ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Πολυμερικά δείγματα με προσμίξεις διογκωμένου περλίτη για εφαρμογές θερμικής μόνωσης»

ΚΑΣΤΡΙΤΗ ΠΗΝΕΛΟΠΗ, ΑΜ 1250

Επιβλέποντες: **Δρ. Βαμβακάκη Μαρία καθ. ΤΕΤΥ – ΠΚ Δρ. Κενανάκης Γεώργιος, Ερευνητής Β΄ΙΗΔΛ-ΙΤΕ**

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες 3

Περίληψη 4

Κεφάλαιο 1^{ο} : Εισαγωγή 5

Κεφάλαιο 2^{ο} : Περλίτης – Διογκωμένος περλίτης 9

Κεφάλαιο 3^{ο} : Πειραματική διαδικασία 18

Κεφάλαιο 4^{ο} : Χαρακτηρισμός δειγμάτων - Θερμοβαρυτική Ανάλυση (TGA) 25

Κεφάλαιο 5^{ο} : Χαρακτηρισμός δειγμάτων - Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας 30

Συμπεράσματα 37

Βιβλιογραφία 38

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ πολύ τους καθηγητές μου για την εμπιστοσύνη και την βοήθεια τους σε αυτή την εργασία.

Συγκεκριμένα ευχαριστώ πολύ τον κ. Κενανάκη που μου έδωσε την ευκαιρία να εκπονήσω την εργασία μου στο εργαστήριο του καθώς και για την συνεχή καθοδήγηση του στην διαδικασία γραφής και κατανόησης του θέματος και την άψογη συνεργασία που υπήρχε.

Ευχαριστώ τον κ. Ζαχαρία Βισκαδουράκη ο οποίος ήταν πάντα παρών στο εργαστήριο να με καθοδηγεί στην πειραματική διαδικασία της εργασίας και με υπομονή να απαντά σε όλες μου τις ερωτήσεις.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένας σημαντικός στόχος για τον κατασκευαστικό τομέα είναι η κατασκευή κτιρίων με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Αυτό άλλωστε αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά θέματα κατά την διάρκεια της ζωής ενός κτιρίου και για αυτό τον λόγο τα κτίρια χαμηλής κατανάλωσης έχουν καταστεί ένα σημαντικό πεδίο έρευνας.

Τα τελευταία χρόνια έχει εκδηλωθεί ιδιαίτερα έντονο ενδιαφέρον σχετικά με τη θερμική άνεση και τη μείωση θερμικών απωλειών των κτιρίων, χρησιμοποιώντας πληθώρα θερμομονωτικών υλικών. Ένα από τα πιο δημοφιλή υλικά στις οικοδομικές κατασκευές είναι ο Περλίτης, ένα υφαιστειογενές υλικό με θερμομονωτικές ιδιότητες, φιλικό προς το περιβάλλον, άφθαρτο στο χρόνο, που δεν προσβάλει τα μέταλλα των κατασκευών.

Η παρούσα προπτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στην κατασκευή τρισδιάστατων πολυμερικών υλικών με προσμίξεις διογκωμένου περλίτη για εφαρμογές θερμικής μόνωσης.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έχει ενσωματωθεί διογκωμένος περλίτης σε πολυμερικά μητρικά υλικά με τη χρήση θερμαινόμενης πρέσας, (ή ακόμα και τρισδιάστατης εκτύπωσης) προκειμένου να δημιουργηθούν εύκαμπτα δείγματα, με αυξημένες μηχανικές ιδιότητες και αυξημένο συντελεστή θερμικής αντίστασης. Επιπλέον, με την χρήση 3D printer, υπάρχει η δυνατότητα να σχεδιάσουμε και να κατασκευάσουμε δείγματα σε ποικιλία γεωμετρίας και διαστάσεων, προσαρμοσμένα για πληθώρα δοκιμών εφαρμογών, δίνοντας μια νέα κατασκευαστική προσέγγιση.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετήθηκαν οι θερμομονωτικές ιδιότητες των πολυμερικών σύνθετων δειγμάτων, καθώς και οι μηχανικές τους ιδιότητες χρησιμοποιώντας δομικές θλίψης και εφελκυσμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

Εισαγωγή

Στην σημερινή εποχή ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για ένα μεγάλο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας. Τις τελευταίες δεκαετίες που βρίσκεται στο προσκήνιο το ενεργειακό θέμα με την μείωση των ορυκτών ενεργειακών πόρων αλλά και την αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων αναδεικνύεται σε σημαντικό πεδίο έρευνας για τον επιστημονικό τομέα. Πιο συγκεκριμένα, στόχος είναι η κατασκευή κτιρίων με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση. Αυτό μπορεί να γίνει με πληθώρα θερμομονωτικών υλικών, όμως στην συγκεκριμένη εργασία θα αναφερθούμε στον περλίτη και στην κατασκευή τρισδιάστατων πολυμερικών υλικών με προσμίξεις αυτού για εφαρμογές θερμικής μόνωσης.

Θερμική μόνωση χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε μέτρο λαμβάνεται για την μείωση της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ αντικειμένων σε θερμική επαφή. Η θερμομόνωση αφορά αντικείμενα π.χ. ενδύματα, αγωγούς, φούρνους κλπ., αλλά κυρίως χώρους π.χ. κτίρια, βιομηχανικούς χώρους, ψυκτικούς θαλάμους κλπ. Αυτή επιτυγχάνεται με προσθήκη (επένδυση, στρώση) κατάλληλων αντικειμένων και υλικών τα οποία αποκαλούνται θερμομονωτικά υλικά.

Γενικά *θερμομονωτικά υλικά* θεωρούνται όλα τα μονωτικά υλικά που καταφέρνουν να εγκλωβίσουν ακίνητο αέρα στην μάζα τους. Ο αέρας θεωρείται κακός αγωγός της θερμότητας, δηλαδή, έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ. Ο συντελεστής αυτός είναι μια χαρακτηριστική ιδιότητα της ύλης που προσδιορίζει την ευκολία ή δυσκολία διάδοσης της θερμότητας, στο εσωτερικό ενός υλικού. Όσο χαμηλότερος είναι ο συντελεστής λ για ένα θερμομονωτικό υλικό, τόσο μικρότερη είναι η ροή

θερμότητας και κατά συνέπεια τόσο καλύτερη η θερμομονωτική του ικανότητα[1].

Σήμερα υπάρχει στην αγορά μεγάλο πλήθος θερμομονωτικών υλικών που προτιμούνται για διάφορες χρήσεις και χαρακτηρίζονται κατά περίπτωση από διαφορετικές ιδιότητες. Η μεγάλη ζήτηση των μονωτικών υλικών οδήγησε στην παραγωγή συνθετικών οργανικών υλικών τα οποία ανταγωνίζονται τα ορυκτά μονωτικά υλικά.

Παρακάτω αναφέρονται τα πιο κοινά μονωτικά υλικά:

- Διογκωμένη πολυστερίνη (φελιζόλ)
- Αφρός πολυουρεθάνης
- Υαλοβάμβακας
- Πετροβάμβακας
- Περλίτης

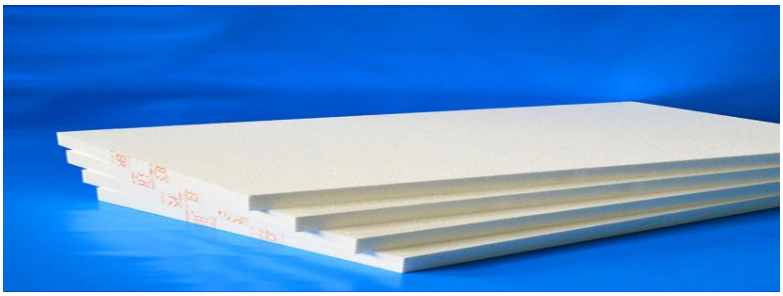
Αρχικά, τα υλικά που χρησιμοποιούνταν για θερμομόνωση ήταν αυτά που βρίσκονταν στην φύση, όμως η αύξηση της απώλειας θερμότητας έκανε την επιστήμη να στραφεί στην σύνθεση νέων ειδικών τεχνιτών υλικών που ήταν πιο κατάλληλα για θερμομόνωση. Συνεπώς, τα υλικά που προαναφέρθηκαν και γενικά όλα τα σημερινά θερμομονωτικά υλικά είναι τεχνητά υλικά.

Συνήθως η διαδικασία για να κατασκευαστούν τα υλικά αυτά είναι ο πολυμερισμός στον οποίο χρησιμοποιούνται διάφορα χημικά σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης. Με την υψηλή θερμοκρασία εκλύεται ο παγιδευμένος αέρας αφήνοντας μια σειρά από φυσαλίδες στο κυτταρικό σώμα δημιουργώντας έτσι το χαρακτηριστικό ενός θερμομονωτικού υλικού[2].

Στο εμπόριο βρίσκονται υπό μορφή πλακών, αφρού ψεκάσματος, ρολών και κάποιες φορές, όπως στην περίπτωση του περλίτη, σε διογκωμένη μορφή και μπορεί να βρει χρήση στην γεωπονία κα.

[1] "Θερμομόνωση."
[2] Bozsaky, "The Historical Development of Thermal Insulation Materials."

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές εικόνες των προαναφερόμενων υλικών:



Εικόνα 1: (Διογκωμένη πολυστερίνη)[3]

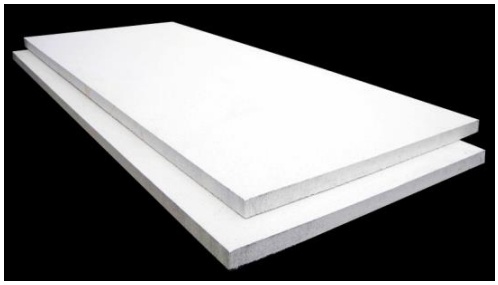
Εικόνα 2: Αφρός(πολυουρεθάνης)[4]

Εικόνα 3: Υαλοβάμβακας[5]

Εικόνα 4: Πετροβάμβακας[6]

[3] "Διογκωμενη Πολυστερινη - Bing Images."
[4] "Vaouv_foamed (1).Pdf."
[5] "Υαλοβαμβακας - Bing Images."
[6] "Vaouv_foamed (1).Pdf."

Εικόνα 5: Διογκωμένος περλίτης διαφορετικής κοκκομετρίας[7]



Εικόνα 6: πλάκες περλίτη[8]

Μπορεί τα οργανικά θερμομονωτικά υλικά (πολυουρεθάνη, πολυστερίνη) να είναι τα πιο κοινά για χρήση στον τομέα την θερμικής μόνωσης, εμείς όμως θα επικεντρωθούμε στον περλίτη, ένα υλικό που με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες του κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος στην κτιριακή κατασκευή.

