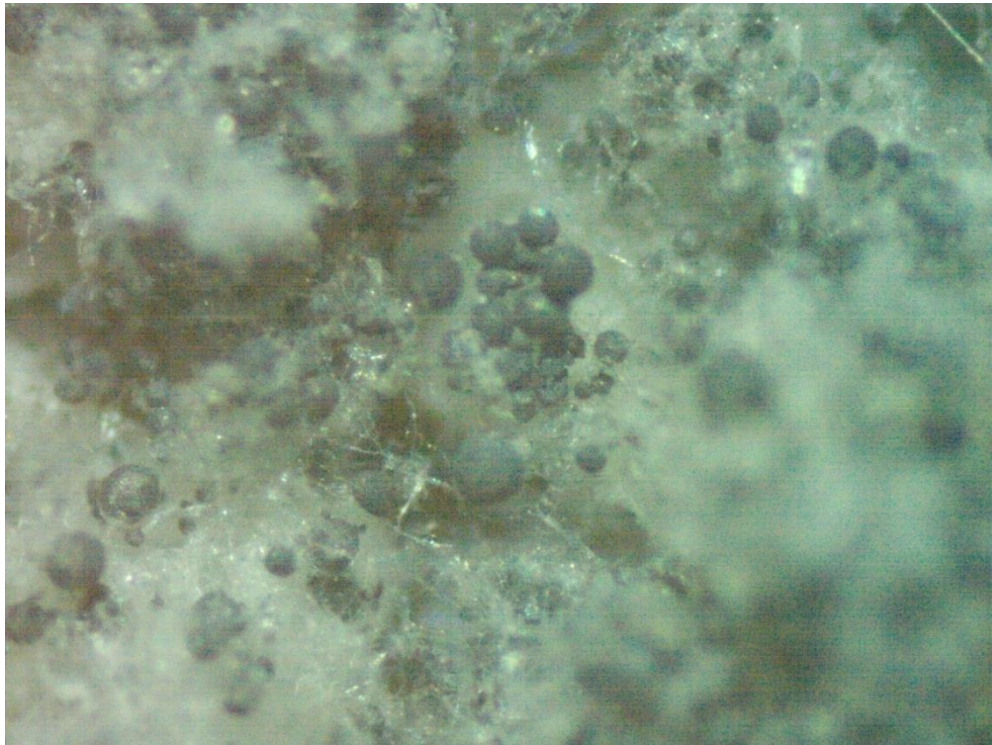


Σχήμα 5-13: Σύνθεση 1^η σε τομή (μεγέθυνση x5)



Σχήμα 5-14: Σύνθεση 2^η σε τομή (μεγέθυνση x5)

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



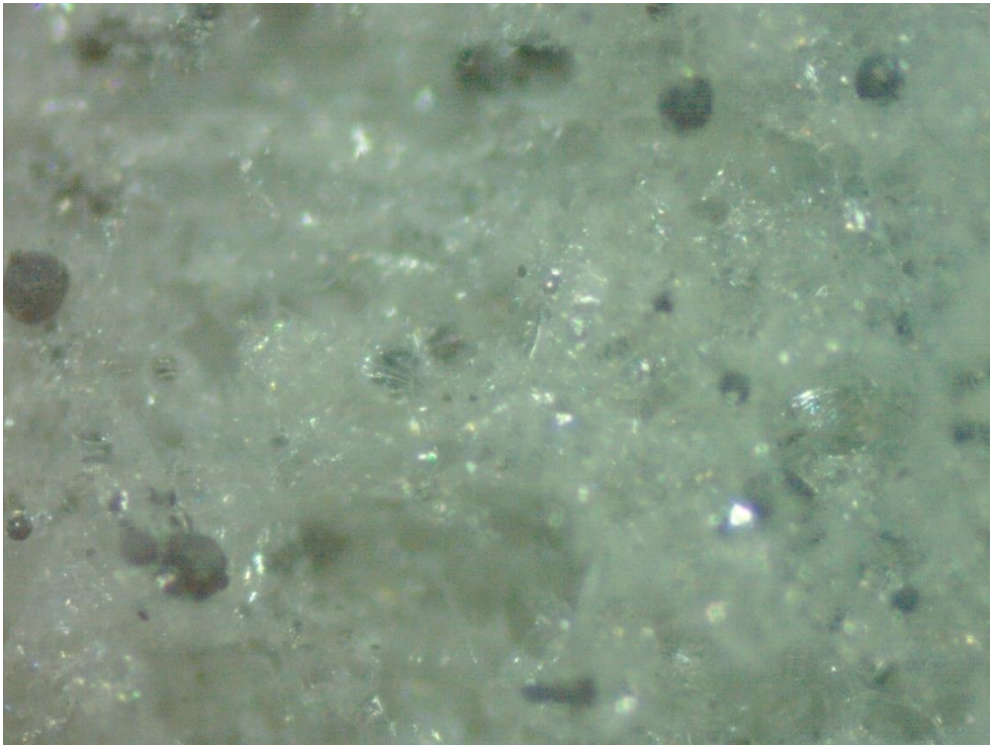
Σχήμα 5-15: Σύνθεση 3^η σε τομή (μεγέθυνση x5)