[7] Ecopelion, “Natura Hellas.”
[8] “Vaouv_foamed (1).Pdf.”

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Περλίτης – Διογκωμένος Περλίτης

Ο Περλίτης είναι ένα υαλώδες όξινο ηφαιστειακό πέτρωμα με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε νερό (2-6%) και διοξείδιο του πυριτίου (72-76%). Σχηματίζεται κατά την άνοδο του μάγματος στην επιφάνεια του φλοιού. Η απότομη στερεοποίηση του μάγματος έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ηφαιστειακών υάλων όπως είναι ο οψιδιανός. Το νερό που περιέχει ο περλίτης προέρχεται από μια δευτερογενή ενυδάτωση του οψιδιανού. Για το σχηματισμό του περλίτη ένα θαλάσσιο περιβάλλον περιλαμβάνει τις κατάλληλες συνθήκες καθώς το νερό συμβάλλει στην ταχύτητα ψύξης του υάλου και ταυτόχρονα είναι διαθέσιμο για να προκαλέσει την δευτερογενή ενυδάτωση του οψιδιανού. Η δομή του περλίτη χαρακτηρίζεται από την διάταξη του υαλώδους υλικού και αποτελείται από σφαιρίδια των οποίων οι διαστάσεις μπορεί να είναι από 1 χιλιοστό έως μέχρι αρκετά εκατοστά. Τα σφαιρίδια μοιάζουν με μαργαριτάρια- πέρλες. Λόγω του σχήματος και τις μαργαριταρώδους λάμψης τους δίνουν στο πέτρωμα το όνομα περλίτης[9].

Παρακάτω βλέπουμε εικόνες του πετρώματος του περλίτη και του ορυχείου στον Τράχηλα Μήλου, όπου γίνεται η εξόρυξή του:

Εικόνα 7: Πέτρωμα περλίτη[10]

Εικόνα 8: Πέτρωμα περλίτη[11]

[9] "Vaouv_foamed (1).Pdf."
[10] "MILOS ISLAND."
[11] "Περλιτης - Bing Images."

Εικόνα 9 (Ορυχείο περλίτη στον Τράχηλα)[12]

Εικόνα 10 (Ορυχείο περλίτη στον Τράχηλα)[13]

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του περλίτη είναι η ικανότητα του να διογκώνεται σημαντικά όταν θερμαίνεται. Όσο η θερμοκρασία αυξάνεται το νερό που εμπεριέχει εξατμίζεται, ωστόσο, η δομή του υλικού εμποδίζει την διαφυγή του ατμού που δημιουργείται στο περιβάλλον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό του εντός της δομής του υλικού το οποίο αυξάνει κατά συνέπεια τον αρχικό όγκο 7-10 φορές. Η πυκνότητα του μη διογκωμένου περλίτη είναι περίπου 1.100kg/m^3 ενώ το χρώμα του μπορεί να είναι μαύρο, πράσινο, κόκκινο – καφέ, καφέ καθώς και λευκό χρώμα διάφορων αποχρώσεων[14]. Άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά του αδιόγκωτου

[12] "MILOS ISLAND."
[13] "MILOS ISLAND."
[14] Ecopelion, "Natura Hellas."

περλίτη είναι η χημική αδράνεια, το ουδέτερο pH, η ικανότητα ανάφλεξης η οποία είναι χαμηλή καθώς και η ηχομονώση που παρέχει[15].

Παρακάτω παρατίθεται η χημική ανάλυση του περλίτη καθώς και μερικά σημαντικά χαρακτηριστικά που βασίζονται σε αυτή.

Πίνακας 1: Χημική ανάλυση περλίτη.[16]

70-75%	SiO_2
12-15%	Al_2O_3
3-4%	Na_2O
3-5%	K_2O
0.5-2%	Fe_2O_3
0.2-0.7%	MgO
0.5-1.5%	CaO
2-5%	Απώλεια πύρωσης (χημικά δεσμευμένο / συνδυασμένο νερό)

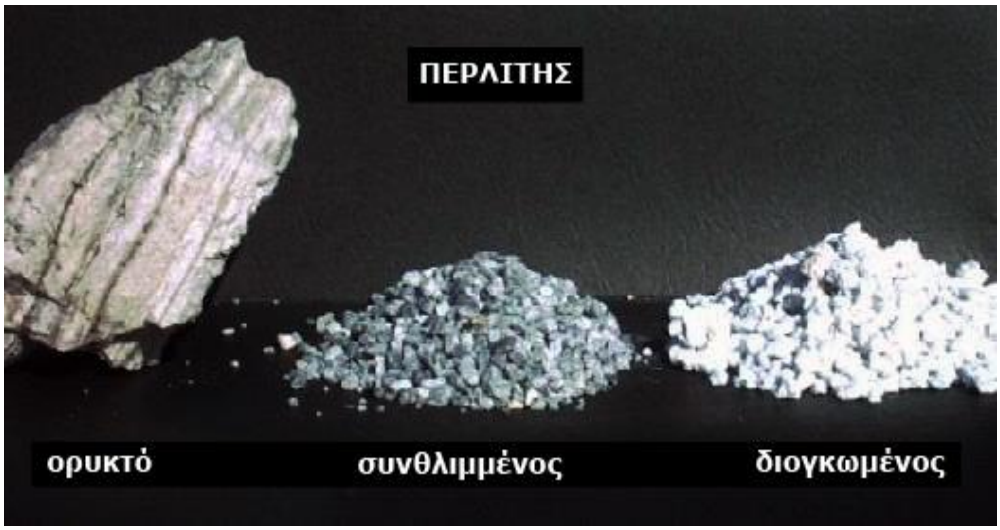
Το SiO_2 κατατάσσει τον περλίτη στην οικογένεια των πυριτικών μετάλλων που τυπικά είναι ένας τύπος γυαλιού. Την διαφορά μεταξύ του κοινού γυαλιού, το οποίο δεν περιέχει δεσμευμένο νερό άρα δεν μπορεί να διογκωθεί, και του περλίτη την κάνει το κρυσταλλικό νερό στο μόριο του καθώς και άλλα χημικά στοιχεία που το συνθέτουν. Επιπλέον το MgO δίνει στον διογκωμένο περλίτη το λευκό του χρώμα.

Όπως αναφέραμε παραπάνω το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του περλίτη είναι η ικανότητα του να διογκώνεται. Πιο συγκεκριμένα, υπό την επίδραση γρήγορης αλλά ελεγχόμενης θέρμανσης η επιφάνεια κόκκων του υλικού μαλακώνει και το σφραγισμένο νερό αλλάζει σε ατμό ο οποίος προκαλεί την αύξηση του όγκου του περλίτη μέχρι και 20 φορές, την αύξηση της ακτίνας του κόκκου μέχρι και 3 φορές καθώς και την μείωση του αρχικού του βάρους έως και 30% περίπου. Έτσι λοιπόν ο διογκωμένος περλίτης ο οποίος εξαιτίας της δομής που έχει αποκτήσει μετά την θέρμανσή του, οδηγεί σε εξαιρετική αντοχή στην αγωγή της θερμότητας.

[15] "Vaouv_foamed (1).Pdf."
[16] "Roundcube.Pdf."

Παρακάτω παρατίθενται μερικές εικόνες διογκωμένου και ακατέργαστου περλίτη:

Εικόνα 11: Ακατέργαστος(αριστερά) και διογκωμένος Περλίτης (δεξιά)[17]



Εικόνα 12: Διάφορες μορφές Περλίτη[18]

[17] "Roundcube.Pdf."
[18] Ecopelion, "Natura Hellas."

Μπορεί τα θερμομονωτικά υλικά που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 1 να είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα, όμως παρουσιάζουν σημαντικά μειονεκτήματα. Για παράδειγμα η πολυστερίνη και ο αφρός πολυουρεθάνης είναι εύφλεκτα υλικά τα οποία κατασκευάζονται με βλαβερά χημικά για το περιβάλλον, προσβάλλονται από τρωκτικά και διάφορα χημικά (κετόνες, βενζόλιο κλπ.) και δεν διαθέτουν ηχοαπορροφητικές ιδιότητες. Τα ανόργανα υλικά όπως ο υαλοβάμβακας και ο πετροβάμβακας έχουν χαμηλή αντοχή στην υγρασία, χαμηλό όριο θραύσης καθώς και χαμηλό βαθμό απορρόφησης ήχου[19].

Ο περλίτης όμως υπερτερεί όλων των παραπάνω υλικών χάρη στις εξαιρετικές ιδιότητες που παρουσιάζονται στην συνέχεια:

- Είναι ένα πυρίμαχο υλικό με θερμοκρασία εφαρμογής από -200 εως και 900 βαθμούς κελσίου.
- Έχει θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες.
- Έχει υψηλή απορροφητικότητα, μπορεί να απορροφήσει υγρά έως 400% του βάρους του.
- Είναι βιολογικά ανθεκτικό, δηλαδή δεν υπόκειται σε αποσύνθεση και αποσύνθεση από επίδραση μικροοργανισμών.
- Δεν αποτελεί ευνοϊκό περιβάλλον για έντομα και τρωκτικά.
- Είναι χημικά αδρανής, ουδέτερος προς αλκάλια και ασθενή οξέα.
- Είναι φιλικός προς το περιβάλλον, αποστειρωμένο υλικό, μη τοξικό και δεν περιέχει βαρέα μέταλλα[20]

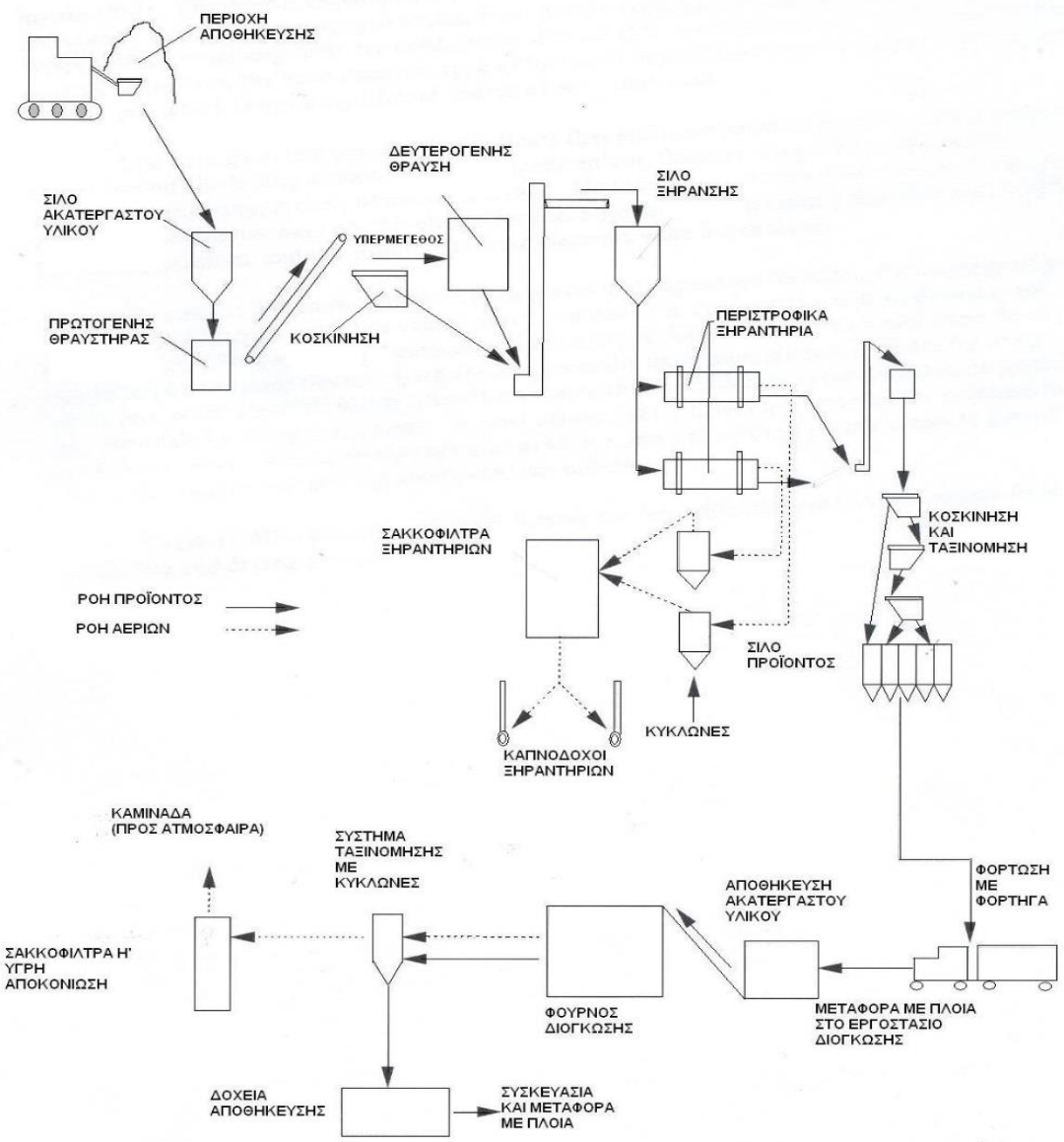
Κάνοντας μία βιβλιογραφική έρευνα, θα βλέπουμε πως υπάρχουν ομοιότητες των ιδιοτήτων μεταξύ του διογκωμένου και του αδιόγκωτου περλίτη ως πέτρωμα. Για τον λόγο αυτό πρέπει να διευκρινιστεί ότι τα χημικά, και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του εμπορικού περλίτη (διογκωμένου) είναι ίδια με αυτά που ορίζουν τον περλίτη ως πέτρωμα. Όμως, απαραίτητη προϋπόθεση ώστε να χαρακτηριστεί ένας περλίτης εμπορικός αποτελεί η ικανότητά του να διογκώνεται σε ικανοποιητικό βαθμό, ώστε να προκύψει το ελαφροβαρές υλικό με τις σημαντικές μονωτικές ιδιότητες.

[19] "Vaouv_foamed (1).Pdf."
[20] "Τι Είναι ο Περλίτης; Ιδιότητες Περλίτη. Η Χρήση Του Περλίτη. Τι Είναι ο Περλίτης Και Σε Τι Χρησιμεύει; Ιδιότητες Agroperlite Και Ποσοστό Εφαρμογής."

Τα τελευταία χρόνια, εμφανίζονται συνεχώς νέες εφαρμογές για τα προϊόντα περλίτη, οι οποίες οδηγούν τους παραγωγούς να ανακαλύπτουν νέες μεθόδους επεξεργασίας, όπως για παράδειγμα οι ηλεκτρικοί φούρνοι διόγκωσης. Παρακάτω λοιπόν, αναλύεται συνοπτικά η διαδικασία επεξεργασίας και διόγκωσης του περλίτη ώστε να είναι κατάλληλος για εμπορική χρήση.

Αρχικά εξάγεται από το έδαφος και στην συνέχεια αποθηκεύεται σε σορούς από όπου τροφοδοτείται σε σιαγωνωτούς θραυστήρες προς πρωτογενή θραύση μέχρι να έχει κατάλληλο μέγεθος (περίπου 1,6 εκατοστά). Από το σημείο αυτό ο περλίτης υφίσταται ξήρανση, ταξινόμηση και δευτερογενή θραύση. Μέτα την δευτερογενή θραύση το υλικό οδηγείται σε εγκαταστάσεις διόγκωσης. Για την ολοκλήρωση της διόγκωσης το πέτρωμα είτε προθερμαίνεται στους 400 βαθμούς είτε τροφοδοτείται απευθείας σε κάμινο στο εσωτερικό της οποίας η θερμοκρασία κυμαίνεται από 760-980 βαθμούς κελσίου. Η προθέρμανση συνήθως γίνεται για να αυξηθεί η απόδοση του υλικού αλλά και για να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμου. Στις υψηλές θερμοκρασίες της καμίνου ο περλίτης αρχίζει να μαλακώνει και να μεταβαίνει σε μια πλαστική κατάσταση όπου το εγκλωβισμένο κρυσταλλικό νερό το οποίο είναι παγιδευμένο στο υλικό, ελευθερώνεται σαν ατμός. Το φαινόμενο αυτό δημιουργεί στον διογκωμένο περλίτη στον οποίο ο όγκος αυξάνεται έως και 20 φορές συγκριτικά με τον αρχικό. Τέλος τα ελαφρά πλέον περλιτικά σωματίδια διοχετεύονται έξω από την κάμινο και μεταφέρονται σε κυκλώνα οπού ταξινομούνται βάση μεγέθους.

Παρακάτω απεικονίζεται η διαδικασία παραγωγής:



Εικόνα 13 (Διάγραμμα ροής επεξεργασίας Περλίτη)[21]

Από τις βιομηχανικά παραγόμενες κοκκομετρίες περλίτη αυτές με το μικρότερο φαινόμενο βάρος χρησιμοποιούνται για εφαρμογές κρυογενικής μόνωσης, οι μέσου μεγέθους βρίσκουν εφαρμογή σε οικοδομικές μονώσεις ενώ για εφαρμογές στην γεωπονία χρησιμοποιούνται οι μεγαλύτερου μεγέθους κοκκομετρίες[22] [23].

[21] "Vaouv_foamed (1).Pdf."
[22] "Vaouv_foamed (1).Pdf."
[23] "Roundcube.Pdf."

Κοκκομετρία mm	Φαινόμενο βάρος(kg/m^3)	Χρήσεις
0-0,4	100-120	Μόνωση σε οικοδομή
02,5	95-115	Μόνωση σε οικοδομή
0-1,5	50-60	Μόνωση σε κρυογενική
0-1	45-55	Μόνωση σε κρυογενική
1,0-5,0	105-130	Γεωργία

Εικόνα 14:(Χρήση Περλίτη στη γεωργία)[24]

Το 70% της παγκόσμιας παραγωγής περλίτη αξιοποιείται σε κατασκευαστικές εφαρμογές. Ο περλίτης λόγω της χαμηλής του πυκνότητας, του πορώδους και του μικρού βάρους εμφανίζει άριστες ηχομονωτικές και θερμομονωτικές ιδιότητες. Οι πολυάριθμες φυσαλίδες αέρα που βρίσκονται απομονωμένες στην ύαλο προκαλούν μείωση της θερμικής αγωγιμότητας και καθιστούν τον περλίτη έναν άριστο μονωτή.

Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήσαμε υπέρλεπτο περλίτη αφού τα δείγματα που θα μελετήσουμε αφορούν την θερμική μόνωση σε κτίριο.

[24] "Πώς χρησιμοποιούμε τον περλίτη στην κηπουρική."

Εικόνα 15: Χρήση Περλίτη σε οικοδομή για θερμική μόνωση)[25]

[25] "Περλίτης - Μονώσεις Monotica."

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Συμπίεση εν θερμώ (Hot pressing)

Η συμπίεση εν θερμώ (hot pressing) είναι μια διαδικασία η οποία χρησιμοποιείται για τον σχηματισμό συμπαγούς σκόνης σε υψηλή θερμοκρασία και σε υψηλή πίεση. Για να επιτευχθεί λοιπόν η σύντηξη της σκόνης χρειάζεται ταυτόχρονη εφαρμογή θερμότητας και πίεσης. Η θερμή συμπίεση χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή σκληρών υλικών.

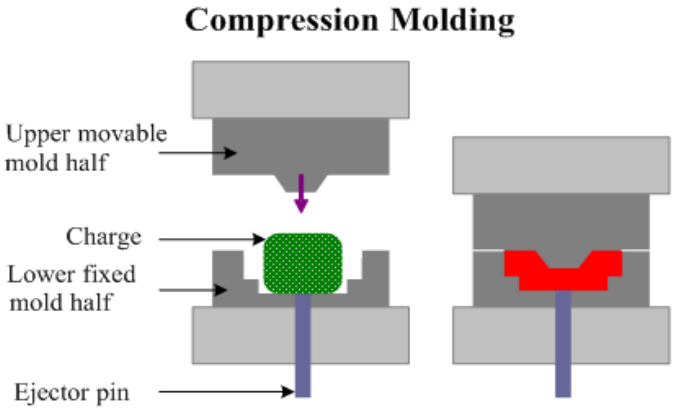
Η συμπίεση γίνεται συνήθως σε ένα καλούπι ώστε να σχηματιστεί μια συνεκτική μάζα ή συμπαγής η οποία προκαλείται από τους δεσμούς που δημιουργούνται μεταξύ των σωματιδίων των υλικών που χρησιμοποιούνται[26].

Εικόνα 16: Θερμαινόμενη μηχανική πρέσα του οίκου Color-King SGS, με μέγιστο φορτίο 20 τόνους και μέγιστη θερμοκρασία 250°C

Η συμπίεση εν θερμώ αποτελεί ουσιαστικά μια τεχνική μορφοποίησης πολυμερικών υλικών και είναι μία μέθοδος χύτευσης με συμπίεση και μεταφορά (compression and transfer molding). Κατά τη μέθοδο αυτή, κατάλληλες ποσότητες πολυμερούς, αναμεμειγμένου με τον αναγκαίο όγκο διογκωμένου περλίτη, τοποθετούνται σε μήτρα και συμπιέζονται με το έμβολο ενός καλουπιού. Και τα δύο τμήματα του καλουπιού θερμαίνονται, όμως μόνο το ένα μπορεί να μετακινηθεί (Εικόνα 17). Το καλούπι κλείνει και εφαρμόζεται θερμότητα και πίεση, τα οποία βοηθούν το πολυμερές να γίνει ιξώδες και να συμμορφωθεί με το σχήμα του καλουπιού. Πριν τη χύτευση, τα

[26] "Hot Pressing."