Σύμφωνα με τα παρακάτω σχήματα (**Σχήματα 5.13-5.15**) παρατηρούνται διαφορές ως προς την μορφολογία της σύνθεσης του θερμομονωτικού υλικού:

- Διαφοροποίηση της ποσότητας της πυριτικής παιπάλης με μορφή μαύρων κόκκων όπου στο **Σχήμα 5.15** είναι περισσότεροι σε σχέση με τα άλλα 2 σχήματα (**Σχήματα 5.13-5.14**).
- Η χιτοζάνη διαλυμένη στο οξικό οξύ δημιουργεί πορώδη δομή (πλέγμα) και κοιλότητες που διακρίνονται και στα 3 σχήματα. Στο **Σχήμα 5.15** διακρίνεται πιο καθαρά το πλέγμα της χιτοζάνης.
- Το δωδεκυλιοθεϊκό νάτριο είναι το αφριστικό μέσο όπου προκαλεί τις φυσαλίδες. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως η 3^η σύνθεση (**Σχήμα 5.15**) είναι πιο αφρώδης σε σύγκριση με τις άλλες 2 λόγω μεγαλύτερης ποσότητας αφριστικού (**Σχήματα 5.13,5.14**).

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

- Ομαδοποίηση με σταθερή ποσότητα χιτοζάνης (1,7%/0,15M Cs/AcOH) για τις συνθέσεις 4,5,6.

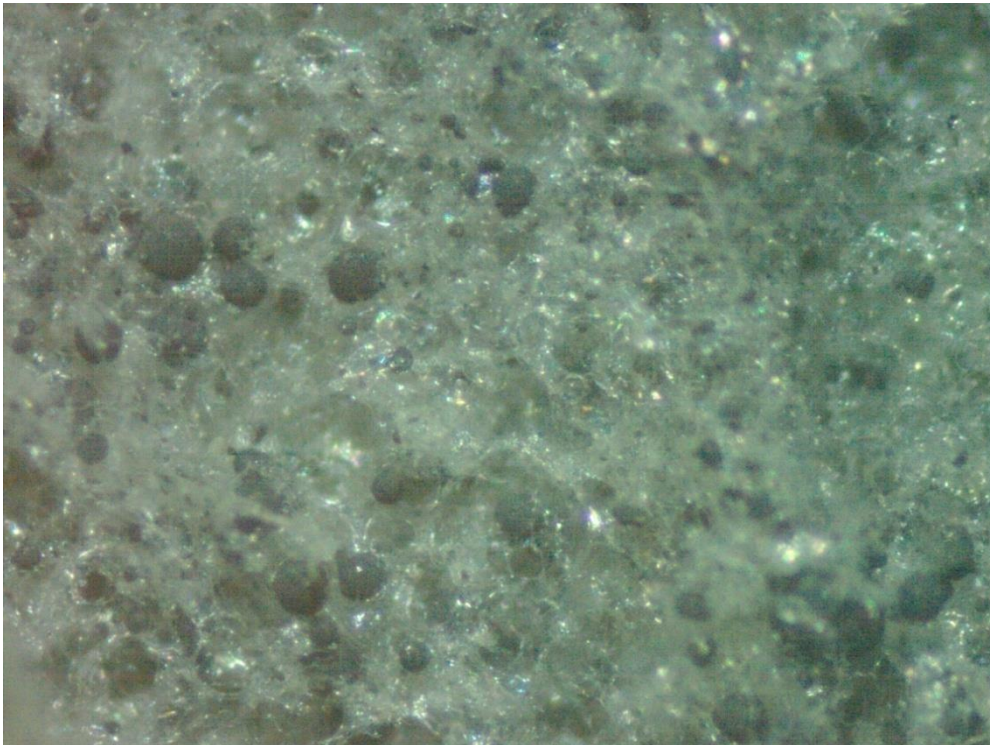


Σχήμα 5-16: Σύνθεση 4^η σε τομή (μεγέθυνση x5)



Σχήμα 5-17: Σύνθεση 5^η σε τομή (μεγέθυνση x5)