ακατέργαστα υλικά μπορούν να αναμειχθούν και να πιεστούν εν ψυχρώ ή σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Η προθέρμανση προκαλεί μείωση του χρόνου χύτευσης και της πίεσης, επιμηκύνει το χρόνο ζωής της μήτρας και δημιουργεί ένα πιο ομοιόμορφο τελικό κομμάτι. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται τόσο για θερμοπλαστικά όσο και για θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή.



Εικόνα 17: Σχηματικό διάγραμμα συσκευής χύτευσης με συμπίεση[27]

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αναμίχθηκε διογκωμένος περλίτης με δύο διαφορετικές πυκνότητες (375kg/m^3 και 469kg/m^3, αντίστοιχα), με μέση διάσταση κόκκων ~90μm, σε Ακρυλονιτρίλιο-βουταδιένιο-στυρένιο (ABS) σε διάφορες % περιεκτικότητες κ.ο. (5%, 10%, 20% και 40% v/v, αντίστοιχα).

Επιλέχθηκε το ABS ως πολυμερικό υλικό μιας και είναι ένα υλικό μικρού βάρους που παρουσιάζει υψηλή αντίσταση κρούσης και μηχανική σκληρότητα και χρησιμοποιείται σε πολλά καταναλωτικά προϊόντα, όπως παιχνίδια, συσκευές κλπ. Επίσης, το ABS είναι ανθεκτικά σε υδατικά οξέα, αλκάλια, πυκνά υδροχλωρικά και φωσφορικά οξέα, αλκοόλες και ζωικά, φυτικά και ορυκτά έλαια, αλλά διογκώνονται με αδιάλυτο οξικό οξύ, τετραχλωράνθρακα και αρωματικούς υδρογονάνθρακες και προσβάλλονται από πυκνά θειικά και νιτρικά οξέα. Είναι διαλυτά σε εστέρες, κετόνες, διχλωριούχο αιθυλένιο και ακετόνη. Τέλος, η αντοχή σε κρούση και η σκληρότητα είναι από τις πιο σημαντικές μηχανικές ιδιότητες του ABS. Στο ABS η αντοχή σε κρούση δεν μειώνεται ραγδαία στις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η σταθερότητα σε περιορισμένο φορτίο είναι εξαιρετική.

[27] "Compression Molding of Polymers [SubsTech]."

Όταν συμβαίνει αστοχία σε κρούση η συμπεριφορά του υλικού είναι μάλλον όλκιμη παρά ψαθυρή. Η υγρασία έχει μικρή επίδραση στις φυσικές ιδιότητες του ABS, γεγονός που οδηγεί στην διατήρηση της διαστασιακής σταθερότητας των προϊόντων του.

Με τη συγκεκριμένη τεχνική επιτυγχάνεται μέγιστη πυκνότητα του δείγματος και δημιουργείται πολυμερικό μίγμα υψηλής αντοχής. Επιπλέον, με την αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνεται η διάλυση των άμορφων φάσεων, η απομάκρυνση νερού καθώς και η διαδικασία συμπύκνωσης του υλικού μας[28, 29,30].

Για να γίνει η χρήση της θερμοπρέσσας, χρειάζονται καλούπια στα οποία θα τοποθετηθεί το μίγμα περλίτη-ABS. Υπολογίστηκε ο όγκος της κυλινδρικής μήτρας, ώστε να δούμε πόσα περίπου δείγματα θα κατασκευαστούν, με ύψος h= 16mm και διάμετρο D=20mm.

$V=2\pi r^2*h=2*\pi*(10*10^{-3})^2*16*10^{-3}=5{,}016mm^3$.
$1000mm^3 \rightarrow 1ml$ άρα ο συνολικός όγκος μήτρας V= 5.016 ml.

Θέλαμε να κατασκευάσουμε 5 δείγματα, συνεπώς ο όγκος του μείγματος ABS-περλίτη θα είναι στα 25ml.

[28] "Effects of Heat and Pressure on Hot-Pressed Geopolymer | Elsevier Enhanced Reader."
[29] Ranjbar, Kashefi, and Maheri, "Hot-Pressed Geopolymer."
[30] "Hot Pressing - an Overview | ScienceDirect Topics."

Υπολογισμός ποσοτήτων περλίτη(375-90μm)-ABS

Για 5% συγκέντρωση περλίτη:

Σε 100ml έχω 5 ml περλίτη

Σε 25 ml έχω χ ml περλίτη

Άρα έχω **1,25 ml περλίτη** και **23,75 ml ABS**

Για 10% συγκέντρωση περλίτη:

Σε 100ml έχω 10 ml περλίτη

Σε 25 ml έχω χ ml περλίτη

Άρα έχω **2,5 ml περλίτη** και **22,5 ml ABS**

Για 20% συγκέντρωση περλίτη:

Σε 100ml έχω 20 ml περλίτη

Σε 25 ml έχω χ ml περλίτη

Άρα έχω **5 ml περλίτη** και **20 ml ABS**

Για 40% συγκέντρωση περλίτη:

Σε 100ml έχω 40 ml περλίτη

Σε 25 ml έχω χ ml περλίτη

Άρα έχω **10 ml περλίτη** και **15 ml ABS**

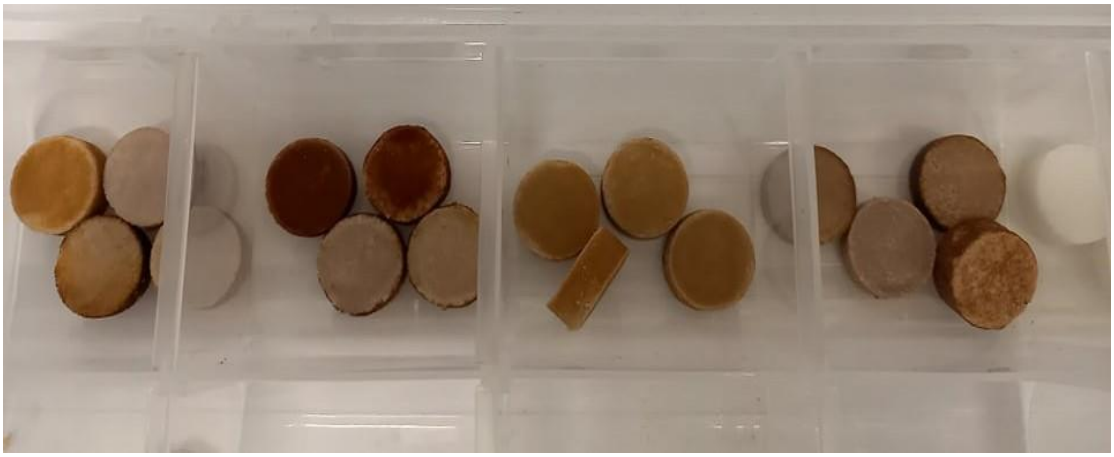
Για τον **περλίτη (469-90μm)** ισχύουν οι ίδιες ποσότητες οι οποίες υπολογίστηκαν με τον ίδιο τρόπο με παραπάνω.

Αφού βρέθηκαν οι ποσότητες των συστατικών του μείγματος μας, ανακατεύτηκαν μηχανικά με τη χρήση μπλέντερ για κάποια λεπτά (~5min) ώστε να γίνει το μείγμα ομογενές. Στην συνέχεια αφού αλείψαμε με

λιπαντικό ανθεκτικό σε υψηλές θερμοκρασίες (high temperature silicone grease) το καλούπι ώστε να μην κολλήσει το πολυμερές στα τοιχώματα λόγω της θερμοκρασίας, το βάλαμε στο φούρνο να προθερμαίνεται για 3-5 ώρες με σκοπό να εξατμιστεί τυχόν υγρασία, χωρίς όμως να το συμπιέσουμε.

Μετά την προθέρμανση προσθέσαμε το έμβολο και προωθήσαμε τα δείγματα στην θερμοπρέσσα. Ρυθμίσαμε την πρέσα στους 140°C , βάλαμε το καλούπι με το δείγμα και το αφήσαμε 20 λεπτά χωρίς συμπίεση και στην συνέχεια αυξήσαμε την θερμοκρασία στους 170°C για 40 λεπτά με πίεση 2 τόνων δηλαδή με περίπου 4 MPα.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται τα δείγματα που κατασκευάστηκαν:



Εικόνα 18: Δείγματα Περλίτη με πυκνότητα 375kg/m^3, συγκέντρωσης 5%, 10%, 20%, 40% v/v, αντίστοιχα)

Εικόνα 19 : Δείγματα Περλίτη με πυκνότητα 469kg/m^3, συγκέντρωσης 5%, 10%, 20%, 40% v/v, αντίστοιχα)

Αφού ετοιμάστηκαν τα δείγματα τα οποία προορίζονται για την μελέτη θερμομονωτικών ιδιοτήτων κατασκευάστηκαν και κάποια επιπλέον, από σκέτο ABS καθώς και με 50% κ.ο. περιεκτικότητα περλίτη πυκνότητας 375 kg/m^3 σε αντίστοιχες συνθήκες.

Εικόνα 20: Δείγμα 50% κ.ο. περιεκτικότητας περλίτη σε ABS)

Εικόνα 21: Δείγματα ABS

Παρατηρήσεις

Το γράσο που αλείψαμε τα καλούπια σε παραπάνω ώρες προθέρμανσης γίνεται πιο σκούρο χωρίς όμως να επηρεάζει στο ελάχιστο το δείγμα μας

Το δείγμα περιεκτικότητας 50% κ.ο. παρέμεινε μη συμπαγές με την προθέρμανση στον φούρνο. Αυξήθηκε η θερμοκρασία και η ώρα προθέρμανσης όμως το τελικό αποτέλεσμα παρέμεινε το ίδιο. Μια πιθανή εξήγηση είναι πως επειδή η συγκέντρωση περλίτη είναι πολύ υψηλή το δείγμα μας γίνεται πολύ θερμομονωτικό με αποτέλεσμα να μην αφήνει την θερμοκρασία να περάσει εύκολα στο κέντρο.

Αφού πήγαμε το δείγμα στην θερμοπρέσσα και συμπιέσαμε σε υψηλότερη θερμοκρασία (190°C), παρατηρήθηκε πως κατά την αφαίρεση του δοκιμίου από το καλούπι, αυτό ήταν εύθραυστο και γινόταν κατευθείαν σκόνη με την άσκηση της πίεσης από το χέρι (βλ. εικόνα 20).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

Χαρακτηρισμός δειγμάτων - Θερμοβαρυτική Ανάλυση (TGA)

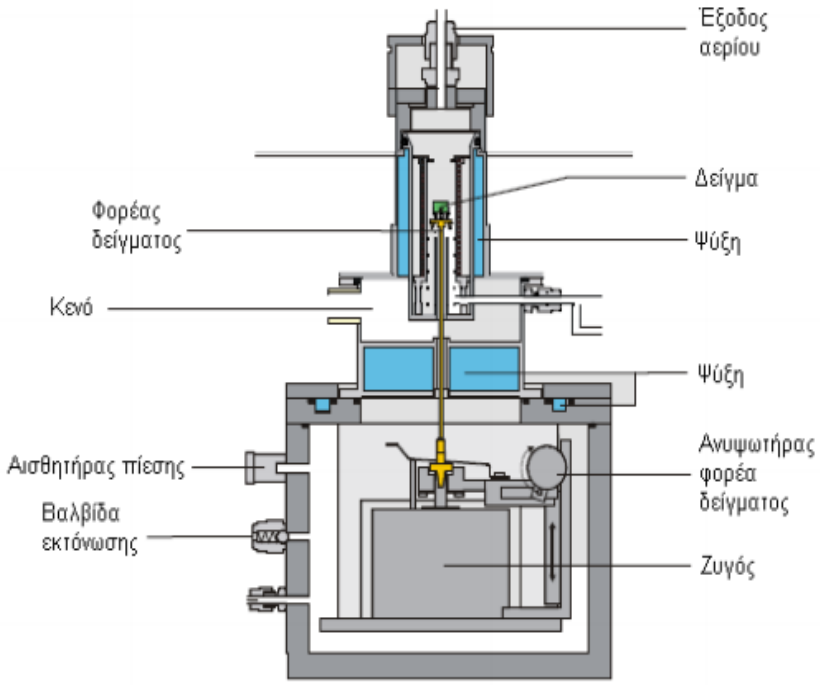
Η θερμοβαρυτική ανάλυση (thermo gravimetric analysis, TGA) είναι μία τεχνική που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θερμικής αντοχής των πολυμερών. Βασίζεται στην καταγραφή απώλειας βάρους του δείγματος καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία με σταθερό ρυθμό ή στην απώλεια βάρους σε συνάρτηση με τον χρόνο υπό σταθερή θερμοκρασία . Η κύρια εφαρμογή της θερμοβαρυτικής ανάλυσης στα πολυμερή αναφέρεται στη μελέτη της θερμικής αποσύνθεσης, η οποία συχνά συνδυάζεται με διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης, αέρια χρωματογραφία, φασματοσκοπία μάζας, ή ακόμη και φασματοφωτομετρία υπερύθρου.

Η μέθοδος TGA χρησιμοποιείται για την μελέτη των παρακάτω φαινομένων:

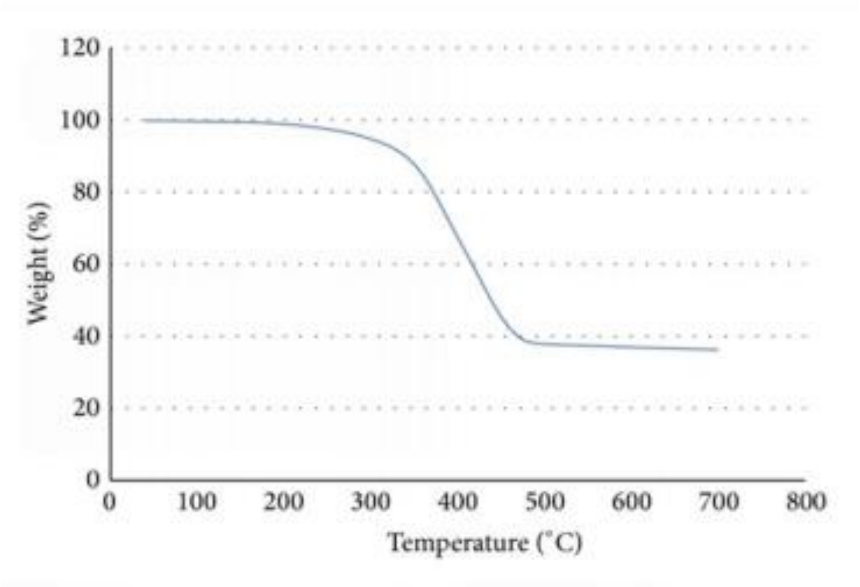
- Θερμική αποσύνθεση ανόργανων, οργανικών και πολυμερικών ουσιών
- Διάβρωση μετάλλων σε διάφορες ατμόσφαιρες και υψηλές θερμοκρασίες
- Αντιδράσεις σε στερεά κατάσταση
- Πύρωση ορυκτών
- Απόταξη και εξάτμιση υγρών
- Πυρόλυση γαιανθράκων, ξύλου και πετρελαίου
- Προσδιορισμός υγρασίας, πτητικών ουσιών και τέφρας
- Ταχύτητες εξάτμισης και εξάχνωσης
- Μελέτες αφυδάτωσης και υγροσκοπικότητας
- Διαγράμματα φάσεων
- Θερμοοξειδωτική αποικοδόμηση πολυμερών
- Αποσύνθεση εκρηκτικών ουσιών
- Κινητικές μελέτες
- Καμπύλες προσρόφησης- εκρόφησης
- Μαγνητικές ιδιότητες(θερμοκρασία Curie)
- Πτητικότητα πλαστικοποιητή
- Βαθμός σκλήρυνσης θερμοσκληρυνόμενου πολυμερούς
- Ταυτοποίηση πολυμερούς από το χαρακτηριστικό του θερμόγραμμα

Η θερμοβαρυτική ανάλυση πραγματοποιείται με τη χρήση θερμοζυγού. Ένας τυπικός θερμοζυγός αποτελείται από α) τον ηλεκτρονικό ζυγό με το σύστημα

ελέγχου, β) το φούρνο και το σύστημα ανίχνευσης της θερμοκρασίας, γ) τον προγραμματιστή (ηλεκτρονικός υπολογιστής) και δ) το καταγραφικό σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων. Ανάλογα με τη διάταξη του θερμοζυγού υπάρχουν τρεις τρόποι εισαγωγής του δείγματος μέσα στο φούρνο σε σχέση με το ζυγό: α) αιωρούμενο δείγμα, β) κατακόρυφο στην κορυφή και γ) οριζόντιο. Ο πιο σύνηθες τρόπος φόρτωσης δείγματος στον φούρνο είναι ο κατακόρυφος στην κορυφή. Στην συγκεκριμένη προπτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε το όργανο Perkin Elmer Pyris Diamond. Μια σχηματική αναπαράσταση του οργάνου καθώς και ένα τυπικό θερμοδιάγραμμα TGA παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 22: Σχηματική αναπαράσταση οργάνου TGA

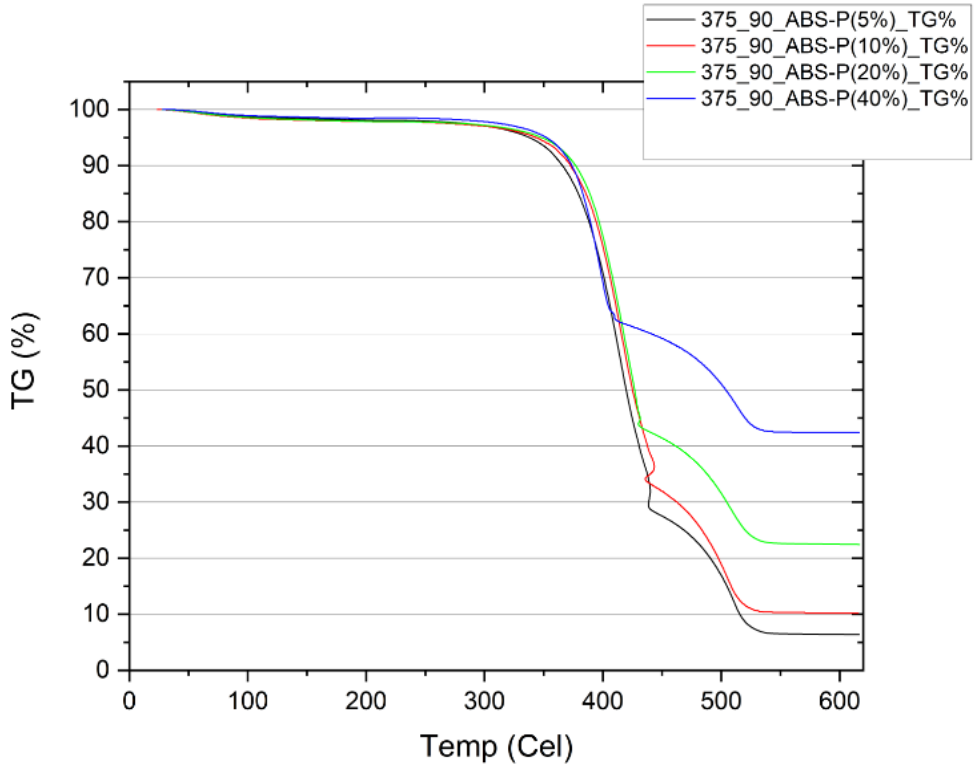


Εικόνα 23: Τυπικό θερμοδιάγραμμα TGA

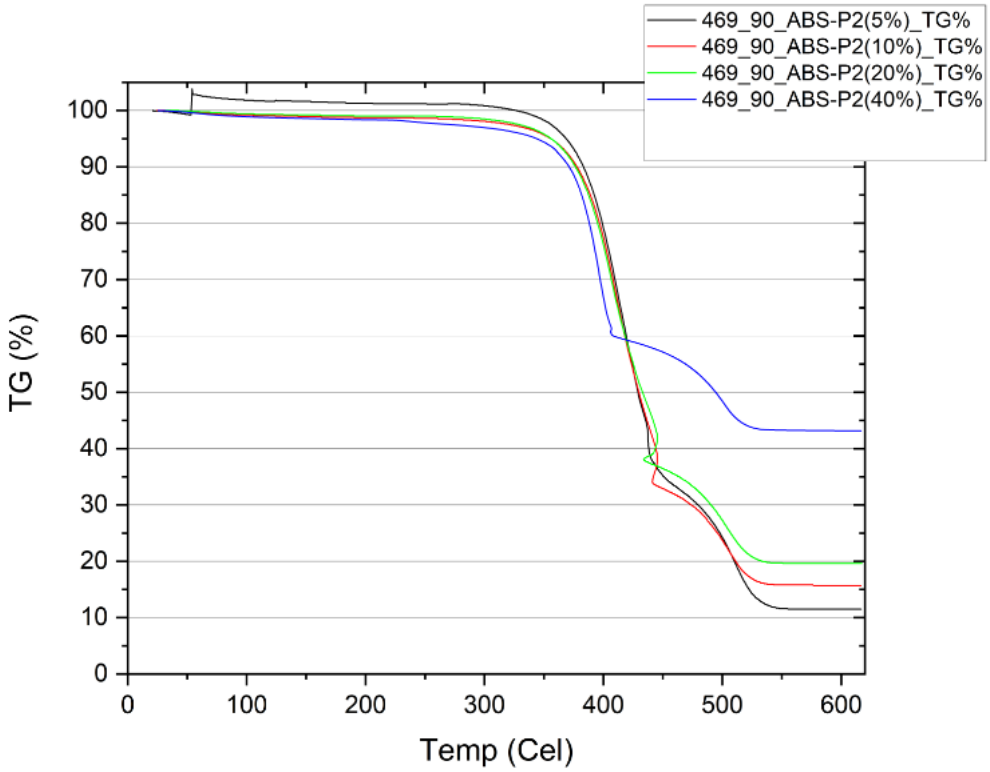
Η καμπύλη TGA πληροφορεί για το εάν η θερμική αλλαγή συνοδεύεται από απώλεια βάρους και πόση είναι αυτή.[31,32,33]