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



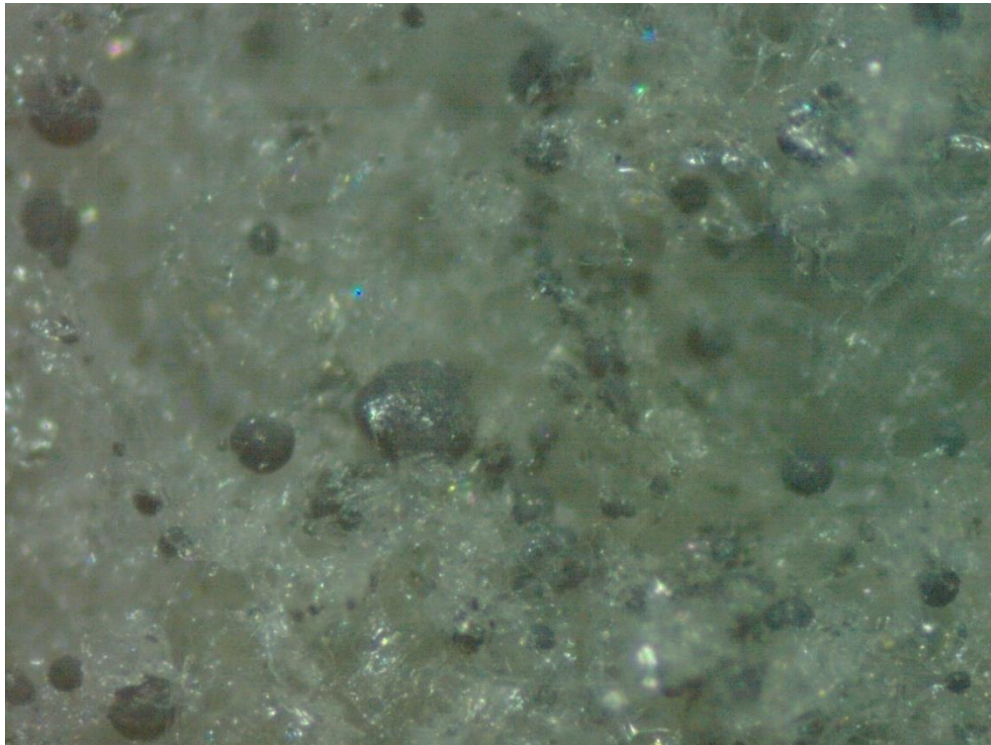
Σχήμα 5-18: Σύνθεση 6^η σε τομή (μεγέθυνση x5)

Σύμφωνα με τα παρακάτω σχήματα (**Σχήματα 5.16-5.18**) γίνονται οι παρακάτω παρατηρήσεις:

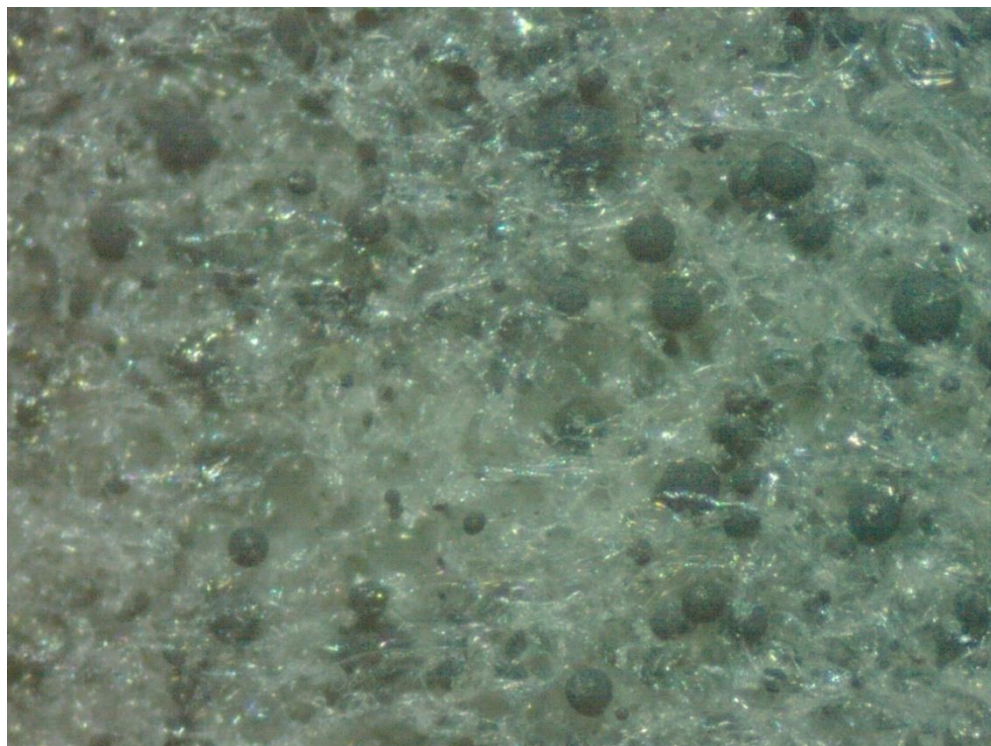
- Το πλέγμα της χιτοζάνης διακρίνεται εμφανώς στο **Σχήμα 5.17** ως συσσωμάτωμα, ενώ στα **Σχήματα 5.16 και 5.18** το υλικό φαίνεται πιο συμπαγές και ομοιόμορφο.
- Η 6^η σύνθεση με μεγαλύτερη ποσότητα πυριτικής παιπάλης αποτυπώνεται στο **Σχήμα 5.18**.
- Το δωδεκυλιοθειικό νάτριο διαχωρίζεται από την χιτοζάνη ως φυσαλίδες. Είναι εμφανές πως στο **Σχήμα 5.16** είναι σε μεγαλύτερη ποσότητα όπως και στο **Σχήμα 5.17**.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