[31] "GRI-2013-11215.Pdf."
[32] "GRI-2016-17142.Pdf."
[33] "Askiseis.Pdf."

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η θερμοβαρυτική ανάλυση TGA είναι μία τεχνική που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θερμικής αντοχής των πολυμερών. Για τον λόγο αυτό λοιπόν θα μελετήσουμε τα παρακάτω διαγράμματα που πάρθηκαν από την συγκεκριμένη τεχνική, τα οποία αναλύουν τι συμβαίνει στον περλίτη την στιγμή που αρχίζει να καίγεται η πολυμερική μήτρα.



Εικόνα 24: Μετρήσεις θερμοβαρυτικής ανάλυσης δειγμάτων διογκωμένου περλίτη ειδικού βάρους 375kg/m³



Εικόνα 25: Μετρήσεις θερμοβαρυτικής ανάλυσης δειγμάτων διογκωμένου περλίτη ειδικού βάρους 469kg/m³

Παρατηρήσεις:

Σε θερμοκρασία γύρω στους 350°C αρχίζει η αποσύνθεση των κύριων αλυσίδων του πολυμερούς ABS. Το πολυμερές σε μορφή σκόνης καίγεται πιο εύκολα αφού είναι απλωμένο σε μεγαλύτερη επιφάνεια και άγεται θερμότητα πιο εύκολα από το μείγμα.

Από την καμπύλη βλέπουμε πως δεν υπάρχει υγρασία στο δείγμα μας αφού η πρώτη καμπύλη που εμφανίζεται οφείλεται στην αποικοδόμηση του πολυμερούς.

Παρατηρούμε πως καθώς καίγεται όλο το πολυμερές στο τέλος η συγκέντρωση του περλίτη είναι ίδια με την αρχική που βάλαμε όταν κατασκευάσαμε τα δείγματα μας. Αυτό δικαιολογεί λοιπόν και την εξαιρετική αντοχή στην αγωγή της θερμότητας του διογκωμένου περλίτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{ο}

Χαρακτηρισμός δειγμάτων – Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

Ως θερμική αγωγιμότητα ορίζεται η ιδιότητα της ύλης που προσδιορίζει την ευκολία ή δυσκολία της θερμότητας στο εσωτερικό ενός υλικού και μετριέται με τον *συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας* ο οποίος διαφέρει από σώμα σε σώμα.[34]

Ο συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας (λ) ορίζεται ως η ποσότητα θερμότητας (σε Watt) που περνά από τις απέναντι πλευρές ενός υλικού, πάχους ενός μέτρου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών αυτών είναι ίση με ένα βαθμό Κέλβιν 1°K.

Ο συντελεστής (λ) ενός υλικού μετριέται σε βατ ανά μέτρο και βαθμό κέλβιν (W/mk) επηρεάζεται από τη φύση του ίδιου του υλικού, τη δομή του, τη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση.

Η θερμική αγωγιμότητα είναι υψηλή στα υλικά τα οποία αποκαλούνται θερμικά αγώγιμα, όπως είναι τα μέταλλα και είναι χαμηλή στα υλικά που αποκαλούνται θερμομονωτικά, γι' αυτό όσο μικρότερος είναι ο συγκεκριμένος συντελεστής ενός υλικού τόσο καλύτερη θερμομόνωση έχει.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ (W/mk) ως συνάρτηση της συγκέντρωσης του ABS σε περλίτη. Πρώτα όμως θα εξηγήσουμε τι ορίζεται ως θερμική αγωγιμότητα.

Τα θερμομονωτικά υλικά οφείλουν την ιδιότητα της **χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας** σε ένα πολύ μικρό βαθμό στη χημική τους σύσταση και σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από τον αέρα που υπάρχει εγκλωβισμένος στο εσωτερικό τους.
Ο ακινητοποιημένος αέρας έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ_D και συνεπώς αποτελεί έναν κακό αγωγό της θερμότητας. Η πολύ μικρή μάζα του (λόγω της μικρής του πυκνότητας), καθιστά εξαιρετικά δύσκολη τη μεταφορά της θερμότητας με αγωγή και για αυτό το λόγο, η μεταφορά

[34] "Θερμική αγωγιμότητα."

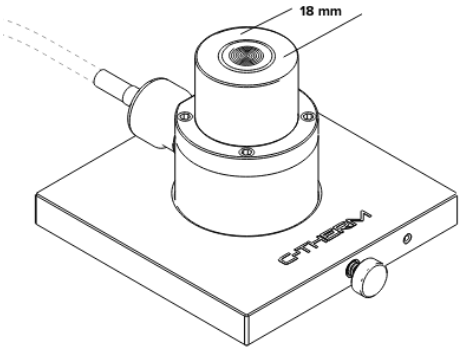
θερμότητας με αγωγή μπορεί να ελαχιστοποιείται, όπως άλλωστε και αυτή με συναγωγή.
Πρακτικά η ελάχιστη δυνατή θερμική αγωγιμότητα μπορεί να επιτευχθεί όταν υπάρχει μέσα σε ένα υλικό ακίνητος και ξηρός αέρας. Για το λόγο αυτό τα θερμομονωτικά υλικά έχουν κατά κανόνα και μικρή πυκνότητα.
Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ ενός πορώδους υλικού είναι μικρότερος σε σχέση με το λ του ίδιου υλικού εάν αυτό ήταν πιο συμπαγές. Το φαινόμενο αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη θερμομονωτικών υλικών, με μεγάλο ποσοστό πόρων ή κλειστών κυψελίδων, που περιέχουν είτε αέρα, είτε κάποιο άλλο αέριο με μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ_D.
Η πορώδης δομή των βιομηχανικά παραγόμενων θερμομονωτικών υλικών επιτυγχάνεται με τη χρήση λεπτών ακανόνιστων ινών, όπως π.χ. συμβαίνει στον Πετροβάμβακα και τον Υαλοβάμβακα, ή με την παραγωγή κυψελίδων από αφρώδη συνθετικά υλικά όπως π.χ. στην Εξηλασμένη και Διογκωμένη Πολυστερίνη. Κατά συνέπεια, η θερμική τους αγωγιμότητα καθορίζεται πρωταρχικά από τον αριθμό και το μέγεθος των διάκενων που υπάρχουν στη μάζα του υλικού τους και που περιέχουν τον ακίνητο, με θερμομονωτικές ιδιότητες, αέρα.
Παρακάτω αναφέροντια ενδεικτικά οι τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας για τυπικά υλικά που χρησιμοποιούντα ως θερμομονωτικά υλικά.

- Διογκωμένη πολυστερίνη (φελιζόλ): 0.025 W/mk
- Αφρός πολυουρεθάνης: 0.034 W/mk
- Υαλοβάμβακας: 0.04 W/mk
- Πετροβάμβακας: 0.035 W/mk
- Περλίτης: 0.05 W/mk

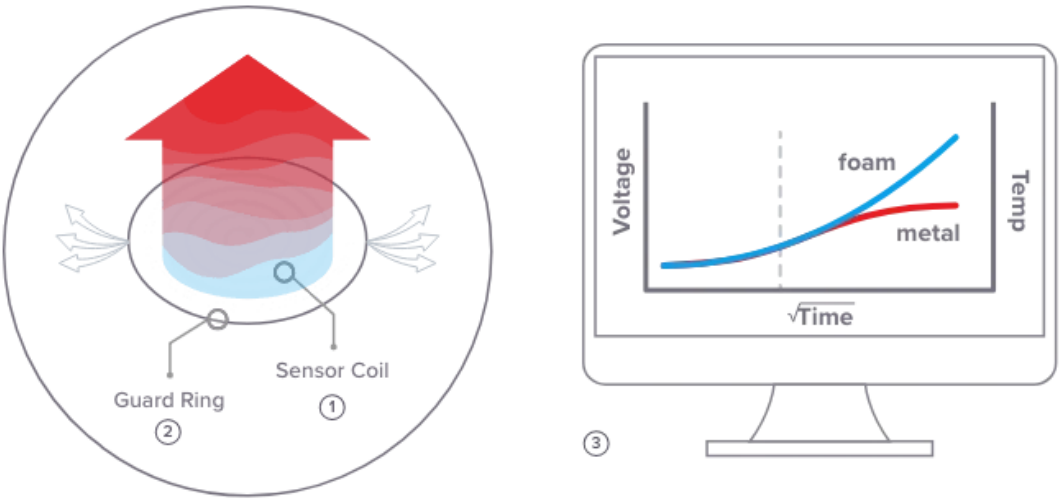
Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί πως η θερμική αγωγιμότητα των υλικών επηρεάζεται, από τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκονται και την υγρασία που μπορεί με διάφορους τρόπους να τα προσβάλει.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας των δειγμάτων διογκωμένου περλίτη μετρήθηκε με τον αναλυτή TCi του οίκου C-THERM.

Η διάταξη χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα ανάκλασης θερμότητας εφαρμόζοντας μια στιγμιαία σταθερή πηγή θερμότητας στο δείγμα. Συνήθως, ο χρόνος μέτρησης είναι μεταξύ 1 και 3 δευτερολέπτων. Η θερμική αγωγιμότητα και η διαρροή μετρώνται απευθείας, παρέχοντας μια λεπτομερή επισκόπηση των ιδιοτήτων μεταφοράς θερμότητας του υλικού δείγματος.



Εικόνα 26: Αναλυτής TCi για τον υπολογισμό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας

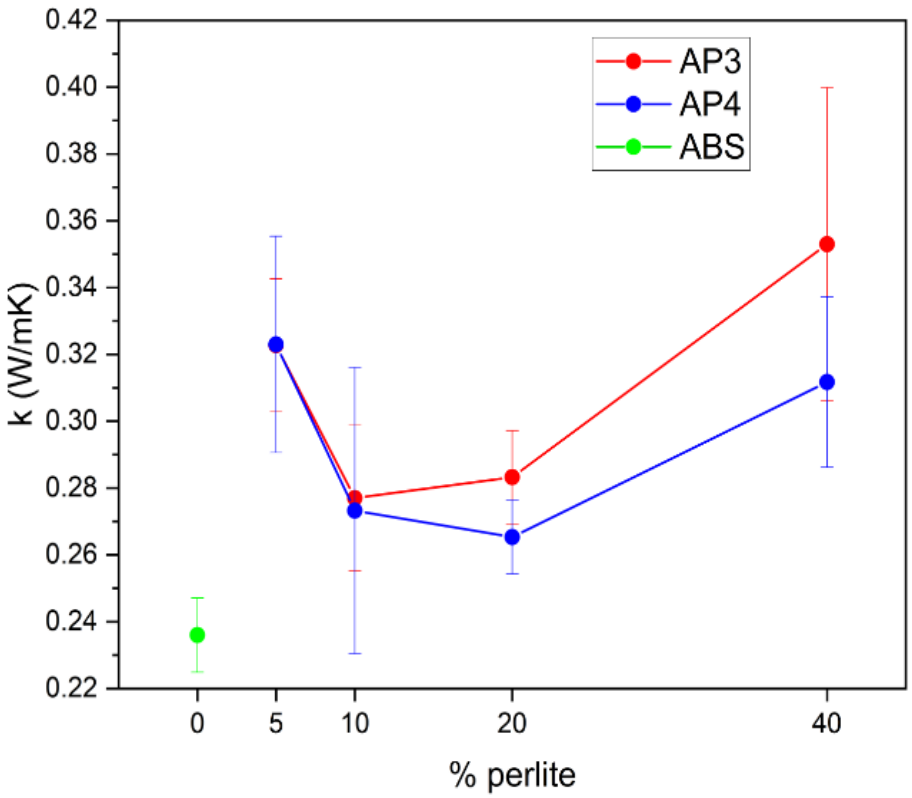


Εικόνα 27: Αρχή λειτουργίας τεχνικής TCi για τον υπολογισμό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας

1. Ένα γνωστό ρεύμα εφαρμόζεται στο σπειροειδές θερμαντικό στοιχείο του αισθητήρα, παρέχοντας μια μικρή ποσότητα θερμότητας.
2. Ένας προστατευτικός δακτύλιος περιβάλλει το πηνίο του αισθητήρα για να υποστηρίζει μια μονοδιάστατη μεταφορά θερμότητας στο δείγμα. Το εφαρμοζόμενο ρεύμα οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας στη διεπαφή μεταξύ του αισθητήρα και του δείγματος, η οποία προκαλεί αλλαγή στην πτώση τάσης του στοιχείου αισθητήρα.
3. Ο ρυθμός αύξησης της τάσης του αισθητήρα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των θερμικών ιδιοτήτων του δείγματος. Η τάση είναι εργοστασιακά βαθμονομημένη στη θερμοκρασία. Η θερμική αγωγιμότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη με τον ρυθμό αύξησης της

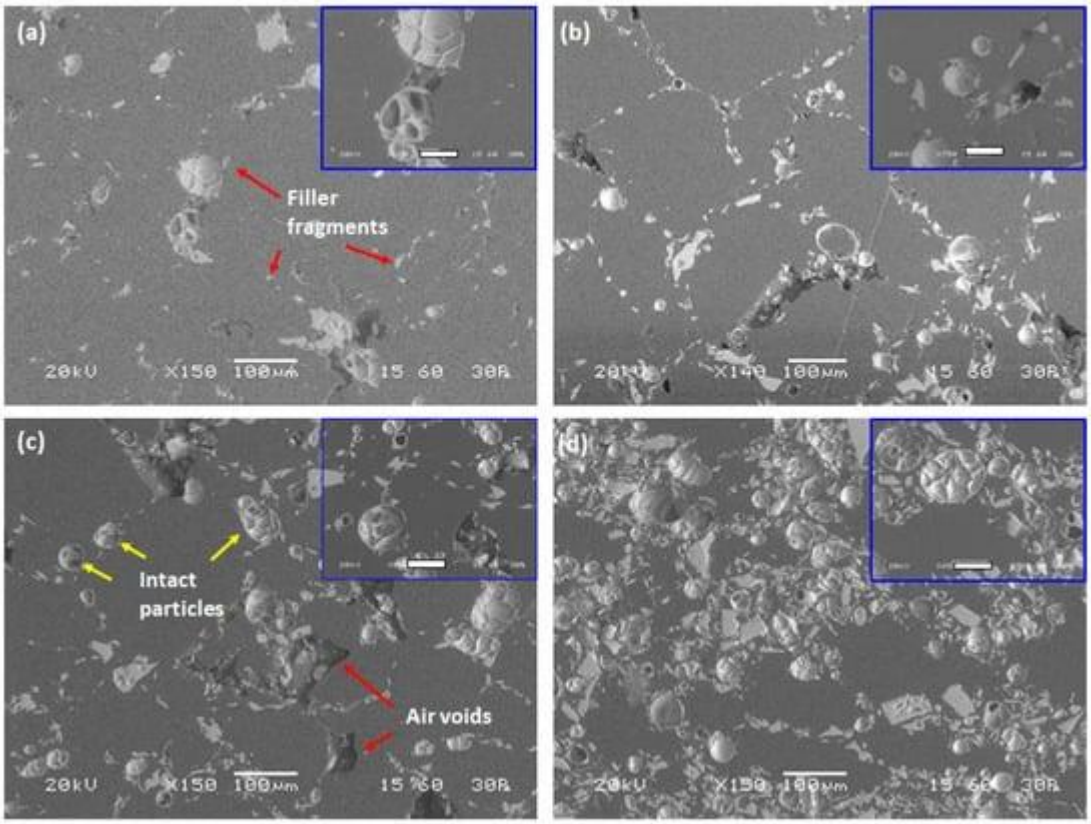
θερμοκρασίας στο σημείο επαφής μεταξύ του αισθητήρα και του δείγματος. Η τάση χρησιμοποιείται ως μέσο για τη θερμοκρασία και θα αυξηθεί πιο απότομα όταν ελέγχονται υλικά χαμηλότερης θερμικής αγωγιμότητας (π.χ. αφρός). Αντίθετα, η κλίση της τάσης θα είναι πιο επίπεδη για υλικά υψηλότερης θερμικής αγωγιμότητας (π.χ. μέταλλο). Με το C-Therm TCi, τα αποτελέσματα θερμικής αγωγιμότητας αναφέρονται σε πραγματικό χρόνο, κάνοντας τη μέτρηση θερμικής αγωγιμότητας γρήγορη και εύκολη.

Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα θερμικής αγωγιμότητας για το καθαρό ABS (πράσινη γραμμή), για το δείγμα περλίτη με πυκνότητα 375kg/m^3 (κόκκινη γραμμή), ενώ με την μπλε το δείγμα με περλίτη με πυκνότητα 469 kg/m^3.



Εικόνα 28: Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας δειγμάτων διογκωμένου περλίτη

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι για να εξηγήσουμε τη συμπεριφορά των δειγμάτων μας πήραμε φωτογραφίες ηλεκτρονικής μικροσκοπίας (SEM) σε μια τομή τους προκειμένου να δούμε τη διασπορά και το μέγεθος του διασπαρμένου διογκωμένου περλίτη μέσα στην πολυμερική μήτρα ABS. (Οι φωτογραφίες ελήφθησαν με τη χρήση ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου Jeol 6380 LV)



Εικόνα 29: Φωτογραφίς ηλεκτρονικής μικροσκοπίας δειγμάτων διογκωμένου περλίτη σε ABS, με συγκεντρώσεις (a) 5 vol.%, (b) 10 vol.%, (c) 20 vol.%, and (d) 40 vol.%.

Από την Εικόνα 29 παρατηρούμε ότι στο δείγμα με τη μικρότερη περιεκτικότητα διογκωμένου περλίτη (Σχήμα 29a, 5 vol.%) εφμανίζονται άθικτοι οι κόκκοι του διογκωμένου περλίτη, ενώ ταυτοποιήθηκαν και μερικά θραύσματά του διεσπαρμένα κατά μήκος της πολυμερικής μήτρας. Αυτά μπορεί να παράγονται κατά την προετοιμασία του σύνθετου δείγματος μέσω χύτευσης με συμπίεση. Επίσης, μπορούν να παρατηρηθούν κάποια κενά αέρα διασκορπισμένα κατά μήκος της μήτρας ABS επίσης.

Όσον αφορά την περιεκτικότητα 10 vol.%, εμφανίζονται περισσότερα άθικτα σωματίδια πλήρωσης, με παράλληλη αύξηση στην παρουσία θραυσμάτων, ενώ τα κενά αέρα έχουν επιμηκυνθεί και είναι τυχαία κατανεμημένα (Εικόνα 29b).

Στο δείγμα με 20 vol.% διογκωμένο περλίτη (Εικόνα 29c) μπορούν να εντοπιστούν περισσότερα κενά αέρα και πολλά άθικτα σωματίδια διαφόρων μεγεθών. Επίσης, υπάρχουν συστάδες σφαιριδίων διογκωμένου περλίτη χωρίς να επηρεάζεται η ομοιογένεια της διασποράς σε μακροσκοπικό επίπεδο. Τέλος, το μέγεθος των κενών αέρα είναι παρόμοιο με αυτό που φαίνεται στο δείγμα με πληρωτικό 10 vol.%.

Το δείγμα με τη μέγιστη περιεκτικότητα διογκωμένου περλίτη (Εικόνα 29d, 40 vol.%) παρουσιάζει ένα πυκνό δίκτυο μικροσφαιρών που είναι καλά διασκορπισμένα κατά μήκος της μήτρας ABS. Όσον αφορά τα σωματίδια διογκωμένου περλίτη, αναγνωρίστηκαν συμπαγή σωματίδια ακανόνιστου σχήματος. Τέτοια σωματίδια αποτελούν είτε ανεπαρκώς διογκωμένα σωματίδια περλίτη είτε μη διογκούμενα σωματίδια. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτή την περίπτωση δεν εντοπίστηκαν κενά αέρα.