- Ομαδοποίηση με σταθερή ποσότητα χιτοζάνης (2,4%/0,22M Cs/AcOH) για τις συνθέσεις 7,8,9.



Σχήμα 5-19: Σύνθεση 7^η σε τομή (μεγέθυνση x5)



Σχήμα 5-20: Σύνθεση 8^η σε τομή (μεγέθυνση x5)

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 5-21: Σύνθεση 9^η σε τομή (μεγέθυνση x5)

Τέλος συγκρίνοντας τις τελευταίες συνθέσεις (**Σχήματα 5.19-5.21**) επισημαίνονται οι εξής διαφοροποιήσεις:

- Η χιτοζάνη παρατηρείται πιο έντονα και στις 3 αυτές συνθέσεις. Το πλέγμα είναι πιο πυκνό. Στα **Σχήματα 5.19 και 5.21** παρατηρείται πως το υλικό είναι πιο συνεκτικό σε σχέση με το **Σχήμα 5.20** όπου διακρίνεται ανομοιογένεια (τα θολά σημεία της εικόνα αποτυπώνουν πως το υλικό στο συγκεκριμένο σημείο είναι κενό)
- Η παρουσία της πυριτικής παιπάλης είναι πιο έντονη στο **Σχήμα 5.21**.
- Το δωδεκυλιοθεικό νάτριο (φυσαλίδες) είναι πιο φανερό στα **Σχήματα 5.19 και 5.21** λόγω του πλήθους φυσαλίδων στο υλικό. Είναι λογικό γιατί οι συγκεκριμένες συνθέσεις έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα δωδεκυλιοθεικού νατρίου.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

5.6. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΦΩΤΙΑ

Η μέτρηση της αντίστασης σε φωτιά των συνθέσεων του θερμομονωτικού υλικού εκτελέστηκε εμπειρικά με την βοήθεια φλόγιστρου. Τα Σχήματα 5.22-5.25 που παραθέτονται παρακάτω αποτυπώνουν την επίδραση της φλόγας στο σύνθετο υλικό. Ακολουθεί σχολιασμός αποτελεσμάτων με βάση τα σχήματα.



Σχήμα 5-22: Σύνθεση 1^η μετά την δοκιμή αντίστασης στη φωτιά

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 5-23: Σύνθεση 4^η μετά την δοκιμή αντίστασης σε φωτιά .



Σχήμα 5-24: Σύνθεση 7^η μετά την δοκιμή αντίστασης σε φωτιά

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Σχήμα 5-25: Σύνθεση 9^η μετά την δοκιμή αντίστασης σε φωτιά

Στην πρώτη δοκιμή της σύνθεσης 1 (Σχήμα 5.22) παρατηρήθηκε πως η φλόγα δεν μεταδόθηκε στο υλικό ακόμα και όταν ολοκληρώθηκε η δοκιμή. Παρατηρήθηκε όμως μια σημαντική παραμόρφωση σε σύγκριση με το αρχικό υλικό.

Στην δεύτερη δοκιμή της σύνθεσης 4 (Σχήμα 5.23) η καύση ήταν πιο ήπια σε σχέση με την σύνθεση 1 και με λιγότερη παραμόρφωση του υλικού.. Είναι σημαντικό να τονιστεί πως ούτε εδώ η φλόγα μεταδόθηκε στο σύνολο του υλικού.