Όπως φαίνεται από την παρατήρηση της μικροδομής των δειγμάτων, ο διογκωμένος περλίτης διασκορπίστηκε επαρκώς στη μήτρα ABS ανεξάρτητα από την περιεκτικότητά. Μια σημαντική ποσότητα διογκωμένου περλίτη παρέμεινε ανέπαφη μετά τη χύτευση με συμπίεση, σχηματίζοντας ένα πυκνό και ομοιογενές δίκτυο πολυκύτταρων μικροσφαιρών με διάμετρο κάτω από 100 μm, όπως φαίνεται στις εικόνες SEM (Εικόνα 29). Η διεπιφανειακή πρόσφυση του πληρωτικού στη μήτρα ABS είναι ικανοποιητική καθώς δεν εντοπίστηκαν κενά αέρα στην εξωτερική επιφάνεια, όπως αποκαλύπτεται από τις μικρογραφίες υψηλής μεγέθυνσης.

Παρατηρήσεις:

Όλα τα δείγματα διογκωμένου περλίτη σε ABS δίνουν συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας συγκρίσιμους με τα τυπικά υλικά που χρησιμοποιούνται ως θερμομονωτικά (βλέπε σελ. 32 παρούσας εργασίας).

Τα δείγματα με συγκέντρωση 20% διογκωμένου περλίτη δίνουν μικρότερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας γεγονός που σημαίνει πως η θερμότητα δεν διαδίδεται με ευκολία μέσα στο υλικό μας.

Καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση διογκωμένου περλίτη βλέπουμε πως ο συντελεστής αγωγιμότητας λ φθίνει, μέχρι τη συγκέντρωση του 20& v/v, ενώ για μεγαλύτερες συγκεντρώσεις το λ αυξάνεται. Αυτό πιθανόν να συμβαίνει γιατί ο περλίτης θρυμματίζεται σε αυτές τις συγκεντρώσεις.

Παρατηρούμε επίσης ότι και οι δύο περιπτώσεις μιγμάτων ABS με διογκωμένο περλίτη δίνουν μεγαλύτερο συντελεστή αγωγιμότητας λ συγκριτικά με το καθαρό ABS. Αυτό σημαίνει πως το καθαρό ABS είναι πιο θερμομονωτικό. Αξίζει να αναφέρουμε ότι το πολυμερές αυτό δεν χρησιμοποιείται για εφαρμογές θερμομόνωσης αφού είναι πολύ ακριβό (α), πολύ βαρύ (β), και επιπλέον διαβρώνεται από τον ήλιο και την έκθεση σε χημικά (γ). Επιπλέον, η ανάμιξη περλίτη με πολυμερές δίνει τη δυνατότητα στο τελικό προϊόν να μπορεί να διαμορφωθεί σε διάφορες γεωμετρίες σε αντίθεση με τον καθαρό περλίτη που είναι ψαθυρός.

Συμπεράσματα

Από όλα τα παραπάνω μπορούμε να κατανοήσουμε πως η μόνωση παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στην ελαχιστοποίηση του κόστους μόνωσης όσο και στην βελτίωση του περιβάλλοντος.

Η σημασία της ανακύκλωσης στη περιβαλλοντική διαχείριση του κλάδου των μονωτικών υλικών, είναι πολύ μεγάλη, χωρίς όμως να είναι επιθυμητή σε όλες ανεξαιρέτως τις περιπτώσεις, αφού πολλές διαδικασίες ανακύκλωσης μπορεί να απαιτούν εκτεταμένη θέρμανση του προϊόντος, προκειμένου αυτό να λιώσει και επομένως καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας (πχ. υαλοβάμβακας, αφρός πολυουρεθάνης).

Για τον λόγο αυτό ο διογκωμένος περλίτης και τα φυσικά υλικά εφόσον έχουν απλές διαδικασίες βιομηχανικής παραγωγής θεωρούνται καλά μονωτικά υλικά τα οποία είναι λιγότερο επιβλαβή για το περιβάλλον.

Όλα τα παραπάνω φέρνουν τον διογκωμένο περλίτη στο επίκεντρο των κατασκευαστών και ανοίγουν νέους δρόμους στην τεχνολογία παρασκευής μονωτικών υλικών αλλά και στην βελτίωση του περιβάλλοντος.

Ειδικότερα, η ανάμιξη του διογκωμένου περλίτη με μια πολυμερική μήτρα όπως το ABS δίνει τη δυνατότητα στο τελικό προϊόν να μπορεί να διαμορφωθεί σε διάφορες γεωμετρίες σε αντίθεση με τον καθαρό περλίτη που είναι ψαθυρός, ενώ ταυτόχρονα προκύπτει ένα ελαφρύ βαρύ θερμομονωτικό υλικό, ανθεκτικό στην ηλιακή έκθεση, καθώς και σε χημικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] "Askiseis.Pdf." Accessed March 11, 2021. https://www.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY343/notes/askiseis.pdf.

[2] Bozsaky, Dávid. "The Historical Development of Thermal Insulation Materials." *Periodica Polytechnica Architecture* 41, no. 2 (2010): 49. https://doi.org/10.3311/pp.ar.2010-2.02.

[3] "Compression Molding of Polymers [SubsTech]." Accessed March 7, 2021. http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=compression_molding_of_polymers].

[4] Ecopelion. "Natura Hellas: Περλίτης. Ένα Υλικό Με Εξαιρετική Θερμομονωτική Ικανότητα." *Natura Hellas* (blog), 2015. http://naturahellas.blogspot.com/2015/11/blog-post_63.html.

[5] "Effects of Heat and Pressure on Hot-Pressed Geopolymer | Elsevier Enhanced Reader." Accessed December 7, 2020. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117106.

[6] "GRI-2013-11215.Pdf." Accessed March 11, 2021. http://ikee.lib.auth.gr/record/133103/files/GRI-2013-11215.pdf.

[7] "GRI-2016-17142.Pdf." Accessed March 11, 2021. http://ikee.lib.auth.gr/record/284182/files/GRI-2016-17142.pdf.

[8] "Hot Pressing." In *Wikipedia*, December 23, 2019. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Hot_pressing&oldid=932043077.

[9] "Hot Pressing - an Overview | ScienceDirect Topics." Accessed December 18, 2020. https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/hot-pressing.

[10] "MILOS ISLAND." Accessed December 9, 2020. http://www.geo.auth.gr/_google/milos/route_1/1-5.htm.

[11] Ranjbar, Navid, Amin Kashefi, and Mahmoud R. Maheri. "Hot-Pressed Geopolymer: Dual Effects of Heat and Curing Time." *Cement and Concrete Composites* 86 (February 2018): 1–8. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.11.004.

[12] "Roundcube.Pdf." Accessed December 16, 2020. https://mail.materials.uoc.gr/roundcube/?_task=mail&_action=get&_mbox=INBOX&_uid=2232&_token=XRqKChMKnrthTSBRkZdTFO0jpECFnMdG&_part=2.

[13] “Vaouv_foamed (1).Pdf,” n.d.

[14] “Διογκωμενη Πολυστερινη - Bing Images.” Accessed December 10, 2020. https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=8BHwU4RU&id=DBC106EF6C5989541ED20E8CCC960B73037BFBDF&thid=OIP.8BHwU4RUtfKFlnAhlROl8QHaHa&mediaurl=https%3a%2f%2fwww.ventzissa.gr%2fimg%2fproduct%2fimage%2fdiogomeni.png&exph=1500&expw=1500&q=%ce%b4%ce%b9%ce%bf%ce%b3%ce%ba%cf%89%ce%bc%ce%b5%ce%bd%ce%b7+%cf%80%ce%bf%ce%bb%cf%85%cf%83%cf%84%ce%b5%cf%81%ce%b9%ce%bd%ce%b7&simid=608019614035020119&ck=EFE92D31D948864E948C50277E4481B3&selectedIndex=5&FORM=IRPRST&ajaxhist=0.

[15] “Θερμική αγωγιμότητα.” In *Βικιπαίδεια*, October 5, 2019. https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%98%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%B9%CE%BC%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1&oldid=7792985.

[16] “Θερμομόνωση.” In *Βικιπαίδεια*, September 18, 2020. https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%98%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BC%CF%8C%CE%BD%CF%89%CF%83%CE%B7&oldid=8439941.

[17] “Περλιτης - Bing Images.” Accessed December 10, 2020. https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=LOwcF7fj&id=C22A9B3FE0A9AF0795A1D879DB5677F273DC550D&thid=OIP.LOwcF7fjZamVUI1ceAIS-QHaFs&mediaurl=https%3a%2f%2fwww.milosminingmuseum.com%2fwp-content%2fuploads%2f2011%2f11%2fperlite.jpg&exph=539&expw=700&q=%cf%80%ce%b5%cf%81%ce%bb%ce%b9%cf%84%ce%b7%cf%82&simid=608020515970876811&ck=0EF7C56794C1708DD30B834834BC3AA4&selectedIndex=2&FORM=IRPRST&ajaxhist=0.

[18] “Περλίτης - Μονώσεις Monotica.” Accessed December 17, 2020. https://www.monoseis-monotica.gr/monotika-ylika/thermomonotika-ylika/perlitis/.

[19] Τα Μυστικά του Κήπου. “Πώς χρησιμοποιούμε τον περλίτη στην κηπουρική,” September 2, 2020. https://www.mistikakipou.gr/perlitis-georgia-kipouriki/.

[20] “Τι Είναι ο Περλίτης; Ιδιότητες Περλίτη. Η Χρήση Του Περλίτη. Τι Είναι ο Περλίτης Και Σε Τι Χρησιμεύει; Ιδιότητες Agroperlite Και Ποσοστό Εφαρμογής.” Accessed December 9, 2020. https://arhdecor.ru/el/the-ceiling/chto-takoe-perlit-svoistva-perlita-primenenie-perlita-chto.html.

[21] “Υαλοβαμβακας - Bing Images.” Accessed December 10, 2020. https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=mFVH0QYC&id=95B63454CFFFBAC619ED0BA0E4C77EEFC05A200A&thid=OIP.mFVH0QYCpnEb-6w3U1fGgwHaG9&mediaurl=https%3a%2f%2fimg.tradeindia.com%2ffp%2f1%2f001%2f124%2f100.jpg&exph=376&expw=400&q=%cf%85%ce%b1%ce%bb%ce%bf%ce%b2%ce%b1%ce%bc%ce%b2%ce%b1%ce%ba%ce%b1%cf%82&simid=608016349964079101&ck=6ABAE57345D11D280FFB90BF9A37D5DC&selectedIndex=1&FORM=IRPRST&ajaxhist=0.