Στην τρίτη δοκιμή της σύνθεσης 7 (Σχήμα 5.24) η καύση είναι ακόμα ηπιότερη. Το ποσοστό του καμένου υλικού είναι μικρότερο αναλογικά με τις δύο προηγούμενες δοκιμές (Σχήματα 5.22,5.23). Ούτε σε αυτή τη δοκιμή υπάρχει μετάδοση της φλόγας.

Συμπερασματικά, η περιεκτικότητα του διαλύματος χιτοζάνης- οξικού οξέος στο υλικό είναι σημαντικός παράγοντας στην αντίστασή του στη φωτιά. Όσο αυξάνεται το ποσοστό χιτοζάνης-οξικού οξέος τόσο η καύση είναι ηπιότερη (Σχήματα 5.22,5.23,5.24).

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Στην τέταρτη δοκιμή συγκρίνονται τα αποτελέσματα με βάση το ποσοστό της πυριτικής παιπάλης. Η πυριτική παιπάλη είναι άκαυστο προϊόν και σύμφωνα με το **Σχήμα 5.25** είναι εμφανές πως η καύση αν συγκριθεί με τα **Σχήματα 5.22,5.23,5.24** έχει μεγάλη διαφορά. Το ποσοστό της πυριτικής παιπάλης ενισχύει την αντίσταση του υλικού στην φωτιά και παίζει κύριο λόγο για την συγκεκριμένη ιδιότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία διερευνήθηκε η χρήση της πυριτικής παιπάλης στην σύνθεση θερμομονωτικών υλικών. Αφού προηγήθηκε βιβλιογραφική επισκόπηση για τα θερμομονωτικά και σύνθετα ανόργανα μονωτικά υλικά οργανώθηκαν πειραματικές δοκιμές. Με τη βοήθεια του πολυπαραγοντικού μοντέλου σχεδιασμού πειραμάτων Taguchi και της στατιστικής ανάλυσης (ANOVA) διερευνήθηκε η επίδραση βασικών παραμέτρων σύνθεσης στις ιδιότητες του θερμομονωτικού υλικού. Οι παράμετροι σύνθεσης που εξετάστηκαν ήταν η αναλογία χιτοζάνης (Cs) – οξικού οξέος (AcOH), η περιεκτικότητα (%) σε πυριτική παιπάλη και η % περιεκτικότητα σε δωδεκυλιοθειικό νάτριο(SDS). Η αξιολόγηση του παραγόμενου θερμομονωτικού υλικού έγινε με βάση την πυκνότητα, την θερμική αγωγιμότητα και την υδατοαπορροφητικότητα του. Προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

Όσον αφορά την πυκνότητα του υλικού, η βέλτιστη σύνθεση περιλαμβάνει 1%(w/w)/0,09M χιτοζάνης-οξικού οξέος ,4% (w/w) πυριτική παιπάλη, και 0,75% (w/w) δωδεκυλιοθειικό νάτριο και προέκυψε υλικό με πυκνότητα 0,019 g/cm³.

Όσον αφορά τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού, η βέλτιστη σύνθεση είναι με 2,40%(w/w)/0,22M χιτοζάνης – οξικού οξέος, 4%(w/w) πυριτικής παιπάλης και 0,25%(w/w) δωδεκυλιοθειικό νάτριο και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του παραχθέντος θερμομονωτικού υλικού είναι 0.032 W/mK.

Όσον αφορά την υδατοαπορροφητικότητα, η βέλτιστη σύνθεση είναι με 1,7% (w/w)/0,15M χιτοζάνης –οξικού οξέος, 4%(w/w) πυριτικής παιπάλης και 0,75%(w/w) δωδεκυλιοθειικό νάτριο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η περιεκτικότητα του υλικού σε πυριτική παιπάλη παίζει τον σημαντικότερο ρόλο στις ιδιότητες του υλικού. Η συμβολή της πυριτικής παιπάλης στη διαμόρφωση των εξετασθέντων ιδιοτήτων είναι (42,9% στην πυκνότητα, 69,2% την θερμική αγωγιμότητα και 33,7% την υδατοαπορροφητικότητα). Το διάλυμα χιτοζάνης – οξικού οξέος επιδρά 39,6% στην πυκνότητα του υλικού, 7,6% στην θερμική αγωγιμότητα και 63% στην

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

υδατοαπορροφητικότητα. Το δωδεκύλιοθειικό νάτριο έχει την μικρότερη επίδραση στις ιδιότητες του υλικού με ποσοστά 17,5%,23,2% και 3,3%.

Τα παραχθέντα θερμομονωτικά υλικά έδειξαν καλή συμπεριφορά στη φωτιά και τόσο η περιεκτικότητα του διαλύματος χιτοζάνης – οξικού οξέος όσο και η περιεκτικότητα της πυριτικής παιπάλης φαίνονται να έχουν θετική επίδραση στην ιδιότητα αυτή.

Συμπερασματικά, η πυριτική παιπάλη χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία στη σύνθεση μονωτικών υλικών. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα θετικό, μιας και τα παραχθέντα υλικά έχουν καλές ιδιότητες, ενώ οι διεθνείς ερευνητικές προσπάθειες σε αυτό το πεδίο είναι πολύ πρώιμες

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα:

- Βελτιστοποίηση ιδιοτήτων θερμομονωτικού υλικού (πυκνότητα, θερμική αγωγιμότητα, αντίσταση σε φωτιά και υδατοαπορροφητικότητα)
- Δοκιμές σε μεγαλύτερη κλίμακα..
- Ανάλυση κύκλου ζωής (LCA) του θερμομονωτικού υλικού
- Προκαταρκτική ανάλυση κόστους της μεθόδου παραγωγής

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Καραμάνος Α.Κ., Γιαμά Ε., Χαδιαράκου Σ., Παπαδόπουλος Α.Μ. (2005) : «Συγκριτική Αξιολόγηση πετρώματα και εξηλασμένης πολυστερίνης» Διεθνής Έκθεση και Συνέδριο για την τεχνολογία περιβάλλοντος, Heleco '05, ΤΕΕ, Αθήνα
- [2] Κορωναίος Αιμ. Γ. , Πουλάκος Γ. Ι. (2005) «Τεχνικά Υλικά Τόμος 2» Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [3] Νικολάου Κ.η & Ροκανάς Μ.(2012) «Θερμομονωτικά Υλικά και Υγρομονωτικά Υλικά στις σύγχρονες κατασκευές» Διπλωματική Εργασία , ΕΜΠ
- [4] Κουντούρης Α. (2009) «Πειραματική Μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων και των μορφών αστοχίας σύνθετων δομικών υλικών πάνελ(τύπου sandwich) υπό σύνθετη καταπόνηση» Διπλωματική Εργασία ,ΕΜΠ
- [5] Παπαδόπουλος Μ.Α.(2004) «Προδιαγραφές ιδιοτήτων θερμομονωτικών υλικών» Αθήνα,
- [6] Παναγιούλια Γ-Π (2013) «Χρήση θερμομονωτικών υλικών για θερμομόνωση κτιρίων στην Ελλάδα», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ.
- [7] Καλαργάρης Ι. (2013) «Πειραματική Αξιολόγηση Θερμικών Ιδιοτήτων και Συμπεριφοράς Μονωτικών Υλικών σε Συνθήκες Φωτιάς» Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ
- [8] Χουστουλάκης Ε. Κ. (2013) «Θεωρητικός Υπολογισμός και μοντελοποίηση επάρκειας κτιρίου» Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ
- [9] Cathy Galbraith (2015) ‘The European market for thermal insulation products’, press release <http://www.ialconsultants.com>
- [10] fibran <http://www.energynius.gr/thermalpro/index.php?aid=49>
- [11] Σένης Ε. (2013) «Σύνθετα Υλικά Πολυμερικής Μήτρας-καρβιδίου του Βορίου Ανάπτυξη, Διηλεκτρική απόκριση και λειτουργική συμπεριφορά» Διπλωματική Εργασία Πανεπιστήμιο Πατρών
- [12] Ruifang Zhang, Junjie Feng, Xudong Cheng, Lunlun Gong, Ye Li, Heping Zhang (2014) ‘Porous thermal insulation materials derived from fly ash using a foaming and slip casting method’, Energy and Buildings, 81 262-267,
- [13] Ru Ji , Zuotai Zhang , Yang He , Lili Liu , Xidong Wang (2015) ‘ Synthesis, characterization and modeling of new building insulation material using ceramic polishing waste residue’ Construction and Building Materials, 85, 119-126

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

[14] Ν. Κεφαλά, Α. Βασιλάκης, Λ. Ζουμπουλάκης (2013) «Παραγωγή Σύνθετων υλικών εποξειδικής ρητίνης- ανόργανων δομικών υλικών προερχόμενων από ανακύκλωση »9ο Πανελλήνιο Συνέδριο Χημικής Μηχανικής «Η Συμβολή της Χημικής Μηχανικής στην Αειφόρο Ανάπτυξη», Πολυτεχνειούπολη Αθήνα

[15] Ch. Panagiotopoulou, M. Taxiarchou, K. Papakonstantinou, A. Gaki, I. Douni, D. Pantias, A. Pasquali, I. Paspaliaris 'Inorganic Polymers: Novel Materials for the development of High Performance and Low Embodied Energy Solutions for Energy Efficient Buildings '3rd International Conference "ENERGY in BUILDINGS 2014" Athens

[16] <http://www.leema.eu/>

[17] <http://web.spi.pt/aersus/project.htm>

[18] Dunster A. (2009), Silica fume in concrete, information paper IP 5/09, BRE <http://www.chinamicrosilica.com/upload/201103170001471044.pdf>

[19] Γιάππου Α. (2013) «Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα» Πτυχιακή Εργασία: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

[20] European Silica fume Committee: <http://www.microsilicafume.eu/>

[21] Κανελλόπουλος Α , Πέτρου Μ , Ιωάννου Ι , Μυριανθόπουλος Μ , Θεοφανίδης Α (2009). «Η Πυριτική Παιπάλη στην Κυπριακή Κατασκευαστική Βιομηχανία» 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, Πάφος, Κύπρος

[22] Ε. Τουμπακάρη Ε. Αδάμη, Ε. Βιντζηλαίου (2005) « Ιδιότητες και επιτελεστικότητα τριπλών ενεμάτων υδράσβεστου φυσικής ποζολάνης-τσιμέντου με προσθήκη τεχνητών ποζολάνων» 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο για την Αξιοποίηση των Βιομηχανικών Παραπροϊόντων στη Δόμηση, Θεσσαλονίκη

[23] Βάρβαρης Ι. (2010) «Πειραματική διερεύνηση της δυνατότητας παραγωγής αυτοσυμπυκνούμενου μικροσκυροδέματος από λεπτομερή λατομικά παραπροϊόντα» Διπλωματική Εργασία , Πολυτεχνείο Κρήτης

[24] Α. Καλεντζώτης (2007) «Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα» 13^ο Φοιτητικό Συνέδριο : Επισκευές Κατασκευών ” Πάτρα,

[25] Μελέτη ΥΠΕΧΩΔΕ Πρόγραμμα Δράσεων για τον εκσυγχρονισμό της παραγωγής των Δημοσίων Έργων :Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές ΠΕΤΕΠ 12-03-02-00 Έκδοση 1.0 Μάιος 2006

[26] Λυκούδης Σ , Ψυχίδης Η (2009) «Διογκωμένη Πολυστερίνη ως Ελαφρό Αδρανές (EPS), για την Παραγωγή Ελαφρού Σκυροδέματος Υψηλής Αντοχής» 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, Πάφος, Κύπρος

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

[27] Μουτζούρη Α. (2015) «Διερεύνηση της μηχανικής συμπεριφοράς οστεοβλαστων κατά την προσκόλλησή τους σε υποστρώματα φυσικών βιοϋλικών» Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών

[28] Τραυλού Ν-Ε. (2012) "Σύνθετα Υλικά Οξειδίου του Γραφίτη και χιτοζάνης/ Μαγνητικής χιτοζάνης. Παρασκευή και συγκριτική μελέτη απομάκρυνσης χρωστικής reactiveblack 5 από υδατικά διαλύματα» Μεταπτυχιακή εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

[29] Ζησιμοπούλου Α.-Ε. (2012) «Ανάπτυξη νέων σύνθετων βιοϋλικών με ενίσχυση ναοσωλήνων άνθρακα: Μηχανικές ιδιότητες και Βιοσυμβατότητα», Μεταπτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών

[30] Επιμέλεια: Βαλαβανίδης Θ, Ευσταθίου Κ,
http://195.134.76.37/chemicals/chem_aceticacid.htm

[31] <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/28364>

[32] Ζουμπούλης Α., Καραπάντσιος Θ., Μάτης Κ., Μαύρος Π. (2009) «Στοιχεία Φυσικών Διεργασιών» . Τζιόλα

[33] <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/en/products-solutions/thermal-diffusivity-conductivity/hfm-436-lambda/>

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Σοφία Φίλιππα-Ράπτη

Ταχ. Δ/ση: Θησέως 12, Τ.Κ.154 51, Νέο Ψυχικό, Αθήνα
τηλ : +30 697 8812865 E-mail:sfilippa.rapti4@gmail.com

Ημερομηνία γέννησης: 4.10.1991 – Φύλο: Θήλυ

Υπηκοότητα: Ελληνική

Προσωπικό Προφίλ:

Κατά τη διάρκεια των ακαδημαϊκών μου σπουδών, τόσο των προπτυχιακών όσο και των μεταπτυχιακών, απέκτησα γνώσεις σε διάφορους τομείς της επιστήμης, όπως: μηχανική, μεταλλουργικές διεργασίες, επιστήμη των υλικών και την τεχνολογία των προηγμένων υλικών. Για το σκοπό αυτό, έχω αναπτύξει ανταγωνιστικές δεξιότητες, ώστε να οργανώνω καλύτερα το χρόνο μου για να τηρώ τις προθεσμίες ανάθεσης και να συμβαδίζω με χρονοδιαγράμματα σε σύνθετα επιστημονικά προγράμματα. Επιπλέον, η εκτεταμένη εμπειρία μου στην εργασία για τα προγράμματα της ομάδας βοήθησε να συνειδητοποιήσω τη σημασία της επικοινωνίας και της συνεργασίας μεταξύ των μελών της, για τη βελτιστοποίηση των στρατηγικών στόχων που έχουν τεθεί από την ομάδα.

Σπουδές:

Οκτ. 2015 – Φεβρ. 2017

M.Sc. Επιστήμη και τεχνολογία Υλικών

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), Σχολή Χημικών Μηχανικών

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία: «Διερεύνηση της χρήσης της πυριτικής παιπάλης στη σύνθεση μονωτικών υλικών» Επιβλέπων: Σ.Τσιβιλής

Σεπτ. 2009 – Ιουλ. 2014

Πτυχίο Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών (Grade: 7.38/10)

Εθνικό Μετσόβιο πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.), Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών

Διπλωματική εργασία: «Αναγωγική φρύξη λεπτομερών μεταλλευμάτων λατερίτη με αέρια αναγωγικά μέσα» Επιβλέπων Αν. Καθηγητής Άνθιμος Ξενίδης.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Ιουλ' 2009

Απόφοιτος Λυκείου: 1^ο Λύκειο Νέου Ψυχικού, Αθήνα, Ελλάδα.

Επαγγελματική Εμπειρία:

Ιουλ. 2014 - Αυγ. 2014

Πρακτική Άσκηση στην Hellas Gold S.A. (Μεταλλουργική Εταιρεία).

Στάδιο 1: Τμήμα περιβάλλοντος στην Ολυμπιάδα, Χαλκιδικής.

Αντικείμενο : Μετρήσεις επιβλαβών αερίων στην κατά την κατασκευή στοών (τούνελ) της εταιρίας *Hellas Gold* .

Στάδιο 2: Τμήμα μηχανικής προεργασίας και προετοιμασίας των υλικών και βιομηχανικών μεταλλευμάτων στην Ολυμπιάδα Χαλκιδικής.

Αντικείμενο : Σχεδιασμός και κατασκευή προγραμμάτων Μεταλλουργικής επεξεργασίας.

Αποκτηθείσα εμπειρία:

- Γνώσεις λήψης μετρήσεων και εξοικείωσης με τον εξοπλισμό εργαστηρίων.

- Εμπλουτισμός γνώσεων σε περιβαλλοντολογικά θέματα

Απρ. 2014- Απρ. 2016

Κατώτερος ερευνητής στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο:

Αντικείμενο : «Εργασίες πάνω σε Ευρωπαϊκά προγράμματα για μονωτικά υλικά, κάνοντας πειράματα σε εργαστήρια, αποκτώντας εμπειρία σε πειραματικές εργασίες.

Αποκτηθείσα εμπειρία:

- Αποτελεσματικότητα σε απαιτητική εργασία και πιεστικούς χρόνους παράδοσης.

- Επικοινωνιακές δεξιότητες μέσα σε συλλογική εργασία.

Εμπειρία στον τομέα της Μεταλλουργίας

Συμμετοχή σε προγράμματα του εργαστηρίου εφαρμοσμένης μεταλλουργίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου:

- *Roasting of Greek nickelferrous laterites from Evia, Greece, using gaseous reducing agents*
- *Reducibility of nickeliferous laterites from Kastoria, Greece*
- *Sustainable, innovative and energy-efficient Concrete, based on the integration of all-waste materials*
- *Envelope approach to improve sustainability and energy efficiency in existing multi-storey multi-owner residential buildings*

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΥΡΡΙΤΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Ξένες Γλώσσες:

Ελληνικά: μητρική

Γαλλικά: Level B2, *Diploma in French Language Studies, DELF.*

Αγγλικά: Level B2, *Certificate of Competency in English, University of Michigan.*

Σεμινάρια:

Raw Materials University Day: Future, Needs and Opportunities 2014 (*National Technical University of Athens, Greece*).

Computer	Microsoft Office tools (Word, Excel, Powerpoint), Internet, AutoCAD
Δραστηριότητες	Ρυθμική Γυμναστική εθελοντισμός
Συστάσεις	Διαθέσιμες όποτε ζητηθούν